



# Adaptasi Perubahan Iklim Kawasan Agropolitan Kabupaten Malang



Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan



Copyright © 2017 by Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Bagian atau seluruh isi Buku ini dapat dikutip dengan menyebutkan sumbernya disertai ucapan terimakasih kepada Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia

Cara Mengutip:

Perdinan, Sugiarto, Y., Santikayasa, I.P., Dasanto, B.D., Herawati, T., 2017. Adaptasi Perubahan Iklim Kawasan Agropolitan Kabupaten Malang. TNC Project. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Jakarta

ISBN:

Diterbitkan oleh:

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan  
Gedung Manggala Wanabakti Blok 4, Lantai 4  
Jalan Jenderal Gatot Subroto  
Senayan, Jakarta Pusat  
Telp/Fax: 021-5747054  
Website: [adaptasi.menlh.go.id](http://adaptasi.menlh.go.id)

**Adaptasi Perubahan Iklim Kawasan Agropolitan  
Kabupaten Malang**

*Project TNC #00087506*

**Pengarah**

Dr. Ir. Nur Masripatin M.For. Sc (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan)

**Penanggung Jawab**

Dra. Sri Tantri Arundati (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan)

Drs. Arif Wibowo, MSc (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan)

**Penulis**

Dr. Perdinan

Yon Sugiarto MSc.

Dr. I Putu Santikayasa

Dr. Bambang Dwi Dasanto

Dr. Tin Herawati, S.P, M.Si

**Tim Asisten**

Tri Atmaja

Ryco Farysca Adi

Rizki Abdul Basit

Enggar Yustisi Arini

Prahditya Riskiyanto

Hilda Ayu Pratikasiwi

**2017**

Didukung oleh



Desain dan foto halaman muka piarea.co.id

## Ringkasan Eksekutif

### Penyusunan Adaptasi Perubahan Iklim Kabupaten Malang: Studi Kasus Kawasan Agropolitan Poncokusumo

Project TNC #00087506

#### Landasan Penyusunan Upaya Adaptasi Perubahan iklim

Pemerintah Indonesia memberikan perhatian khusus terhadap penanganan dampak perubahan iklim. Perhatian tersebut diberikan dengan pertimbangan potensi dampak perubahan iklim dapat menghambat capaian target pembangunan. Mempertimbangkan potensi dampak perubahan iklim, terlepas dari upaya mitigasi yang dilakukan, pemerintah Indonesia melalui BAPPENAS mengeluarkan Rencana Aksi Nasional Adaptasi Perubahan Iklim (RAN – API) yang merekomendasikan kebutuhan pengarusutamaan API ke dalam perencanaan pembangunan. Pada 2015, pemerintah membentuk lembaga khusus tentang perubahan iklim di bawah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) bernama Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim – (DirJen PPI). Seiring dengan kebutuhan penyusunan adaptasi perubahan iklim yang ditujukan untuk mengurangi potensi dampak negatif dan memaksimalkan potensi dampak positif perubahan iklim, KLHK merilis peraturan menteri (PERMEN) LHK No.33 tahun 2016 mengenai penyusunan upaya adaptasi perubahan iklim. PERMEN KLHK tersebut yang berlandaskan undang-undang 32 tahun 2009 dimaksudkan untuk memberikan pedoman bagi penyusunan upaya adaptasi di tingkat pusat dan daerah.

#### Latar Belakang

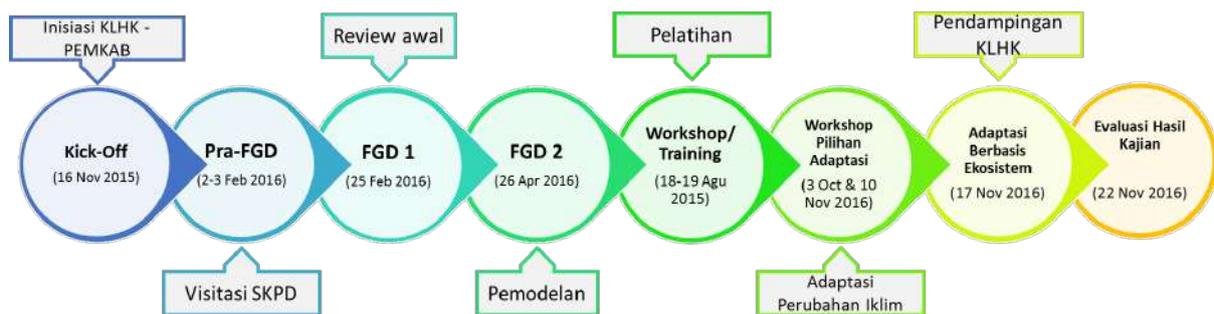
Pada tahun 2015, pemerintah Indonesia aktif berpartisipasi dalam perjanjian Paris (*Paris Agreement*) terkait respon negara-negara di dunia dalam konteks perubahan iklim. Pemerintah juga turut aktif dalam mengkomunikasikan perkembangan inisiatif-inisiatif perubahan iklim di Indonesia ke lembaga dunia khusus menangani perubahan iklim yaitu, *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC). Pada tahun 2010, pemerintah Indonesia telah melaporkan kegiatan perkembangan perubahan iklim melalui *Second National Communication* (2010). Sebagai kelanjutan dari laporan tersebut, saat ini pemerintah Indonesia melalui KLHK sedang menyusun *Third National Communication* (TNC) untuk melaporkan perkembangan inisiatif-inisiatif perubahan iklim di Indonesia.

Dalam proses penyusunan laporan TNC, Kabupaten Malang dipilih sebagai salah satu lokasi studi kasus untuk pelaksanaan kajian risiko perubahan iklim dan penyusunan upaya adaptasinya. Selain Kabupaten Malang, terdapat 9 lokasi studi lainnya yang tersebar diberbagai pulau besar di Indonesia, yaitu: Sumatera, Jawa, Sulawesi, Nusa Tenggara. Secara khusus, kegiatan kajian di kabupaten Malang juga difokuskan pada kawasan Agropolitan di Kecamatan Poncokusumo. Studi kasus tersebut dipilih sebagai bahan untuk mendapatkan pembelajaran tentang kerentanan, risiko dan dampak perubahan iklim sebagai dasar penyusunan strategi adaptasi yang dapat diselaraskan dengan perencanaan pembangunan.

#### Proses Penyusunan Kajian

Proses penyusunan kajian dilakukan dengan mempertimbangkan langkah-langkah yang disarankan dalam PERMEN KLHK 33/2016. Partisipasi para pihak (*stakeholders*) dalam penyusunan kajian merupakan komponen penting dalam upaya memahami karakteristik dan

kapasitas wilayah kajian. Berbagai satuan kerja perangkat daerah (SKPD), masyarakat, ahli-ahli, dan perguruan tinggi dilibatkan secara aktif dibawah koordinasi BAPPEDA melalui berbagai kegiatan misalnya: dialog terfokus (FGD), workshop dan pelatihan. Kajian ini melibatkan pula tim ahli dari Institut Pertanian Bogor (IPB), dengan keahlian di bidang iklim dan aplikasinya pada sektor sumberdaya air, untuk mendukung para ahli di lingkup SKPD. Gabungan tim ini bekerja secara kooperatif untuk menilai kerentanan, risiko, dan dampak terhadap perubahan iklim dan memilih pilihan adaptasi yang dapat diterapkan untuk kawasan Agropolitan. Untuk kajian iklim, dikembangkan model untuk pemetaan daerah rawan kekeringan, yang selanjutnya disebut dengan analisis bahaya terkait iklim. Fokus bahaya tersebut dipilih karena mengingat fokus kajian ini adalah pada sektor sumberdaya air yang memainkan peran penting dalam mendukung keberlanjutan kawasan Agropolitan. Untuk melengkapi kajian iklim, dilakukan identifikasi indikator kerentanan khusus kawasan Agropolitan, selanjutnya analisis kerentanan tersebut dikombinasikan dengan analisis bahaya untuk menghasilkan pemetaan wilayah berisiko terhadap dampak bahaya terkait iklim. Memahami betapa pentingnya ketersediaan air untuk menjaga kelangsungan kegiatan di kawasan Agropolitan, kajian lanjutan dilakukan untuk menilai keseimbangan neraca air antara ketersediaan air dan kebutuhan air menggunakan model hidrologi pada kondisi proyeksi perubahan iklim berdasarkan dua model iklim. Kajian iklim tersebut diterapkan sebagai dasar untuk mengidentifikasi potensi pilihan adaptasi perubahan iklim untuk wilayah studi. Dalam penyusunan pilihan adaptasi tersebut, perwakilan SKPD terlibat secara aktif untuk mengidentifikasi dan menyusun langkah-langkah rekomendasi pilihan adaptasi di kawasan Agropolitan Poncokusumo.



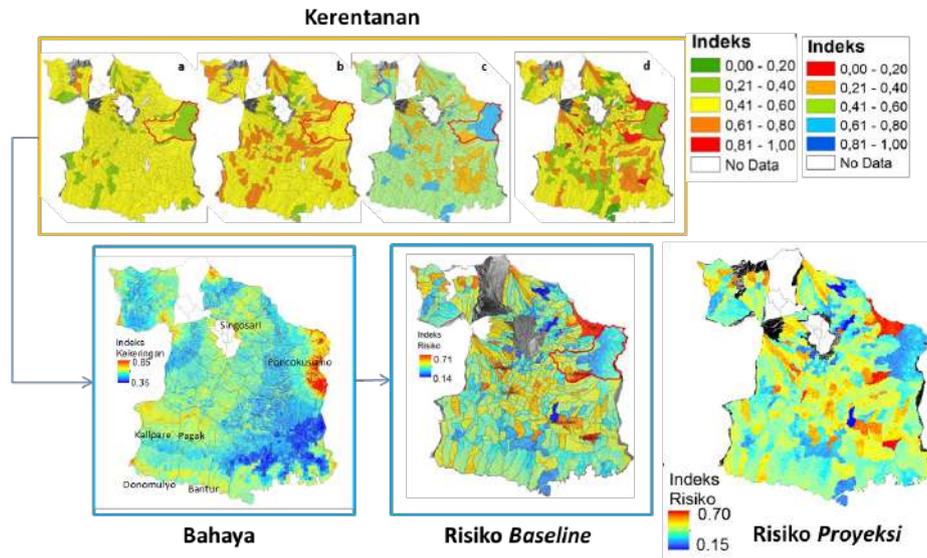
Gambar 1. Konsultasi dan rangkaian kegiatan dengan para pihak di daerah kajian

## Analisis Bahaya, Kerentanan dan Risiko Perubahan Iklim

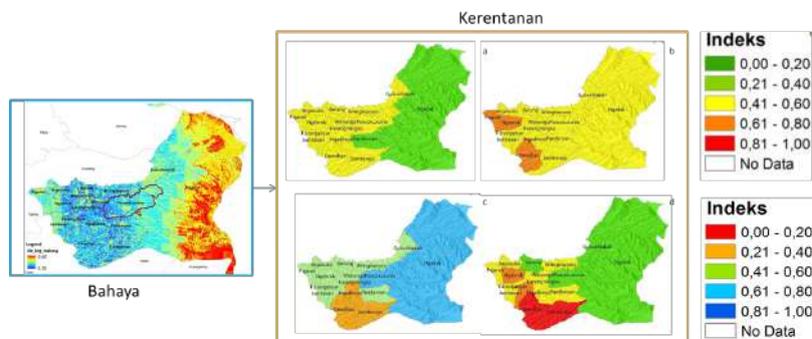
Analisis potensi kejadian bahaya dilakukan dengan menyusun model pemetaan potensi wilayah kejadian bencana terkait iklim, yaitu: kekeringan. Analisis luaran model menunjukkan potensi wilayah kejadian Kekeringan sebagian besar berada pada kisaran Rendah sampai Sangat Tinggi untuk wilayah Kabupaten Malang. Wilayah dengan kategori Sangat Tinggi berada di Kecamatan Poncokusumo (Desa Ngadas). Wilayah dengan kategori Tinggi di wilayah Kecamatan Kalipare (Desa Kalirejo, Desa Arjosari, Desa Sukosari, Desa Argowinangun), Kecamatan Pagak (Desa Tlogorejo, Desa Gampingan, Desa Sumberejo), Kecamatan Bantur (Desa Karang Sari, Desa Rejoyoso), Kecamatan Donomulyo (Desa Sumberoto, Desa Banjarejo, Desa Tulungrejo), Kecamatan Singosari (Desa Randuagung, Desa Candirenggo, Desa Dengkol, Desa Toyomarto), Kecamatan Lawang (Desa Lawang, Dsa Sumberporong, Desa Mulyoarjo) dan Kecamatan Pakis (Desa Buluwetan dan Desa Mangliawan). Sementara, wilayah lainnya masuk dalam kategori Sedang dan Rendah (Gambar 2).

Analisis peta kerentanan wilayah Kabupaten Malang menunjukkan Kecamatan Poncokusumo, Jabung dan Sumbermanjing adalah kecamatan dengan tingkat kerentanan tinggi. Hal ini disebabkan oleh tingginya sensitivitas disertai dengan minimnya kapasitas adaptasi. Pada level desa di Kabupaten Malang, desa-desa yang masuk kedalam katategori kerentanan Sangat Tinggi adalah Desa Kepatihan, Sukorejo, Dawuhan, Sumberejo, Kranggan, Petungsewu, Ngadirejo, Taji

dan Argosari. Desa Dawuhan dan Sumberrejo adalah contoh dua diantara tujuh belas desa di kawasan Agropolitan Kecamatan Poncokusumo yang memiliki tingkat kerentanan sangat tinggi (Gambar 3). Tingkat kerentanan tersebut disebabkan oleh sensitivitas yang tinggi dan kapasitas adaptasi yang rendah. Sementara, peta risiko diperoleh berdasarkan pertimbangan antara tingkat potensi bahaya suatu kejadian bencana ditambah dengan kerentanan wilayah. Khusus Kecamatan Poncokusumo, berdasarkan peta risiko wilayah dengan tingkat risiko saat ini yang tergolong tinggi adalah Desa Sumberrejo dan Dawuhan.



Gambar 2. Distribusi spasial Keterpaparan (a); Sensitivitas (b); Kapasitas Adaptasi (c); dan Kerentanan (d), potensi wilayah kejadian bahaya kekeringan *baseline* (bawah-kiri) dan risiko *baseline* (bawah-tengah) and proyeksi (bawah-kanan) di Kabupaten Malang

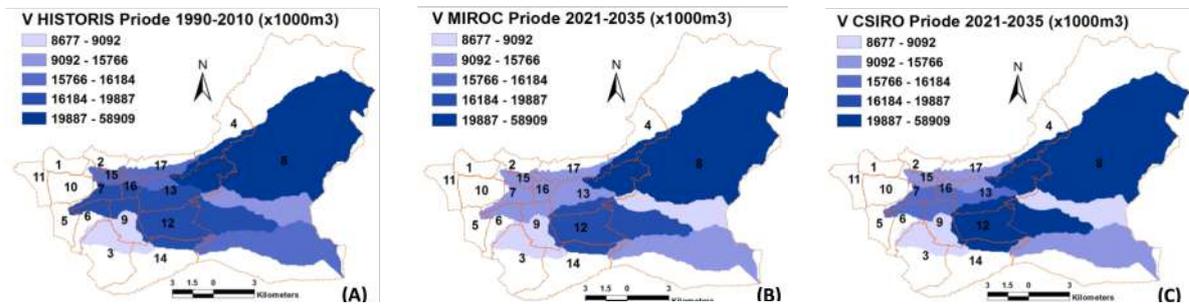


Gambar 3. Peta Keterpaparan (a); Sensitivitas (b); Kapasitas Adaptasi (c); dan Kerentanan (d), peta bahaya kekeringan *baseline* di Kawasan Agropolitan Kabupaten Malang

## Potensi Dampak Perubahan Iklim di Kawasan Agropolitan

Potensi dampak perubahan iklim dianalisis menggunakan model HEC-HMS dengan masukan curah hujan historis dan hasil skenario perubahan iklim menunjukkan adanya penurunan debit (terutama di musim kemarau). Penurunan ketersediaan air permukaan antara kondisi saat ini dan masa depan diperkirakan sebesar 25-50-% bervariasi secara spasial. Kecamatan Poncokusumo bagian timur terutama Desa Ngadas, secara spasial ketersediaan air permukaan rata-rata (volume debit rata-rata) pada kondisi saat ini berkisar antara 19.9 – 58.9 juta m<sup>3</sup> (relatif tetap atau tidak berubah), kondisi tersebut relatif sama dengan yang terjadi di Desa Dawuhan dan Ngadireso (dengan volume debit sekitar 8.6 – 9.1 juta m<sup>3</sup>). Sementara, terjadi perubahan ketersediaan air yang cukup signifikan antara kondisi saat ini dan masa depan di sebagian Desa Poncokusumo, Wonorejo, dan Karangnongko. Saat ini, volume debit di ketiga desa tersebut berada pada kisaran

16.2 – 19.8 juta m<sup>3</sup>, dengan proyeksi volume debit di masa depan berdasarkan skenario iklim diproyeksikan turun menjadi 9.1 – 15.8 juta m<sup>3</sup> (turun ~44% - 20%). Potensi penurunan tersebut juga terjadi di Desa Wringinanom, dengan kisaran penurunan antara 42% hingga 2.5%. Ketersediaan air kawasan Poncokusumo disajikan pada Gambar 4.



Keterangan:

- |               |                 |                |                 |
|---------------|-----------------|----------------|-----------------|
| 1. Argosuko   | 5. Jambesari    | 9. Ngadireso   | 13. Poncokusumo |
| 2. Belung     | 6. Karanganyar  | 10. Ngebruk    | 14. Sumberejo   |
| 3. Dawuhan    | 7. Karangnongko | 11. Pajaran    | 15. Wonomulyo   |
| 4. Gubuklakah | 8. Ngadas       | 12. Pandansari | 16. Wonorejo    |
|               |                 |                | 17. Wringinano  |

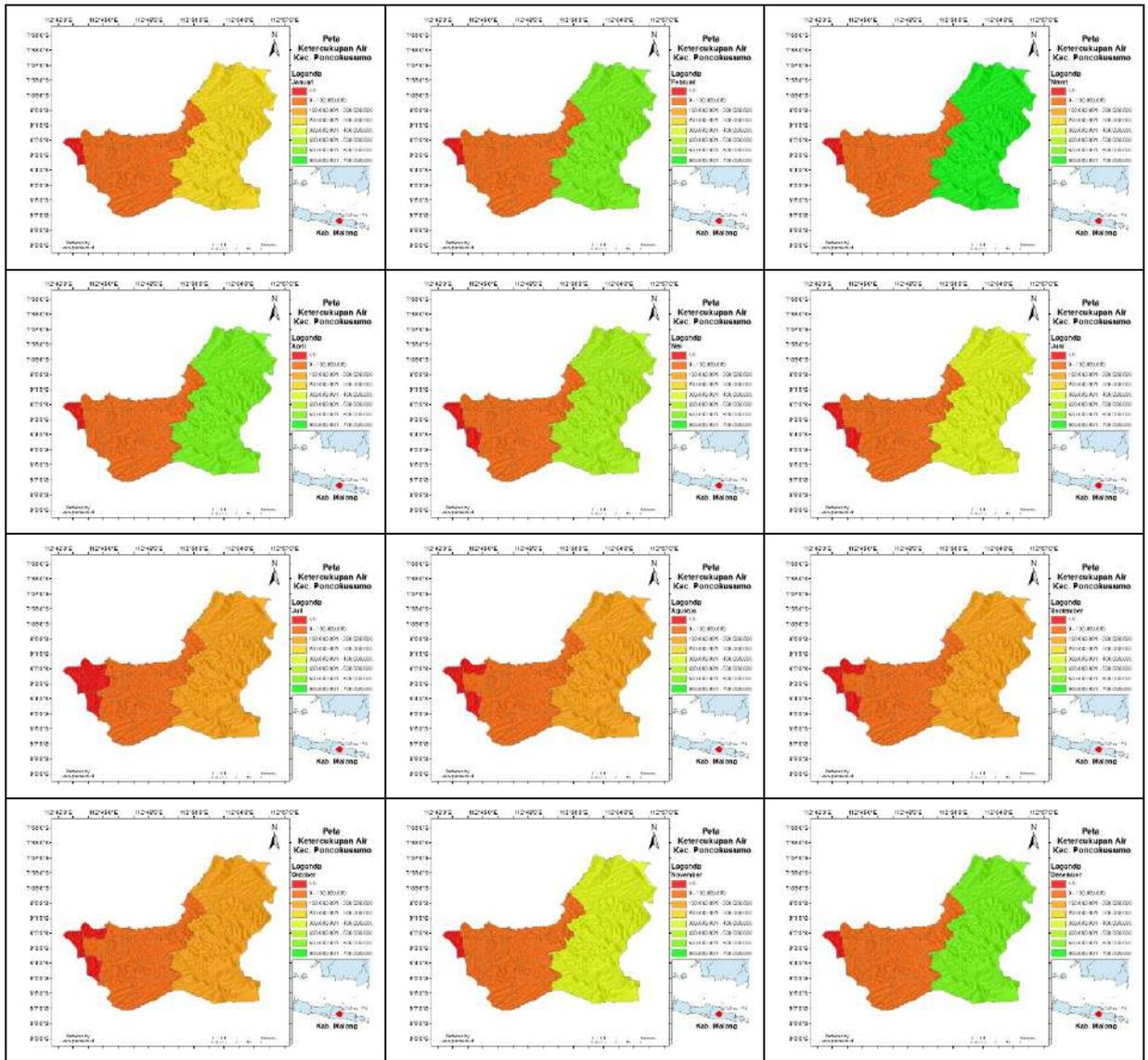
Gambar 4. Ketersediaan air permukaan rata-rata secara spasial pada kondisi saat ini (A) dan masa depan (B dan C)

Adanya potensi perubahan ketersediaan sumberdaya air di kawasan Poncokusumo akibat fluktuasi iklim atau perubahan iklim, mendorong dilakukannya analisis lanjutan untuk menganalisis pemenuhan kebutuhan air di wilayah Poncokusumo. Total kebutuhan air wilayah Poncokusumo adalah jumlah kebutuhan air dari seluruh sektor, yaitu: sektor pertanian, domestik, dan industry, dengan total kebutuhan air bervariasi setiap bulannya dan penggunaan air terbesar berasal dari sektor pertanian. Penggunaan air di sektor pertanian bervariasi antara satu desa dengan desa lainnya, sehingga kemampuan setiap desa dalam pemenuhan kebutuhan air juga berbeda pula.

Analisis perbedaan ketersediaan dan kebutuhan air menunjukkan ada beberapa wilayah yang berpotensi mengalami kekurangan air (Gambar 5). Berdasarkan sebaran waktunya, kekurangan pasokan air cenderung terjadi pada musim kemarau, dengan desa-desa di sebelah barat Poncokusumo, yaitu desa Pajaran, Jambesari, Agrosuko, dan Ngebruk berpotensi mengalami kekurangan air dalam memenuhi kebutuhannya. Potensi kekurangan air yang terbesar dialami oleh desa Pajaran, dimana sepanjang tahun mengalami defisit air. Hal tersebut disebabkan jumlah sawah yang cukup luas terdapat pada lokasi tersebut.

Selanjutnya, Gambar 5 menunjukkan adanya wilayah yang memiliki potensi air cukup besar namun penggunaannya masih sedikit. Misalnya desa Ngadas, ketersediaan air cukup melimpah, namun kebutuhan air di desa tersebut hanya digunakan untuk sektor domestik dan industri, tidak ada sektor pertanian terdapat di desa tersebut. Salah satu cara untuk dapat menambah pasokan air untuk desa yang berpotensi mengalami kekurangan ketersediaan air adalah dengan melakukan alokasi air dari satu desa menuju desa lainnya.

Analisis lanjutan terkait alokasi ketersediaan air, dengan asumsi jumlah air maksimum yang mampu digunakan sebesar 30% dari total ketersediaan air dari sumber air tersedia, yaitu: sungai Lesti dan Amprong (PU Brantas 2011), dan nilai efisiensi saluran sebesar 40% (nilai rerata efisiensi saluran di wilayah Indonesia) dikarenakan sekitar 60% air hilang akibat adanya proses evaporasi, perkolasi saluran, dan kebocoran, menunjukkan terdapat wilayah-wilayah yang tidak mampu dipenuhi kebutuhannya.



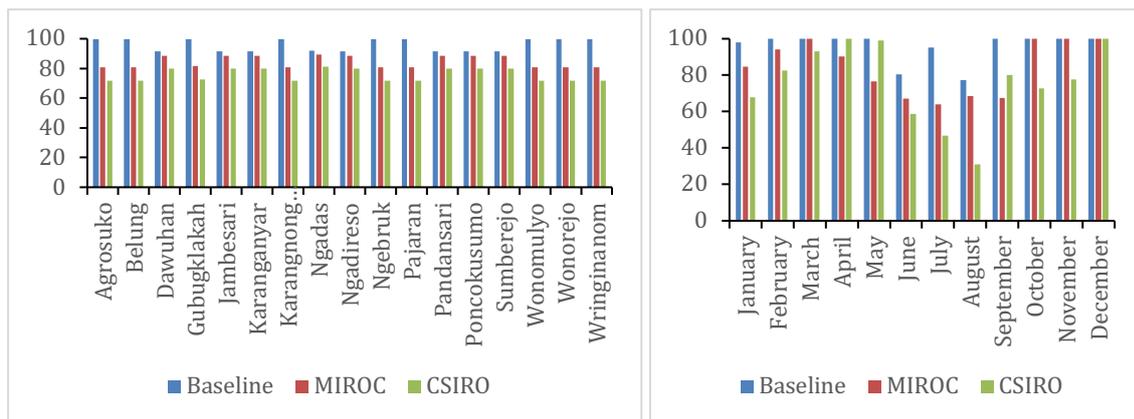
Gambar 5. Ketercukupan air pada masing-masing desa di Poncokusumo pada bulan Januari hingga Desember tahun 2015

Secara umum kekurangan air terjadi pada periode musim kering yaitu pada bulan Juni, Juli dan Agustus. Pada bulan Juni, Juli dan Agustus berdasarkan hasil kajian, akan mengalami kekurangan air sebesar 0,6, 0,15 dan 0,63 MCM dengan nilai kekurangan terbesar dialami oleh wilayah Jambesari sebesar 0,66 MCM. Jumlah air yang ada di Jambesari dialokasikan ke pengguna baik pertanian maupun non-pertanian dengan coverage sebesar 91,7% dari total kebutuhan air. Sementara, wilayah lain yang berpotensi mengalami kekurangan air adalah Dawuhan, Karanganyar, dan Ngadireso dengan kekurangan air secara berturut-turut sebesar 0,14, 0,35, 0,17 MCM. Untuk wilayah selain yang telah disebutkan diatas, kebutuhan airnya akan mampu dipenuhi oleh air yang dialokasikan dari kedua sumber air tersedia.

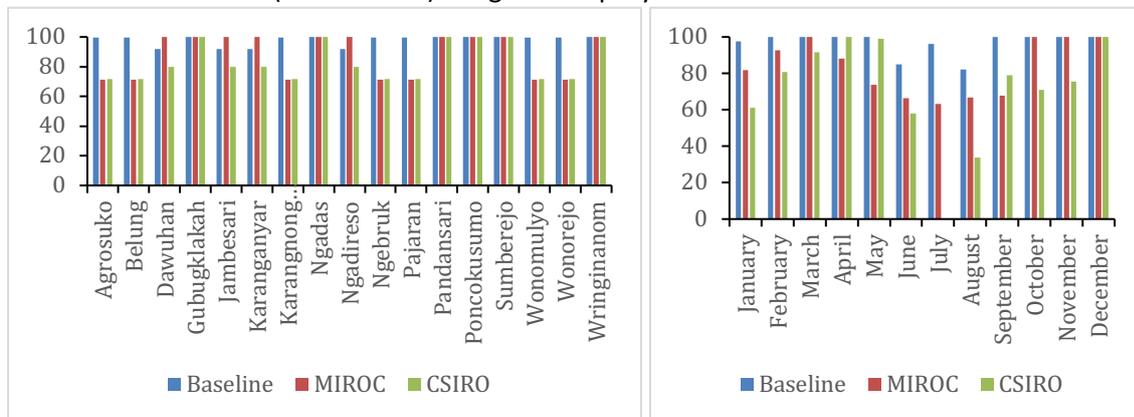
Analisis lanjutan juga dilakukan untuk melihat kondisi yang lebih detail dengan membandingkan data baseline dan proyeksi dengan model MIROC dan CSIRO (Gambar 6 dan Gambar 7). Secara keseluruhan, wilayah yang terdampak pada kekurangan ketersediaan air di Poncokusumo berdasarkan proyeksi ketersediaan air menggunakan model MIROC dan CSIRO akan semakin meningkat. Pada lokasi-lokasi yang tidak berdampak kekurangan air saat ini, pada proyeksi menggunakan kedua model MIROC dan CSIRO menunjukkan peningkatan jumlah lokasi yang mengalami kekurangan air. Dilihat pada sebaran bulan, model CSIRO memproyeksi kekurangan ketersediaan air akan semakin meningkat, dimana pada setiap bulan hampir mengalami

kekurangan ketersediaan air, terutama pada musim kemarau (Juni, Juli, Agustus) yang memiliki ketercukupan air paling sedikit. Sedangkan untuk model MIROC, bulan-bulan yang tidak tercukupi ketersediaan airnya (bulan Juni, Juli, dan Agustus) tidak terjadi peningkatan yang signifikan.

Secara spasial, analisis menunjukkan wilayah yang mengalami kekurangan air berada pada wilayah yang jauh dari hulu dan merupakan sentra pertanian padi sawah, dengan hampir 60% alokasi sumberdaya air di wilayah kajian diperuntukkan untuk pertanian. Hal ini menunjukkan pertanian masih merupakan pengguna air terbesar, dibandingkan penggunaan untuk kebutuhan domestik dan industri. Suplai air untuk pemenuhan kebutuhan air di wilayah kajian tidak mampu dipenuhi oleh satu sumber saja, yaitu: sungai Lesti, sesuai informasi dari dinas pengairan Kabupaten Malang. Oleh sebab itu, ada rencana pembuatan saluran penghubung untuk mengalokasikan kelebihan ketersediaan air sungai Amprong ke sungai Lesti.



Gambar 6. Perbandingan jumlah ketercukupan air sektor domestik dan industri berdasarkan sebaran desa di Poncokusumo (kiri) dan berdasarkan sebaran bulan (kanan) menggunakan data *baseline* (data saat ini) dengan data proyeksi model MIROC dan CSIRO



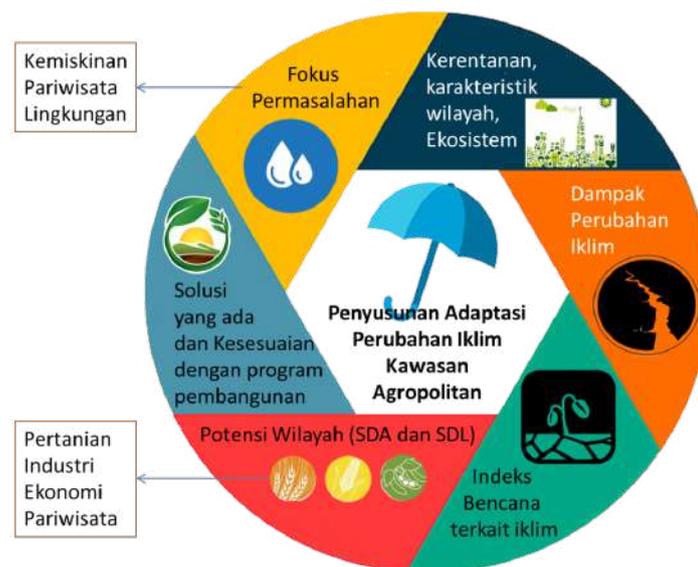
Gambar 7. Perbandingan jumlah ketercukupan air sektor pertanian berdasarkan sebaran desa di Poncokusumo (kiri) dan berdasarkan sebaran bulan (kanan) menggunakan data *baseline* (data saat ini) dengan data proyeksi model MIROC dan CSIRO

## Proses Penyusunan Adaptasi Berdasarkan Analisis Risiko

Penyusunan pilihan adaptasi didasarkan pada beberapa pertimbangan. Salah satu pertimbangannya adalah fokus pembangunan saat ini di Kabupaten Malang. Fokus pembangunan tersebut berupa tiga terget, yaitu: **kemiskinan**, **pariwisata** dan **lingkungan**. Pertimbangan lainnya adalah hasil dari kajian iklim, dan beberapa kajian sebelumnya mengenai pilihan adaptasi perubahan iklim di Indonesia seperti kajian SPARC (2015) dan KRAPI Malang Raya (2012), dan hasil masukan dan rekomendasi dari para stakeholder seperti ditunjukkan pada Gambar 8. Hasil diskusi dengan pemerintah Kabupaten Malang, perencanaan adaptasi difokuskan pada strategi pembangunan dan disesuaikan dengan kegiatan yang sudah ada di Kecamatan Poncokusumo

yaitu sebagai daerah Agropolitan di Kabupaten Malang. Pilihan adaptasi perubahan iklim diidentifikasi berdasarkan pertimbangan program atau kegiatan diarahkan untuk merespon dampak perubahan iklim (misalnya perubahan curah hujan dan suhu udara) atau pengurangan risiko bencana terkait iklim (misalnya kekeringan) atau gangguan terhadap jasa dan layanan ekosistem yang dihadapi suatu wilayah.

Selanjutnya, dalam upaya pengarusutamaan adaptasi perubahan iklim dalam perencanaan pembangunan Kabupaten Malang, maka penyusunan pilihan adaptasi juga mempertimbangkan RPJMD Kabupaten Malang periode tahun 2016-2021. Dapat dipahami bahwa aktivitas utama dikawasan Agropolitan Poncokusumo dan potensi masalah dalam ketersediaan air untuk pemenuhan kebutuhan air, pilihan adaptasi perubahan iklim secara khusus diarahkan untuk kegiatan pertanian di wilayah kajian. Beberapa upaya adaptasi yang dapat dilakukan untuk mengatasi kekeringan pada lahan pertanian dapat dilakukan dengan teknologi irigasi dan pengelolaan lahan dan air. Teknologi irigasi dapat dilakukan melalui (a) sumur renteng, (b) irigasi kapiler, (c) irigasi tetes, (d) irigasi semprot, (e) irigasi parit, (f) irigasi macak-macak di lahan sawah, (g) irigasi bergilir, dan (h) irigasi berselang. Upaya mekanis juga perlu dilakukan dengan penyiapan pompa drainase/pengelolaan air lebih/sumur dangkal maupun Sabo DAM. Sedangkan pada penyediaan air minum untuk kebutuhan domestik dapat dilakukan melalui Program Penyediaan Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat (Pamsimas) dan pipanisasi mata air atau integerasi mata air.



Gambar 8 Proses penyusunan adaptasi perubahan iklim dengan berbagai aspek pertimbangan

Selanjutnya, dalam upaya pengarusutamaan adaptasi perubahan iklim dalam perencanaan pembangunan Kabupaten Malang, maka penyusunan pilihan adaptasi juga mempertimbangkan RPJMD Kabupaten Malang periode tahun 2016-2021, dan berbagai dokumen pendukung, yaitu: pilihan adaptasi hasil kajian SPARC (2015) dan KRAPI Malang Raya (2012). Khusus mempertimbangkan RPJMD 2016-2021, fokus perencanaan pembangunan adalah: **kemiskinan, pariwisata dan lingkungan.**

Pilihan adaptasi perubahan iklim dalam penguatan daya dukung lingkungan dilakukan melalui beberapa pilihan. Sumber daya air menjadi salah satu persoalan utama yang perlu diperhatikan dikarenakan sumber air sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim. Pilihan adaptasi perlu fokus pada permasalahan sumberdaya air terutama sektor pertanian.

Beberapa upaya adaptasi yang dapat dilakukan untuk mengatasi kekeringan pada lahan pertanian dapat dilakukan dengan teknologi irigasi dan pengelolaan lahan dan air. Teknologi irigasi dapat

dilakukan melalui (a) sumur renteng, (b) irigasi kapiler, (c) irigasi tetes, (d) irigasi semprot, (e) irigasi parit, (f) irigasi macak-macak di lahan sawah, (g) irigasi bergilir, dan (h) irigasi berselang. Upaya mekanis juga perlu dilakukan dengan penyiapan pompa drainase/pengelolaan air lebih/sumur dangkal maupun Sabo DAM. Sedangkan pada penyediaan air minum untuk kebutuhan domestik dapat dilakukan melalui Program Penyediaan Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat (Pamsimas) dan pipanisasi mata air atau integrasi mata air.

Selanjutnya, pilihan adaptasi yang dapat dilakukan adalah dengan pelaksanaan Sekolah Lapang Iklim (SLI)/SLPHT untuk meningkatkan pemanfaatan informasi iklim dan penggunaan pestisida, sosialisasi gilir varietas untuk mengurangi intensitas OPT. Selain itu, penguatan daya dukung lingkungan dapat pula dilakukan dengan pertanian ramah lingkungan. Sistem ini dilakukan dengan penciptaan teknologi pengolahan tanah tanpa bakar (Herbisida atau TOT), mendorong praktek kearifan lokal untuk penggunaan air berkelanjutan, dan pengembangan herbisida organik dari bahan hayati (pelatihan pembuatan herbisida organik berbasis pada potensi lokal, metode penggunaan herbisida organik sesuai bahan baku lokal dan pengembangan agen hayati).

Sebagai daerah pertanian, beberapa lahan sawah daerah Poncokusumo telah tercemar oleh penggunaan bahan kimia maupun pestisida hasil pengolahan lahan pertanian. Oleh karena itu perlu dilakukan pengembalian kesuburan tanah. Pengembalian kesuburan tanah dapat dilakukan dengan bahan-bahan organik dan sistem rotasi tanaman sehingga unsur hara pada tanah stabil dan pola cocok tanam responsif terhadap perubahan musim, sistem rotasi tanaman sehingga unsur hara pada tanah stabil dan pola cocok tanam responsif terhadap perubahan musim, pemanfaatan pupuk kandang dan teknologi *zero waste* dan pemanfaatan limbah (organik) pertanian, pupuk organik, pakan ternak, teknologi biogas dan bioenergy (kompor arang sekam). Dalam upaya pengurangan risiko bencana diperlukan evaluasi dan penataan kembali tata ruang dengan pertimbangan potensi dampak perubahan iklim untuk meningkatkan kesiapsiagaan bencana melalui sistem peringatan dini.

Sebagai daerah destinasi wisata, Pemerintah Kabupaten Malang telah menetapkan optimalisasi pariwisata sebagai salah satu langkah strategi pembangunan sesuai RPJMD 2016 – 2021. Selain itu, potensi Poncokusumo sebagai kawasan Agropolitan juga perlu dipertimbangkan dalam penyusunan adaptasi perubahan iklim. Oleh karena itu, rekomendasai pilihan adaptasi diarahkan untuk pengembangan agrowisata, industri rumah tangga berbahan baku hasil pertanian, dan industri rumah tangga yang dapat menghasilkan peralatan pertanian sederhana dan oleh-oleh khas daerah. Pengembangan desa wisata pertanian dan peternakan sapi perah disertai *camping ground* dan *homestay* dapat menjadi opsi adaptasi, sekaligus alternatif usaha untuk meningkatkan penghasilan masyarakat. Sehingga diperlukan pelatihan aparat wisata (anggota pokdarwis/lembaga desa wisata). Di sisi lain, usaha peternakan juga dapat disandingkan menjadi agrowisata sapi perah dan pemanfaatan limbah pertanian sebagai pakan murah yang berkualitas, pengembangan sistem integrasi tanaman-ternak (*crop livestock system*, CLS) dilakukan sebagai upaya mengurangi risiko dan optimalisasi penggunaan sumberdaya lahan.

Rekapitulasi pilihan adaptasi untuk seluruh desa di Kecamatan Poncokusumo disajikan Tabel 1. Pilihan adaptasi secara spesifik diusulkan untuk setiap desa, dengan prioritas pilihan adaptasi yang paling banyak diusulkan untuk desa-desa di Kecamatan Poncokusumo adalah diversifikasi penghasilan (ID 1) dan intensifikasi pertanian (ID 2). Pelaksanaan SLI/SLPHT dalam meningkatkan pemanfaatan informasi iklim dan penggunaan pestisida serta sosialisasi gilir varietas untuk mengurangi intensitas OPT juga merupakan pilihan adaptasi yang paling banyak diusulkan (ID 14). Pilihan lainnya adalah sistem pertanian ramah lingkungan dengan penciptaan teknologi pengolahan tanah tanpa bakar (Herbisida atau TOT) serta mendorong praktek kearifan lokal untuk penggunaan air yang berkelanjutan (ID 15). Pada fokus optimalisasi pariwisata, pengembangan desa wisata adalah pilihan adaptasi yang paling banyak diusulkan (ID 27).

Tabel 1 Rekapitulasi pilihan adaptasi per desa di Kecamatan Poncokusumo

Fokus	ID Pilihan Adaptasi	Daftar Desa di Kecamatan Poncokusumo																	Daftar Desa
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	
Kemiskinan	1		X		X	X	X						X						
	2					X	X	X	X						X	X		X	
	3						X												
	4																X		
	5		X	X			X								X			X	
	6		X			X	X	X										X	
	7				X														
	8												X						
Lingkungan	9										X					X			
	10					X										X			
	11								X							X			
	12				X	X	X		X		X							X	
	13								X		X								
	14		X	X				X	X	X	X	X		X		X	X	X	
	15			X				X	X	X	X	X		X		X	X	X	
	16	X	X																
	17			X				X		X	X	X	X	X		X	X		
	18		X						X				X					X	
	19																	X	
	20	X		X								X	X	X	X	X	X		
	21													X					
Pariwisata	22		X																
	23	X																	
	24	X	X																
	25	X																	
	26				X	X			X						X				
	27			X	X				X	X								X	
	28				X														

**ID Pilihan Adaptasi:**

1. Diversifikasi penghasilan dan nilai tambah produksi pertanian melalui pelatihan berwirausaha seperti Pelatihan UMKM; pengelolaan pasca panen hasil pertanian (sari buah belimbing)\*\*; produk unggulan (souvenir) setempat \*\*\*; penjualan hasil susu sapi dan pengolahannya (yogurt dan keju)\*\*\*
2. Intensifikasi pertanian melalui penggunaan varietas unggul Padi, Jagung, Tomat, Kubis dan Cabai merah \*\*\*
3. Pengembangan insentif tumbuhnya industri hulu dan hilir pertanian melalui pelatihan home industry basis produk lokal\*\*\*
4. Pengembangan kawasan rumah pangan lestari (KRPL) sebagai model pemanfaatan pekarangan ramah lingkungan untuk pemenuhan pangan dan gizi keluarga, peningkatan pendapatan dan kesejahteraan petani melalui partisipasi masyarakat\*
5. Mengembangkan kelembagaan petani dan pola kerjasama kemitraan tertutup antara Perbankan, Pemerintah Daerah (Dinas Teknis), Penjamin Pasar (Off-Taker) dan Penjamin Kredit (Avalis) dalam mengatasi keterbatasan agunan petani\*\*\*
6. Perlindungan, proteksi, dan bantuan bagi petani berupa subsidi, asuransi, permodalan, PUAP, akses dan sarana pertanian\*\*
7. Pemanfaatan pemodal yang dilakukan pemerintah dalam peningkatan agribisnis berbasis masyarakat
8. Peningkatan fasilitas saprotan dan alsintan kepada petani\*\*\*
9. Pengembangan sumur isi ulang terutama di zona bagian utara kabupaten\*
10. Upaya mekanis dengan penyiapan pompa drainase/pengelolaan air lebih/sumur dangkal\*\*
11. Teknologi irigasi ((a) sumur renteng, (b) irigasi kapiler, (c) irigasi tetes, (d) irigasi semprot, (e) irigasi parit, (f) irigasi macak-macak di lahan sawah, (g) irigasi bergilir, dan (h) irigasi berselang)\*\*
12. Teknologi pengelolaan lahan dan air, pengolahan tanah, sistem irigasi intermitten, pengelolaan lahan gambut secara berkelanjutan, dan pengomposan
13. Adanya Program Penyediaan Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat (Pamsimas) dan pipanisasi mata air
14. Pelaksanaan SLI/SLPHT untuk meningkatkan pemanfaatan informasi iklim dan penggunaan pestisida\*\*; Sosialisasi gilir varietas untuk mengurangi intensitas OPT\*\*
15. Pertanian ramah lingkungan dengan penciptaan teknologi pengolahan tanah tanpa bakar (Herbisida atau TOT)\*\*; Mendorong praktek kearifan lokal untuk penggunaan air yang berkelanjutan\*\*

16. Pengembangan herbisida organik dari bahan hayati melalui 1) pelatihan pembuatan herbisida organik berbasis pada potensi lokal \* (campuran bahan bawang putih dan air kelapa) dan 2) pelatihan metode penggunaan herbisida organik sesuai bahan baku lokal; 3) Pengembangan agen hayati
17. Pengembalian kesuburan tanah dengan bahan-bahan organik dan sistem rotasi tanaman sehingga unsur hara pada tanah stabil dan pola cocok tanam responsif terhadap perubahan musim
18. Pengembalian kesuburan tanah dengan bahan-bahan organik dan sistem rotasi tanaman sehingga unsur hara pada tanah stabil dan pola cocok tanam responsif terhadap perubahan musim\*\*\*; pemanfaatan pupuk kandang dan teknologi zero waste dan pemanfaatan limbah (organik) pertanian, pupuk organik, pakan ternak, teknologi biogas dan bioenergy (kompor arang sekam)\*\*\*
19. Evaluasi dan penataan kembali tata ruang dengan pertimbangan potensi dampak perubahan iklim untuk mengejar ketertinggalan\*\*
20. Peningkatan kesiapsiagaan bencana melalui sistem peringatan dini\*\*\*
21. Pola permukiman yang linier atau the line village dengan mengikuti jalan dan aliran sungai\*
22. Agrowisata sapi perah dan pemanfaatan limbah pertanian sebagai pakan murah yang berkualitas\*\*; Pengembangan sistem integrasi tanaman-ternak (crop livestock system, CLS) untuk mengurangi risiko dan optimalisasi penggunaan sumberdaya lahan\*\*
23. Pelatihan aparat wisata (anggota pokdarwis/anggota lembaga desa wisata)
24. Pengembangan Industri Agrowisata, industri rumah tangga berbahan baku hasil pertanian, dan industri rumah tangga yang dapat menghasilkan peralatan pertanian sederhana dan oleh-oleh khas daerah\*\*
25. Pengembangan agrowisata tanaman kentang (pola terasering)\*\*\*
26. Pelatihan bagi masyarakat untuk berwirausaha dengan pengolahan produk unggulan setempat berbasis alam dan lingkungan (Ekowisata)
27. Pengembangan desa wisata pertanian dan peternakan sapi perah disertai camping ground dan homestay sehingga dapat meningkatkan penghasilan masyarakat
28. Peningkatan potensi wisata sebagai destinasi wisata prioritas nasional

## Arah Kebijakan

Pemerintahan Indonesia telah memberikan perhatian serius terhadap isu perubahan iklim. Rancangan pemerintah ini dituangkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan dalam Permen No. 33 Tahun 2016 tentang Pedoman Penyusunan Aksi Adaptasi Perubahan Iklim. Melalui kebijakan tersebut pemerintah mendorong upaya pelaksanaan adaptasi perubahan iklim dalam lingkup pusat maupun daerah. Sebagai respon atas PERMEN tersebut, perlu dilakukan Penguatan Tim Pokja Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim Kabupaten sebagai pengampu dokumen kajian. Kepemilikan dokumen juga sangat penting dalam hal ini. Pemanfaatan dokumen kajian diantaranya adalah:

- Analisis kerentanan sebagai bagian dari kajian risiko dapat digunakan untuk memetakan kondisi sosial ekonomi di Kabupaten Malang terkait aspek prioritas pembangunan yaitu: Kemiskinan, Pariwisata dan Lingkungan
- Perlunya penerbitan PerBup agar dokumen dapat dijadikan acuan dalam penyusunan Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) dan Rencana Program Pembangunan Daerah
- Kegiatan terkait perubahan iklim lanjutan yang akan dilakukan di Kabupaten Malang perlu menggunakan dokumen kajian ini sebagai referensi
- Pemetaan tingkat risiko iklim perlu dijadikan pertimbangan dalam partisipasi Kabupaten Malang sebagai wilayah pengembangan Taman Nasional Bromo, Tengger, Semeru

Rekomendasi pemanfaatan kajian tersebut diatas diusulkan berdasarkan diskusi dengan Tim kabupaten yang terlibat dalam pelaksanaan kegiatan kajian ini dibawah koordinasi BAPPEDA Kabupaten Malang. Kegiatan diskusi dilakukan pada tanggal 3 Oktober 2016 dalam rangka audiensi dengan Bapak Bupati Kabupaten Malang pada tanggal 4 Oktober 2016. Hasil audiensi menunjukkan perlunya hasil kajian untuk diteruskan dengan menggunakan informasi dan data yang berasal langsung dari lapangan oleh pihak pemerintah daerah, sehingga kajian dapat diperbaharui sesuai kebutuhan kegiatan pembangunan di Kabupaten Malang.

## Kata Pengantar

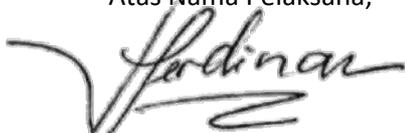
Pemerintah Indonesia cukup aktif dalam penanganan fenomena perubahan iklim dengan pertimbangan dampaknya dapat mengganggu capaian target pembangunan. Dampak perubahan iklim diidentifikasi dapat menghambat berbagai sektor ekonomi yang sensitif terhadap iklim, misalnya: pertanian dan sumberdaya air. Dengan pertimbangan fenomena perubahan iklim global akan terus berlangsung terlepas dari berbagai upaya penurunan emisi gas rumah kaca dalam upaya mengurangi pemanasan global pemicu perubahan iklim, adaptasi perubahan iklim mutlak diperlukan agar potensi dampak negatif perubahan iklim dapat diminimalisasi dan potensi dampak positifnya dapat dimanfaatkan.

Studi yang dilakukan oleh tim Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor bekerjasama dengan tim kabupaten Malang yang terdiri dari lintas SKPD dibawah koordinasi Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Kabupaten Malang, ditujukan untuk memberikan sebuah contoh proses penyusunan adaptasi perubahan iklim. Penyusunan pilihan adaptasi tersebut difokuskan untuk kawasan Agropolitan Kecamatan Poncokusumo Kabupaten Malang, sebagai pusat kegiatan pertanian secara terintegrasi. Pengembangan kawasan ini tentu saja memerlukan sumberdaya pendukung khususnya sumberdaya air yang diperlukan untuk kebutuhan pertanian, domestik, dan industri. Sehingga, analisis dampak perubahan iklim diarahkan untuk mengevaluasi ketersediaan air di kawasan Agropolitan dibawah skenario iklim masa depan. Analisis dampak tersebut dilakukan untuk melengkapi analisis kajian kerentanan dan risiko yang dilakukan untuk proses prioritas wilayah dan identifikasi faktor yang perlu diintervensi melalui kegiatan-kegiatan adaptasi perubahan iklim dengan melibatkan berbagai pemangku kepentingan di Kabupaten Malang.

Tim pelaksana kajian berharap studi yang dilakukan dapat bermanfaat bagi berbagai pihak khususnya Kabupaten Malang dan kawasan Agropolitan untuk menyusun langkah-langkah adaptasi perubahan iklim terintegrasi perencanaan pembangunan daerah. Integrasi tersebut diperlukan agar upaya adaptasi dapat dilaksanakan dan selaras dengan tujuan pembangunan, sehingga capaian target pembangunan dapat memenuhi sasaran yang ditetapkan.

Bogor, November 2016

Atas Nama Pelaksana,



Dr. Perdinan

## Daftar Singkatan

BAPPEDA	: Badan Perencanaan Daerah
BMKG	: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika
BPBD	: Badan Penganggulangan Bencana Daerah
BPS	: Badan Pusat Statistik
CHIRPS	: Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station Data
DAS	: Daerah Aliran Sungai
DIBI	: Data Indeks Bencana Indonesia
ENSO	: El-Nino Southern Oscilation
GCM	: Global Climate Model
GRK	: Gas Rumah Kaca
HEC-HMS	: Hidrologic Engineering Center – The Hydrologic Modeling System
IOD	: Indian Ocean Dipole
IPCC	: Intergovernmental Panel on Climate Change
KAPUK	: Kawasan Pengembangan Utama Komoditi
KRAPI	: Kajian Risiko dan Adaptasi Perubahan Iklim
KUR	: Kredit Usaha Rakyat
PDAM	: Perusahaan Daerah Air Minum
PDB	: Produk Domestik Bruto
RAN-API	: Rencana Aksi Nasional - Adaptasi Perubahan Iklim
RPJMD	: Rencana Pembangunan Jangka Menengah Daerah
SNC	: Second National Communication
SPARC	: Strategic Planning and Action to strengthen climate resilience of rural society
TNC	: Third National Communication
UNFCCC	: United Nations Framework Convention on Climate Change
WEAP	: Water Evaluatioan And Planning

## Glosarium

Agropolitan	: Kota pertanian yang tumbuh dan berkembang karena berjalannya sistem dan usaha agribisnis (usaha sektor pertanian dalam artian luas)
Baseline	: Informasi awal sebelum adanya intervensi
Gas Rumah Kaca	: Senyawa-senyawa kimia pemicu perubahan iklim yang mengakibatkan tertahannya gelombang panjang akibat
Kapasitas Adaptif	: Kemampuan dari suatu sistem untuk melakukan penyesuaian ( <i>adjust</i> ) terhadap perubahan iklim sehingga potensi dampak negatif dapat dikurangi dan dampak positif dapat dimaksimalkan
Kerawanan	: Karakter fisik dari kondisi suatu wilayah yang rentan terhadap bencana tertentu
Kerentanan	: Derajat atau tingkat kemudahan suatu sistem terkena atau ketidakmampuannya untuk menghadapi dampak buruk dari perubahan iklim, termasuk keragaman iklim dan iklim ekstrim.
Keterpaparan	: Keberadaan manusia, mata pencaharian, spesies/ekosistem, fungsi lingkungan hidup, jasa, dan sumber daya, infrastruktur, atau aset ekonomi, sosial, dan budaya di wilayah atau lokasi yang dapat mengalami dampak negatif sebagai dampak perubahan iklim.
Sensitivitas	: Tingkatan atau derajat dimana suatu sistem dipengaruhi atau responsif terhadap rangsangan perubahan iklim.

## Daftar Isi

Ringkasan Eksekutif.....	5
Penyusunan Adaptasi Perubahan Iklim Kabupaten Malang: Studi Kasus Kawasan Agropolitan Poncokusumo.....	5
Landasan Penyusunan Upaya Adaptasi Perubahan iklim.....	5
Latar Belakang.....	5
Proses Penyusunan Kajian.....	5
Analisis Bahaya, Kerentanan dan Risiko Perubahan Iklim.....	6
Potensi Dampak Perubahan Iklim di Kawasan Agropolitan .....	7
Proses Penyusunan Adaptasi Berdasarkan Analisis Risiko .....	10
Arah Kebijakan .....	14
Kata Pengantar.....	15
Daftar Singkatan.....	16
Glosarium.....	17
Daftar Isi.....	18
Daftar Gambar .....	21
Daftar Tabel.....	24
1.    Pendahuluan .....	25
2.    Ruang Lingkup.....	26
3.    Pendekatan .....	28
3.1.    Pemodelan dan Analisis .....	28
3.2.    Personel Kegiatan.....	29
4.    Pelaksanaan Kegiatan.....	30
Developing Vulnerability Analysis Method for Climate Change Adaptation on Agropolitan Region in Malang District .....	30
Hasil Kegiatan.....	33
Bagian 1.....	35
Analisis Potensi Wilayah Kejadian Bahaya Terkait Iklim .....	35
Pendahuluan .....	35
Ruang Lingkup dan Metodologi .....	36
Hasil dan Pembahasan .....	39
Pemetaan rawan kekeringan.....	41
Proyeksi perubahan iklim.....	42
Pemetaan rawan dengan data iklim proyeksi .....	43
Bagian 2.....	46
Analisis Kerentanan dan Keterpaparan.....	46
Pendahuluan .....	46

Metodologi .....	48
Hasil dan Pembahasan.....	50
Aspek Penyusun Komponen Agropolitan .....	50
Seleksi, Definisi dan Alasan Pemilihan Indikator Penyusun Agropolitan .....	52
Analisis Tingkat Kerentanan.....	55
Penilaian Indikator Penyusun Kerentanan.....	59
Wilayah Rentan dan Faktor Penyebabnya .....	64
Bagian 3 .....	67
Analisis Risiko Iklim Wilayah .....	67
Pendahuluan.....	67
Metodologi .....	67
Hasil dan Pembahasan.....	68
Bagian 4 .....	71
Analisis Dampak Perubahan Iklim.....	71
Pendahuluan.....	71
Deskripsi Wilayah Kajian .....	71
Metodologi .....	73
Data .....	73
Deskripsi Model .....	74
Penyusunan Jaring-jaring Unsur Hidrologi dalam <i>Basin Model</i> .....	75
Penentuan Parameter Kehilangan Presipitasi, Transformasi Hujan-Limpasan, Aliran Dasar, dan <i>Routing</i> .....	77
Kalibrasi Parameter dan Pengujian Hasil Model.....	78
Simulasi Hidrograf Aliran di Bawah Kondisi Hujan Historis dan Proyeksi .....	78
Hasil dan Pembahasan.....	79
Status Air Kecamatan Poncokusumo .....	79
Curah Hujan Historis dan Proyeksi.....	80
Ketersediaan Air di Bawah Kondisi Hujan Historis dan Skenario .....	81
Pola Spasial Ketersediaan Air.....	84
Bagian 5 .....	86
Analisis Alokasi Sumber Daya Air.....	86
Pendahuluan.....	86
Deskripsi wilayah .....	87
Kondisi geografis wilayah kajian .....	87
Kondisi iklim.....	87
Kondisi Demografi .....	87
Sosial dan ekonomi.....	88
Metodologi .....	88

Menghitung ketersediaan air .....	88
Kebutuhan air pengguna .....	88
Standar Nasional per Sektor.....	88
Domestik .....	89
Industri .....	90
Pertanian.....	90
Pengelolaan lingkungan .....	91
Alokasi sumberdaya air .....	91
Hasil dan Pembahasan .....	92
Ketersediaan air wilayah kajian.....	92
Kebutuhan Air Sektor Pertanian wilayah Poncokusumo.....	92
Kebutuhan air untuk sektor industri .....	94
Kebutuhan air untuk sektor domestik.....	95
Pemenuhan Kebutuhan Air di wilayah Poncokusumo .....	97
Alokasi sumberdaya air berdasarkan kondisi ketersediaan dan kebutuhan air .....	98
Analisis sensitivitas alokasi sumberdaya air berdasarkan perubahan ketersediaan dan kebutuhan air .....	100
Analisis alokasi berdasarkan persentase air yang bisa dimanfaatkan dan efisiensi saluran ...	104
Permasalahan alokasi sumberdaya air dan Tantangan kedepan .....	111
Kesimpulan.....	112
Bagian 6.....	115
Adaptasi Perubahan Iklim Kawasan Agropolitan .....	115
Pendahuluan .....	115
Metodologi.....	115
Hasil dan Pembahasan .....	116
Adaptasi Perubahan Iklim Tingkat Kabupaten .....	116
Adaptasi Perubahan Iklim Tingkat Kecamatan dan Desa .....	117
Prioritas Desa Target Penanganan Adaptasi .....	119
Pilihan Adaptasi Berdasarkan Hasil Diskusi Bersama <i>Stakeholders</i> .....	120
Rekomendasi Pilihan Adaptasi Perubahan Iklim Kawasan Agropolitan .....	121
Penutup dan Arahkan .....	133
Referensi .....	136

## Daftar Gambar

Gambar 1.	Konsultasi dan rangkaian kegiatan dengan para pihak di daerah kajian .....	6
Gambar 2.	Distribusi spasial Keterpaparan (a); Sensitivitas (b); Kapasitas Adaptasi (c); dan Kerentanan (d), potensi wilayah kejadian bahaya kekeringan <i>baseline</i> (bawah-kiri) dan risiko <i>baseline</i> (bawah-tengah) and proyeksi (bawah-kanan) di Kabupaten Malang.....	7
Gambar 3.	Peta Keterpaparan (a); Sensitivitas (b); Kapasitas Adaptasi (c); dan Kerentanan (d), peta bahaya kekeringan <i>baseline</i> di Kawasan Agropolitan Kabupaten Malang.....	7
Gambar 4.	Ketersediaan air permukaan rata-rata secara spasial pada kondisi saat ini (A) dan masa depan (B dan C) .....	8
Gambar 5.	Ketercukupan air pada masing-masing desa di Poncokusumo pada bulan Januari hingga Desember tahun 2015 .....	9
Gambar 6.	Perbandingan jumlah ketercukupan air sektor domestik dan industri berdasarkan sebaran desa di Poncokusumo (kiri) dan berdasarkan sebaran bulan (kanan) menggunakan data <i>baseline</i> (data saat ini) dengan data proyeksi model MIROC dan CSIRO.....	10
Gambar 7.	Perbandingan jumlah ketercukupan air sektor pertanian berdasarkan sebaran desa di Poncokusumo (kiri) dan berdasarkan sebaran bulan (kanan) menggunakan data <i>baseline</i> (data saat ini) dengan data proyeksi model MIROC dan CSIRO .....	10
Gambar 8	Proses penyusunan adaptasi perubahan iklim dengan berbagai aspek pertimbangan .....	11
Gambar 9.	Tahapan konsultasi dengan para pihak di Kabupaten Malang .....	28
Gambar 10.	Kegiatan analisis perubahan iklim sektoral.....	28
Gambar 11.	Prosedur analisis bahaya bencana kekeringan.....	39
Gambar 12.	Analisis curah hujan bulanan dan tren suhu udara tahunan Stasiun Iklim Karangploso dan Karangkates periode 1991-2011 .....	40
Gambar 13.	Curah hujan dan suhu udara tahunan periode <i>baseline</i> (1971-2000) menggunakan luaran Worldclim .....	40
Gambar 14.	Pemetaan wilayah tingkat potensi rawan bencana kekeringan di Kabupaten Malang (Kiri) dan Kecamatan Poncokusumo (Kanan).....	41
Gambar 15.	Petal <i>Chart</i> Sub-Indikator yang berkontribusi terhadap bencana .....	42
Gambar 16.	Proyeksi perubahan curah hujan periode tahun 2021-2050 .....	42
Gambar 17.	Proyeksi perubahan suhu udara periode tahun 2021-2050 .....	43
Gambar 18.	Pemetaan wilayah tingkat potensi rawan bencana kekeringan di Kabupaten Malang tahun <i>baseline</i> dan proyeksi.....	44
Gambar 19.	Pemetaan wilayah tingkat potensi rawan bencana kekeringan di Kecamatan Poncokusumo tahun <i>baseline</i> dan proyeksi .....	44
Gambar 20.	Konsep hierarki penyusunan komponen tingkat kerentanan.....	48
Gambar 21.	Konsep model tingkat kerentanan berdasarkan Model IPCC & Perka BNPB 02/2012 .....	49
Gambar 22.	Indikator pembentuk tingkat kerentanan .....	53
Gambar 23.	Peta keterpaparan Kabupaten Malang dan Kecamatan Poncokusumo .....	55
Gambar 24.	Peta sensitivitas Kabupaten Malang dan Kecamatan Poncokusumo .....	57
Gambar 25.	Peta kapasitas adaptasi Kabupaten Malang dan Kecamatan Poncokusumo.....	58
Gambar 26.	Peta kerentanan Kabupaten Malang dan Kecamatan Poncokusumo.....	59
Gambar 27.	Persentase kategori setiap komponen .....	59
Gambar 28.	Identifikasi faktor berkontribusi terhadap keterpaparan dan kerentanan di Kabupaten Malang.....	60

Gambar 29.	Identifikasi faktor berkontribusi terhadap keterpaparan dan kerentanan di Kecamatan Poncokusumo.....	62
Gambar 30.	Perbandingan dan identifikasi faktor berkontribusi terhadap keterpaparan dan kerentanan di Desa Sumberejo dan Desa Poncokusumo, Kecamatan Poncokusumo.....	63
Gambar 31.	Pengembangan konsep kajian risiko berdasarkan IPCC 2014 dan PERKA BNPB No.2/2012 .....	68
Gambar 32.	Risiko baseline Kabupaten Malang .....	69
Gambar 33.	Risiko proyeksi periode 2030 (2021-2050) Kabupaten Malang .....	69
Gambar 34.	Posisi DAS Brantas, Kabupaten Malang dan Kecamatan Poncokusumo .....	72
Gambar 35.	Posisi Kecamatan Poncokusumo terhadap DAS Ambang dan Lesti .....	72
Gambar 36.	Proses hujan-limpasan dalam struktur model HEC-HMS (Cunderlik and Simonovic 2004).....	74
Gambar 37.	Konstruksi curah hujan wilayah berdasarkan metode poligon Thiessen .....	76
Gambar 38.	Jaring-jaring unsur hidrologi ( <i>element network</i> ) dalam <i>basin model</i> . Garis arsir miring menunjuk pada Sub-DAS Ambang sedangkan arsir vertikal menunjuk pada Sub-DAS Lesti .....	77
Gambar 39.	Aliran analisis dalam penyusunan hidrograf (debit aliran) di bawah kondisi curah hujan historis dan proyeksi .....	78
Gambar 40.	Ketersediaan dan kebutuhan air di DAS Brantas (Bappenas 2012).....	79
Gambar 41.	Pola hujan bulanan untuk data hujan Observasi (Stasiun Poncokusumo) dan CHIRPS v2.0 periode 2000-2010.....	80
Gambar 42.	(a) adalah variabilitas dan tren curah hujan tahunan di Poncokusumo periode 1990-2010 berdasarkan sumber data CHIRPS v2.0 dan (b) adalah variabilitas dan tren curah hujan proyeksi periode 2021-2035 berdasarkan data model GCM CSIRO (garis utuh warna biru dan garis putus-putus warna merah) dan MIROC (garis utuh warna coklat dan garis putus-putus warna hijau).....	81
Gambar 43.	Hubungan antara parameter volume debit puncak ( $V_p$ ) hasil model HEC-HMS dan observasi untuk tahun 2010 dalam bentuk grafik 1 : 1. Notasi a dan b secara berturut-turut menunjuk pada stasiun Tawangrejeni dan Gadang .....	82
Gambar 44.	Debit aliran pada Subbasin-5 (Sub-DAS Ambang) dan Subbasin-1 (Sub-DAS Lesti) tahun 2010. Gambar a dan b menunjukkan debit aliran di Subbasin-5 dan Subbasin-1 sedangkan notasi 1, 2 dan 3 berturut-turut merepresentasikan kondisi hujan historis, proyeksi berdasar data GCM MIROC, dan GCM CSIRO. Notasi $Q_T$ , $Q_S$ , dan $Q_R$ secara berturut-turut menunjuk pada status debit aliran tinggi, sedang dan rendah .....	83
Gambar 45.	Ketersediaan air permukaan secara spasial pada kondisi saat ini (A) dan masa depan (B) .....	84
Gambar 46	Tampilan skematik WEAP untuk alokasi sumberdaya air .....	92
Gambar 47	Penggunaan air sawah di Poncokusumo.....	93
Gambar 48	Peta penggunaan air sektor pertanian (ribu m <sup>3</sup> ) kawasan poncokusumo .....	94
Gambar 49	Sebaran kebutuhan air untuk industri di wilayah Poncokusumo.....	95
Gambar 50	Sebaran kebutuhan air untuk sektor domestik di wilayah Poncokusumo .....	96
Gambar 51	Peta penggunaan air sektor domestik dan industri (ribu m <sup>3</sup> ) kawasan Agropolitan, Poncokusumo .....	96
Gambar 52	Ketercukupan air pada masing-masing desa di Poncokusumo pada bulan Januari hingga Desember tahun 2015.....	98
Gambar 53	Skema alokasi sumberdaya air kawasan Poncokusumo .....	98
Gambar 54	Jumlah ketersediaan air pada kedua sungai di kawasan Poncokusumo.....	99
Gambar 55	Total distribusi air yang dialokasikan tiap bulan untuk sektor domestik, industri dan pertanian.....	99

Gambar 56	Jumlah ketersediaan air dan kebutuhan air di wilayah Poncokusumo.....	100
Gambar 57	Analisis sensitivitas pengurangan ketersediaan air dengan tingkat pengurangan 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari ketersediaan normal di wilayah Poncokusumo (kiri) serta tingkat keterpenuhan kebutuhannya dalam persen (kanan) .....	102
Gambar 58	Analisis sensitivitas peningkatan kebutuhan air dengan tingkat peningkatan 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari kebutuhan normal di wilayah Poncokusumo .....	103
Gambar 59	Tingkat keterpenuhan kebutuhan air dalam persen saat peningkatan jumlah kebutuhan air 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari kebutuhan normal di wilayah Poncokusumo .....	104
Gambar 60	Ketersediaan air di sungai Amprong dan sungai Lesti setelah dikurangi menjadi 30% dari total ketersediaan normal .....	105
Gambar 61	Jumlah ketercukupan air sektor domestik dan industri berdasarkan sebaran desa di Poncokusumo (kiri) dan berdasarkan sebaran bulan (kanan) .....	106
Gambar 62	Jumlah ketercukupan air sektor pertanian berdasarkan sebaran desa di Poncokusumo (kiri) dan berdasarkan sebaran bulan (kanan) .....	106
Gambar 63	Analisis spasial alokasi sumberdaya air terhadap kebutuhan air sektor domestik, dan industri di wilayah Poncokusumo. ....	107
Gambar 64	Analisis spasial alokasi sumberdaya air terhadap kebutuhan air sektor pertanian di wilayah Poncokusumo.....	107
Gambar 65	Jumlah total alokasi air di sungai Amprong dan sungai Lesti dengan asumsi 30% air yang tersedia teralokasikan serta jumlah kebutuhan air dengan efisiensi saluran sebesar 40% di wilayah Poncokusumo .....	108
Gambar 66	Analisis spasial alokasi sumberdaya air terhadap total kebutuhan air sektor pertanian, domestik, dan industri di wilayah Poncokusumo.....	109
Gambar 67	Proyeksi total alokasi air di sungai Amprong dan sungai Lesti berdasarkan model MIROC (atas) dan model CSIRO (bawah) dengan asumsi 30% air yang tersedia teralokasikan serta jumlah kebutuhan air dengan efisiensi saluran sebesar 40% di wilayah Poncokusumo .....	110
Gambar 68	Perbandingan jumlah ketercukupan air sektor domestik dan industri berdasarkan sebaran desa di Poncokusumo (kiri) dan berdasarkan sebaran bulan (kanan) menggunakan data <i>baseline</i> (data saat ini) dengan data proyeksi model MIROC dan CSIRO.....	111
Gambar 69	Perbandingan jumlah ketercukupan air sektor pertanian berdasarkan sebaran desa di Poncokusumo (kiri) dan berdasarkan sebaran bulan (kanan) menggunakan data <i>baseline</i> (data saat ini) dengan data proyeksi model MIROC dan CSIRO .....	111
Gambar 70.	Tahapan penyusunan adaptasi dari berbagai partisipasi .....	115
Gambar 71.	Proses penyusunan adaptasi perubahan iklim dengan berbagai aspek pertimbangan .....	116
Gambar 72.	Jumlah desa di Kabupaten Malang berdasarkan tingkat prioritas hasil analisis indikator keterpaparan, sensitivitas dan kapasitas .....	117
Gambar 73.	Identifikasi faktor berkontribusi terhadap keterpaparan dan kerentanan di Kecamatan Poncokusumo .....	118
Gambar 74.	Perbandingan dan identifikasi faktor berkontribusi terhadap keterpaparan dan kerentanan di <b>Desa Sumberejo dan Desa Poncokusumo</b> , Kecamatan Poncokusumo .....	119
Gambar 75.	Daftar pilihan adaptasi per desa Kecamatan Poncokusumo sesuai masukkan dan rekomendasi para pemangku kewenangan Kabupaten Malang .....	121
Gambar 76	Struktur Ekosistem Kawasan Agropolitan pada Zona Poncokusumo .....	126

Gambar 77	Rencana Struktur Ruang Kawasan Agropolitan Kecamatan Poncokusumo. Sumber: Badan Perencanaan Kabupaten Malang 2007.....	126
Gambar 78	Zonasi (kiri) dan Tipologi (kanan) kawasan agropolitan Kecamatan Poncokusumo Kabupaten Malang. Sumber: Hasil Analisis Badan Perencanaan Kabupaten Malang 2007. ....	127

## Daftar Tabel

Tabel 1	Rekapitulasi pilihan adaptasi per desa di Kecamatan Poncokusumo.....	13
Tabel 2.	Indikator penilaian ambang batas model kekeringan .....	37
Tabel 3.	Kriteria Indeks .....	49
Tabel 4.	Daftar indikator terkait aspek pertanian penyusun agropolitan pada ketiga komponen tingkat kerentanan.....	50
Tabel 5.	Daftar indikator terkait aspek ekonomi penyusun agropolitan pada ketiga komponen tingkat kerentanan.....	51
Tabel 6.	Daftar indikator terkait aspek industri penyusun agropolitan pada ketiga komponen tingkat kerentanan.....	52
Tabel 7.	Daftar indikator terkait aspek pariwisata penyusun agropolitan pada ketiga komponen tingkat kerentanan.....	52
Tabel 8.	Jumlah penggunaan data dan informasi penyusun indikator .....	52
Tabel 9	Daftar Indikator agropolitan beserta pembobotannya.....	53
Tabel 10.	Komponen utama faktor keterpaparan dan kerentanan di Desa Sumberejo dan Desa Poncokusumo, Kecamatan Poncokusumo.....	65
Tabel 11.	Debit sungai dan koefisien rejim sungai di DAS Brantas Hulu.....	73
Tabel 12.	Bobot stasiun hujan .....	76
Tabel 13	Standar Kebutuhan Air Bersih Berbagai Sektor.....	89
Tabel 14.	Kebutuhan air bersih rumah tangga per orang per hari menurut kategori kota .....	89
Tabel 15.	Kebutuhan Air Industri Berdasarkan Beberapa Proses Industri .....	90
Tabel 16	Luas daerah irigasi di kecamatan Poncokusumo.....	93
Tabel 17	Jumlah industri di wilayah Poncokusumo .....	94
Tabel 18	Jumlah penduduk per desa di kecamatan Poncokusumo dan kebutuhan air per kapita .....	95
Tabel 19.	Daftar desa berisiko kekeringan dan perencanaan waktu pelaksanaan adaptasi di Kecamatan Poncokusumo .....	119
Tabel 20	Rekomendasi pilihan adaptasi Kabupaten Malang .....	123
Tabel 21	Rekapitulasi pilihan adaptasi per desa di Kecamatan Poncokusumo.....	124
Tabel 22	Rekomendasi pilihan adaptasi berdasarkan karakteristik penentu tipologi kawasan agropolitan .....	129

## 1. Pendahuluan

Perubahan iklim merupakan fenomena global yang juga memiliki dampak sampai tingkat regional maupun lokal. Menurut hasil laporan dari *Assessment Report 5 (AR5)* (IPCC 2014), dampak perubahan iklim berbeda untuk setiap wilayah di dunia. Tingkat keterpaparan suatu wilayah terhadap perubahan iklim dipengaruhi oleh kemampuan wilayah tersebut untuk beradaptasi serta mitigasi yang dilakukan. Indonesia merupakan salah satu negara yang sangat rentan terhadap perubahan iklim. Posisi Indonesia yang berada di wilayah tropis menyebabkan wilayah Indonesia memiliki curah hujan tahunan yang tinggi, dan hal ini merupakan salah satu penyebab Indonesia memiliki kerentanan yang tinggi terhadap perubahan iklim yang terjadi.

Berdasarkan hasil kajian diperoleh bahwa curah hujan di wilayah Indonesia diproyeksikan akan meningkat pada periode yang akan datang. Demikian juga halnya dengan suhu udara rata-rata di Indonesia. Suhu udara diproyeksikan meningkat pada periode mendatang. Berdasarkan data historis sampai dengan akhir abad 20, Indonesia mengalami peningkatan suhu sebesar 0.5°C. Peningkatan suhu tersebut diproyeksikan semakin meningkat pada periode mendatang dengan peningkatan suhu sebesar 0.8 °C pada periode tahun 2020 dan peningkatan suhu sebesar 1.0 °C pada periode 2050, lebih tinggi jika dibandingkan dengan peningkatan suhu yang terjadi pada periode 1960 – 1990 (BAPPENAS 2010). Pemanasan global dalam jangka panjang mempengaruhi sistem bumi yang pada akhirnya memacu terjadinya perubahan iklim di bumi. Perubahan iklim merupakan kondisi yang ditunjukkan dengan adanya perubahan pada parameter iklim pada periode tertentu dibandingkan dengan periode pada masa lampau. Perubahan iklim ini juga dipicu oleh adanya aktivitas manusia yang menghasilkan emisi gas rumah kaca pada (GRK) jangka panjang. Pemanasan global sebagai dampak dari adanya peningkatan gas rumah kaca berdampak pada peningkatan atau penurunan curah hujan pada wilayah tertentu. Perubahan curah hujan baik kuantitas maupun kualitas secara langsung akan berpengaruh pada ketersediaan air di suatu wilayah.

Terkait dengan upaya pemerintah untuk menurunkan emisi GRK dan beradaptasi dengan perubahan iklim yang terjadi, pemerintah daerah perlu menyusun rencana adaptasi perubahan iklim daerah. Penyusunan rencana adaptasi tersebut dilakukan dengan memanfaatkan kajian terhadap dampak perubahan iklim. Secara tidak langsung, kajian terhadap perubahan iklim menjadi dasar dalam pengembangan opsi penurunan emisi dengan mempertimbangkan biaya investasi yang diperlukan.

Berdasarkan rencana pewilayahan dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Provinsi Jawa Timur, Kabupaten Malang diarahkan sebagai kawasan ekonomi potensial yang mencakup Kawasan Pengembangan Utama Komoditi (KAPUK) dan kawasan pengembangan utama. Kabupaten Malang menjadi wilayah pengembangan utama komoditi hortikultura terutama yang berpusat di Kecamatan Poncokusumo, yang sekaligus juga ditetapkan sebagai kawasan pengembangan utama budidaya tanaman hortikultura dengan konsep agropolitan.

Untuk mencapai sasaran pengembangan kawasan agropolitan diperlukan perencanaan yang mencakup aspek sosial, ekonomi, tata ruang dan lingkungan hidup. Salah satu komponen lingkungan hidup adalah penataan sumberdaya air berkelanjutan. Sumberdaya air merupakan salah satu sektor yang sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim. Perubahan yang terjadi pada parameter iklim baik curah hujan dan suhu udara serta parameter lainnya secara langsung maupun tidak langsung berpengaruh pada kondisi sumberdaya air di wilayah tersebut.

Berdasarkan hasil survei pada tahun 2012, Kabupaten Malang merupakan salah satu wilayah yang memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap perubahan iklim, terutama pada sektor sumberdaya air dan pertanian. Oleh karena itu menjadi penting untuk dilakukan kajian dampak perubahan iklim yang lebih detail khususnya di Kabupaten Malang. Berdasarkan pertimbangan tersebut, Kabupaten Malang, khususnya kecamatan Poncokusumo yang merupakan sentra pertanian dan kawasan agropolitan dipilih untuk menjadi lokasi kegiatan Analisis Adaptasi Perubahan Iklim Kawasan Agropolitan Kabupaten Malang.

Sumberdaya air merupakan salah satu komponen terkait dengan adaptasi terhadap perubahan iklim yang terjadi sehingga kajian kerentanan mutlak diperlukan. Dalam kaitan dengan pengembangan wilayah agropolitan di Kabupaten Malang khususnya kecamatan Poncokusumo, perlu diadakan kajian kerentanan yang lebih detail. Kajian kerentanan diharapkan memberikan gambaran terhadap potensi kerugian ataupun masalah yang dapat timbul dimasa mendatang. Selain itu hasil dari kajian ini dapat dikembangkan menjadi beberapa program adaptasi dalam upaya untuk mengurangi risiko di masa depan.

Kajian kerentanan ini menjadi dasar dalam penyusunan dokumen rencana aksi adaptasi perubahan iklim. Dokumen rencana aksi tersebut mampu menjadi salah satu dokumen referensi penyusunan rencana aksi daerah adaptasi perubahan iklim yang bermuara pada rencana aksi nasional perubahan iklim. Hasil kajian ini juga menjadi dasar penyusunan rencana pembangunan daerah. Seluruh proses tersebut dilakukan dalam runtutan kegiatan yang saling terkait dalam upaya mencapai tujuan akhir berupa dokumen rencana aksi daerah adaptasi perubahan iklim yang sesuai dengan dokumen rencanan pembangunan daerah.

Laporan ini terdiri dari beberapa komponen yaitu pendahuluan yang mencakup latar belakang dan cakupan kegiatan kemudian dilanjutkan dengan pendekatan yang terdiri dari pemodelan dan analisis serta personel yang diperlukan dalam pelaksanaan kegiatan. Laporan dilengkapi dengan informasi mengenai kemajuan kegiatan yang terdiri dari 5 (lima) komponen dan dijelaskan secara rinci pada masing-masing lampiran. Pada bagian akhir disertakan rencana kegiatan yang akan dilakukan dan diletakkan pada Lampiran 6.

## 2. Ruang Lingkup

Sejak tahun 2010, pemerintah Indonesia telah melaporkan kegiatan perkembangan perubahan iklim melalui *Second National Communication* (2010). Sebagai kelanjutan dari laporan tersebut, saat ini pemerintah Indonesia melalui KLHK sedang menyusun *Third National Communication* (TNC) untuk melaporkan perkembangan inisiatif-inisiatif perubahan iklim di Indonesia.

Dalam proses penyusunan laporan TNC, Kabupaten Malang dipilih sebagai salah satu lokasi studi kasus untuk pelaksanaan kajian risiko perubahan iklim dan penyusunan upaya adaptasinya. Selain Kabupaten Malang, terdapat 9 lokasi studi lainnya yang tersebar diberbagai pulau besar di Indonesia, yaitu: Sumatera, Jawa, Sulawesi, Nusa Tenggara. Secara khusus, kegiatan kajian di Kabupaten Malang juga difokuskan pada kawasan Agropolitan di Kecamatan Poncokusumo. Studi kasus tersebut dipilih sebagai bahan untuk mendapatkan pembelajaran tentang kerentanan, risiko dan dampak perubahan iklim sebagai dasar penyusunan strategi adaptasi yang dapat diselaraskan dengan perencanaan pembangunan.

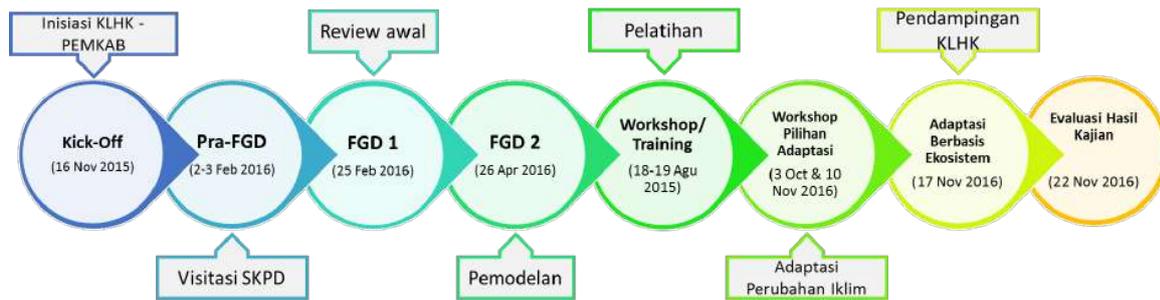
Kegiatan Analisis Adaptasi Perubahan Iklim Kawasan Agropolitan Kabupaten Malang dengan wilayah kajian kabupaten Malang khususnya kecamatan Poncokusumo sampai saat laporan disusun, mencakup luaran untuk beberapa kegiatan utama yang diawali dengan persiapan sampai dengan diseminasi hasil kegiatan yang saling terkait yang merujuk pada tujuan akhir berupa tersusunnya rekomendasi adaptasi terhadap perubahan iklim (Gambar 10). Bahaya kekeringan dianggap sebagai pokok bahasan pada kajian ini berdasarkan hasil diskusi dengan SKPD Kabupaten

Malang. Potensi bahaya kekeringan dapat berdampak pada ketersediaan sumberdaya air dan alokasinya. Oleh sebab itu, sumberdaya air menjadi fokus bahasan pada kajian ini. Dokumen ini selanjutnya digunakan sebagai referensi/acuan dalam penyusunan rencana aksi adaptasi daerah terhadap perubahan iklim. Selain sebagai kegiatan utama, luaran dari kegiatan tersebut juga menjadi indikator ketercapaian dari keseluruhan kegiatan. Setiap luaran secara umum menjelaskan karakteristik kabupaten namun beberapa luaran secara spesifik memiliki ruang lingkup tersendiri. Kegiatan tersebut meliputi:

1. Analisis Potensi Bahaya Terkait Iklim. Luaran ini mencakup wilayah kabupaten dengan pencapaian luaran berupa:
  - a. Pemetaan bahaya kekeringan
  - b. Pemetaan bahaya kekeringan proyeksi
2. Model Kerentanan Agropolitan. Luaran ini mencakup ruang lingkup kabupaten. Komponen ini memiliki indikator pencapaian berupa luaran:
  - a. Model kerentanan untuk kawasan agropolitan
  - b. Peta kerentanan kawasan agropolitan.
3. Model analisis risiko perubahan iklim untuk agropolitan. Ruang lingkup luaran ini mencakup kawasan kabupaten. Komponen ini memiliki indikator pencapaian berupa luaran:
  - a. Model analisis risiko perubahan iklim pada kawasan agropolitan
  - b. Peta tingkat risiko iklim pada agropolitan
4. Analisis dampak perubahan iklim. Ruang lingkup luaran ini secara spesifik menjelaskan Kecamatan Poncokusumo sebagai kawasan agropolitan. Komponen ketiga ini memiliki indikator pencapaian berupa luaran:
  - a. Model analisis dampak perubahan iklim pada kawasan agropolitan
  - b. Laporan dampak perubahan iklim pada kawasan agropolitan
5. Analisis adaptasi perubahan iklim. Secara detail, luaran ini memberikan rekomendasi khususnya untuk Kecamatan Poncokusumo sebagai kawasan agropolitan. Komponen ini memiliki indikator luaran:
  - a. Pilihan adaptasi perubahan iklim yang telah dikonsultasikan dengan stakeholder, khususnya kawasan agropolitan
  - b. Penguatan kapasitas dari *stakeholder* terkait adaptasi perubahan iklim
  - c. Kesesuaian pilihan adaptasi dengan perencanaan pembangunan daerah

Proses penyusunan kajian dilakukan dengan mempertimbangkan langkah-langkah yang disarankan dalam PERMEN KLHK 33/2016. Partisipasi para pihak (*stakeholders*) dalam penyusunan kajian merupakan komponen penting dalam upaya memahami karakteristik dan kapasitas wilayah kajian. Berbagai satuan kerja perangkat daerah (SKPD) dilibatkan secara aktif dibawah koordinasi BAPPEDA.

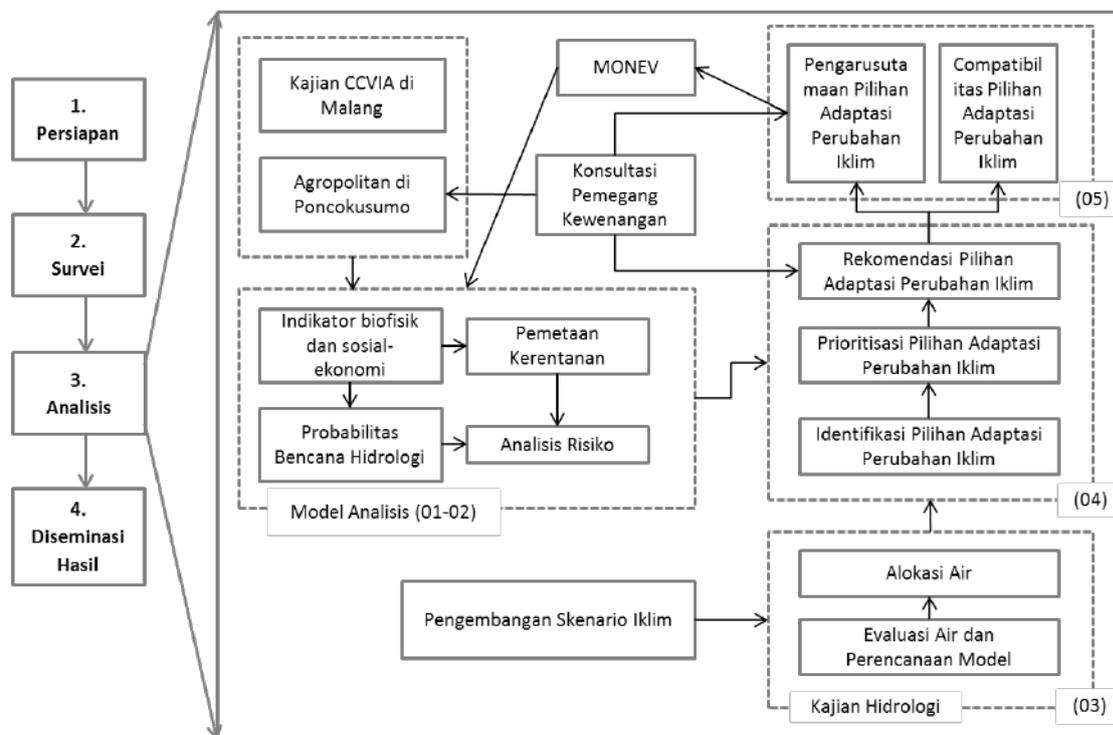
Melalui berbagai kegiatan komunikasi dan diskusi, misalnya: dialog terfokus (FGD), workshop dan pelatihan. Tim tenaga ahli, sebagaimana diamanatkan dalam PERMEN KLHK 33/2016 juga bekerjasama secara aktif dengan BAPPEDA dalam pelaksanaan kajian, khususnya terkait dengan pemenuhan atas kebutuhan data dan informasi yang diperlukan dalam pemodelan tingkat risiko dan dampak perubahan iklim sebagai dasar penyusunan pilihan langkah antisipasi (adaptasi) perubahan iklim. Dalam penyusunan pilihan adaptasi tersebut, perwakilan SKPD terlibat secara aktif untuk mengidentifikasi dan menyusun langkah-langkah rekomendasi pilihan adaptasi di kawasan Agropolitan Poncokusumo (Gambar 9).



Gambar 9. Tahapan konsultasi dengan para pihak di Kabupaten Malang

### 3. Pendekatan

#### 3.1. Pemodelan dan Analisis



Gambar 10. Kegiatan analisis perubahan iklim sektoral

Secara umum kegiatan ini dilakukan dalam 4 (empat) tahap kegiatan utama yaitu 1) Persiapan, 2) Survei lapangan, 3) Analisis dan 4) Diseminasi hasil kegiatan yang telah dilaksanakan. Penjelasan masing-masing tahapan dijelaskan pada bagian berikut.

#### 1. Persiapan.

Tahap persiapan terdiri dari persiapan administrasi termasuk didalamnya surat-menyurat serta inventarisasi data terkait lokasi kegiatan.

#### 2. Survei lapangan.

Tahapan survei berupa kegiatan dengan mendatangi lokasi kajian untuk mendapatkan data/informasi terkait lokasi kajian. Survei ini dilakukan dengan kuisisioner kepada stakeholder yang kemudian dilanjutkan dengan kegiatan FGD/workshop untuk mendapatkan masukan baik dari pemerintah maupun juga masyarakat terkait (*stakeholders*).

### 3. Data analisis.

Proses analisis merupakan proses ketiga yang didalamnya terdiri dari beberapa sub kegiatan/aktivitas. Aktivitas tersebut seperti yang tercantum pada gambar di atas. Aktivitas yang dilakukan meliputi:

- *Review* terhadap dokumen terkait adaptasi perubahan iklim terutama untuk daerah kajian
- Pengembangan model untuk analisis risiko iklim pada daerah kajian yang akan digunakan untuk membuat peta kerentanan wilayah kajian
- Analisis sumberdaya air untuk mengkaji neraca air, ketersediaan air dan bencana terkait iklim terkait sumberdaya air
- Penyusunan opsi adaptasi untuk wilayah kajian
- Penyusunan dokumen untuk *kompatibilitas* opsi adaptasi dan dokumen pembangunan wilayah kajian

### 4. Diseminasi hasil.

Diseminasi hasil dilakukan setelah analisis selesai dilakukan sesuai dengan rentang waktu kegiatan yang sudah direncanakan. Kegiatan tersebut berupa FGD, seminar atau *workshop*.

## 3.2. Personel Kegiatan

Secara umum kegiatan ini memiliki beberapa tahapan yang memerlukan tenaga ahli yang kompeten dalam pelaksanaannya. Dalam menunjang pelaksanaan kegiatan untuk mencapai tujuan seperti yang telah ditetapkan, tenaga ahli yang diperlukan adalah:

1. Tenaga ahli kerentanan sosial dan ekonomi
2. Tenaga ahli risiko dan adaptasi perubahan iklim
3. Tenaga ahli pemodelan hidrologi
4. Tenaga ahli pengelolaan sumberdaya air

Masing-masing tenaga ahli tersebut dibantu oleh seorang asisten dan dua orang mahasiswa yang bertugas untuk membantu kelancaran proses analisis data selama kegiatan serta kegiatan teknis lainnya. Tugas asisten secara spesifik adalah melaksanakan kegiatan operasional pada masing-masing bidang termasuk penyiapan data, survei dan kegiatan di lapangan.

Selanjutnya pelaksanaan kegiatan didukung beberapa FGD dan workshop yang melibatkan pihak lokal daerah dengan tujuan memperoleh masukan untuk kebutuhan kajian. Pihak yang terlibat dalam hal ini sebagai kontributor antara lain: Edi Suhastono (Bappeda), Bambang (Bappeda), Basori (Bappeda), Bayu (Bappeda), Emma Kartika (Bappeda), Ira Sistrantiani (Bappeda), Puni (Bappeda), Agus Satriyo dan Ida Juliana (Disperindag), Agus Sudibyo (Badan Pusat Statistik Kab. Malang), Aminudin (BMKG), Hartanto (BMKG), Angga Widyo, Hermien, dan Astria Nugrahany (Perum Jasa Tirta), April (BPBD), Catur GSN (Distanbun), Dhyah Desianni (Balitbang), Donawi (Gapoktan), Dyah (BLH), Edy Pramono (Disbudpar), Hadi (PDAM), Harmono (DRD), Irien Af (BBWS), Jefri (PDAM), Joni Samsul Hadi (BPBD), Kukuh (Balitbang), Kusman (Gapoktan), Liswan (Disbudpar), Naning (Distanbun), Renung (Dinas Cipta Karya), Siti Maya (TNBTS), Sumar (Gapoktan), Tomie (Distanbun), Victor (Disnakerkeswan), Warih Kusumo (Dinas Perairan).

## 4. Pelaksanaan Kegiatan

Setelah laporan pertama yang dikirimkan tanggal 8 Juni 2016, kegiatan lanjutan yang telah dilaksanakan meliputi: 1) Analisis Potensi Wilayah Kejadian Bahaya Terkait Iklim, 2) Analisis Kerentanan dan Keterpaparan, 3) Analisis Risiko Iklim Wilayah, 4) Analisis Dampak Perubahan Iklim, 5) Analisis Alokasi Sumber Daya Air, dan 6) Penyusunan Adaptasi Perubahan Iklim. Hasil pelaksanaan untuk setiap bagian disajikan pada bagian selanjutnya dalam laporan ini. Beberapa luaran kajian juga sudah dimasukkan ke dalam kegiatan ISS (International Science Summit) 2016. Hasil dokumentasi dalam kegiatan tersebut terlampir dibawah ini.

### Developing Vulnerability Analysis Method for Climate Change Adaptation on Agropolitan Region in Malang District

Yon Sugiarto<sup>1,2,3</sup>, Perdinan<sup>1,2,3</sup>, Tri Atmaja<sup>2,3</sup>, Arif Wibowo<sup>4</sup>, Enggar Yustisi Arini<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Department of Geophysics and Meteorology, Bogor Agricultural University

<sup>2</sup> Prima Intelektual Area (PI AREA)

<sup>3</sup> Generasi Hijau Indonesia

<sup>4</sup> Ministry of Environment and Forestry

E-mail: [yon.ipb@gmail.com](mailto:yon.ipb@gmail.com)

**Abstract.** Agriculture plays a very strategic role in strengthening the sustainability development. Through the concept of agropolitan, the village is become the center of economic activities based on agriculture, agro-industry, agribusiness and tourism that able to have a high value-added economy. The impact of climate change on agriculture and water resources will increase pressure on agropolitan development. It needs an assessment method that can measure the vulnerability of an area-based communities in the agropolitan of the climate change impact. Development of agropolitan vulnerability analysis method is conducted in Malang district based on the four aspects and considering the availability and distribution of water as the problem. The indicators used to measure is vulnerability component which consist of sensitivity and adaptive capacity and exposure component. The studies earn 21 indicators derived from the 115 village-based data. The results of vulnerability assessments shows most of the villages are at a moderate level. Around 20% of 388 villages are categorized at high to very high level of vulnerability due to low level of agricultural economic. Especially for agropolitan region in the sub district Poncokusumo, the vulnerability of the villages varies between very low to very high. The most villages are vulnerable due to the low adaptive capacity, eventhough the level of sensitivity and exposure of all villages are relatively similar. The existence of water resources was the biggest contributor to the high exposure of the villages in the Malang district, while the reception facilities of credit and source of family income as indicators leading to high sensitivity component.

**Keyword:** Water, village, economy, industry, tourism, agriculture, Podes, Poncokusumo

## Regional Analysis of Potential Drought Areas under Future Climate Change Scenarios: Case Study Agropolitan of Malang District

Perdinan<sup>\*123</sup>, Ryco F Adi<sup>23</sup>, and Enggar Y Arini<sup>23</sup>

<sup>1</sup> Department of Geophysics and Meteorology, Bogor Agricultural University

<sup>2</sup> Prima Intelektual Area (PI AREA)

<sup>3</sup> Generasi Hijau Indonesia

E-mail: [perdinan@gmail.com](mailto:perdinan@gmail.com)

### Abstract

Global climate change challenges livelihoods across the globe considering its potential impacts. Consequently, climate change adaptation (CCA) strategies should be devised to minimize its negative and maximize its positive impacts. In response to the needs for developing CCA strategies, climate risk assessment should be conducted as an approach to identify contributed factors to the climate risks in a region with which the adaptation strategies are then developed. This study focuses on the development of mapping climate related hazards over specialized areas called Agropolitan located in Malang district. The analysis is focused on defining drought potential areas. The model was developed based on the concept of drought in combination with spatial analysis. The model included climate component (i.e., rainfall and evapotranspiration) and biophysical component (i.e., land cover/use, green open space, slope/elevation). The regional climate data for the baseline and future condition were processed using the gridded datasets of WorldClim, which also included the outputs of six global climate models, namely: BCC, CCCMA, CSIRO, GISS, MIROC and NCAR, for projecting future climate of the study region. The analysis showed that prone areas to drought in Malang district was projected to be larger under future climate scenarios. The expanded prone areas were Kalipare sub-district and Pagak sub-district which expanded towards to the south. For the sub-districts of Donomulyo, Bantur, Singosari, and Gedangan sub-district, the prone areas were expanded towards to the north. The prone areas to drought in Poncokusumo sub-district remained constant. The prone areas showed within the Agropolitan areas of Poncokusumo are in the villages of Ngadas, Gubukklakah, Pajaran, Argosuko, Ngebruk and Jambesari may expand under future climate. This analysis is an essential step as an input for defining proper CCA strategies for the study region.

**Keywords:** climate change, extreme, hazards, drought, agropolitan, malang

# Water Allocation for Agriculture Complex Terrain under Changing Climate

I Putu Santikavasa, Perdinan, Rizki Abdul Basit

Department Geophysic and Meteorology, Bogor Agricultural University, Indonesia  
psantika@gmail.com

**Abstract.** Currently Indonesia facing a serious issue related to water scarcity. The current situation required Indonesia government to pay more attention on water resources management to allocate water to different water users. Agriculture as the highest water demand in the country need better water management under decreasing water availability as the impact of future changing climate. The question if it may require the water managers and policy makers to integrate the climate change into water resources policy and management, it is appropriate to examine the impacts of climate change on water allocation as part of the water resources management. Agropolitan in Malang district, East java – Indonesia is an agriculture which is characterized by complex agricultural system and was assigned as a case study. The supply-demand water allocation approach was applied on how water is allocated to the water users (agriculture, domestic and industries) under current and future climatic condition. Both climate and the changing nature of water demand have affected the development and evolution of water allocation. On the supply side, it is expected the water supply to decrease under future climate comparing with the current condition. Analysis of the water allocation is used to identify factors that may affect to the uncertain impacts of future climate on water availability and water demands. It results the need of incorporated the future climate information on design the future water policy and management to reduce the adverse impact of changing climate. This study also suggested the policy actions as the recommendation to better manage current climate variability as well as future uncertainty from climate change impacts on water allocation and resources management.

**Keyword:** *water allocation, WEAP, climate change, water management, sustainability*

## Hasil Kegiatan

## Bagian 1 Analisis Potensi Wilayah Kejadian Bahaya Terkait Iklim



# Analisis Potensi Wilayah Kejadian Bahaya Terkait Iklim

## Pendahuluan

Kabupaten Malang termasuk wilayah yang memiliki potensi rawan terkena bencana alam terkait iklim. Berdasarkan informasi data di 2011 lebih dari 90% kejadian bencana di wilayah Kabupaten Malang terkait iklim. Potensi bencana yang mengancam wilayah Malang antara lain kejadian banjir dan kekeringan, tanah longsor dan puting beliung. Dampak kejadian bencana tersebut antara lain seperti kejadian kekeringan tahun 2015 menyebabkan adanya bantuan sekitar 1,5 juta liter air di wilayah-wilayah kekurangan air. Selanjutnya pada Juli 2016, terjadi bencana banjir bandang menyebabkan 73 rumah warga terendam. Frekuensi kejadian bencana saat ini terus mengalami peningkatan. Peningkatan ini diduga akibat dari peningkatan variabilitas iklim yang diikuti oleh tren perubahan iklim sehingga menyebabkan kejadian cuaca dan iklim ekstrim. Kondisi ini selanjutnya akan meningkatkan potensi ancaman dan risiko bencana terkait iklim dalam frekuensi dan skala besaran.

Perlu dipahami bersama Kabupaten Malang merupakan wilayah yang rawan dan memiliki risiko tinggi terhadap kejadian bencana alam. Fenomena perubahan iklim memiliki dampak yang berbeda disetiap bencana. Kejadian iklim ekstrim seperti curah hujan tinggi akan berdampak langsung pada wilayah banjir sedangkan perubahan iklim seperti kemarau panjang akan berdampak pada sektor yang lebih luas (misalnya peningkatan gangguan kesehatan akibat ketersediaan air untuk sanitasi maupun ancaman kekurangan pangan). Disisi lain faktor yang turut berkontribusi terhadap kejadian bencana adalah kondisi penurunan jasa lingkungan yang diakibatkan oleh aktivitas manusia. Kejadian bencana seperti banjir dan banjir bandang sering dilaporkan akibat dari berkurangnya daerah resapan air, pendangkalan dan penyempitan wilayah sungai, jalur-jalur air yang tersumbat sampah dan kerusakan hutan di wilayah hulu-hulu sungai. Ditambah lagi faktor karena kurangnya pemahaman, pendidikan, infrastruktur, kode bangunan, dll. Kemiskinan juga berperan karena kemiskinan menyebabkan buruknya struktur bangunan, peningkatan kepadatan penduduk. Kemudian kurangnya komunikasi dan rendahnya ketahanan infrastruktur menyebabkan peningkatan dampak dari bencana itu sendiri.

Pada penyusunan model potensi bencana memerlukan beberapa format data. Data yang diperlukan adalah data spasial dan non-spasial. Data spasial yang dipergunakan pada kajian kali ini secara umum dibedakan menjadi dua kategori yaitu data berbasis *raster* dan *vektor*. Data *raster* merupakan data berbasis grid dan digunakan untuk memetakan kondisi biofisik dan tidak dibatasi oleh administrasi. Selanjutnya data vektor memberikan manfaat untuk mengolah data berbasis administrasi ataupun kewilayahan. Tinjauan metode kajian model potensi bahaya yang dikembangkan memiliki dua indikator utama, yaitu: iklim dan biofisik. Komponen iklim disusun oleh dua data, yaitu yakni curah hujan dan suhu udara sedangkan komponen biofisik lebih kepada karakteristik suatu wilayah. Memahami masukan data yang diperlukan untuk kajian bahaya tersebut, setiap komponen dari potensi bahaya memiliki indikator yang dibangun dengan menggunakan data dan informasi yang ketersediannya dikeluarkan oleh instansi pemerintah. Komponen bahaya menggunakan indikator iklim (misalnya, curah hujan dan suhu udara) dan data biofisik (misalnya, penggunaan lahan dan topografi).

Saat ini model wilayah berpotensi terjadi bencana dan perubahan iklim yang dapat mengakomodasi informasi perubahan iklim perlu dikembangkan. Perubahan iklim memberikan dampak meningkatnya ancaman bencana, terutama bencana terkait variabilitas iklim dan iklim ekstrim. Hal tersebut menunjukkan perlunya strategi adaptasi perubahan iklim. Strategi dapat dilakukan dengan penyusunan peta potensi bencana yang dapat mengakomodasi informasi perubahan iklim. Penyusunan peta bencana dilakukan dengan pendekatan partisipatif (konsultasi)

dan studi literatur. Konsultasi dilakukan guna memperoleh masukan dalam pemetaan kebencanaan dengan melibatkan pemerintah atau unit SKPD terkait. Selanjutnya studi literatur dilakukan melalui identifikasi laporan dan jurnal, peraturan dan undang-undang sebagai bahan masukan pengembangan model peta kebencanaan berbasis perubahan iklim.

## Ruang Lingkup dan Metodologi

Pengembangan penyusunan model potensi wilayah rawan bencana terkait iklim memiliki tujuan melakukan pemetaan ancaman bencana dengan masukan informasi perubahan iklim untuk memperoleh informasi dampak terhadap kejadian bencana banjir dan kekeringan. Pemetaan kebencanaan melalui pemanfaatan informasi perubahan iklim diharapkan dapat digunakan dalam perencanaan dan kebijakan ditingkat pembangunan daerah dengan pertimbangan kondisi iklim baseline dan proyeksi.

Pengembangan model potensi wilayah rawan bencana (model bahaya) terkait iklim dilakukan melalui pendekatan sistem informasi geografis. Model yang disusun akan menunjukkan tingkat bahaya dalam lingkup spasial pada suatu wilayah dan/atau sektor spesifik dengan menggunakan pendekatan metode dinamik (pemanfaatan model-model simulasi) dan metode empiris (pemanfaatan hasil analisis empiris berdasarkan data sekunder). Penyusunan model bahaya dengan tujuan memasukkan informasi iklim dilakukan dengan mengidentifikasi faktor-faktor iklim yang mempengaruhi kejadian bencana dalam lingkup kegiatan ini (bencana hidrometeorologis yang terdiri dari banjir dan kekeringan, Faktor iklim yang banyak diperhatikan dalam bencana hidrometeorologis adalah curah hujan dan suhu udara.

Model disusun dengan tujuan menyimulasikan interaksi antara faktor-faktor iklim dengan faktor lainnya seperti biofisik wilayah. Kelebihan pendekatan ini adalah kemampuan untuk menyimulasikan perubahan luasan dampak (luasan daerah genangan/wilayah terdampak) berdasarkan masukan-masukan yang diperlukan model. Dengan demikian masukan model terutama faktor iklim dapat memberikan arahan faktor-faktor iklim yang perlu diperhatikan dalam penyusunan model bahaya.

Informasi iklim yang digunakan diperoleh dan diolah dari data stasiun Iklim BMKG Karangploso dan Karangates. Keterbatasan informasi iklim berbasis spasial memberikan kesempatan penggunaan model iklim luaran global untuk periode baseline dan proyeksi. Analisis unsur cuaca dan iklim dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran mengenai kondisi iklim Kabupaten Malang melalui analisis iklim wilayah. Unsur iklim yang digunakan yakni curah hujan dan suhu udara. Analisis sederhana guna mendapatkan gambaran kondisi iklim wilayah dilakukan dengan melakukan plotting data unsur curah hujan dan suhu udara bulanan dengan penggunaan data minimal 30 tahun. Analisis ini dapat memberikan informasi terkait bulan basah dan bulan kering. Selanjutnya penentuan musim dilakukan menggunakan kriteria BMKG yakni berdasarkan kriteria tersebut, awal musim hujan ditandai dengan curah hujan selama dua dasarian (10 harian) dengan tinggi hujan minimal 50 mm yang terjadi pada masing-masing dasarian tersebut. Walaupun telah terjadi hujan tinggi namun jika diikuti dengan periode kering atau curah hujan kurang dari 50 mm untuk masing-masing dasarian maka pada waktu tersebut belum dinyatakan sebagai periode musim hujan (Perdinan et al. 2015).

Wilayah Kabupaten Malang yang terletak di wilayah tropis memiliki variabilitas iklim yang tinggi karena wilayah ini masuk dalam kategori monsoon yang iklimnya dipengaruhi oleh fenomena ENSO dan IOD. Salah satu pengaruh dari dari variabilitas iklim di Indonesia adalah fenomena ENSO. Saat kondisi El-Nino maka Indonesia cenderung akan mengalami musim kemarau yang panjang dan berdampak mundurnya awal musim hujan sedangkan pada saat kondisi La-Nina pada musim kemarau curah hujan akan mengalami peningkatan.

Kondisi iklim yang fluktuatif meningkatkan potensi kejadian iklim ekstrim terlebih lagi dengan fenomena perubahan iklim yang terjadi. Parameter yang digunakan dalam pengembangan model ini adalah curah hujan dan suhu udara yang berkaitan dengan kondisi ekstrim. Kondisi iklim ekstrim didefinisikan sebagai kejadian yang terjadi diluar batas normal (ambang batas) dalam jangka waktu pengamatan tertentu. Penentuan nilai curah hujan dan suhu udara ekstrim dilakukan dengan pendekatan persentil 95 pada waktu tertentu di suatu wilayah (Bodini and Q 2010). Kemudian penentuan nilai ambang batas atau *threshold* untuk kejadian bencana terkait iklim dilakukan dengan analisis *cumulative distribution function* (CDF) menggunakan data harian. Analisis selanjutnya menggunakan *probability density function* (PDF) (Perdinan et al. 2012).

Keterbatasan informasi spasial terkait data iklim memberikan peluang penggunaan informasi iklim wilayah. Penyusunan model memanfaatkan data model iklim luaran global yang diproduksi oleh Worldclim. Worldclim (Hijmans et al. 2005) merupakan sebuah sumber data yang dikembangkan oleh Robert J. Hijmans, Susan Cameron, dan Juan Parra, di Museum Zoologi Vertebrata, University of California, Berkeley, bekerja sama dengan Peter Jones dan Andrew Jarvis (CIAT), dan dengan Karen Richardson (Rainforest CRC). Data worldclim merupakan pengembangan interpolasi unsur iklim permukaan untuk wilayah global dengan resolusi spasial 1 km. Unsur – unsur iklim yang dikembangkan adalah curah hujan, suhu minimum, suhu rata-rata dan suhu maksimum, radiasi dan bioklimatik. Adapun data yang digunakan yakni data baseline (1970-2000) dan proyeksi (2021-2050) dengan skenario RCP 4.5. Skenario RCP 4.5 merupakan scenario masuk kategori moderat dengan asumsi target untuk mengatasi laju peningkatan suhu udara rata-rata global akibat faktor antropogenik masih mungkin dilakukan. Pada data periode proyeksi menggunakan beberapa model iklim yakni, BCC, CCCMA, CSIRO, GISS, MIROC dan NCAR.

Selanjutnya informasi lain yang digunakan dalam model ini adalah informasi terkait lingkungan wilayah (biofisik). Berdasarkan hasil konsultasi dan studi literatur pemetaan model bahaya bencana menggunakan beberapa variabel biofisik sebagai data masukan. Data yang digunakan antara lain Penggunaan Lahan, Ruang Terbuka Hijau, Elevasi dan Panjang Sungai. Data tutupan lahan dianalisis menggunakan luaran Landsat 8 pada wilayah cakupan wilayah malang kemudian dilakukan verifikasi menggunakan metode klasifikasi terbimbing dengan peta rupa bumi Indonesia dan *google earth*. Penggunaan data luaran Landsat 8 juga dimanfaatkan untuk membuat peta ruang terbuka hijau menggunakan metode *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Dibandingkan versi-versi sebelumnya, luaran data landsat 8 memiliki beberapa keunggulan khususnya terkait dengan spesifikasi band dan panjang rentang spektrum gelombang elektromagnetik yang dimiliki. Hal ini ditunjukkan dengan variasi warna objek yang lebih beragam. Pemanfaatan sensor OLI (Operational Land Imager) yang dipasang pada landsat ini dapat membedakan bagian permukaan bumi yang memiliki suhu lebih panas dibandingkan area sekitarnya dengan lebih jelas (Aida 2015). Kelerengan wilayah ditentukan dengan memanfaatkan data SRTM dengan resolusi 30 menggunakan analisis spasial *slope*. Pemanfaatan hasil interpretasi nilai digunakan dalam penentuan ambang batas.

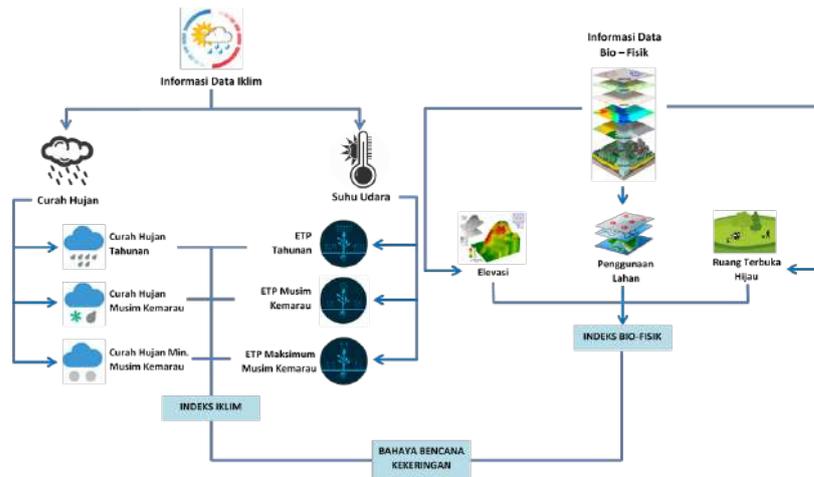
Penilaian potensi wilayah rawan bencana kekeringan ditentukan dengan ambang batas menyesuaikan dengan indikator yang digunakan diwilayah malang seperti tabel dibawah ini (Perdinan et al. 2015).

Tabel 2. Indikator penilaian ambang batas model kekeringan

Indikator	Sub-Indikator	Keterangan		
		Penjelasan	Ambang Batas	Skor
<b>IKLIM</b>				
Curah Hujan (mm)	Curah Hujan Tahunan (mm/tahun)	Penentuan nilai ambang batas tahunan yang mengakibatkan kejadian kekeringan dan pengkelasannya	CH > 3000 2500 - 3000 2000 - 2500 CH < 2000	1 2 3 4

Indikator	Sub-Indikator	Keterangan		
		Penjelasan	Ambang Batas	Skor
	Curah Hujan Bulanan Musim Kemarau (mm/musim)	Penentuan nilai ambang batas curah hujan musim kemarau yang mengakibatkan kejadian kekeringan dan pengkelasannya	CH > 1500 1500 - 1100 1100 - 800 CH < 800	1 2 3 4
	Curah Hujan Bulanan Minimum Musim Kemarau (mm/bulan)	Penentuan nilai minimum curah hujan bulanan selama musim kemarau yang mengakibatkan kejadian kekeringan dan pengkelasannya	CH > 200 200 - 150 150 - 100 CH < 100	1 2 3 4
Suhu Udara (°C)	ETP Tahunan (mm/tahun)	Penentuan nilai ambang batas evapotranspirasi tahunan yang mengakibatkan kejadian kekeringan dan pengkelasannya	a. > 2000 b. 1500 - 2000 c. 1000 - 1500 d. < 1000	4 3 2 1
	ETP selama Musim Kemarau (mm/musim)	Penentuan nilai evapotranspirasi selama musim kemarau yang mengakibatkan kejadian kekeringan dan pengkelasannya	a. > 1500 b. 1000 - 1500 c. 500 - 1000 d. < 500	4 3 2 1
	ETP Bulanan Maksimum Musim Kemarau (mm/bulan)	Penentuan nilai ambang batasevapotranspirasi maksimum pada musim kemarau dan pengkelasannya	a. > 50 b. 35 - 50 c. 20 - 35 d. < 20	4 3 2 1
<b>FISIK</b>				
Bio-fisik Wilayah	Dataran Aluvial, Pantai, Dataran	Penentuan nilai maksimum pada daerah yang berpotensi mengalami kejadian kekeringan berdasarkan ketinggian	0 - 8% 8 - 15% 15 - 40% >40%	1 2 3 4
	Proporsi ruang terbuka hijau (vegetasi)	Proporsi luasan lahan vegetasi berfungsi untuk menahan air	80% 60 - 80% 40 - 60% < 40%	1 2 3 4
	Penggunaan Lahan	Penentuan nilai maksimum pada daerah yang berpotensi mengalami kejadian kekeringan berdasarkan tutupan lahan yang dikelaskan	Tubuh Air Hutan Pemukiman Pertanian Tanah Terbuka	1 2 3 4 5

\*Nilai ambang batas disesuaikan untuk wilayah Kabupaten Malang

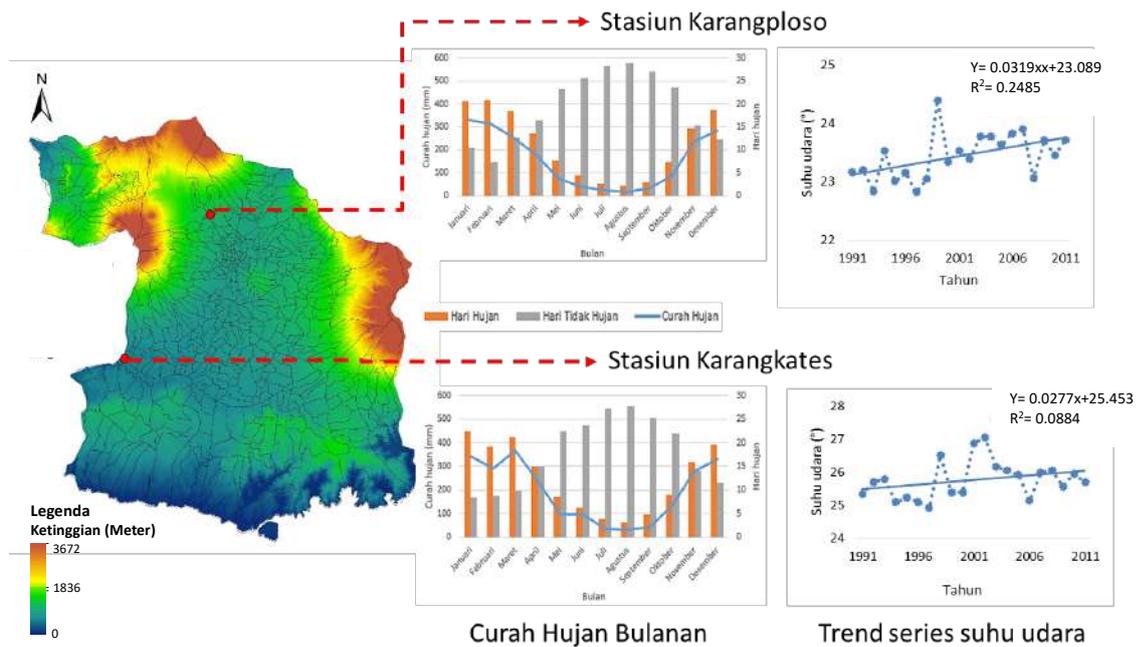


Gambar 11. Prosedur analisis bahaya bencana kekeringan.

## Hasil dan Pembahasan

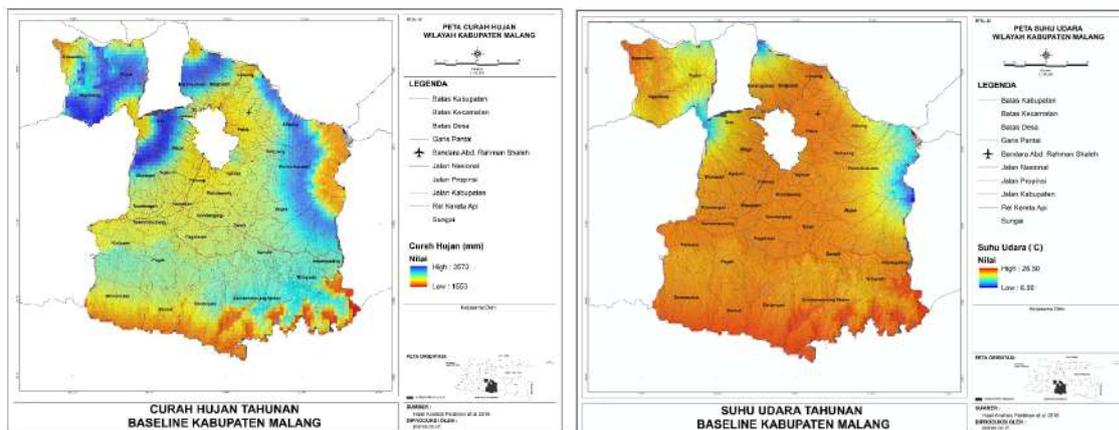
Secara geografis wilayah Kabupaten Malang memiliki luasan 3347 KM<sup>2</sup> dengan administratif 33 kecamatan dan 390 kelurahan atau desa. Kabupaten Malang memiliki bentukan topografi dataran rendah dan dataran tinggi. Diapit oleh Gunung Semeru, Gunung Bromo dan Samudera Hindia. Kabupaten Malang menunjukkan bahwa wilayah ini memiliki tipe curah hujan monsunal yang memiliki puncak hujan sekitar bulan Desember - Februari (selama musim dingin Asia) dan musim kering bulan Juni – Agustus (selama musim dingin Australia). Kabupaten Malang tergolong wilayah yang mempunyai suhu udara rata-rata relatif rendah sekitar 22.0°C hingga 26.8°C. Kelembaban udara di wilayah ini berkisar antara 66% hingga 91%. Rata-rata kecepatan angin di ketiga pos stasiun pengukuran antara 1.8 sampai dengan 4.7 km/jam. Tahun 2014, curah hujan rata-rata sebesar 1,800 – 3,000 mm pertahun dengan rata-rata curah hujan bulanan antara 15.3 mm hingga 417.4 mm (BPS 2016).

Analisis iklim menggunakan data curah hujan stasiun milik BMKG yakni Stasiun Karangploso dan Karangates. Analisis dari kedua stasiun hampir memiliki hasil yang sama. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan Kabupaten Malang termasuk kedalam wilayah moonsunal dengan ciri puncak musim hujan berada dibulan Januari dan Februari dengan besaran 400-450 mm/bulan dan 20-22 hari hujan. Puncak musim kemarau terjadi pada bulan agustus dengan curah hujan berkisar antara 20-50 mm/bulan dengan 3 hari hujan. Selanjutnya suhu udara pada kedua stasiun berkisar antara 23°C-27°C. Pada selang pengamatan tahun 1991-2011 telah terjadi tren kenaikan pada kedua stasiun. Nilai suhu udara ekstrim tercatat terjadi pada tahun 2002 dan 2003 dimana tahun tersebut juga Indonesia sedang dilanda El-Nino.



Gambar 12. Analisis curah hujan bulanan dan tren suhu udara tahunan Stasiun Iklim Karangploso dan Karangkates periode 1991-2011

Berdasarkan hasil analisis menggunakan data tahunan luaran worldclim menunjukkan hasil pola spasial dari curah hujan tinggi berkisar 3300-3600 mm/tahun berada di wilayah dataran tinggi dengan wilayah ketinggian antara 1700-2500 mdpl. Wilayah tersebut antara lain daerah kecamatan Poncokusumo, Jabung, Karangploso, Dau, Pujon dan Ngantang. Selanjutnya curah hujan mengalami penurunan apabila ketinggian bertambah diatas 2500 m. Nilai curah hujan terendah terjadi di wilayah dekat pesisir atau wilayah selatan Kabupaten Malang dengan nilai berkisar 1500-1700 mm/tahun. Wilayah-wilayah tersebut antara lain Bagian selatan dari Kecamatan Donomulyo, Kecamatan Bantur, Kecamatan Gedangan dan bagian utara dari Kecamatan Kalipare dan Kecamatan Pagak. Untuk unsur iklim suhu udara rata-rata tahunan menunjukkan nilai yang merata pada wilayah Kabupaten Malang dengan angka 25-27 °C. Namun setelah apabila topografi naik diatas 1500 mdpl nilai suhu udara mengalami penurunan hingga memasuki wilayah lereng-lereng Gunung Semeru.



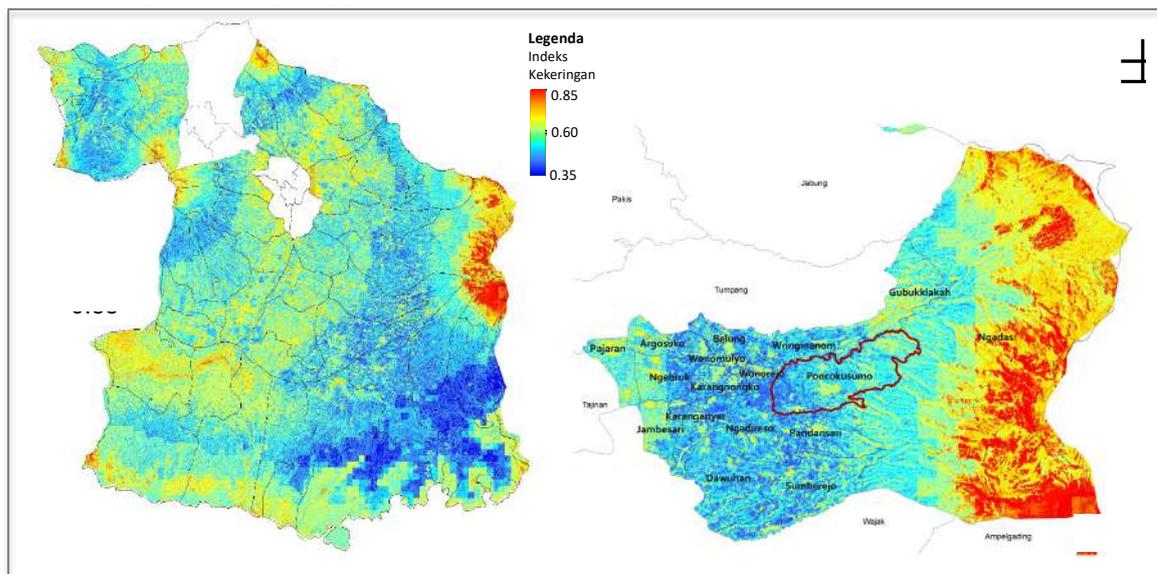
Gambar 13. Curah hujan dan suhu udara tahunan periode baseline (1971-2000) menggunakan luaran Worldclim

## Pemetaan rawan kekeringan

Penyusunan peta model potensi wilayah rawan bencana dilakukan dengan pengukuran metode indeks yang dibangun berdasarkan indikator biofisik dan iklim. Pengukuran tingkat bahaya dilakukan dengan maksud sebagai penilaian potensi bencana yang muncul pada suatu wilayah. Nilai indeks yang digunakan menggunakan nilai rentang nol hingga satu (0-1) dengan konsep bentuk peluang kejadian suatu bencana. Penggunaan rentang tersebut selanjutnya dibagi atas 5 penilaian yakni nilai 0.00-0.20 (sangat rendah), nilai 0.21-0.40 (rendah), nilai 0.41-0.60 (sedang), nilai 0.61-0.80 (tinggi) dan nilai 0.81-1.00 (sangat tinggi).

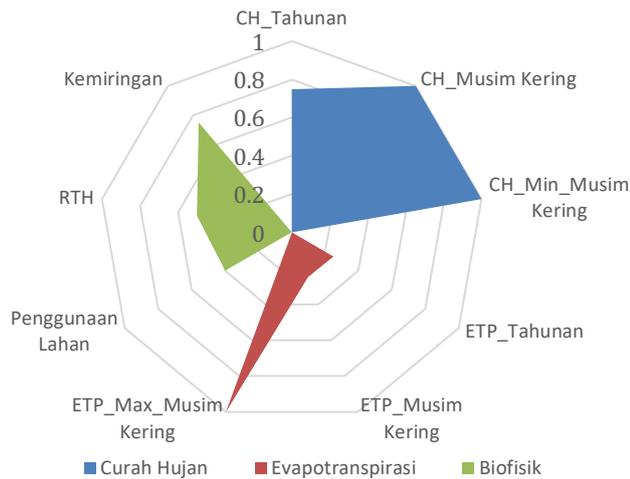
Hasil analisis wilayah malang memiliki potensi rendah sampai sangat tinggi untuk kejadian Kekeringan. Wilayah dengan kategori sangat tinggi berada wilayah Kecamatan Poncokusumo (Desa Ngadas). Selanjutnya wilayah dengan kategori tinggi beda di wilayah Kecamatan Kalipare (Desa Kalirejo, Desa Arjosari, Desa Sukosari, Desa Argowinangun), Kecamatan Pagak (Desa Tlogorejo, Desa Gampingan, Desa Sumberejo), Kecamatan Bantur (Desa Karang Sari, Desa Rejoyoso), Kecamatan Donomulyo (Desa Sumberoto, Desa Banjarejo, Desa Tulungrejo), Kecamatan Singosari (Desa Randuagung, Desa Candirenggo, Desa Dengkol, Desa Toyomarto), Kecamatan Lawang (Desa Lawang, Desa Sumberporong, Desa Mulyoarjo) dan Kecamatan Pakis (Desa Buluwetan dan Desa Mangliawan). Selanjutnya wilayah lain masuk kategori sedang-rendah.

Spesifik identifikasi wilayah agropolitan yakni kecamatan Poncokusumo nilai indeks potensi rawan bencana kekeringan berada pada kisaran 0.35-0.85. Dominasi nilai dengan kategori sangat tinggi berada di wilayah Desa Ngadas. Wilayah lain yang perlu menjadi perhatian lainnya adalah Desa Gubukklakah, Desa Pajaran, Desa Argosuko, Desa Ngebruk dan Desa Jambesari. Desa-Desa lainnya masuk kategori sedang hingga rendah.



Gambar 14. Pemetaan wilayah tingkat potensi rawan bencana kekeringan di Kabupaten Malang (Kiri) dan Kecamatan Poncokusumo (Kanan)

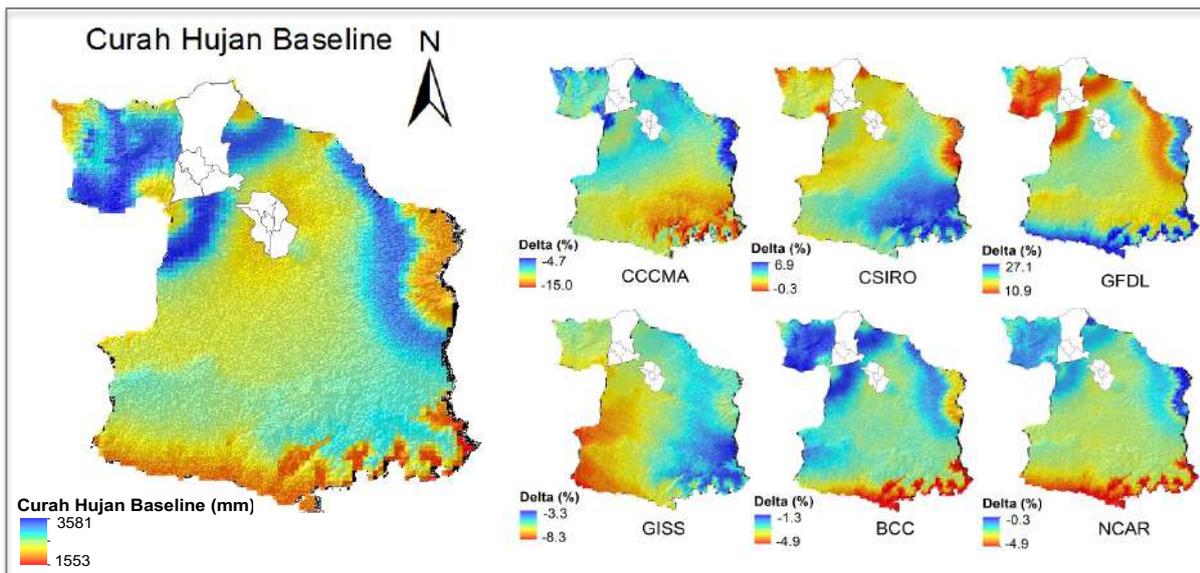
Identifikasi faktor penyebab bencana di wilayah malang dilakukan dengan penilaian terhadap sub-indikator yang digunakan. Hasil identifikasi spesifik di wilayah Desa Poncokusumo menunjukkan hasil faktor yang paling berkontribusi antara lain Curah Hujan Musim Kemarau, Curah Hujan Minimum Musim Kemarau dan Evapotranspirasi Maksimum Musim Kemarau. Faktor lainnya yang berkontribusi adalah Curah Hujan Tahunan dan Kemiringan Lahan.



Gambar 15. Petal Chart Sub-Indikator yang berkontribusi terhadap bencana

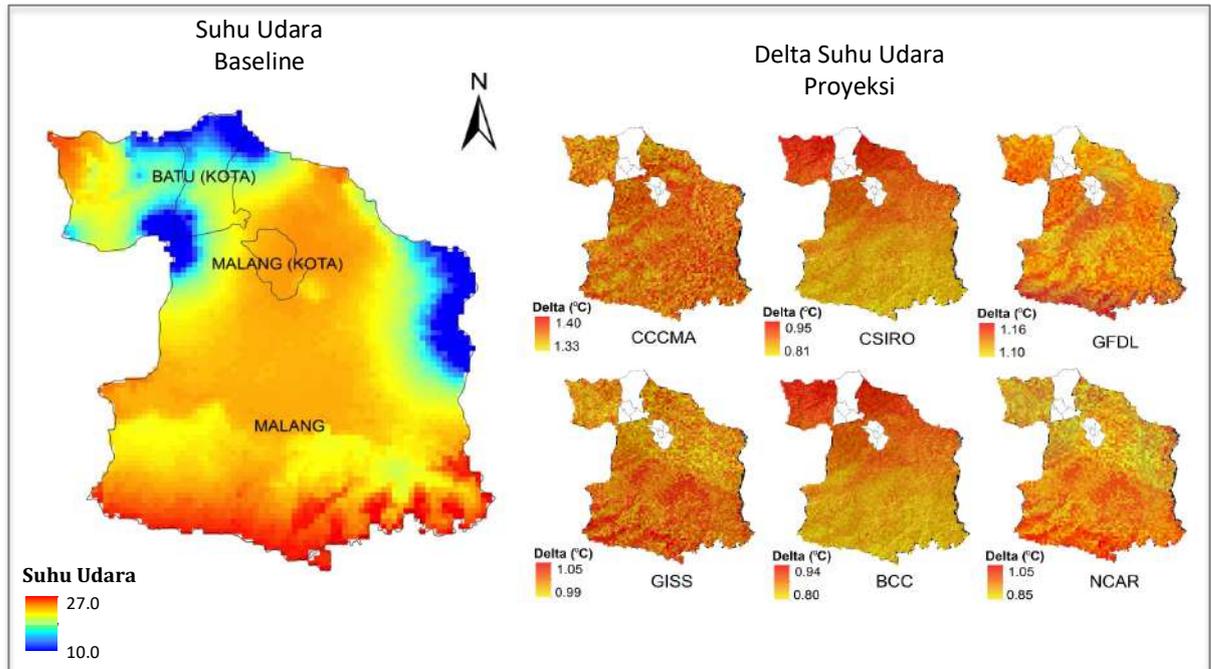
### Proyeksi perubahan iklim

Proyeksi kondisi iklim dilakukan pada variabel curah hujan dan suhu udara dengan menggunakan luaran data dari 6 model GCM dengan scenario RCP4.5. Periode tahun proyeksi yakni 2021-2050. Analisis perubahan curah hujan tahunan dilakukan pada keenam model. Hasil analisis menunjukkan rentang perubahan terjadi berkisar -15 sampai 27 %. Model luaran CCCMA, GISS, BCC dan NCAR menunjukkan akan adanya penurunan curah hujan berkisar -15 sampai -0.3% untuk wilayah Kabupaten Malang. Model CCCMA, BCC dan NCAR menunjukkan wilayah yang akan mengalami penurunan berada di daerah Kecamatan Dampit, Kecamatan Tirtoyudo, Kecamatan Ampelgading dan Sumbermanjing Wetan. Sementara itu model GISS menunjukkan penurunan untuk bagian wilayah Kecamatan Kalipare, Kecamatan Pagak, Kecamatan Sumberpucung, kecamatan Kromengan dan Kecamatan Kepanjen. Untuk model CSIRO kejadian penurunan curah hujan berpotensi di wilayah Kecamatan Poncokusumo dan Kecamatan Singosari. Ini artinya wilayah-wilayah tersebut memiliki potensi kekurangan air hujan dimasa mendatang. Sedangkan untuk model GFDL menunjukkan hasil kenaikan seluruh wilayah Kabupaten Malang terutama di wilayah pesisir dan pegunungan.



Gambar 16. Proyeksi perubahan curah hujan periode tahun 2021-2050

Proyeksi suhu udara rata-rata tahunan dilakukan menggunakan luaran enam luaran model GCM dengan skenario RCP 4.5. Nilai perhitungan perubahan suhu udara dilakukan dengan menghitung nilai selisih antara tahun proyeksi dengan tahun *baseline*. Hasil menunjukkan hasil perubahan suhu udara mencapai 0.5°C sampai 1.4°C. Model CCCMA menunjukkan hasil peningkatan perubahan tertinggi sedangkan model BCC menunjukkan nilai peningkatan yang paling kecil. Model CCCMA, GFDL dan GISS menunjukkan peningkatan suhu udara hampir merata diseluruh wilayah Kabupaten Malang. Untuk model CSIRO dan BCC peningkatan paling tinggi berada diwilayah Utara Kabupaten Malang sedangkan model NCAR menunjukkan hasil peningkatan tertinggi berada diwilayah selatan.

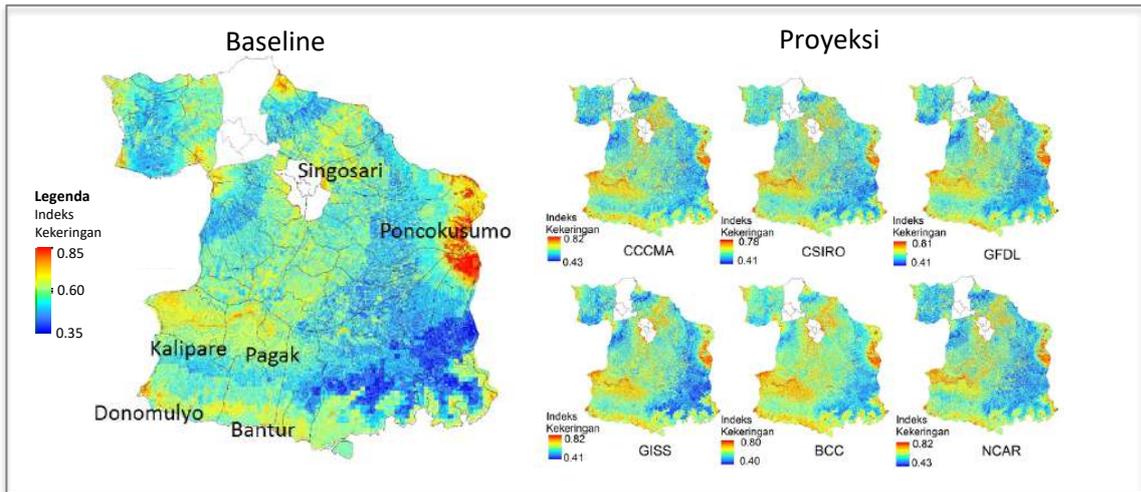


Gambar 17. Proyeksi perubahan suhu udara periode tahun 2021-2050

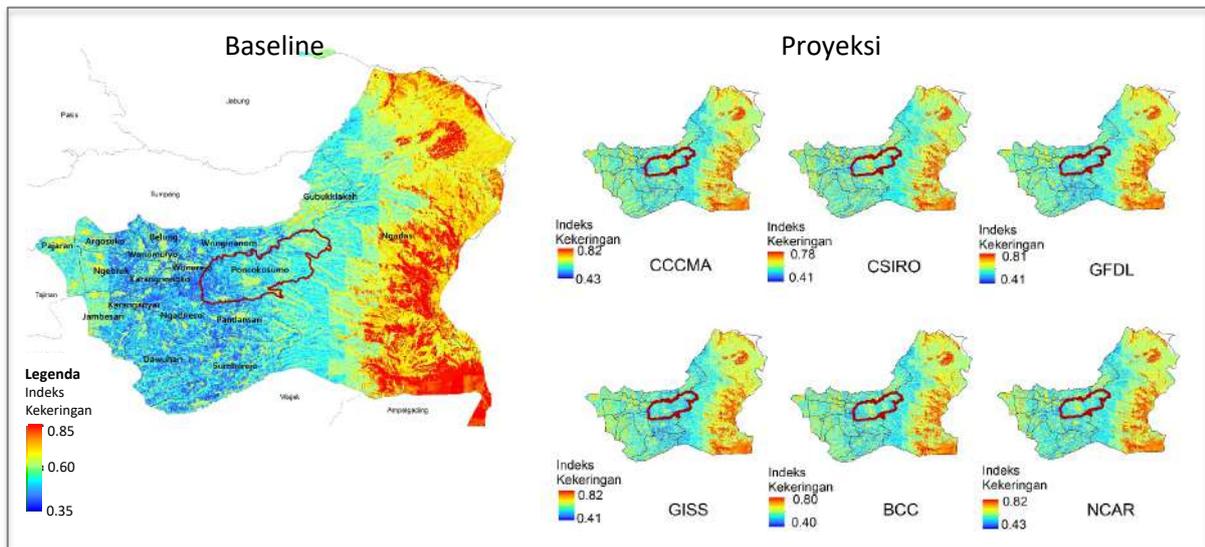
### Pemetaan rawan dengan data iklim proyeksi

Hasil analisis pemetaan wilayah berpotensi rawan bencana kekeringan dengan menggunakan data iklim proyeksi menunjukkan hasil mengalami kenaikan luasan pada semua model. Tingkat bahaya diwilayah Kecamatan Kalipare dan Kecamatan Pagak mengalami peningkatan dan meluas bergerak kearah selatan. Untuk wilayah Kecamatan Donomulyo, Kecamatan Bantur dan Kecamatan Gedangan mengalami peningkatan dan perluasan kearah utara. Pada wilayah Kecamatan Singosari tingkat bahaya kekeringan mengalami kenaikan namun luasannya menyempit sama dengan wilayah-wilayah di Kecamatan Poncokusumo. Model luaran CCCMA , GISS dan NCAR menunjukkan kenaikan terbesar sedangkan terendah pada model CSIRO.

Selanjutnya spesifik identifikasi potensi rawan bencana diwilayah agropolitan menunjukkan hasil kategori wilayah ini termasuk sedang (S) hingga sangat tinggi (ST). Umumnya pada wilayah Desa Ngadas mengalami penurunan potensi tingkat bahaya kekeringan. Namun untuk wilayah desa lainnya di Kecamatan Poncokusumo mengalami peningkatan terutama wilayah barat dari daerah ini yakni Desa Gubukklakah, Desa Pajaran, Desa Argosuko, Desa Ngebruk dan Desa Jambesari. Rentang kategori penilaian indeks potensi bahaya berada di nilai 0.41-0.82. Ini artinya kondisi iklim masa depan menyebabkan wilayah berpotensi rawan kekeringan semakin meluas meskipun eskalasinya mengalami penurunan di beberapa wilayah.



Gambar 18. Pemetaan wilayah tingkat potensi rawan bencana kekeringan di Kabupaten Malang tahun baseline dan proyeksi



Gambar 19. Pemetaan wilayah tingkat potensi rawan bencana kekeringan di Kecamatan Poncokusumo tahun baseline dan proyeksi

## Bagian 2

### Analisis Kerentanan dan Keterpaparan



Petani Membajak Sawah dengan Traktor

# Analisis Kerentanan dan Keterpaparan

## Pendahuluan

Pertanian merupakan sektor penting dalam menjamin keberlanjutan kehidupan manusia di muka bumi melalui fungsinya dalam penyediaan makanan untuk dikonsumsi. Pertanian harus menjadi salah satu pilar ekonomi desa yang dapat meningkatkan taraf hidup dan kesejahteraan masyarakat. Saat ini, banyak negara menyadari betapa pertanian memainkan peran yang sangat strategis dalam memperkuat keberlanjutan pembangunan. Dengan memperkuat sektor pertanian, maka terdapat kesempatan untuk memperluas kesempatan kerja, meningkatkan kesejahteraan masyarakat dan meningkatkan keberlanjutan pertanian untuk mengurangi ketergantungan pada barang impor (Rosdiana and Inayati 2014). Pertanian identik dengan desa, maka pertanian berkelanjutan untuk memenuhi kebutuhan pangan berkaitan erat dengan keberadaan desa sebagai basis lahan pertanian serta ketersediaan tenaga kerja pertanian yang didukung oleh keberadaan sumber daya lingkungan, termasuk ketersediaan sumber mata air sebagai salah satu prasyarat utama kegiatan pertanian.

Total kebutuhan pangan dari produksi pertanian terus meningkat seiring dengan peningkatan populasi dunia yang mencapai lebih dari 7 miliar. Banyak negara menyadari betapa pertanian memainkan peran yang sangat strategis dalam pembangunan berkelanjutan, namun data menunjukkan tren penurunan kontribusi sektor pertanian terhadap produk domestik bruto (PDB) ditingkat global. Saat ini telah terjadi penurunan signifikan dari kontribusi sektor pertanian terhadap PDB dunia dari 8.1% di 1995 menjadi 3.9% pada tahun 2014. Sebagai negara dengan nilai ekonomi terbesar di Asia Tenggara, Indonesia yang merupakan negara agraris juga mengalami tren penurunan kontribusi PDB dari sektor pertanian. Walau kontribusi sektor pertanian Indonesia masih cukup besar sekitar 17,1% terhadap PDB pada tahun 1995, namun terjadi tren penurunan menjadi 14% pada tahun 2007 dan 13,3% pada tahun 2014. Tren ini terjadi seiring dengan besarnya alih fungsi lahan pertanian dan penurunan jumlah pekerja serta keluarga petani yang merupakan tulang punggung sektor pertanian (Worldbank 2015).

Friedmann (1975) telah memperkenalkan konsep agropolitan sebagai salah satu konsep perencanaan pengembangan wilayah yang cukup populer pada beberapa dekade di negara-negara berkembang dan agraris termasuk Indonesia. Agropolitan dapat didefinisikan sebagai pertanian atau lokasi untuk pusat layanan atau pusat kegiatan ekonomi berbasis pertanian, di mana sektor pertanian akan dapat tumbuh dan berkembang karena mampu melayani, mendorong, dan mengangkut aktivitas mengembangkan pertanian (agribisnis) di desa-desa pusat pertanian pusat dan desa-desa sekitarnya. Menurut Rustiadi and Hadi (2006), agropolitan merupakan suatu konsep pengembangan wilayah yang muncul karena adanya permasalahan ketimpangan pembangunan antara wilayah kota sebagai pusat kegiatan dan pertumbuhan ekonomi dengan wilayah pedesaan sebagai pusat kegiatan pertanian yang tertinggal. Secara sederhana agropolitan dapat didefinisikan sebagai daerah pertanian dalam bentuk sebuah kota pertanian. Pengembangan agropolitan merupakan solusi untuk mengurangi aliran urbanisasi sekaligus untuk memberdayakan perekonomian desa. Melalui konsep agropolitan, pertanian dapat dikembangkan sebagai bagian perencanaan dan pembangunan wilayah yang dapat menjadikan desa sebagai pusat kegiatan ekonomi berbasis pertanian berbasis agroindustri dan agrobisnis yang mempunyai nilai tambah tinggi sehingga mendorong masyarakat di desa-desa untuk terus berada di daerah masing-masing. Agropolitan dapat dikembangkan dalam bentuk aktivitas pembangunan yang terkonsentrasi di wilayah pedesaan dengan jumlah penduduk antara 50.000 sampai 150.000 orang Friedmann (1975).

Ruben (2002) menyebutkan lima karakteristik daerah agropolitan, yang meliputi a) skala geografis yang relatif kecil; b) tingkat tinggi swasembada dan kemandirian dalam pengambilan keputusan dan perencanaan, berdasarkan partisipasi rakyat dan aksi kerjasama di tingkat lokal; c) diversifikasi lapangan kerja di pedesaan untuk mencakup kegiatan pertanian dan non pertanian, menekankan pertumbuhan industrialisasi pedesaan skala kecil; d) fungsi industri perkotaan-pedesaan dan hubungan mereka ke sumber daya lokal dan struktur ekonomi; dan e) pemanfaatan dan evaluasi sumber daya lokal dan teknologi. Ide agropolitan yang disampaikan Friedmann (1975) pada dasarnya lebih memberdayakan desa karena tidak hanya memaksimalkan produksi dan perdagangan lokal, tetapi juga dapat menambah pengetahuan sosial untuk masyarakat luas, sehingga meningkatkan kapasitas masyarakat untuk mengatasi masalah-masalah yang lebih sulit dan kompleks.

Pertanian merupakan sektor andalan untuk perekonomian Kabupaten Malang. Berdasarkan data Distanbun (2014) sebagian besar wilayah Kabupaten Malang merupakan lahan pertanian, terdiri dari 49.6 ribu ha (15.7%) lahan sawah, 99.6 ribu ha (31.1%) tegalan/ladang/kebun, 19.6 ribu ha (6.2%) areal perkebunan dan 61.9 ha (19.7 %) hutan. Berdasarkan data BPS (2014), jumlah lahan sawah berpengairan diusahakan di Kabupaten Malang mencapai 45.06 ribu ha sedangkan di Kecamatan Poncokusumo seluas 1.47 ribu ha. Selain itu luas lahan kering yang mencakup tanah pekarangan untuk bangunan dan halaman, tegal/ladang/kebun, tambak, hutan dan kolam seluas 19,69 ha (Distanbun 2011). Produksi padi di Kecamatan Poncokusumo mencapai 9,796 ton pada tahun 2014. Berdasarkan data Distanbun (2014), tren produksi padi dan komoditi perkebunan terus meningkat, kecuali komoditi palawija seperti jagung, kacang hijau, kedelai dan kacang tanah cenderung konstan dan mengalami sedikit peningkatan. Terjadinya peningkatan berbagai komoditi pertanian, perkebunan, dan peternakan, dikarenakan kemudahan akses sumber daya air, pupuk/pangan ternak, bibit dan alat pertanian/peternakan. Penurunan beberapa komoditi pertanian, perkebunan dan peternakan diduga terjadi karena penurunan kualitas lahan, variabilitas perubahan iklim dan berkurangnya ketersediaan sumber daya air di wilayah pengembangan.

Untuk mencapai sasaran pengembangan kawasan agropolitan diperlukan perencanaan yang mencakup aspek sosial, ekonomi, tata ruang dan lingkungan hidup. Salah satu komponen lingkungan hidup adalah penataan sumberdaya air yang berkelanjutan. Sumberdaya air merupakan salah satu sektor yang sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim. Perubahan yang terjadi pada parameter iklim baik curah hujan dan suhu udara serta parameter lainnya secara langsung maupun tidak langsung berpengaruh pada kondisi sumberdaya air di wilayah tersebut. Dalam pengembangan wilayah pertanian, jaminan ketersediaan air bagi lahan pertanian sangat penting. Ketersediaan air dapat dipenuhi baik melalui curah hujan maupun irigasi yang merupakan usaha penyediaan dan pengaturan air untuk menjamin ketersediaan air dalam kegiatan pertanian.

Berdasarkan rencana pewilayahan dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Provinsi Jawa Timur, Kabupaten Malang diarahkan sebagai kawasan ekonomi potensial yang mencakup Kawasan Pengembangan Utama Komoditi (KAPUK) dan kawasan pengembangan utama. Kabupaten Malang menjadi wilayah pengembangan utama komoditi hortikultura terutama yang berpusat di Kecamatan Poncokusumo, yang sekaligus juga ditetapkan sebagai kawasan pengembangan utama budidaya tanaman hortikultura dengan konsep agropolitan. Alasan Kecamatan Poncokusumo menjadi wilayah Agropolitan antara lain: (i) Kondisi fisik wilayah yang mendukung pengembangan hortikultura (sayuran dan buah-buahan); (ii) Produksi pertanian tertinggi, (iii) Pengembangan kawasan timur, (iv) Keberadaan obyek wisata alam (air terjun) dapat dikembangkan menjadi agrowisata sebagai bagian dari aspek agropolitan (Malang 2007).

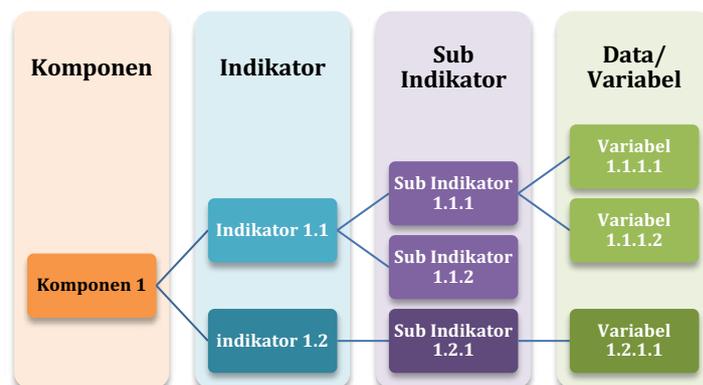
Sebagai satu kesatuan model pembangunan, ***agropolitan tersusun dari beberapa aspek utama dalam mencapai tujuannya, i.e, pertanian itu sendiri, aspek ekonomi, aspek industri (agro-industri) dan aspek pariwisata (agro-wisata).*** Setiap aspek tersebut tersusun dari komponen

pendukung masing-masing. Model pembangunan agropolitan memiliki banyak keunggulan, walaupun juga memiliki berbagai tantangan dan persoalan. Sumber air menjadi salah satu persoalan utama yang cukup penting diperhatikan karena sumber air sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim. Perubahan yang terjadi pada parameter iklim baik curah hujan dan suhu udara serta parameter lainnya secara langsung maupun tidak langsung berpengaruh pada kondisi sumberdaya air di wilayah tersebut.

Berdasarkan hasil survei pada tahun 2012, Kabupaten Malang merupakan salah satu wilayah yang memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap perubahan iklim, terutama pada sektor sumberdaya air dan pertanian. Sampai saat ini belum pernah dikembangkan model kerentanan fokus agropolitan, termasuk di Kabupaten Malang. Oleh karena itu, sangat penting dilakukan penyusunan metode kerentanan fokus agropolitan untuk digunakan sebagai bahan analisis adaptasi perubahan iklim kawasan agropolitan. Berdasarkan pertimbangan tersebut, Kabupaten Malang, khususnya kecamatan Poncokusumo yang merupakan sentra pertanian dan kawasan agropolitan dipilih untuk menjadi lokasi kegiatan Analisis Adaptasi Perubahan Iklim Kawasan Agropolitan Kabupaten Malang. Pertanyaan dasar untuk kegiatan ini adalah **bagaimana mengidentifikasi wilayah rentan terhadap dampak perubahan iklim pada kawasan agropolitan?**. Merujuk pada pengertian agropolitan dan persoalan sumberdaya air yang terjadi di kawasan agropolitan Kabupaten Malang, maka menjadi penting untuk diperhatikan bahwa **penyusunan tingkat kerentanan agropolitan dilakukan dengan dasar keempat aspek di atas dengan mempertimbangkan ketersediaan dan distribusi sumber air sebagai salah satu persoalan utama akibat dampak perubahan iklim.**

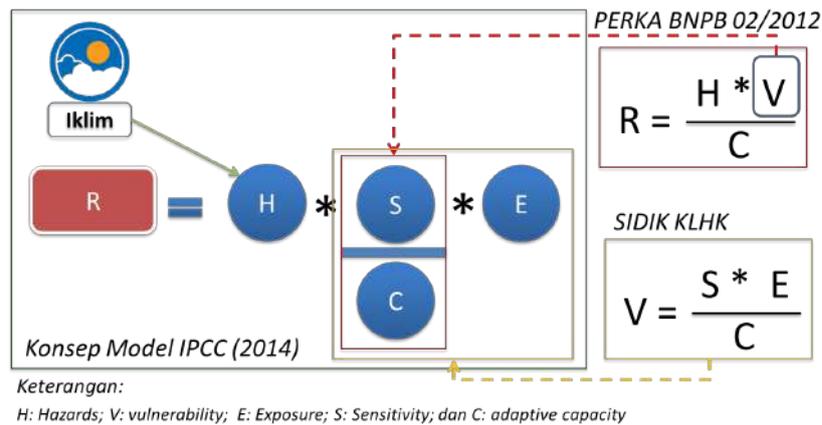
## Metodologi

Dalam penyusunan tingkat kerentanan agropolitan, penting diperhatikan terlebih dahulu perbedaan pengertian antara komponen, indikator (Sub) dan data/variabel. Komponen merupakan bagian terbesar dari pembagian. Sementara indikator adalah bagian dari komponen sedangkan data/variabel adalah bagian penyusun indikator. Selanjutnya, perlu diperhatikan pula perbedaan antara masing-masing komponen penyusun utama indikator agropolitan melalui konsep hierarki seperti pada gambar berikut.



Gambar 20. Konsep hierarki penyusunan komponen tingkat kerentanan.

Dalam perkembangan pendekatan yang dikeluarkan oleh IPCC melalui AR-5 (IPCC, 2014), risiko bencana terkait iklim (R) merupakan fungsi dari ancaman bencana (*hazard*; H), kerentanan (*vulnerability*; V) dan keterpaparan (*exposure*; E). Dalam laporan ini, akan didiskusikan mengenai pengembangan komponen keterpaparan dan kerentanan berdasarkan keempat aspek agropolitan. Untuk tujuan ini, dengan pertimbangan beragamnya data dan informasi, pemahaman mengenai penentuan indikator (data) yang digunakan pada setiap komponen keterpaparan dan kerentanan diperlukan. Secara umum, penyusunan tingkat kerentanan agropolitan dibedakan atas 4 komponen, keterpaparan dan kerentanan (sensitivitas dan kapasitas adaptasi).



Gambar 21. Konsep model tingkat kerentanan berdasarkan Model IPCC & Perka BNPB 02/2012

Penyusunan peta kerentanan dan keterpaparan dilakukan berdasarkan perhitungan tingkat kerentanan dan keterpaparan wilayah. Tingkat kerentanan dan keterpaparan dinilai dengan menggunakan data dan informasi sosial-ekonomi. Oleh karena itu, pemilihan data untuk setiap indikator ditentukan berdasarkan ketersediaan data hingga level desa. Data BPS menjadi sumber utama penggunaan data dalam kajian ini. Diantaranya adalah BPS dalam angka 2015 Setiap Kecamatan di Kabupaten Malang, Sensus Penduduk 2010, Survei Potensi Desa 2014 dan Sensus Pertanian 2013. Tahun baseline ditetapkan pada 2014.

Memahami variasi atau rentang nilai untuk data sosial-ekonomi, maka perlu dilakukan normalisasi terhadap data sosial-ekonomi. Normalisasi dilakukan agar setiap data yang digunakan memiliki rentang antara nol sampai satu (0-1). Langkah normalisasi bertujuan untuk menyetarakan nilai variabel agar dapat dikalkulasikan dengan variabel lain yang telah dinormalisasi juga. Penyetaraan nilai memiliki selang 0 – 1 sehingga nilai hasil normalisasi akan berada pada rentang nilai selang tersebut. Jika nilai indikator sudah dalam bentuk selang 0 – 1 maka indikator tersebut tidak perlu dilakukan normalisasi. Dalam panduan ini, teknik normalisasi yang digunakan adalah **Teknik Normalisasi Median** (Perdian *et al.* 2015).

Setelah seluruh nilai variabel dan normalisasinya didapatkan, langkah selanjutnya adalah menghitung nilai gabungan antar variabel yang telah dinormalisasi menjadi sub indikator di setiap komponen. Penggabungan setiap indikator di atas menjadi Komponen dapat menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\text{Komponen A (KK)}_i = w * (K1+K2+K3+K4)$$

dimana *-i* mewakili desa ke *-i* dan *w* adalah bobot untuk setiap indikator. Pemilihan dari besarnya bobot dilakukan sesuai hubungan keterkaitan antara indikator dan sensitivitasnya terhadap pertanian dan dampak perubahan iklim. Nilai maksimum bobot adalah 1.

Penggunaan rentang nilai yang sama untuk mengukur setiap komponen tingkat kerentanan diperlukan sebagai standarisasi nilai. Setiap komponen memiliki rentang nilai 0-1. Selanjutnya, dilakukan pengklasifikasian kelas komponen kerentanan berdasarkan nilai/indeks. Klasifikasi dilakukan dengan membagi secara proporsional nilai tingkat kerentanan (0-1) menjadi lima kelas. Komponen tingkat kerentanan masuk kategori tinggi apabila indeks diatas 0.8 sampai 1, dan masuk kategori sangat rendah apabila indeks kerentanan dibawah 0.2 sampai 0. Pengkelasan di sini bertujuan untuk mengkriterikan nilai kedalam golongan tertentu. Ada lima golongan yaitu SR (Sangat Rendah), R (Rendah), S (Sedang), T (Tinggi), dan ST (Sangat Tinggi). Pewarnaan setiap kategori komponen dilakukan untuk keperluan pemetaan indeks kerentanan wilayah agropolitan Kabupaten Malang.

Tabel 3. Kriteria Indeks

Nilai Komponen	Pewarnaan Keterpaparan; Sensitivitas dan Kerentanan	Pewarnaan Kapasitas Adaptasi
0.0 – 0.2	Sangat Rendah (SR)	Sangat Rendah (SR)
0.2 – 0.4	Rendah (R)	Rendah (R)
0.4 – 0.6	Sedang (S)	Sedang (S)
0.6 – 0.8	Tinggi (T)	Tinggi (T)
0.8 – 1.0	Sangat Tinggi (ST)	Sangat Tinggi (ST)

## Hasil dan Pembahasan

### Aspek Penyusun Komponen Agropolitan

Agropolitan merupakan suatu model pembangunan yang mengandalkan desentralisasi, pembangunan infrastruktur setara kota di wilayah perdesaan yang bertujuan untuk mendorong peningkatan produksi pertanian, mendukung tumbuhnya industri *agro-processing* skala kecil dan menengah, serta mendorong keberagaman aktivitas ekonomi di perdesaan (Pranoto, 2005; (Rustiadi 2011). Sebagai satu kesatuan model pembangunan, **agropolitan tersusun dari beberapa aspek utama dalam mencapai tujuannya, i.e, pertanian itu sendiri, aspek ekonomi, aspek industri (agro-industri) dan aspek pariwisata (agro-wisata)**. Setiap aspek tersebut tersusun dari komponen pendukung masing-masing. Merujuk pada pengertian agropolitan dan persoalan sumberdaya air yang terjadi di kawasan agropolitan Kabupaten Malang, maka menjadi penting untuk diperhatikan dalam penyusunan tingkat kerentanan agropolitan berdasarkan keempat aspek di atas dengan mempertimbangkan ketersediaan dan distribusi sumber air sebagai salah satu persoalan utama akibat dampak perubahan iklim.

### Aspek Pertanian

Pertanian menjadi tumpuan utama dalam pengembangan konsep *masterplan* agropolitan, sehingga seluruh penyusun komponen agropolitan mempertimbangkan aspek ini. Dalam penyusunan komponen pertanian, diperhatikan pula berbagai indikator penunjang pertanian yang dipengaruhi oleh sumberdaya air sebagai dampak perubahan iklim. Berbagai indikator penyusun aspek pertanian diantaranya adalah kepadatan pekerja pertanian, keberadaan bangunan terdampak, pencemaran pertanian, keberadaan pertanian terdampak, dan penurunan kualitas lahan (pada komponen keterpaparan). Penduduk usia non produktif, pekerja pertanian, tenaga kerja industri pertanian, dan sumber penghasilan (pada komponen sensitivitas) dan akses pertanian pada komponen kapasitas adaptasi.

Tabel 4. Daftar indikator terkait aspek pertanian penyusun agropolitan pada ketiga komponen tingkat kerentanan

Lingkup/Bagian	Indikator	Bobot	Variabel Turunan
<b>Keterpaparan</b>			
<b>Pertanian/Ekonomi Umum/Pertanian</b>	Kepadatan Pekerja Pertanian	0.275	Proporsi Pekerja Pertanian terhadap luas lahan pertanian
	Keberadaan Bangunan Terdampak	0.075	Keberadaan Bangunan Kumuh terhadap jumlah keluarga pertanian Keberadaan Bangunan di bantaran sungai terhadap jumlah keluarga pertanian
<b>Pertanian</b>	Pencemaran	0.050	Pencemaran Non Pertanian Pencemaran Pertanian
<b>Pertanian/Sumberdaya Air Pertanian</b>	Keberadaan Pertanian Terdampak	0.200	Proporsi Lahan Sawah Non Irigasi terhadap Sawah Irigasi
	Penurunan Kualitas Lahan	0.075	Proporsi Lahan Non-Sawah terhadap Luas Total Sawah Persentase Penurunan kualitas lahan
<b>Sensitivitas</b>			
<b>Pertanian/Ekonomi</b>	Penduduk Usia Non Produktif	0.150	Proporsi penduduk usia non produktif terhadap Jumlah Pekerja Pertanian
	Pekerja Pertanian	0.150	Proporsi Pekerja pertanian terhadap jumlah seluruh pekerja Proporsi buruh tani terhadap jumlah seluruh pekerja
<b>Pertanian/Industri Ekonomi/Pertanian</b>	Tenaga Kerja Industri Pertanian	0.150	Tenaga Kerja Industri Pertanian Per 100 Pekerja Pertanian Jenis Komoditi - jika pertanian
<b>Kapasitas Adaptasi</b>			
<b>Pertanian</b>	Akses Pertanian	0.175	Akses sarana produksi dan Alat Pertanian Akses Jalan Pengangkutan Hasil Pertanian

### Aspek Ekonomi

Aspek ekonomi dan pertanian di Kabupaten Malang sangat berkaitan erat. Perekonomian utama di kabupaten ini sangat tergantung pada sektor pertanian. Sektor pertanian merupakan sektor andalan dalam perekonomian Kabupaten Malang. Oleh karena itu, sebagian besar indikator ekonomi yang dimaksud sangat berkaitan erat dengan konsep agropolitan. Indikator ini disusun oleh kepadatan pekerja pertanian pada komponen keterpaparan, penduduk usia produktif, pekerja pertanian, tingkat kemiskinan dan sumber penghasilan dan penerimaan fasilitas kredit masyarakat untuk komponen sensitivitas. Pada komponen Kapasitas Adaptasi, indikator penyusunnya terdiri dari tingkat ekonomi yang disusun berdasarkan ketersediaan modal usaha pertanian, pasar pertanian, usaha pendukung pertanian, koperasi dan pendapatan asli daerah (PAD). Kedua, kapasitas adaptasi juga disusun oleh indikator kemampuan pariwisata daerah.

Tabel 5. Daftar indikator terkait aspek ekonomi penyusun agropolitan pada ketiga komponen tingkat kerentanan

Lingkup/Bagian	Indikator	Bobot	Variabel Turunan
<b>Keterpaparan</b>			
<b>Pertanian/Ekonomi</b>	Kepadatan Pekerja Pertanian	0.275	Proporsi Pekerja Pertanian terhadap luas lahan pertanian
<b>Sensitivitas</b>			
<b>Pertanian/Ekonomi</b>	Penduduk Usia Non Produktif	0.150	Proporsi penduduk usia non produktif terhadap Jumlah Pekerja Pertanian
	Pekerja Pertanian	0.150	Proporsi Pekerja pertanian terhadap jumlah seluruh pekerja proporsi buruh tani terhadap jumlah seluruh pekerja
<b>Umum/Ekonomi</b>	Tingkat Kemiskinan	0.100	Proporsi keluarga di pemukiman kumuh terhadap jumlah keluarga Proporsi keluarga di bantaran sungai terhadap jumlah keluarga
<b>Ekonomi</b>	Sumber Penghasilan Keluarga	0.150	Penghasilan Keluarga
<b>Ekonomi/Pertanian</b>			Jenis Komoditi – jika pertanian
<b>Ekonomi</b>	Penerimaan Fasilitas Kredit Masyarakat	0.100	Fasilitas Kredit Usaha Rakyat (KUR) Fasilitas Kredit Ketahanan Pangan dan Energi (KKP – E) Fasilitas Kredit Usaha Kecil (KUK)
<b>Kapasitas Adaptasi</b>			
<b>Ekonomi</b>	Tingkat Ekonomi	0.175	Modal usaha pertanian Pasar pertanian Usaha perdagangan Pendukung Pertanian Koperasi Pendapatan asli daerah
	Kemampuan Pariwisata	0.175	Proporsi Hotel dan Penginapan per 100 Penduduk

### Aspek Industri

Potensi industri di Kabupaten Malang cukup baik namun belum dapat digali dan dikembangkan. Hal ini terlihat dari selisih antara produksi dan potensi yang ada. Tidak semua daerah cocok dan kondusif untuk dijadikan kawasan industri. Banyak faktor yang dibutuhkan untuk menumbuhkembangkan sektor industri, diantaranya; ketersediaan sumber daya manusia yang handal, sumber daya alam, dan investasi yang cukup. Namun, mengacu pada ketersediaan data, maka penyusun indikator ini terdiri dari pencemaran industri, tenaga kerja industri pertanian dan proporsi industri kecil dan mikro.

Tabel 6. Daftar indikator terkait aspek industri penyusun agropolitan pada ketiga komponen tingkat kerentanan

Lingkup/Bagian	Indikator	Bobot	Variabel Turunan
<b>Keterpaparan</b>			
Industri	Pencemaran	0.100	Pencemaran Industri
<b>Sensitivitas</b>			
Pertanian/Industri	Tenaga Kerja Industri Pertanian	0.150	Tenaga Kerja Industri Pertanian Per 100 Pekerja Pertanian
<b>Kapasitas Adaptasi</b>			
Industri	Tingkat Industri	0.175	Proporsi Industri kecil dan mikro (tenaga kerja kurang dari 20 pekerja)

### Aspek Pariwisata

Pariwisata di Kabupaten Malang ditentukan oleh berbagai indikator yang mempengaruhinya yaitu lokasi wisata, pedagang di dalam dan di luar tempat wisata, fasilitas tempat wisata, kebersihan tempat wisata, sumber daya manusia (pengelola, pedagang, pengunjung), ketersediaan sumber daya air, dan harga tiket masuk lokasi wisata. Akan tetapi, mengacu pada ketersediaan data maka indikator ini disusun oleh indikator keberadaan tempat wisata dan kemampuan kunjungan wisata.

Tabel 7. Daftar indikator terkait aspek pariwisata penyusun agropolitan pada ketiga komponen tingkat kerentanan

Lingkup/Bagian	Indikator	Bobot	Variabel Turunan
<b>Keterpaparan</b>			
Pariwisata	Keberadaan Tempat Wisata Alam	0.125	Wisata Alam
<b>Sensitivitas</b>			
Pariwisata	Kunjungan Wisata	0.000	Kunjungan wisata terhadap jumlah penduduk

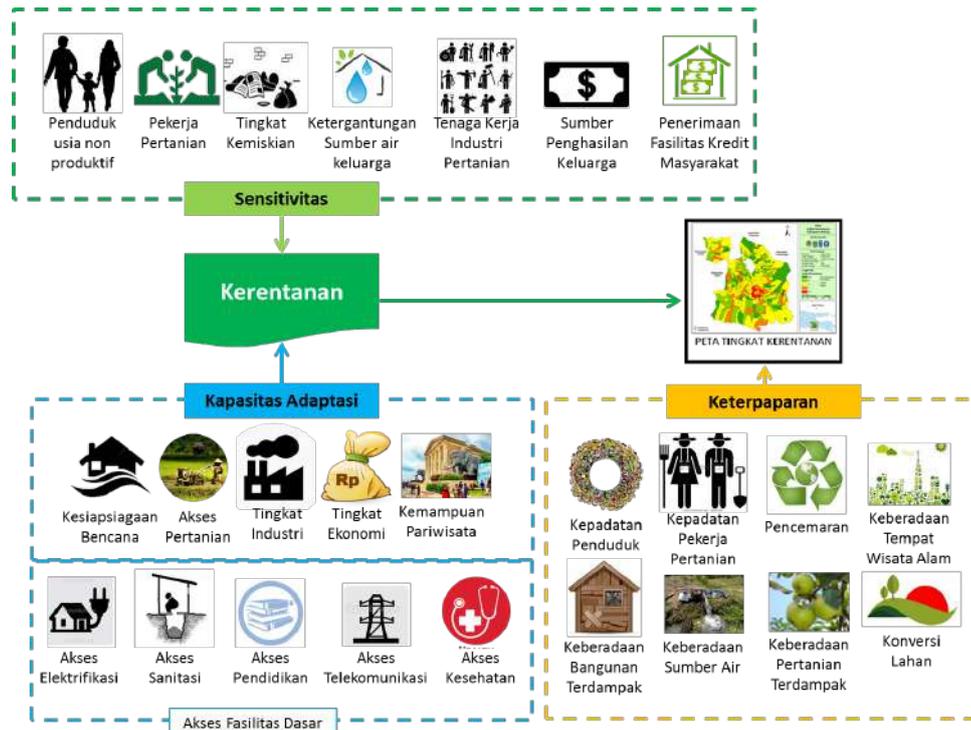
### Seleksi, Definisi dan Alasan Pemilihan Indikator Penyusun Agropolitan

Setelah dipertimbangkan penyusunan konsep agropolitan dengan keempat aspek di atas dan mempertimbangkan sumberdaya air sebagai persoalan utamanya maka disusunlah matriks penyusun konsep kerentanan agropolitan dengan mengacu pada ketiga komponen kerentanan IPCC yaitu keterpaparan, kerentanan yang terdiri dari sensitivitas dan kapasitas adaptasi. Tabel susunan disertai alasan pemilihan data pada masing-masing indikator ditunjukkan pada Tabel 8 dan Gambar 22. Pemilihan indikator ini juga mengacu pada ketersediaan data pada level desa di seluruh Kabupaten Malang. Setelah pemilihan Indikator, seleksi data hingga level desa dilakukan sebagai bahan pembentuk indikator tersebut. Seleksi ini menempatkan 115 data dan informasi tingkat desa yang digunakan untuk menyusun 51 variabel turunan. Sejumlah 51 variabel turunan ini digabungkan hingga membentuk 36 sub indikator yang digunakan untuk menyusun 21 indikator pada seluruh komponen tingkat kerentanan (Tabel 8).

Tabel 8. Jumlah penggunaan data dan informasi penyusun indikator

Komponen	Indikator	Sub Indikator	Variabel Turunan	Data
Keterpaparan	8	12	15	<b>115 Data dan Informasi</b>
Sensitivitas	7	10	13	
Kapasitas Adaptasi	6	14	23	
<b>Total</b>	<b>21</b>	<b>36</b>	<b>51</b>	

Secara ringkas, indikator penyusun masing-masing komponen disajikan pada gambar berikut.



Gambar 22. Indikator pembentuk tingkat kerentanan

Berdasarkan aspek penyusun agropolitan dan hasil seleksi indikator pada setiap aspek untuk masing-masing komponen kerentanan maka diperoleh hasil akhir berupa tabel indikator kerentanan untuk masing-masing aspek disertai pembobotannya (Tabel 9). Penyusunan pemetaan kerentanan mengikuti komponen tingkat kerentanan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 23. Indikator setiap komponen tingkat kerentanan disusun berdasarkan pembobotan dan variabel turunan masing-masing indikator

Tabel 9 Daftar Indikator agropolitan beserta pembobotannya

Lingkup/Bagian	Indikator	Bobot	Variabel Turunan
<b>KETERPAPARAN</b>			
Umum	Kepadatan Penduduk	0.100	Proporsi penduduk terhadap Luas Pemukiman
Pertanian/ Ekonomi	Kepadatan Pekerja Pertanian	0.275	Proporsi Pekerja Pertanian terhadap luas lahan pertanian
Umum/ Pertanian	Keberadaan Bangunan Terdampak	0.075	Keberadaan Bangunan Kumuh terhadap jumlah keluarga pertanian
Umum/ Pertanian			Keberadaan Bangunan di bantaran sungai terhadap jumlah keluarga pertanian
Sumberdaya Air	Keberadaan Sumber Air	0.100	Keberadaan Sumber Air untuk Aktivitas mandi/cuci
Sumberdaya Air			Keberadaan Sumber Air untuk Aktivitas minum/masak
Sumberdaya Air			Keberadaan Sumber Air untuk Aktivitas pertanian
Sumberdaya Air			Ketersediaan Sumber Air untuk Aktivitas pariwisata (komersial)
Sumberdaya Air			Keberadaan Sumber Air untuk Aktivitas perikanan
Pertanian	Pencemaran	0.050	Pencemaran Non Pertanian
Pertanian			Pencemaran Pertanian
Industri			Pencemaran Industri
Pariwisata	Keberadaan Tempat Wisata Alam	0.125	Wisata Alam
Pertanian/ Sumberdaya Air	Keberadaan Pertanian Terdampak	0.200	Proporsi Lahan Sawah Non Irigasi terhadap Sawah Irigasi
Pertanian/ Sumberdaya Air			Proporsi Lahan Non-Sawah terhadap Luas Total Sawah

Pertanian	Penurunan Kualitas Lahan	0.075	Persentase Penurunan kualitas lahan
<b>SENSITIVITAS</b>			
Pertanian/ Ekonomi	Penduduk Usia Non Produktif	0.150	Proporsi penduduk usia non produktif terhadap Jumlah Pekerja Pertanian
Pertanian/ Ekonomi	Pekerja Pertanian	0.150	Proporsi Pekerja pertanian terhadap jumlah seluruh pekerja
Pertanian/ Ekonomi			proporsi buruh tani terhadap jumlah seluruh pekerja
Umum/ Ekonomi	Tingkat Kemiskinan	0.100	Proporsi keluarga di pemukiman kumuh terhadap jumlah keluarga
Umum/ Ekonomi			Proporsi keluarga di bantaran sungai terhadap jumlah keluarga
Umum/ Sumberdaya Air	Ketergantungan Sumber Air Keluarga	0.200	Sumber air untuk minum/memasak sebagian besar keluarga
Umum/ Sumberdaya Air			Sumber air untuk mandi/cuci sebagian besar keluarga
Pertanian/ Industri	Tenaga Kerja Industri Pertanian	0.150	Tenaga Kerja Industri Pertanian Per 100 Pekerja Pertanian
Ekonomi	Sumber Penghasilan Keluarga	0.150	Penghasilan Keluarga
Ekonomi/ Pertanian			Jenis Komoditi - jika pertanian
Ekonomi	Penerimaan Fasilitas Kredit Masyarakat	0.100	Fasilitas Kredit Usaha Rakyat (KUR)
Ekonomi			Fasilitas Kredit Ketahanan Pangan dan Energi (KKP-E)
Ekonomi			Fasilitas Kredit Usaha Kecil (KUK)
<b>KAPASITAS ADAPTASI</b>			
Umum	Akses Fasilitas Dasar	0.200	Persentase Keluarga Pengguna Listrik terhadap jumlah keluarga
Umum			Jenis Buang Sampah
Umum			Jenis Buang Air Besar
Umum			Jenis Tempat Saluran Pembuangan Limbah/Air Kotor
Umum			Fasilitas Pendidikan - Bangunan
Umum			Fasilitas Pendidikan - SDM
Umum			Akses Telekomunikasi Keluarga
Umum			Akses Telekomunikasi Desa/Kelurahan
Umum			Akses Fasilitas Kesehatan
Umum			Sarana Kesehatan
Umum			Tenaga Kesehatan
Umum			Kesiapsiagaan Bencana
Umum	Perlengkapan keselamatan		
Umum	Jalur Evakuasi		
Pertanian	Akses Pertanian	0.175	Akses sarana produksi dan Alat Pertanian
Pertanian			Akses Jalan Pengangkutan Hasil Pertanian
Industri	Tingkat Industri	0.175	Proporsi Industri kecil dan mikro (tenaga kerja kurang dari 20 pekerja)
Ekonomi	Tingkat Ekonomi	0.175	Modal usaha pertanian
Ekonomi			Pasar pertanian
Ekonomi			Usaha perdagangan Pendukung Pertanian
Ekonomi			Koperasi
Ekonomi			Pendapatan asli daerah
Ekonomi	Kemampuan Pariwisata	0.175	Proporsi Hotel dan Penginapan per 100 Penduduk

## Analisis Tingkat Kerentanan

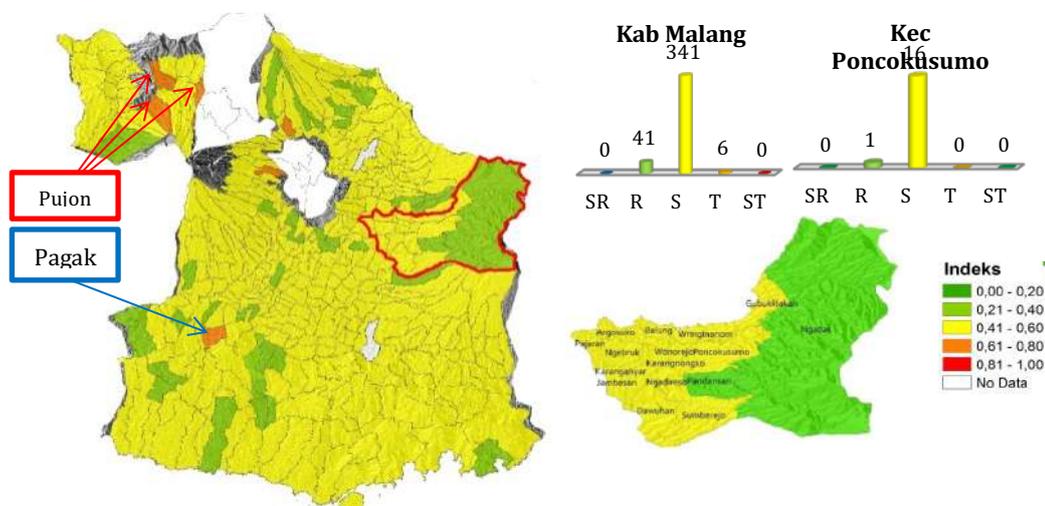
### *Tingkat Kerentanan Kabupaten Malang dan Kecamatan Poncokusumo*

Penilaian tingkat kerentanan agropolitan terdiri dari tiga komponen utama. Seperti yang dijelaskan di atas, komponen tersebut diantaranya adalah keterpaparan dan kerentanan yang terdiri dari sensitivitas dan kapasitas adaptasi. Keterpaparan menggambarkan kondisi fisik agropolitan yang dapat mengalami dampak negatif sebagai dampak perubahan iklim.

Hasil rekapitulasi jumlah desa pada setiap komponen tingkat keterpaparan disajikan pada Gambar 23 di bawah. Berdasarkan data Potensi Desa tahun 2014, jumlah desa di Kabupaten Malang terdapat 388 desa. Dari sejumlah tersebut, 341 desa atau 88%-nya termasuk pada kriteria Keterpaparan “sedang” sedangkan 41 desa atau 11%-nya termasuk kriteria “rendah”. Demikian pula untuk Kecamatan Poncokusumo, dari 17 desa, hanya satu yang masuk kategori Keterpaparan “Rendah” yaitu Desa Ngadas sedangkan ke 16 desa sisanya masuk kategori “sedang”.

Berdasarkan distribusi peta spasial tingkat keterpaparan, mayoritas desa tergolong “sedang” (S) diikuti “rendah” (R), hanya sebagian kecil kelurahan yang tergolong “tinggi” (T). Mayoritas desa dengan kategori “tinggi” berada di batas/tepi kota/kabupaten sehingga desa cukup terekspose oleh dampak perubahan iklim. Sementara, desa kategori “rendah” menyebar merata. Namun demikian, wilayah yang tergolong “tinggi” (T) ini harus mendapatkan perhatian dan antisipasi yang lebih dari Pemerintah Kabupaten Malang agar dampak kerugian dapat dikurangi. Sebaran desa berdasarkan tingkat keterpaparan menunjukkan bahwa desa yang memiliki tingkat keterpaparan tinggi adalah Desa Tlogorejo, Ngijo, Kalisongo Serta beberapa desa di Kecamatan Pujon (Desa Bendosari, Pandesari dan Ngabab). Sementara itu, sebagian besar desa di Kecamatan Poncokusumo tergolong “sedang”, hanya Desa Ngadas saja yang masuk kategori “rendah”.

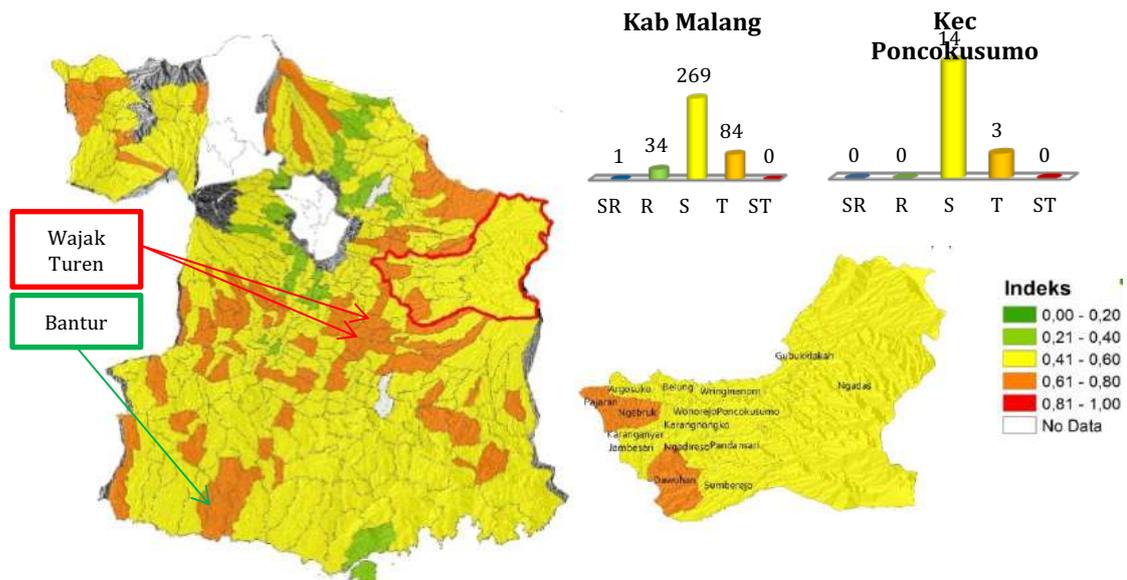
Sebagian besar desa termasuk Kecamatan Pujon yang tergolong tinggi keterpaparannya disebabkan oleh beberapa hal berikut. Pertama adalah buruknya kondisi sumber air. Indikator ini ditentukan oleh keberadaan sumber air untuk aktivitas mandi/cuci dan minum/memasak. Beberapa desa tersebut hanya menggunakan satu sumber air untuk berbagai keperluan (Sungai, Saluran Irigasi, Danau/waduk/situ/bendungan). Keberadaan SDA disuatu wilayah akan terpapar dengan semakin meningkatnya ancaman perubahan iklim. Jika suatu aktivitas masyarakat hanya bergantung pada satu/semakin sedikit sumber air yang digunakan maka daerah tersebut akan semakin terpapar. Sementara, keberadaan tempat wisata alam juga ikut berkontribusi besar dalam tingginya keterpaparan. Semakin banyak daerah dengan wisata alamnya maka lokasi wisata/daerah tersebut akan lebih terpapar (kondisi wisata alamnya). Desa Ngijo, Kalisongo, Bendosari dan Pandesari memiliki wisata alam yang berpotensi terdampak perubahan iklim.



Gambar 23. Peta keterpaparan Kabupaten Malang dan Kecamatan Poncokusumo

Dalam konteks perubahan iklim, kerentanan merupakan perkiraan besar dampak buruk yang timbul akibat keragaman dan perubahan iklim. Kerentanan menunjukkan besarnya selang toleransi ( *coping range*) sistem terhadap perubahan iklim. Apabila perubahan iklim melewati selang toleransi dari sistem tersebut, maka sistem tersebut dikatakan sudah rentan (*vulnerable*) terhadap perubahan iklim. Semakin sempit selang toleransi, maka semakin rentan sistem tersebut terhadap dampak perubahan iklim. Dalam konteks agropolitan, ***kerentanan adalah sekumpulan aspek agropolitan (aspek pertanian, ekonomi, industri dan pariwisata) yang berpengaruh buruk terhadap upaya-upaya pencegahan dan penanggulangan bencana.*** Kerentanan meliputi sensitivitas terhadap dampak negatif dan kurangnya kapasitas adaptasi untuk mengatasi dampak negatif. Sensitivitas adalah tingkatan atau derajat dimana suatu sistem dipengaruhi atau responsif terhadap rangsangan perubahan iklim sedangkan kapasitas adaptif menggambarkan kemampuan sistem dalam menyesuaikan terhadap perubahan iklim.

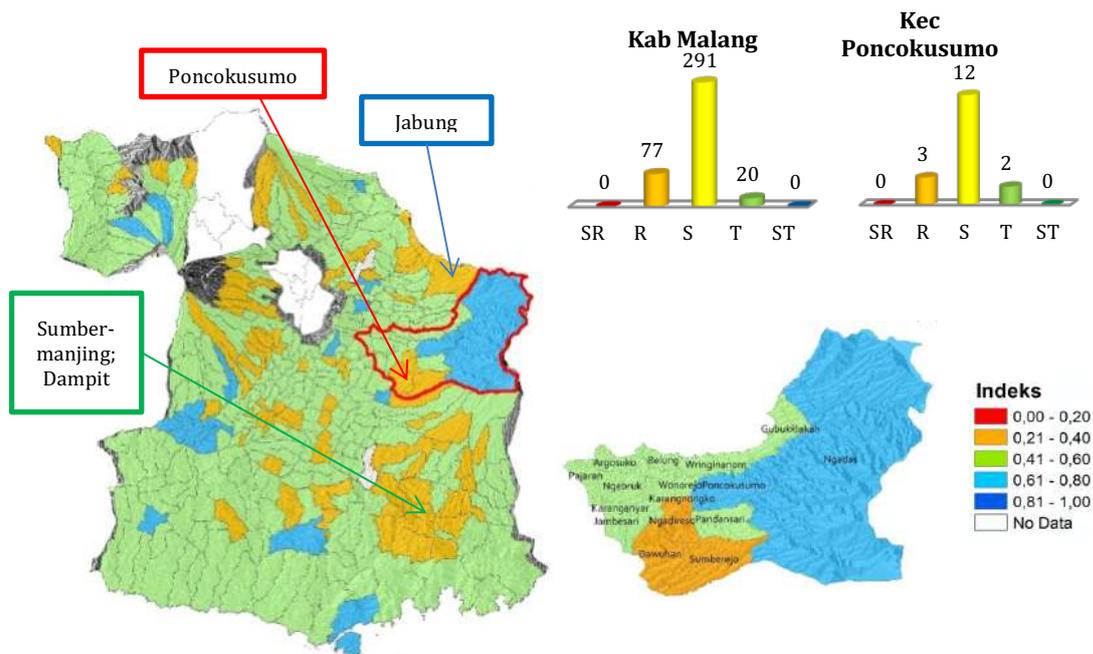
Pada komponen sensitivitas, sebaran desa lebih bervariasi terdistribusi pada berbagai kriteria (Gambar 24). Namun, mayoritas desa masih berada pada kriteria “sedang”. Sejumlah 269 desa atau 69% desa berada pada kategori tersebut. Berbeda dengan Keterpaparan, Komponen Sensitivitas cenderung rentan. Hal ini terbukti dari sejumlah 84 desa (22%) di Kabupaten Malang berada pada kriteria “tinggi”. Demikian pula di Poncokusumo, dari 17 desa, hanya 3 desa yang termasuk dalam kategori “Tinggi” sedangkan sisanya tergolong “sedang”. Desa-desa dengan kategori tinggi tersebut tersebar lebih banyak pada bagian tengah dan barat daya kabupaten dan hanya sebagian kecil di bagian utara. Desa-desa dengan kategori “tinggi” memiliki selang indeks 0.60 – 0.80. Berikut adalah desa-desa dengan indeks lebih dari 0.65 diantaranya Desa Tulungrejo, Wonorejo, Pojok, Karangrejo, Maguan, Plandi, Plaosan, Jeru, Sukolilo dan Pait. Sedangkan di Kecamatan Poncokusumo terdapat tiga desa dengan kategori “tinggi” diantaranya Dawuhan, Pajaran dan Ngebruk. Faktor-faktor yang berkontribusi utama pada tingginya sensitivitas adalah indikator Penerimaan Fasilitas Kredit Masyarakat dan Penghasilan Keluarga. Sementara faktor lain adalah Ketergantungan Sumber Penggunaan Air Keluarga diikuti Pekerja Pertanian. Fasilitas kredit ditentukan berdasarkan keberadaan fasilitas Kredit Usaha Rakyat (KUR), Kredit Ketahanan Pangan dan Energi (KKP - E), dan Kredit Usaha Kecil (KUK). Mayoritas masyarakat desa di Kabupaten Malang masih kekurangan fasilitas kredit oleh pemerintah seperti pada desa-desa yang disebutkan di atas. Jika masyarakat tidak mendapatkan dukungan pemerintah terutama pemerintah desa dalam hal pengembangan usaha melalui kredit maupun pinjaman maka perkembangan masyarakat tersebut dalam membangun agropolitan akan kurang dan keadaan ini akan berdampak pada semakin tingginya sensitivitas desa. Penghasilan keluarga juga memberikan kontribusi besar pada tingginya sensitivitas. Mayoritas masyarakat desa masih banyak yang bermatapencaharian dalam bidang pertanian dengan hasil pertanian berupa Padi. Sebagai contoh di Desa Pajaran Kecamatan Pajaran, desa ini terdiri dari 6429 Penduduk, sekitar 4.8% (310) masyarakatnya bekerja pada bidang pertanian berupa (Perkebunan, Perikanan, dan Peternakan) sedangkan 13.6% (875) masyarakatnya bekerja sebagai buruh tani. Semakin banyak penduduk yang bermatapencaharian pada bidang pertanian maka daerah tersebut akan semakin sensitif, terlebih jika hasil pertaniannya berupa tanaman pangan (Padi). Hal ini diakibatkan karena pertanian adalah salah satu sektor yang paling rentan terdampak oleh perubahan iklim terutama terkait kondisi curah hujan yang berimplikasi pada keberadaan air irigasi.



Gambar 24. Peta sensitivitas Kabupaten Malang dan Kecamatan Poncokusumo

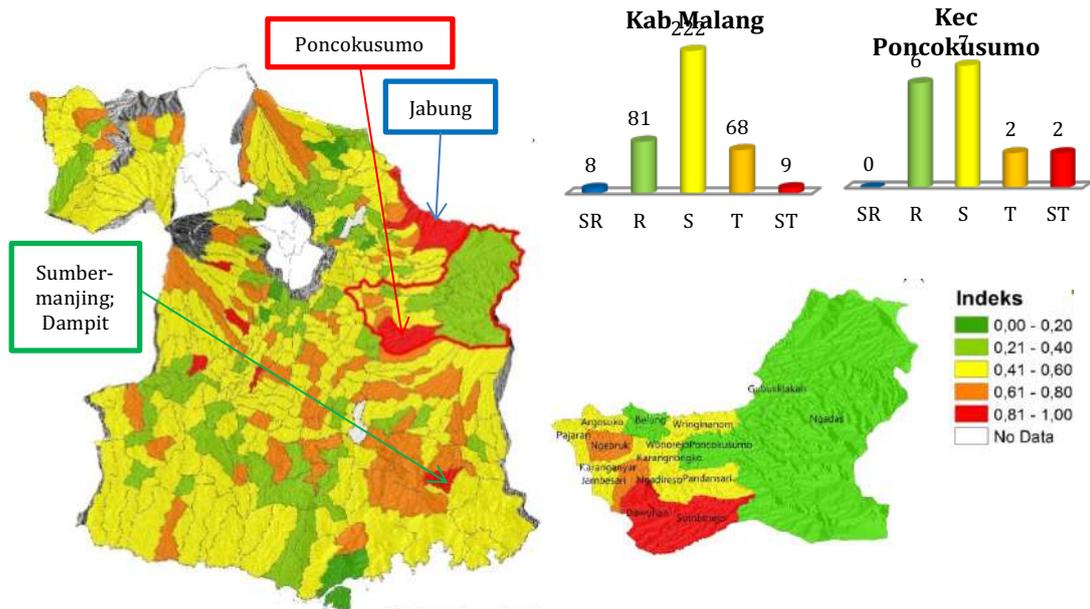
Kemampuan suatu daerah dalam menurunkan dampak negatif dan memaksimalkan dampak positif atau dikenal sebagai kapasitas adaptasi atau dengan kata lain kapasitas adaptasi menggambarkan kemampuan desa dalam melakukan penyesuaian (*adjust*) terhadap perubahan iklim. Hasil analisis terhadap kapasitas adaptif untuk Kabupaten Malang menunjukkan bahwa kapasitas sebagian besar desa di kabupaten ini tergolong “sedang” (Gambar 25). Artinya, kemampuan adaptasi desa terutama dalam menghadapi perubahan iklim dalam ruang agropolitan cukup baik. Berdasarkan hasil rekapitulasi, mayoritas desa atau 291 desa (75%) tergolong pada kriteria “Sedang” dan 77 desa atau 20% desa termasuk pada kriteria “Rendah”. Hanya 20 desa (5%) yang termasuk berkapasitas adaptasi “tinggi”. Sementara di Kecamatan Poncokusumo, mayoritas desa tersebar dari tingkat adaptasi “rendah” hingga “tinggi”, namun kecenderungannya masih sama yaitu pada tingkat “sedang”.

Desa-desa dengan kapasitas rendah perlu mendapatkan perhatian lebih. Beberapa daerah tersebut diantaranya adalah Ringinsari, Sumbersuko, Kepatihan, Sukorejo, Petungsewu, Ngadirejo, Taji, Argosari dan Ampeldento. Sementara desa dengan kapasitas rendah di Kecamatan Poncokusumo diantaranya Dawuhan, Sumberejo dan Ngadireso. Mayoritas desa yang berada pada kapasitas rendah terutama disebabkan oleh minimnya Akses Pertanian (0.175), Tingkat Ekonomi (0.175) dan Tingkat Industri (0.175), diikuti rendahnya kesiapsiagaan bencana (0.100). Nilai diatas menunjukkan bobot yang diterapkan saat perhitungan. Indeks masing-masing indikator dominan bernilai sangat rendah (< 0.333). Hal ini mengindikasikan kemampuan desa untuk beradaptasi seperti minimnya keberadaan sumberdaya sarana dan prasarana.



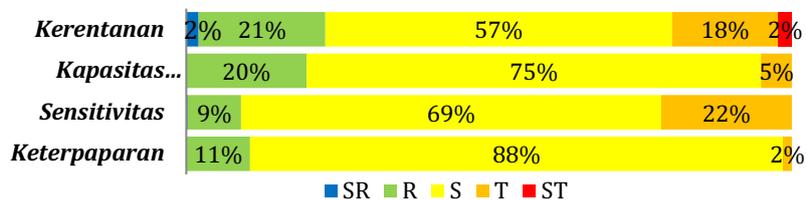
Gambar 25. Peta kapasitas adaptasi Kabupaten Malang dan Kecamatan Poncokusumo

Berdasarkan konsep IPCC (2014) sebagaimana dijelaskan di atas kerentanan dipengaruhi oleh dua faktor yaitu: tingkat sensitivitas (*sensitivity*) dan kapasitas adaptasi (*adaptive capacity*). Tingkat kerentanan diukur sebagai rasio antara tingkat sensitivitas dan kapasitas adaptasi. Kerentanan berbanding lurus dengan tingkat sensitivitas dan berbanding terbalik dengan kapasitas adaptasi. Kondisi tingkat kerentanan akan semakin buruk bila sensitivitasnya tinggi dan/atau rendahnya kapasitas adaptasi. Berdasarkan hasil perhitungan, mayoritas desa termasuk pada kategori “sedang”, namun sebarannya cukup merata untuk kategori “rendah” dan “tinggi”. Dari 388 desa yang dianalisis, sejumlah 222 desa (57%) termasuk pada kriteria “Sedang” sementara 81 desa (21%) termasuk “Rendah” dan 68 desa (18%) termasuk “tinggi”. Demikian pula untuk Kecamatan Poncokusumo, mayoritas desa cenderung pada tingkat kerentanan “rendah” dan “sedang”. Hanya dua desa yang masuk kategori “tinggi” dan “sangat tinggi” (Gambar 26). Meskipun hanya sebagian kecil desa yang masuk kategori tersebut akan tetapi desa-desa inilah yang perlu mendapat perhatian serius. Desa-desa yang masuk kedalam kategori “sangat tinggi” adalah Desa Kepatihan, Sukorejo, Dawuhan, Sumberejo, Kranggan, Petungsewu, Ngadirejo, Taji dan Argosari. Seperti yang dijelaskan sebelumnya tingginya kerentanan ini disebabkan oleh rendahnya kapasitas adaptasi dan/atau tingginya sensitivitas. Sebagai contoh, pada selang 0-1 untuk setiap komponen kerentanan, Desa Dawuhan di Kecamatan Poncokusumo memiliki indeks sensitivitas sebesar 0.603 sedangkan kapasitas adaptasinya hanya 0.300.



Gambar 26. Peta kerentanan Kabupaten Malang dan Kecamatan Poncokusumo

Secara ringkas, sebaran kriteria setiap komponen dapat dijelaskan seperti pada Gambar 27. Berdasarkan hasil tersebut, lebih dari 50% desa masuk pada kategori “sedang” pada masing-masing komponen. Hanya sebagian kecil desa yang termasuk kedalam kategori “rendah” maupun “tinggi”. Hal ini menunjukkan, untuk keterpaparan dan sensitivitas mayoritas desa cukup rentan akan dampak perubahan iklim, meskipun 80% desa sudah memiliki kemampuan adaptasi diatas cukup.



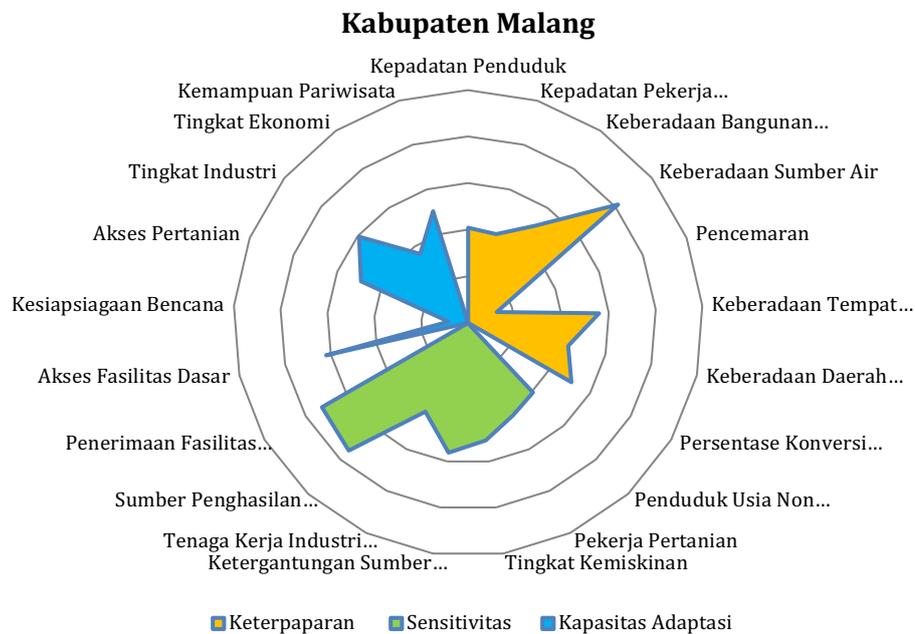
Gambar 27. Persentase kategori setiap komponen

### Penilaian Indikator Penyusun Kerentanan

Faktor yang berkontribusi terhadap tingkat kerentanan yang disusun berdasarkan komponen sensitivitas dan kapasitas adaptasi serta kaitannya dengan keterpaparan dapat dianalisis melalui penggunaan petalchart yang menggambarkan semua nilai indikator penyusun masing-masing komponen. Pola dan nilai masing-masing indikator dapat memberikan informasi indikator yang memiliki dampak negatif dan perlu diintervensi melalui program-program pemerintah maupun melibatkan organisasi non pemerintah. Program intervensi harus diselaraskan dengan rencana pembangunan daerah baik jangka panjang maupun jangka menengah, dan disinkronkan setiap tahun melalui rencana kerja pemerintah untuk dapat memberikan dampak langsung berupa pengurangan kerentanan dari dampak perubahan iklim di masyarakat.

Untuk menggambarkan distribusi tingkat kerentanan seluruh desa, maka nilai kerentanan yang merupakan fungsi dari sensitivitas dan kapasitas adaptasi dinormalisasi pada rentang nilai 0 sampai 1. Nilai 0 menunjukkan kerentanan yang sangat rendah sedangkan nilai 1 menunjukkan kerentanan yang sangat tinggi. Distribusi tingkat kerentanan menunjukkan bahwa sebagian besar desa berada pada nilai 0.4 – 0.6 atau tingkat kerentanan sedang dengan rata-rata tingkat kerentanan desa di Kabupaten Malang sebesar 0.50.

Berdasarkan Gambar 28 dapat dilihat bahwa nilai kapasitas adaptasi rata-rata desa di Kabupaten Malang relatif baik untuk indikator akses fasilitas dasar dan akses industri lebih besar dari 0.6 yang berarti memiliki tingkatan baik, sementara akses pertanian dan pariwisata berada pada tingkat cukup baik antara 0.4 – 0.6. Yang perlu mendapat perhatian adalah tingkat ekonomi dan kesiapsiagaan bencana yang memiliki nilai rendah sehingga tidak dapat berkontribusi untuk mengurangi kerentanan wilayah desa dari dampak perubahan iklim.



Gambar 28. Identifikasi faktor berkontribusi terhadap keterpaparan dan kerentanan di Kabupaten Malang

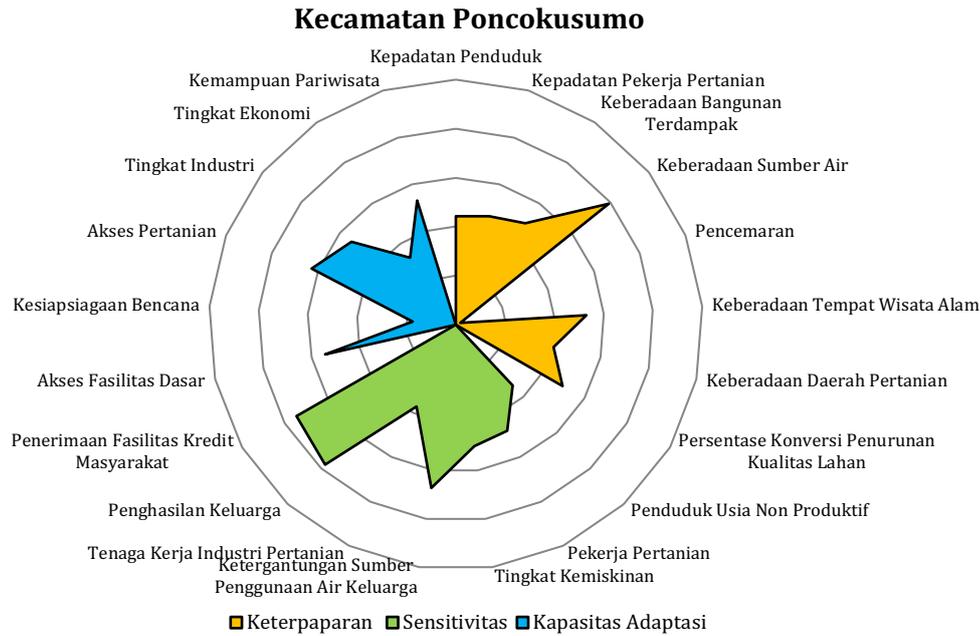
Hasil analisis menunjukkan indikator tingkat ekonomi terkait pertanian berdasarkan rata-rata desa di Kabupaten Malang berada pada tingkat rendah dengan nilai sekitar 0.4. Indikator tingkat ekonomi pertanian merupakan fungsi dari keberadaan modal usaha pertanian, pasar pertanian, usaha perdagangan pendukung pertanian, koperasi dan tingkat pendapatan asli daerah. Sebagian besar desa di Kabupaten Malang masih berbasis desa pertanian, namun dari data yang ada menunjukkan pendukung pertanian terkait modal usaha, pasar pertanian, usaha pendukung dan koperasi di tingkat desa belum banyak dimiliki oleh desa-desa di Kabupaten Malang. Selain itu keberadaan desa masih didominasi dengan sistem pertanian konvensional yang mengandalkan pertanian subsisten, dimana hasil kegiatan pertanian masih memiliki tujuan utama untuk digunakan memenuhi kebutuhan hidup dari keluarga petani. Pertanian subsisten ini biasanya berkaitan langsung dengan kegiatan *on-farm* dengan ciri kepemilikan lahan pertanian yang digunakan sangat kecil. Hal ini menyebabkan secara rata-rata pendapatan asli daerah di tingkat desa juga sangat terbatas dan tidak dapat memberikan kontribusi untuk meningkatkan kapasitas adaptasi desa tersebut

Aspek kesiapsiagaan bencana mempunyai nilai indikator kapasitas yang paling kecil. Hal ini dapat terkait dengan program pemberdayaan masyarakat dalam pencegahan dan kesiapsiagaan bencana yang belum berjalan optimal. Pembentukan komunitas siaga bencana dengan sistem pengamanan dini belum tersedia di semua desa. Berdasarkan data BPBD Kabupaten Malang (2016), dengan target 70% peningkatan kemampuan tentang kebencanaan di daerah rentan bencana hanya tercapai 12% di akhir tahun 2015. Baru terdapat 24 komunitas yang dibina dari 33 komunitas yang ada di Kabupaten Malang.

Berdasarkan analisis dari adanya beberapa tingkat indikator kapasitas adaptasi yang masih kurang untuk wilayah agropolitan di Kabupaten Malang, maka diperlukan intervensi pemerintah dalam memberikan bantuan modal usaha pertanian yang disalurkan melalui kelembagaan ekonomi desa seperti koperasi. Pasar pertanian juga perlu dikembangkan untuk memperkuat akses pemasaran dari produk-produk pertanian yang dihasilkan, baik untuk pemasaran langsung ke masyarakat maupun untuk distribusi ke pasar yang lebih luas. Peran aktif BPBD untuk terus melakukan berbagai program peningkatan kesiapsiagaan berbasis komunitas di tingkat desa serta penyediaan berbagai sarana dan prasarana penyelamatan terutama di daerah rentan bencana dapat menjadi bagian dari program peningkatan kapasitas adaptasi daerah dalam menghadapi dampak perubahan iklim.

Dalam aspek sensitivitas, indikator sumber penghasilan keluarga rata-rata desa di Kabupaten Malang relatif tinggi dibandingkan indikator yang lain. Hal ini menunjukkan sumber penghasilan keluarga masyarakat masih didominasi oleh sektor pertanian dengan pendapatan yang relatif rendah. Hal ini secara umum terjadi di seluruh wilayah Indonesia, dimana produktivitas ekonomi sektor pertanian masih relatif rendah. Rata-rata nilai pendapatan ekonomi pekerja pertanian di Indonesia masih sekitar USD 3000 atau sekitar Rp. 39.000.000 juta per pekerja per tahun, masih jauh dibandingkan negara tetangga Malaysia yang sudah mencapai USD 10000 (ADB, 2015). Untuk indikator lain pada aspek sensitivitas menunjukkan nilai yang bervariasi pada kisaran menengah antara 0.40 – 0.60.

Pada aspek keterpaparan, keberadaan sumber air menjadi indikator dengan nilai paling tinggi yang menunjukkan adanya permasalahan air yang dapat meningkatkan risiko wilayah dari dampak perubahan iklim. Sumberdaya air merupakan salah satu sektor yang sangat terdampak dari perubahan iklim, terkait perubahan pola distribusi temporal dan jumlah total curah hujan yang menjadi sumber air utama di kawasan pertanian. Letak sebagian wilayah Kabupaten Malang yang berada pada daerah dataran tinggi dan merupakan daerah taman nasional dan kawasan lindung terbatas yang relatif terjaga memiliki potensi curah hujan yang cukup tinggi dan dapat tersimpan sebagai sumber air yang cukup untuk memenuhi sebagian besar wilayah Kabupaten Malang. Berdasarkan Master Plan Agropolitan yang dikeluarkan oleh Pemerintah Kabupaten Malang (2007) tipologi kawasan Agropolitan kecamatan Poncokusumo terdiri dari Kawasan lindung terbatas, kawasan lindung lainnya dan kawasan budidaya. Kawasan lindung terbatas terletak di Desa Ngadas (>1,500 mdpl) dengan jenis kegiatan utama berupa ekowisata. Desa Gubugklakah dan sebagian Desa Wringinanom (1,000-1,500 mdpl) termasuk kawasan lindung lain. Desa tersebut memiliki kegiatan utama yaitu sektor pertanian, contohnya budidaya pertanian hortikultura dan wisata dataran tinggi. Sedangkan desa lainnya seperti Poncokusumo, Karanganyar, Ngebruk, Pajaran, Wonorejo, Ngadireso, Dawuhan, Wonomulyo, dan Wringinanom (100-500 mdpl) berada di kawasan budidaya terutama kegiatan pertanian dan industri. Fokus utama kegiatan kawasan ini adalah pertanian pangan, industri non pulutan/ rumah tangga pengolahan hasil pertanian. Wilayah desa yang menjadi daerah utama pengembangan agropolitan adalah Desa Poncokusumo dan Desa Monomulyo. Selain kedua desa tersebut terdapat beberapa desa pendukung pengembangan agropolitan seperti Desa Wonorejo, Wringinsongo, Wringinanom, Karangnongko, Agrosuko dan Belung. Perlu disadari oleh pemerintah daerah bahwa manajemen air yang kurang baik serta pengelolaan daerah hulu di dataran tinggi yang tidak menerapkan prinsip-prinsip konservasi hutan dan sumber daya air dapat menjadi ancaman permasalahan air yang semakin besar dimasa depan.

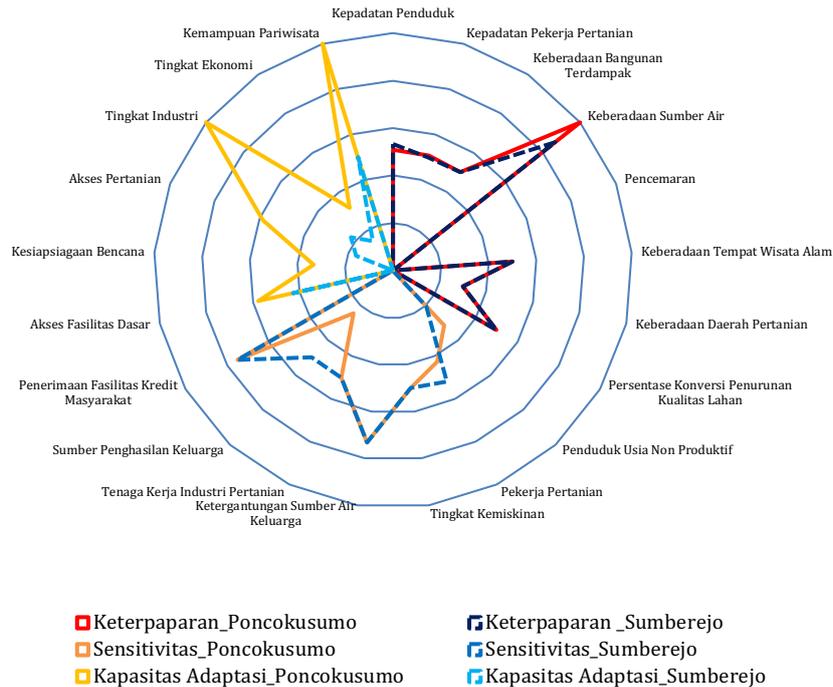


Gambar 29. Identifikasi faktor berkontribusi terhadap keterpaparan dan kerentanan di Kecamatan Poncokusumo

Bedasarkan analisis dari nilai kerentan setiap desa sebelumnya, dapat dilihat bahwa tingkat kerentan desa di Kecamatan Poncokusumo berada pada kisaran rendah sampai sangat tinggi. Terdapat 4 dari 17 desa di Kecamatan Poncokusumo memiliki tingkat kerentanan tinggi sampai sangat tinggi. Nilai kerentanan desa di Kecamatan Poncokusumo berkisar antara 0.24 di Desa Poncokusumo sampai 0.94 di Desa Sumberejo dengan nilai kerentanan rata-rata sedikit lebih tinggi dari rata-rata seluruh desa di kabupaten yaitu 0.52. Desa Poncokusumo masuk dalam kategori desa dengan kerentanan rendah (0.2 – 0,4), sedangkan Desa Sumberejo masuk dalam kategori sangat tinggi (0.8 – 1.0). Nilai sensitivitas rata-rata desa di Kecamatan Poncokusumo yaitu 0.554, lebih tinggi dibandingkan di tingkat kabupaten sebesar 0.537. Hal ini disebabkan faktor ketergantungan sumber air keluarga untuk rata-rata desa di Kecamatan Poncokusumo kurang baik dari rata-rata desa di tingkat kabupaten.

Dari analisis indikator pembentuk komponen kerentanan ada, dapat dilihat bahwa pola dari nilai indikator rata-rata desa-desa di tingkat kabupaten sama dengan nilai rata-rata desa-desa di Kecamatan Poncokusumo. Sebagian besar indikator rata-rata desa-desa di Kecamatan Poncokusumo memiliki nilai lebih kecil namun dengan kisaran perbedaan yang tidak besar dengan tingkat kabupaten. Perbedaan yang cukup besar hanya ditunjukkan oleh nilai indikator akses fasilitas dasar dimana rata-rata desa di Kecamatan Poncokusumo lebih kecil dibanding rata-rata desa di Kabupaten Malang. Namun Kecamatan Poncokusumo memiliki nilai indikator akses pertanian jauh lebih baik. Baiknya nilai akses pertanian dapat memberikan gambaran bahwa pemerintah daerah telah cukup baik dalam menyediakan dukungan dalam bentuk akses pertanian untuk Kecamatan Poncokusumo yang ditetapkan sebagai pusat pengembangan pertanian. Hasil analisis menunjukkan bahwa Kecamatan Poncokusumo memang dikembangkan menjadi sentra pertanian dengan akses produksi dan sarana pertanian yang baik serta didukung oleh ketersediaan infrastruktur pengangkutan hasil pertanian.

Nilai kerentanan yang sangat tinggi di Desa Sumberejo, disebabkan karena nilai kapasitas adaptasi yang rendah namun memiliki sensitivitas yang cukup tinggi. Sensitivitas Desa Sumberejo 0.59 sedangkan Desa Poncokusumo 0.46 yang sama-sama masuk dalam kategori sedang. Sementara itu kapasitas adaptasi Desa Sumberejo 0.27 yang masuk kategori tinggi, sedangkan Desa Poncokusumo 0.66 masuk kategori rendah.



Gambar 30. Perbandingan dan identifikasi faktor berkontribusi terhadap keterpaparan dan kerentanan di Desa Sumberejo dan Desa Poncokusumo, Kecamatan Poncokusumo

Berdasarkan diagram pada Gambar 30, dapat dilihat bahwa seluruh nilai indikator penyusun kapasitas adaptasi di desa Poncokusumo lebih baik dibandingkan desa Sumberejo terutama untuk tingkat industri dan kapasitas pariwisata. Poncokusumo merupakan desa wisata yang memiliki proporsi jumlah penginapan terhadap jumlah penduduk relatif tinggi dibandingkan desa lain. Selain itu, sebagai desa pertanian Poncokusumo juga memiliki banyak industri pengolahan hasil pertanian. Kondisi berbeda terjadi di desa Sumberejo yang memiliki kemampuan wisata dan tingkat industri pertanian jauh lebih rendah dibandingkan desa Poncokusumo. Desa Poncokusumo memiliki nilai indikator kesiapsiagaan bencana dari ketersediaan jalur evakuasi yang merupakan satu dari tiga sub indikator kesiapsiagaan bencana. Sementara itu desa Sumberejo tidak memiliki satupun sub indikator yang dapat mendukung nilai indikator kesiapsiagaan bencana.

Tingkat ekonomi kedua desa tersebut tidak terlalu jauh berbeda yaitu 0.32 untuk desa Poncokusumo dan 0.15 untuk desa Sumberejo, masih dibawah rata desa-desa di kabupaten malang dengan nilai 0.36 atau kisaran 0.06 sampai 0.64. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kemampuan wisata dan industri yang tinggi di desa Poncokusumo belum memberikan pengaruh untuk tingkat ekonomi yang tinggi, terutama berdasarkan aspek pendapatan asli daerah per desa. Bahkan nilai tingkat ekonomi desa Poncokusumo masih dibawah rata-rata desa di seluruh kabupaten malang.

Tingkat sensitivitas desa Poncokusumo dan Sumberejo memiliki perbedaan yang kecil, karena nilai indikator pembentuk sensitivitas yang cenderung sama kecuali untuk indikator sumber penghasilan keluarga dan pekerja pertanian. Tingkat sensitivitas semakin tinggi jika sebagian besar lahan pertanian dimanfaatkan untuk tanaman pangan, sementara di Desa Poncokusumo yang berada di dataran tinggi sebagian besar lahan pertanian digunakan untuk pertanian hortikultura berupa buah-buahan dan sayuran. Jika lahan pertanian terkena dampak perubahan iklim, maka jumlah masyarakat yang terkena dampak akan semakin besar jika di desa tersebut banyak terdapat pekerja pertanian dan buruh tani.

Berbeda dengan tingkat sensitivitas dan kapasitas adaptif, tingkat keterpaparan Desa Poncokusumo dan Desa Sumberejo relatif sama yaitu 0.49 dan 0.47. Berdasarkan diagram pada Gambar 30 dapat dilihat bahwa indikator pembentuk keterpaparan memiliki pola dan kisaran nilai yang hampir sama untuk kedua desa tersebut. Hal ini menunjukkan perbedaan tingkat risiko kedua desa tersebut akan lebih banyak dipengaruhi faktor kerentanan dan ancaman bahaya dibandingkan dengan faktor keterpaparan yang dimiliki kedua desa tersebut. Namun nilai indikator keberadaan sumber mata air yang lebih tinggi di Desa Poncokusumo menunjukkan keberadaan sumber air lebih terbatas sehingga memiliki potensi permasalahan air yang lebih besar dimasa depan seiring sebagai dampak perubahan iklim.

### **Wilayah Rentan dan Faktor Penyebabnya**

Besarnya faktor yang berkontribusi pada tinggi atau rendahnya tingkat kerentanan dapat dilihat dari variabel pembentuknya. Sebagai contoh dalam laporan ini disajikan variabel dominan di Desa Sumberejo dan Poncokusumo untuk melihat faktor utama apa saja yang berpengaruh buruk pada tingginya tingkat kerentanan. Untuk lebih jelasnya perhatikan Tabel 8 di bawah. Nilai yang berwarna menunjukkan tingginya pengaruh buruk terhadap keterpaparan maupun kerentanan. Warna orange menunjukkan variabel yang berkontribusi Tinggi sementara warna merah menunjukkan Sangat Tinggi. Variabel ini juga mengindikasikan perlunya prioritas penanganan segera.

Berdasarkan Tabel 10, tingkat keterpaparan yang dimiliki Desa Poncokusumo dan Sumberejo tidak jauh berbeda, namun Desa Sumberejo sedikit lebih baik. Keberadaan sumber mata air yang lebih terbatas di Desa Poncokusumo menyebabkan jaminan ketersediaan air untuk semua aktivitas masyarakat menjadi lebih tidak pasti apalagi dikaitkan dengan perubahan pola hujan sebagai indikator perubahan iklim yang terjadi. Oleh karena itu, Poncokusumo sebagai daerah agropolitan perlu memperhatikan aspek ini sebagai langkah adaptasinya.

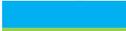
Sementara pada komponen sensitivitas menunjukkan kedua desa memiliki tingkat sensitivitas yang tidak jauh berbeda. Variabel penyusun tingkat sensitivitas yang perlu diperhatikan pada kedua desa tersebut adalah ketergantungan pada sumber air untuk keluarga. Kedua desa memiliki nilai tinggi yang menunjukkan sensitif dengan dampak perubahan iklim. Sumber penghasilan keluarga pada kedua desa dan ketersediaan fasilitas kredit masyarakat juga menjadi masalah terutama di Desa Sumberejo.

Kapasitas adaptasi kedua desa memiliki nilai yang jauh berbeda, karena Desa Poncokusumo memiliki faktor yang berkontribusi dalam bentuk variabel turunan lebih baik. Desa Poncokusumo memiliki infrastruktur dan sarana prasarana jauh lebih baik terutama pada akses fasilitas dasar. Sementara pada Desa Sumberejo hampir sebagian besar variabel kapasitas adaptasi menunjukkan kurang baik. Kapasitas adaptasi yang perlu di tingkatkan di Desa Sumberejo meliputi fasilitas pendidikan – SDM, akses telekomunikasi desa/kelurahan, sarana kesehatan, tenaga kesehatan, sistem pengamanan dini, perlengkapan keselamatan, jalur evakuasi, akses sarana produksi dan alat pertanian, modal usaha pertanian, pasar pertanian, usaha perdagangan dan pendukung pertanian koperasi.

Tabel 10. Komponen utama faktor keterpaparan dan kerentanan di Desa Sumberejo dan Desa Poncokusumo, Kecamatan Poncokusumo

Variabel Turunan	Sumberejo	Poncokusumo	Variabel Turunan	Sumberejo	Poncokusumo
<b>Keterpaparan</b>			<b>Kapasitas Adaptasi</b>		
Proporsi penduduk terhadap Luas pemukiman (Jiwa/Ha)	0.533	0.510	Persentase Keluarga Pengguna Listrik	1.000	0.974
Proporsi pekerja pertanian terhadap Luas pemukiman (Jiwa/Ha)	0.498	0.506	Jenis Buang Sampah	0.400	0.400
Proporsi jumlah bangunan rumah pemukiman kumuh terhadap jumlah pekerja keluarga pertanian	0.500	0.500	Jenis Buang Air Besar	1.000	1.000
Proporsi Jumlah bangunan di bantaran sungai terhadap jumlah pekerja keluarga pertanian	0.500	0.500	Jenis Tempat Saluran Pembuangan Limbah/Air Kotor	0.250	0.750
Keberadaan Sumber Air untuk_Aktivitas mandi/cuci	0.667	1.000	Fasilitas Pendidikan - Bangunan	0.393	0.384
Keberadaan Sumber Air untuk_Aktivitas minum/masak	1.000	1.000	Fasilitas Pendidikan - SDM	0.034	0.138
Keberadaan Sumber Air untuk_Aktivitas pertanian	0.667	1.000	Akses Telekomunikasi Keluarga	0.270	0.453
Ketersediaan Sumber Air untuk_Aktivitas pariwisata (komersial)	1.000	1.000	Akses Telekomunikasi Desa/Kelurahan	0.000	0.500
Keberadaan Sumber Air untuk_Aktivitas perikanan	1.000	1.000	Akses Fasilitas Kesehatan	0.422	0.652
Pencemaran Non Pertanian	0.000	0.000	Sarana Kesehatan	0.137	0.375
Pencemaran Industri	0.000	0.000	Tenaga Kesehatan	0.180	0.329
Wisata Alam	0.500	0.500	Sistem pengamanan dini	0.000	0.000
Luas Lahan Sawah di Desa/Kelurahan	0.500	0.500	Perlengkapan keselamatan	0.000	0.000
Proporsi Lahan Non-Sawah terhadap Luas Desa/Kelurahan Luas Total Sawah	0.000	0.000	Jalur Evakuasi	0.000	1.000
Persentase Konversi Penurunan Kualitas Lahan	0.500	0.500	Akses sarana produksi dan Alat Pertanian	0.000	0.500
<b>Sensitivitas</b>			Akses Jalan Pengangkutan Hasil Pertanian	0.333	0.667
Proporsi penduduk usia non produktif terhadap Jumlah Pekerja Pertanian	0.205	0.314	Proporsi Industri kecil dan mikro (tenaga kerja kurang dari 20 pekerja)	0.226	1.000
Proporsi Pekerja pertanian terhadap jumlah Penduduk	0.526	0.207	Modal usaha pertanian	0.000	1.000
Proporsi buruh tani terhadap jumlah penduduk	0.513	0.571	Pasar pertanian	0.000	0.000
Proporsi keluarga di pemukiman kumuh terhadap jumlah keluarga	0.500	0.500	Usaha perdagangan Pendukung Pertanian	0.074	0.074
Proporsi keluarga di bantaran sungai terhadap jumlah keluarga	0.500	0.500	Koperasi	0.136	0.187
Sumber air untuk minum/memasak sebagian besar keluarga	0.750	0.750	Pendapatan asli daerah	0.391	0.520
Sumber air untuk mandi/cuci sebagian besar keluarga	0.714	0.714	Pariwisata	0.500	1.000
Kunjungan wisata terhadap jumlah penduduk	0.500	0.500			
Tenaga Kerja Industri Pertanian	0.500	0.244			
Penghasilan Keluarga	1.000	1.000			
Jenis Komoditi - jika pertanian	0.500	0.500			
Fasilitas Kredit Usaha Rakyat (KUR)	1.000	0.000			
Fasilitas Kredit Ketahanan Pangan dan Energi	1.000	0.000			
Fasilitas Kredit Usaha Kecil (KUK)	1.000	0.000			

**Keterangan:**

SR 

R 

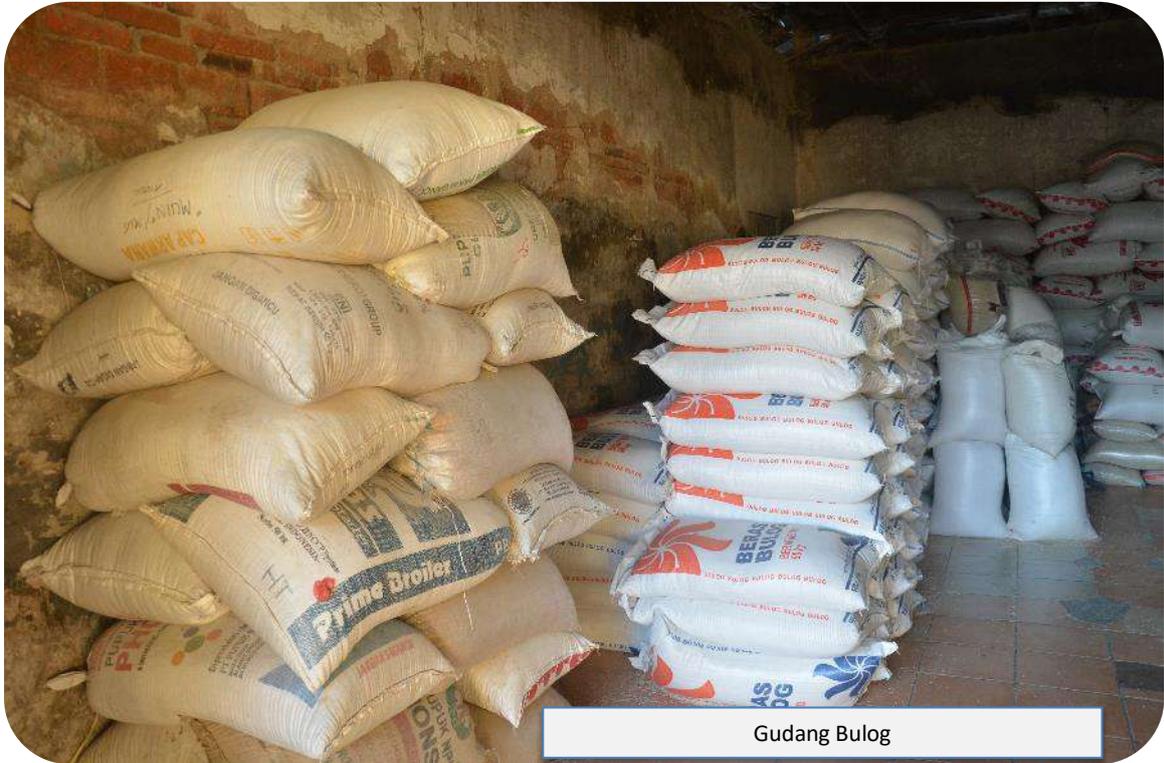
S 

T 

ST 

## Bagian 3

### Analisis Risiko Iklim Wilayah



### Analisis Risiko Iklim Wilayah

#### Pendahuluan

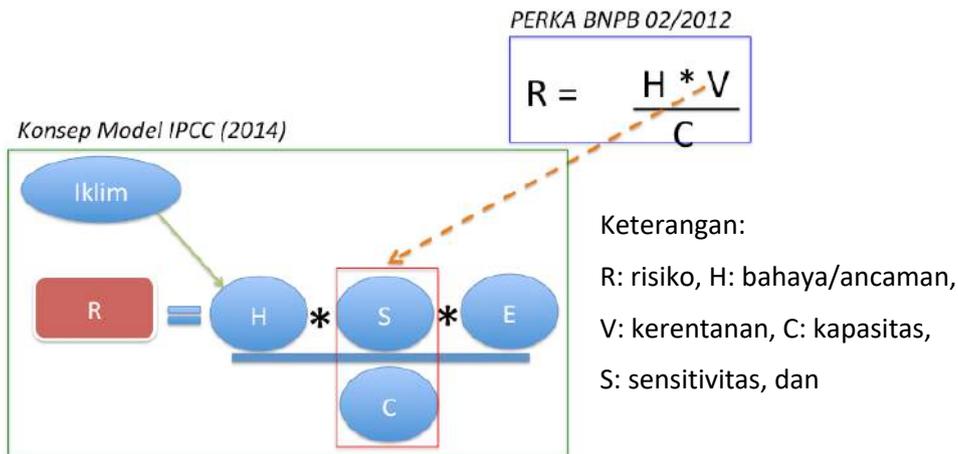
BNPB merilis dokumen indeks risiko bencana Indonesia pada tahun (2013) yang menyatakan 80%, atau 322 kabupaten/kota dari 497 kabupaten/kota masuk dalam kategori risiko tinggi dan Kabupaten Malang masuk kedalam salah satu wilayah yang berisiko tinggi (kategori memiliki 3 kelas yakni rendah, sedang dan tinggi). Kajian Kementerian Lingkungan Hidup pada tahun (2012) juga menunjukkan wilayah Malang merupakan daerah yang berpotensi mengalami peningkatan risiko dimasa depan pada sektor air dan pertanian terhadap perubahan iklim. Saat ini cekaman perubahan iklim meningkatkan frekuensi kejadian bencana hidrometeorologis seperti banjir, kekeringan dan tanah longsor di wilayah Kabupaten Malang. Kondisi ini dapat mengurangi pencapaian keberhasilan pembangunan akibat kerusakan yang ditimbulkan dari kejadian bencana. Selain itu dampak lainnya adanya timbulnya korban jiwa baik secara langsung (misalnya terseret arus banjir) ataupun tidak langsung (konflik alokasi air).

Pemerintah Indonesia telah menyadari akan potensi dampak perubahan iklim terhadap kejadian bencana. Badan Nasional Penanggulangan Bencana memiliki IRBI dan KLHK memiliki SIDIK sebagai upaya dalam menilai potensi risiko suatu wilayah. Perkembangan saat ini penilaian tingkat risiko dilakukan dengan melihat aspek potensi bahaya yang terjadi dan tingkat kerentanan suatu wilayah. Penilaian tingkat risiko dilakukan agar dapat menjadi masukan dalam menyusun strategi yang dapat dijadikan acuan dalam langkah adaptasi .

Kajian risiko iklim yang dilakukan di Kabupaten Malang saat ini mempertimbangan pedoman kajian risiko yang dikeluarkan BNPB dan kajian risiko iklim yang dikeluarkan KLHK. Penilaian yang dilakukan bertujuan melihat risiko yang ada pada wilayah Agropolitan terhadap kondisi perubahan iklim yang terjadi berkaitan dengan potensi bahaya kekeringan. Hasil analisis merupakan interaksi antara komponen bahaya, kerentanan dan keterpaparan. Adapun luaran dari penilaian risiko tervisualisasi dalam bentuk peta risiko bencana kekeringan. Hasil analisis kali ini juga dicocokkan terhadap kajian risiko yang pernah dilakukan di Kabupaten Malang yakni hasil Kajian Risiko dan Adaptasi Perubahan Iklim yang dilakukan oleh (Abdurahman et al. 2012) dan (Ruminta and Handoko 2012) dibawah koordinasi Kementerian Lingkungan Hidup pada tahun 2012. Diharapkan hasil dari analisis dapat menjadi masukan dalam perencanaan pembangunan terutama untuk mendukung wilayah Agropolitan.

#### Metodologi

Analisis risiko bencana terkait iklim merupakan kajian dengan pendekatan identifikasi terhadap potensi dampak negatif yang muncul akibat dari suatu kejadian bencana. Metode kajian risiko bencana terkait iklim menggunakan analisis yang dikembangkan oleh Perdinan 2015 dengan modifikasi sesuai kebutuhan wilayah Agropolitan. Metode tersebut dikembangkan dari PERKA No.2 BNPB dan Konsep IPCC 2014. Perhitungan risiko iklim terhadap kejadian bencana diturunkan oleh fungsi bahaya, kerentanan dan keterpaparan. Konsep penilaian risiko dijelaskan bahwa  $R=H*V*E$ , secara matematik risiko dapat dihitung dengan persamaan  $R = 1/3(H+V+E)$  atau  $R = \sqrt[3]{H*V*E}$ . Perhitungan tersebut dilakukan dengan memberikan bobot sama besar pada ketiga komponen. Selanjutnya hasil perhitungan diinterpretasi kedalam sistem indeks.



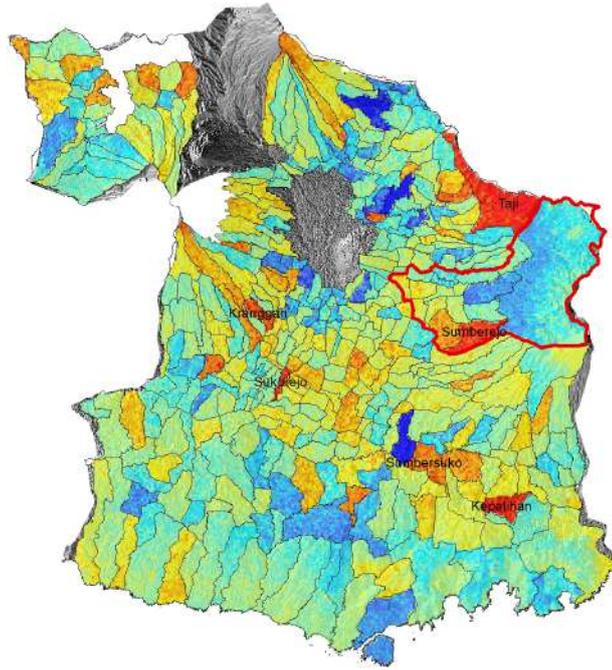
Gambar 31. Pengembangan konsep kajian risiko berdasarkan IPCC 2014 dan PERKA BNPB No.2/2012

Ruang lingkup analisis risiko dilakukan dengan basis desa namun analisis antara komponen bahaya dan kerentanan memiliki pendekatan yang berbeda. Komponen bahaya menggunakan pendekatan grid dalam analisis sedangkan komponen kerentanan menggunakan pendekatan administrasi. Perbedaan tersebut menimbulkan kemungkinan hasil visualisasi yang berbeda dalam satu desa sehingga hasil luaran tersebut dijadikan pertimbangan dalam penyusunan strategi adaptasi tiap desa berdasarkan hasil rentang hasil tingkat risiko. Hasil analisis risiko juga mempertimbangkan informasi proyeksi iklim masa depan pada periode 2030 (selang tahun 2021-2050).

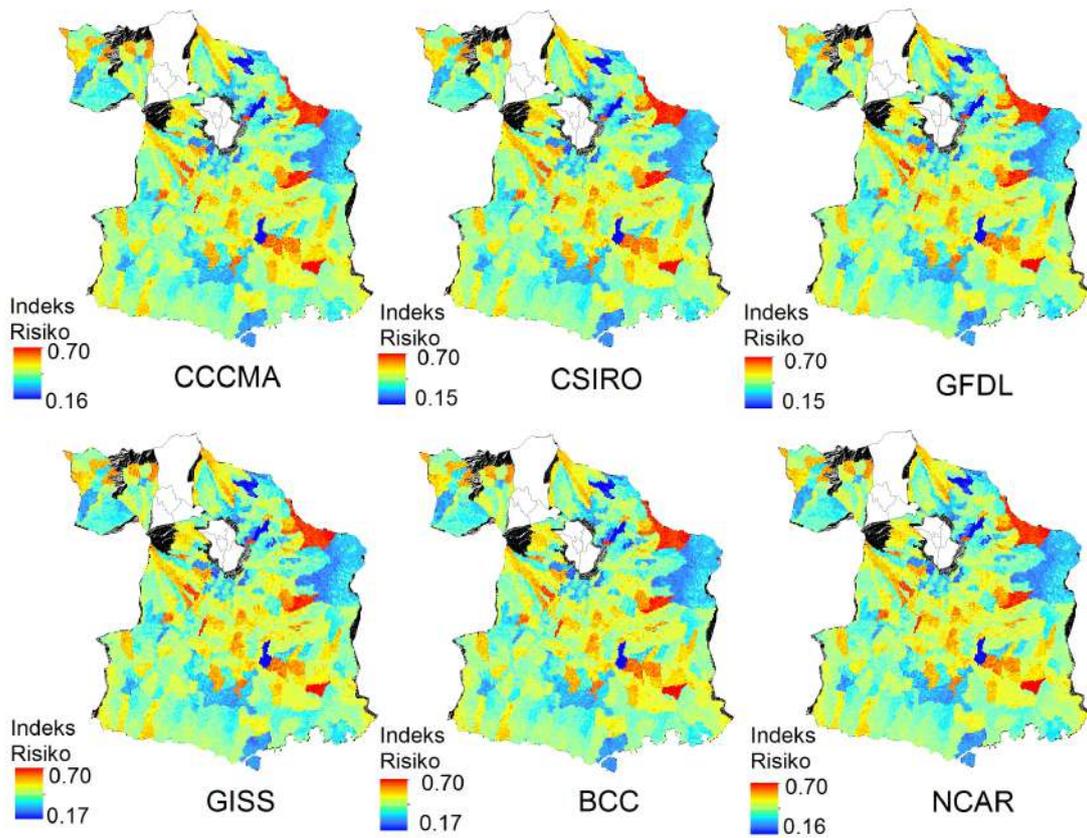
## Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis diperoleh tingkat risiko berada pada nilai (0.14 – 0.71). Wilayah-wilayah yang memiliki tingkat risiko tinggi menyebar di beberapa bagian Kabupaten Malang. Desa-desa yang memiliki tingkat risiko tinggi antara lain Desa Taji, Desa Sumberejo, Desa Kepatihan, Desa Sumpersuko, Desa Sukerejo dan Desa Kranggan. Wilayah yang perlu menjadi perhatian adalah desa-desa di wilayah Kecamatan Gondanglegi karena seluruh desa di wilayah ini memiliki tingkat risiko sedang hingga tinggi. Pada wilayah Agropolitan daerah memiliki tingkat risiko tinggi ada di wilayah Selatan Barat Kecamatan Poncokusumo yakni Desa Sumberejo, Desa Dawuhan, Desa Ngebruk dan Desa Pajaran. Secara umum faktor yang berkontribusi terhadap risiko tinggi di desa-desa wilayah agropolitan adalah mengenai akses sumberdaya air.

Penilaian dimasa juga dilakukan dengan menggunakan enam model proyeksi iklim luaran global yakni NCAR, BCC, CSIRO, CCCMA, GISS dan GFDL. Penilaian tingkat risiko masa depan menunjukkan hasil bahwa terjadi peningkatan tingkat risiko diseluruh wilayah malang dengan rentang nilai 0.15-0.70. Selain terjadi kenaikan tingkat risiko sebaran spasial tingkat risiko meluas kearah selatan. Sebagai contoh di wilayah Kecamatan Singosari, Kecamatan Ngajum dan Kecamatan Dampit. Adanya peningkatan nilai risiko perlu mendapat perhatian untuk mengurangi risiko yang ada dimasa mendatang.



Gambar 32. Risiko baseline Kabupaten Malang



Gambar 33. Risiko proyeksi periode 2030 (2021-2050) Kabupaten Malang

## Bagian 4

### Analisis Dampak Perubahan Iklim



# Analisis Dampak Perubahan Iklim

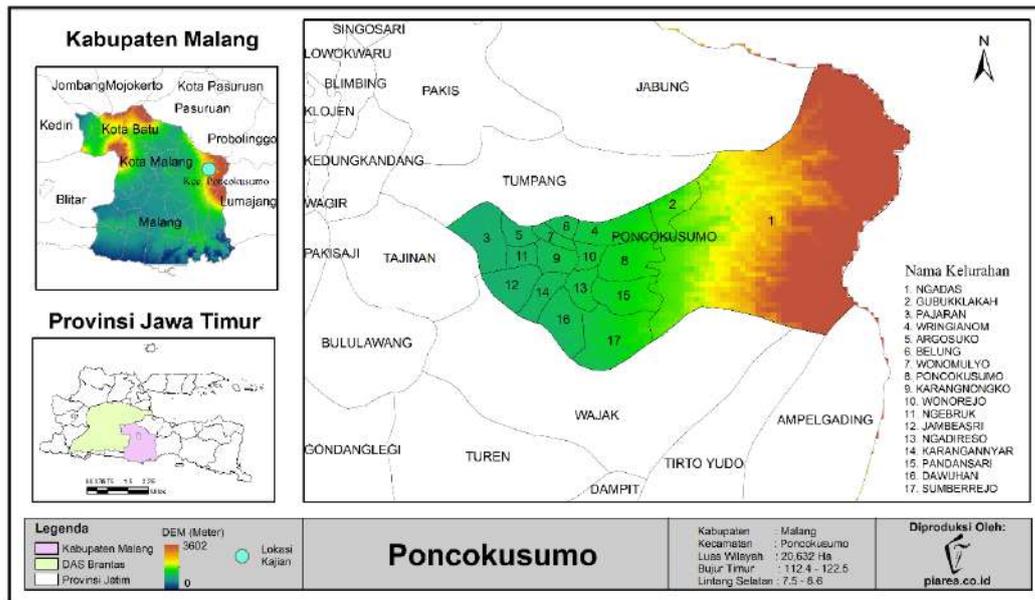
## Pendahuluan

Air merupakan sumberdaya *essential* bagi kelangsungan hidup dari makhluk hidup termasuk manusia dan ekosistem (OHCHR et al. 2010; Schwank et al. 2014). Berdasarkan status ruang dan waktu, keberadaan air tersebut ada dalam jumlah tidak tak terbatas. Hasil kajian OHCHR et al. (2010) dan Dessu et al. (2014), pada saat ini sebagian wilayah di dunia tengah menghadapi permasalahan sumber daya air, yaitu ancaman serius tentang kelangkaan air. Kelangkaan ini semakin meningkat tajam sejalan dengan terjadinya perubahan iklim dan peningkatan kebutuhan air (Hassanzadeh et al. 2016; Vorosmarty et al. 2000). Menurut Herrera-Pantoja and Hiscock (2015) dan Ragab and Prudhomme (2002), sebaran dan tingkat kelangkaan air semakin luas dan tinggi di beberapa wilayah arid dan semi-arid yang tingkat kepadatan penduduknya tinggi. Khusus wilayah tropis yang curah hujannya lebih tinggi daripada wilayah arid/semi-arid diduga tidak akan mengalami kelangkaan air. Namun, klausul ini perlu dibuktikan dan dalam kajian ini kelangkaan air akan dievaluasi berdasarkan status ketersediaan airnya; dan, lokasi kajian adalah Kecamatan Poncokusumo yang terletak di Kabupaten Malang, Jawa Timur.

Ketersediaan sumberdaya air yang berkelanjutan merupakan salah satu syarat dalam pengembangan kawasan agropolitan di Kabupaten Malang. Berdasarkan hasil kajian Pujiraharjo et al. (2015), ketersediaan air untuk kawasan Malang Raya yang mencakup Kota Batu, Kota Malang, dan Kabupaten Malang adalah dalam status aman hingga tahun 2034 atau 20 tahun ke depan. Artinya, kebutuhan air baku untuk air bersih masih dapat dicukupi oleh air tersedia yang ada di kawasan itu. Dalam kajian yang lebih komprehensif dan mencakup wilayah yang lebih luas (termasuk Malang Raya), ketersediaan air di DAS Brantas untuk pemenuhan kebutuhan air pada sektor domestik, industri, irigasi dan tambak juga masih dalam posisi aman hingga tahun 2030 (PU Brantas 2011). Namun, dalam kajian yang lebih detil, hasil survei lapang di Kecamatan Poncokusumo – Kabupaten Malang di tahun 2015 menunjukkan hal yang spesifik, yaitu wilayah ini akan mengalami kekurangan air pada saat musim kemarau. Alasannya, sumber air yang tersedia hanya berasal dari mata air (*spring*) dan air hujan sedangkan air permukaan (sungai) dan air tanah relatif sulit diperoleh. Jika kondisi kekurangan air ini terjadi secara bersamaan dengan peningkatan kejadian iklim ekstrim terutama kemarau yang semakin kering maka dampak negatif yang ditimbulkannya akan semakin besar dan sulit ditanggulangi. Berdasarkan permasalahan lapangan dan penelitian sebelumnya, fokus dari kajian ini adalah menilai status dan ketersediaan air di Kecamatan Poncokusumo, Kabupaten Malang, Jawa Timur di bawah kondisi hujan saat ini (historis) dan masa yang akan datang (skenario).

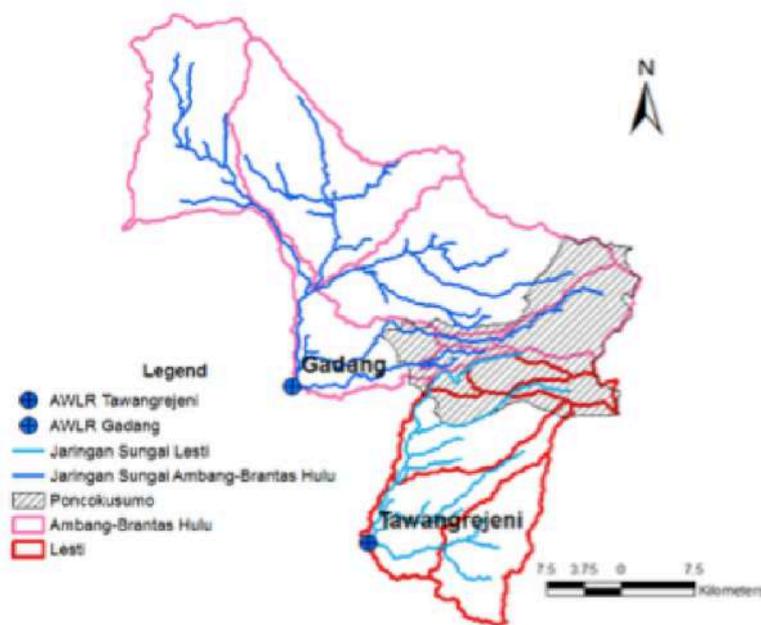
## Deskripsi Wilayah Kajian

Poncokusumo merupakan salah satu kecamatan yang terdapat di Kabupaten Malang. Luas Kecamatan Poncokusumo adalah sekitar 103 km<sup>2</sup> (20632 ha) atau 3.46 % dari total luas Kabupaten Malang yang terbagi ke dalam 17 desa. Secara geografis, Poncokusumo terletak antara 112.42° - 122.54° Bujur Timur dan 8.68° - 7.58° Lintang Selatan. Topografi wilayah Kecamatan Poncokusumo berkisar dari datar hingga berbukit. Topografi datar meliputi 9 desa, yaitu Karanganyar, Jambesari, Pajaran, Argosuko, Ngebruk, Karangnongko, Wonomulyo dan Belung. Sementara itu, desa-desa dengan topografi berbukit terdapat di sebelah barat lereng Gunung Semeru dan lahan di desa ini masuk dalam kategori produktif. Desa-desa yang masuk dalam klas topografi berbukit ada 8 desa, yaitu Dawuhan, Sumberejo, Pandansari, Ngadireso, Poncokusumo, Wringinanom, Gubugklakah, dan Ngadas.



Gambar 34. Posisi DAS Brantas, Kabupaten Malang dan Kecamatan Pongokusumo

Berdasarkan karakteristik morfometri DAS, sebagian wilayah Pongokusumo berada di Sub DAS Lesti dan sebagian lain terdapat di Sub DAS Ambang (gabungan Sungai Amprong dan Sungai Bango). Seperti ditunjukkan pada Gambar 35, Sungai Lesti, Amprong, dan Bango merupakan anak Sungai Brantas; dengan kata lain, Kecamatan Pongokusumo terdapat di dalam DAS Brantas, khususnya DAS Brantas bagian hulu.



Gambar 35. Posisi Kecamatan Pongokusumo terhadap DAS Ambang dan Lesti

Berdasarkan bentuk DAS, Sub DAS Lesti berbentuk lonjong sedangkan Sub DAS Ambang berbentuk agak lonjong (Bappenas 2012). Menurut faktor bentuk DAS tersebut, waktu konsentrasi aliran Sub DAS Lesti adalah lebih lama daripada Sub DAS Ambang. Artinya, dalam kondisi curah hujan yang sama dan kondisi fisik DAS yang baik maka debit sungai dari DAS yang berbentuk agak lonjong adalah lebih tinggi daripada DAS yang berbentuk lonjong. Berdasarkan batasan tersebut, debit sungai yang bersumber dari Sub DAS Lesti yang berbentuk

lonjong diduga lebih rendah daripada Sub DAS Ambang yang berbentuk agak lonjong. Namun, hasil pengukuran lapang yang dilakukan oleh Perum Jasa Tirta 1 (dalam Bappenas 2012) menunjukkan bahwa debit sungai yang bersumber dari Sub DAS Lesti adalah lebih tinggi daripada Sub DAS Ambang (lihat Tabel 11). Ini terjadi sebagai akibat kondisi fisik Sub DAS Lesti yang lebih

buruk daripada DAS Ambang. Indikasi keburukan atau kerusakan Sub DAS Lesti tercermin dari nilai Koefisien Rejim Sungai-nya (KRS); dan, tinggi-rendahnya nilai KRS ditentukan oleh rasio antara debit maksimum dan minimum dari DAS itu. Semakin tinggi nilai debit minimum dan mendekati nilai debit maksimum maka kondisi DAS itu adalah semakin baik. Hasil kajian dari Bappenas (2012) menunjukkan bahwa nilai KRS (Koefisien Rejim Sungai) Sub DAS Lesti adalah jauh lebih besar daripada KRS Sub DAS Ambang (lihat Tabel 11). Artinya, curah hujan yang jatuh di atas Sub DAS Lesti sebagian besar jadi limpasan permukaan ( $Q_{maks}$ ) dan hanya sebagian kecil yang jadi air tanah ( $Q_{min}$ ); sementara itu, kondisi ini tidak terjadi di Sub DAS Ambang sehingga nilai KRS Sub DAS Lesti jauh lebih tinggi daripada KRS Sub DAS Ambang. Ini berarti kondisi fisik Sub DAS Lesti jauh lebih buruk daripada Sub DAS Ambang.

Tabel 11. Debit sungai dan koefisien rejim sungai di DAS Brantas Hulu

No	DAS/Sub DAS	Sungai Utama	Debit Sungai (m <sup>3</sup> /detik)			KRS
			Maks.	Min.	Rerata	
1	Ambang	Brantas (Sta Gadang)	1,582.00	20.00	60.00	79.10
2	Lesti	Lesti	1,485.00	10.00	43.10	158.50

Sumber: Bappenas (2012)

## Metodologi

### Data

Dalam kajian ini, status dan besar ketersediaan air dianalisis berdasarkan data debit atau hidrograf aliran yang diperoleh dari model hidrologi HEC-HMS. Bahan atau data yang diperlukan dalam model tersebut adalah data atribut dan spasial. Data atribut terdiri dari data debit sungai, curah hujan saat ini (historis) dan masa depan (proyeksi). Data debit aliran yang terukur di stasiun Tawangrejeni dan Gadang secara berturut-turut diperoleh dari Perum Jasa Tirta I dan SPAS Stasiun Gadang; rentang waktu pengukurannya adalah tanggal 1 Januari hingga 31 Desember 2010. Curah hujan harian saat ini atau historis (tahun 2010) merupakan jeluk hujan yang terukur di stasiun Poncokusumo dan data ini diperoleh dari BMKG Karangploso dan Dinas Pengairan Kabupaten Malang. Curah hujan masa depan (proyeksi) diduga berdasarkan data model GCM MIROC dan CSIRO berdasarkan skenario RCP 4.5 untuk periode 2021 – 2035. Data atribut curah hujan, baik historis maupun proyeksi merepresentasikan parameter meteorologi dan ini merupakan salah-satu komponen *input* dalam model HEC-HMS.

Selanjutnya, data spasial yang diperlukan dalam model HEC-HMS adalah kondisi topografi, jenis penggunaan/penutup lahan, dan karakteristik fisik tanah. Data ini diekstrak secara berturut-turut dari peta rupa bumi, peta penggunaan/tutupan lahan, dan peta tanah semi detil wilayah studi. Dalam model HEC-HMS, data spasial merupakan komponen dasar dalam penyusunan parameter fisik DAS.

Berdasarkan parameter meteorologi dan fisik DAS maka model HEC-HMS dapat digunakan untuk mengestimasi beberapa karakteristik aliran sungai, seperti: besar dan waktu terjadinya aliran, baik aliran tinggi maupun aliran rendah. Dalam kajian ini, debit aliran saat ini dibangkitkan dari data fisik DAS dan curah hujan historis; sementara itu, debit aliran masa depan dibangkitkan dari data fisik DAS sesuai pola ruang Kabupaten Malang dan curah hujan proyeksi. Total debit aliran diasumsikan setara dengan total ketersediaan air yang dapat digunakan untuk kebutuhan air domestik, industri dan irigasi.

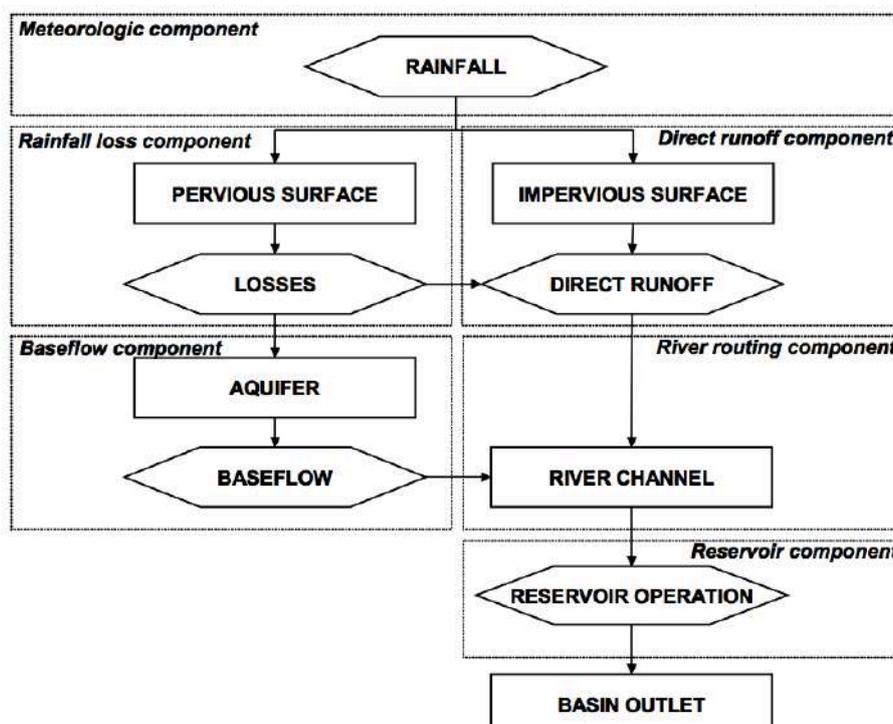
## Deskripsi Model

*Hydrologic Engineering Center's Hydrologic Modeling System* yang selanjutnya dikenal sebagai HEC-HMS dikembangkan oleh *US Army Corps of Engineers – Institute for Water Resources*. Model ini merupakan pengembangan dari model HEC-1. Salah satu keunggulan dari model HEC-HMS adalah telah digunakannya konsep *GIS* dalam membantu menyelesaikan beberapa permasalahan hidrologi.

HEC-HMS dirancang untuk mensimulasi proses hujan-limpasan (lihat Gambar 36) terutama untuk DAS dengan pola *dendritic* (USACE 2005a). Model ini dirancang untuk dapat digunakan pada DAS ukuran besar. Data hidrograf (debit aliran) yang dihasilkan dari model ini, menurut USACE (2005a), dapat digunakan secara langsung atau dikaitkan dengan perangkat lunak lain untuk mempelajari ketersediaan air, drainase perkotaan, peramalan aliran, dampak urbanisasi di masa yang akan datang, termasuk pengurangan dampak banjir. Model HEC-HMS tersusun oleh 4 komponen, yaitu *basin model*, *meteorologic model*, *control specification* dan *input data*. Komponen ini digunakan untuk mensimulasi respon hidrologi dalam suatu DAS. Deskripsi ringkas untuk masing-masing komponen dapat dilihat pada paragraf berikut.

**Basin model component.** Komponen ini merepresentasikan kondisi fisik DAS yang akan dianalisis. Kita dapat mengembangkan *basin model* dengan cara menambah dan menghubungkan unsur-unsur hidrologi yang terdapat di dalam DAS tersebut. Unsur-unsur hidrologi yang digunakan dalam komponen ini adalah *subbasin*, *reach*, *junction*, *source*, *sink*, *reservoir* dan *diversion*. Tiap unsur hidrologi tersebut menggunakan model matematik ketika menggambarkan proses fisik di dalam DAS. Khusus *subbasin*, kita dapat memilih salah-satu model matematik yang akan digunakan untuk menentukan kehilangan presipitasi, transformasi hujan berlebih menjadi aliran sungai (limpasan) di *outlet* subbasin, dan menambahkan aliran dasar.

Model matematik yang dapat digunakan untuk menentukan kehilangan presipitasi (*precipitation loss*), antara lain: *Green and Ampt*, *Initial and constant rate*, dan *SCS curve number (CN)*.



Gambar 36. Proses hujan-limpasan dalam struktur model HEC-HMS (Cunderlik and Simonovic 2004)

Transformasi hujan-limpasan diselesaikan dengan metode gelombang Kinematik dan hidrograf satuan sintetik (antara lain: Clark, Snyder, atau SCS) sedangkan aliran dasar dihitung dengan metode *Constant monthly* atau kurva resesi. Selanjutnya, persamaan matematik yang diadopsi dalam pemodelan ini dapat dilihat pada *Technical Reference Manual* dari Model HEC-HMS (lihat USACE 2000a).

**Meteorologic model component.** Komponen ini menghitung hujan wilayah yang diperlukan oleh unsur *subbasin*. Data hujan yang digunakan dapat berupa data titik ataupun grid. Metode perhitungan hujan wilayah adalah beragam, antara lain pembobotan stasiun presipitasi (*gage weights*), *inverse distance* ataupun *gridded precipitation*. Data evapotranspirasi dapat juga dimasukkan dalam komponen ini; dan, data ini digunakan ketika kita melakukan simulasi respon hidrologi jangka panjang atau kontinu yang terjadi dalam suatu DAS.

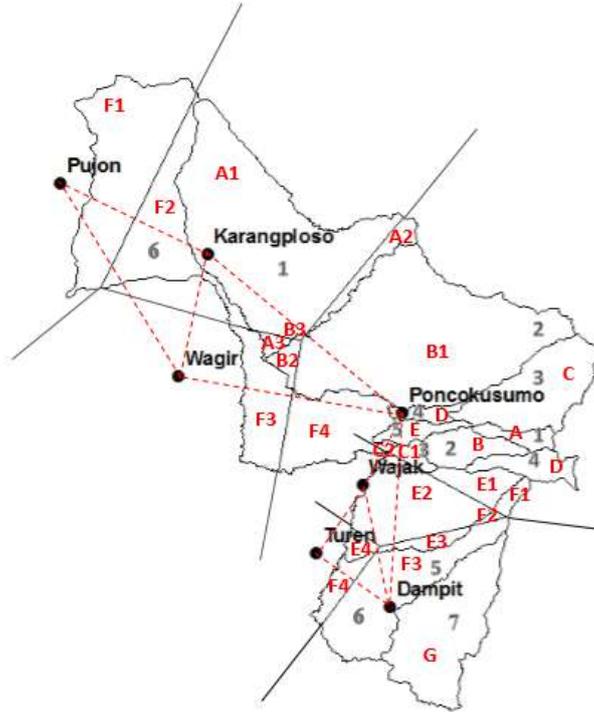
**Control specification component.** Komponen ini berfungsi menata rentang waktu simulasi, dan informasi yang disajikan adalah tanggal dan waktu awal simulasi, tanggal dan waktu akhir simulasi dan tahap waktu perhitungan.

**Input data component.** Data yang diperlukan oleh model ini berupa data *time-series* (curah hujan, debit, suhu dan radiasi surya), data berpasangan (seperti fungsi elevasi-debit, dan storage-discharge), dan data grid (grid presipitasi, suhu, dan bilangan kurva). Ketiga jenis data ini sering diperlukan sebagai parameter atau syarat batas dalam *basin model* ataupun *meteorologic model*. Dalam komponen *input data*, data-data dapat dimasukkan secara manual atau dengan perangkat HEC-DSS.

Pendekatan hidrologi yang digunakan dalam model ini adalah mekanistik, maksudnya seluruh proses yang menyertai terjadinya respon hidrologi telah dicoba untuk dimasukkan dalam model. Namun, untuk beberapa proses hidrologi yang cukup rumit maka model ini telah menggunakan data empiris yang bersifat umum.

### **Penyusunan Jaring-jaring Unsur Hidrologi dalam Basin Model**

**Tahap pertama** dari kajian ini adalah memetakan jaringan sungai, menentukan batas DAS (*basin*) dan sub-DAS (*subbasin*) daerah studi; dan, hasil dari tahap ini adalah peta *basin model*. Langkah berikutnya adalah memberi identitas dan menghitung luas dari tiap *subbasin* tersebut. Tahap selanjutnya adalah mengidentifikasi dan menentukan posisi stasiun hujan yang mempengaruhi sebaran hujan wilayah di DAS tersebut; dalam kasus ini, hujan wilayah diidentifikasi dengan menggunakan pendekatan poligon Thiessen (lihat Gambar 37). Berdasarkan distribusi luas poligon maka bobot stasiun hujan yang menyumbang hujan pada tiap subbasin dapat dihitung (lihat Tabel 12).



Gambar 37. Konstruksi curah hujan wilayah berdasarkan metode poligon Thiessen

Tabel 12. Bobot stasiun hujan

Sub-DAS	Stasiun				Sub-DAS	Stasiun			
	Psm	Wgr	Kpl	Pjn		Lesti	Psm	Wjk	Trn
Ambang									
1	A2/A	A3/A	A1/A	0	1	A/A	0	0	0
2	B1/B	B2/B	B3/B	0	2	B/B	0	0	0
3	C/C	0	0	0	3	C1/C	C2/C	0	0
4	D/D	0	0	0	4	D/D	0	0	0
5	E/E	0	0	0	5	E1/E	E2/E	E4/E	E3/E
6	F4/F	F3/F	F2/F	F1/F	6	F1/F	F2/F	F4/F	F3/F
					7	0	0	0	G/G

Keterangan:

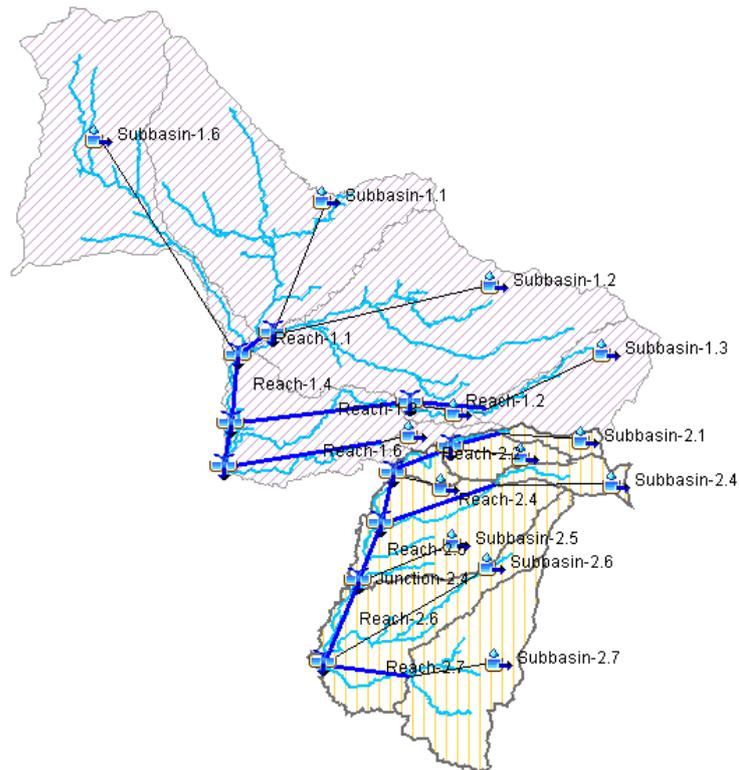
Psm: Poncokusumo; Wgr: Wagir; Kpl: Karangploso; Pjn: Pujon; Trn: Turen; Dpt: Dampit

\* Luas Subbasin 1, 2, 3, ..., 7 dinotasikan sebagai A, B, C, ..., G

\*  $B1 + B2 = B$ ;  $C1 + C2 + C3 = C$ ; dan seterusnya

**Tahap kedua** adalah meniru gerakan aliran sungai yang mengalir di atas *basin/subbasin*; dan, ini disimbolkan dengan unsur-unsur hidrologi (antara lain: *subbasin*, *reach*, *junction*, dan *reservoir*) yang saling terhubung satu sama lain atau membentuk *element network*. Ilustrasi arah aliran sungai dan hubungan antar unsur-unsur hidrologi dalam suatu DAS dapat dilihat pada Gambar 36.

Gambar 38 merepresentasikan suatu DAS yang tersusun oleh 4 sub-DAS, yaitu Subbasin-1, 2, 3, dan 4. Subbasin-1 dan 2 dihubungkan oleh satu segmen sungai, yaitu Reach-2 sedangkan Subbasin-3 dan 4 dihubungkan oleh Reach-1. Pertemuan aliran sungai pada Subbasin-1 dan 2 disebut Junction-1 sedangkan Subbasin-3 dan 4 disebut sebagai Junction-1. Selanjutnya, aliran sungai pada Subbasin-2 dan 4 dipertemukan secara langsung oleh Junction-2.



Gambar 38. Jaring-jaring unsur hidrologi (*element network*) dalam *basin model*. Garis arsir miring menunjuk pada Sub-DAS Ambang sedangkan arsir vertikal menunjuk pada Sub-DAS Lesti

### Penentuan Parameter Kehilangan Presipitasi, Transformasi Hujan-Limpasan, Aliran Dasar, dan Routing

Dalam konsep hidrologi, kehilangan presipitasi (*precipitation loss*) setara dengan abstraksi hidrologi yang mencakup infiltrasi, intersepsi, evaporasi dan transpirasi. Dengan kata lain, tujuan dari perhitungan kehilangan presipitasi ini untuk menentukan besarnya hujan efektif yang menyebabkan limpasan langsung (*direct runoff, DRO*). Pada kajian ini, DRO dihitung berdasarkan metode SCS Curve Number. Berdasarkan metode ini, tinggi-rendahnya limpasan langsung sangat ditentukan oleh kondisi lengas tanah awal, jenis penggunaan lahan, tekstur tanah, dan perlakuan konservasi tanah. Detil dari metode SCS CN dapat dilihat pada McCuen (1982).

Transformasi atau pengalihragaman hujan menjadi limpasan diselesaikan dengan menggunakan pendekatan hidrograf satuan alami ataupun sintetik. Pada kajian ini kami menggunakan pendekatan kedua, yaitu hidrograf satuan sintetik SCS (*SCS UH*). Dalam rangka penentuan limpasan permukaan (*surface runoff*), hujan efektif yang telah diperoleh dengan metode SCS CN harus dikalikan dengan *SCS UH*. Selanjutnya, limpasan total ditentukan dari hasil penjumlahan antara limpasan permukaan dan aliran dasar. Dalam kajian ini, aliran dasar ditentukan dengan menggunakan metode kurva resesi (*recession curve*).

Metode *Routing* atau rambatan gelombang aliran sungai yang diterapkan dalam kajian ini adalah metode Muskingum. Parameter yang diperlukan adalah *travel time* dan faktor pembobot. *Travel time* ( $k$ ) atau waktu tempuh aliran dari titik *inlet* sampai *outlet* ditentukan melalui hubungan antara kecepatan aliran dan panjang sungai. Faktor pembobot ( $x$ ) dalam metode Muskingum berkisar antara 0 sampai 0.5 dengan rata-rata 0.2 untuk aliran alami. Pada kajian ini, nilai  $x$  diperoleh dari hasil *trial-error* pada saat kami melakukan kalibrasi.

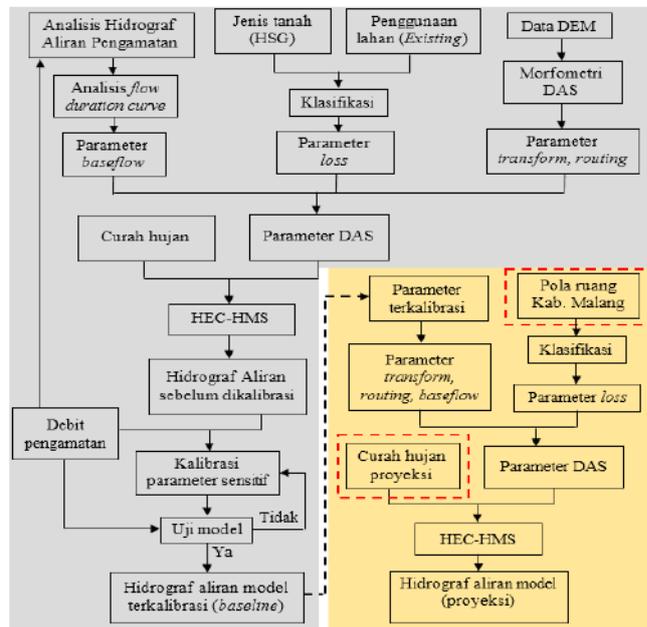
### Kalibrasi Parameter dan Pengujian Hasil Model

Parameter utama penyusun hidrograf aliran perlu dikalibrasi sebelum digunakan dalam model HEC-HMS. Tahap awal dari proses kalibrasi adalah uji sensitivitas terhadap parameter-parameter yang paling sensitif dan responsif terhadap perubahan nilai hidrograf aliran model. Parameter yang diuji tingkat sensitivitasnya antara lain *curve number*, *initial abstraction*, dan *time lag*. Berdasarkan hasil uji sensitivitas, kita mulai melakukan kalibrasi model, yaitu proses penyesuaian nilai-nilai parameter model sampai didapat hasil model yang sama atau mendekati hasil pengamatan. Metode kalibrasi yang dapat digunakan dalam model HEC-HMS adalah *objective functions* dan *search methods*; selanjutnya, detail tentang hal ini dapat dilihat pada USACE (2000a).

Tahap terakhir sebelum penggunaan model adalah pengujian hasil model. Pengujian hasil model dilakukan dengan cara membandingkan antara debit observasi ( $Q_{obs}$ ) dan debit model ( $Q_{mod}$ ). Pengujian dilakukan dengan menggunakan uji kemiripan atau Uji-F dari Nash and Sutcliffe (1970). Hasil pengujian dapat diterima jika nilai  $F > 0.6$ ; ini berarti debit model mirip dengan debit observasi.

### Simulasi Hidrograf Aliran di Bawah Kondisi Hujan Historis dan Proyeksi

Berdasarkan hasil kalibrasi parameter dan pengujian hasil model, tahap selanjutnya adalah memprediksi hidrograf aliran tahun 2012; dan, komponen inputnya terdiri dari penggunaan/penutup lahan dan curah hujan tahun 2012. Hasil dari simulasi ini berupa hidrograf aliran di bawah kondisi hujan historis. Analisis hidrograf aliran di bawah kondisi hujan proyeksi diperoleh dari hasil simulasi aliran dengan komponen *input* penggunaan/penutup lahan 2010 dan curah hujan proyeksi tahun 2035. Pada tahun proyeksi, data penggunaan/penutup lahannya diasumsikan tidak berubah atau sama dengan tahun 2012. Curah hujan proyeksi diambil dari data model GCM MIROC dan CSIRO.



**Keterangan:**

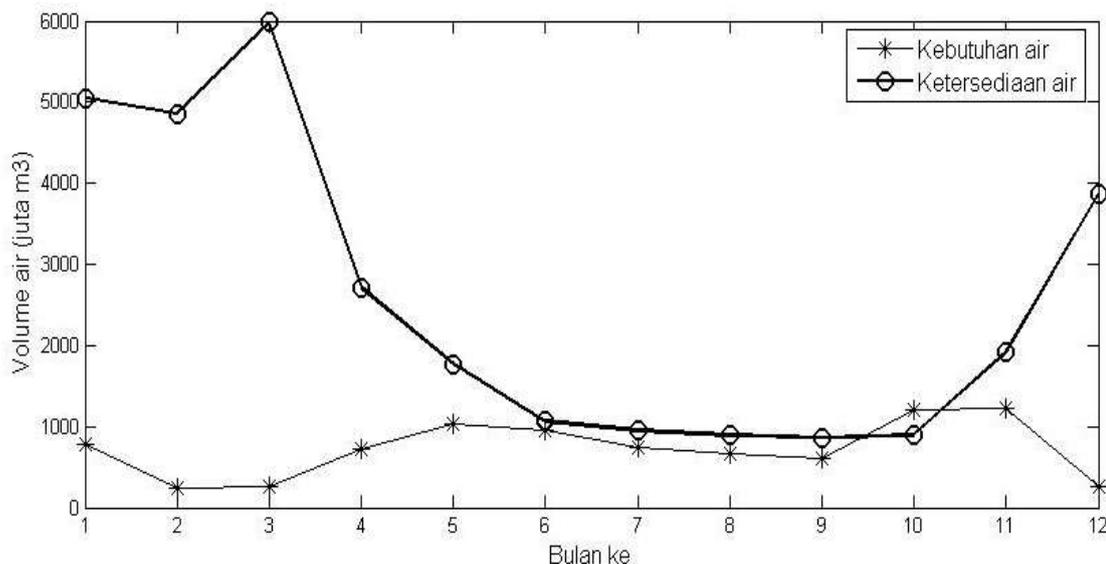
- Variabel yang diubah
- Langkah untuk skenario
- Langkah mendapatkan hidrograf aliran baseline/existing (2010)
- Langkah mendapatkan hidrograf aliran proyeksi (2035)

Gambar 39. Aliran analisis dalam penyusunan hidrograf (debit aliran) di bawah kondisi curah hujan historis dan proyeksi

## Hasil dan Pembahasan

Pemanasan global sebagai akibat meningkatnya konsentrasi gas rumah kaca (GRK) di atmosfer telah menyebabkan perubahan iklim. Dalam laporan penilaian kelima Panel Antar Pemerintah untuk Perubahan Iklim, yaitu: *Fifth Assessment Report of IPCC* (IPCC 2014) menyatakan bahwa perubahan iklim sudah terjadi di bumi, lebih cepat dari yang diperkirakan sebelumnya. Dalam skala regional, indikasi perubahan iklim di Jawa ditunjukkan oleh tren perubahan sifat hujan (seperti: hujan musim kemarau, awal musim hujan, dan lama musim kemarau). Seperti ditunjukkan oleh Boer dan Buono (2008), curah hujan musim kemarau cenderung menurun hampir di sebagian besar wilayah Jawa dan penurunan yang cukup besar terjadi di wilayah Jawa Timur termasuk DAS Brantas. Di wilayah ini, awal musim hujan (AMH) tidak mengalami perubahan tetapi lama musim hujan cenderung semakin pendek atau lama musim kemarau (MK) adalah semakin panjang. Penurunan jeluk hujan pada musim kemarau dan lama musim kemarau yang semakin panjang mengindikasikan bahwa wilayah ini akan mengalami penurunan jumlah air yang cukup signifikan pada musim kemarau. Berdasarkan hasil kajian Bappenas (2012), musim kemarau di DAS Brantas adalah bulan Mei hingga Oktober.

Tren penurunan jeluk hujan pada musim kemarau di Jawa Timur akan berimplikasi pada rendahnya ketersediaan air di DAS Brantas (lihat Gambar 40) terutama pada bulan Mei hingga Oktober. Hasil analisis neraca air menunjukkan bahwa DAS Brantas akan mengalami kekurangan air sekitar 300 juta m<sup>3</sup> pada bulan Oktober; sementara itu, pada bulan-bulan lain wilayah ini akan mengalami surplus atau kelebihan air.



Gambar 40. Ketersediaan dan kebutuhan air di DAS Brantas (Bappenas 2012)

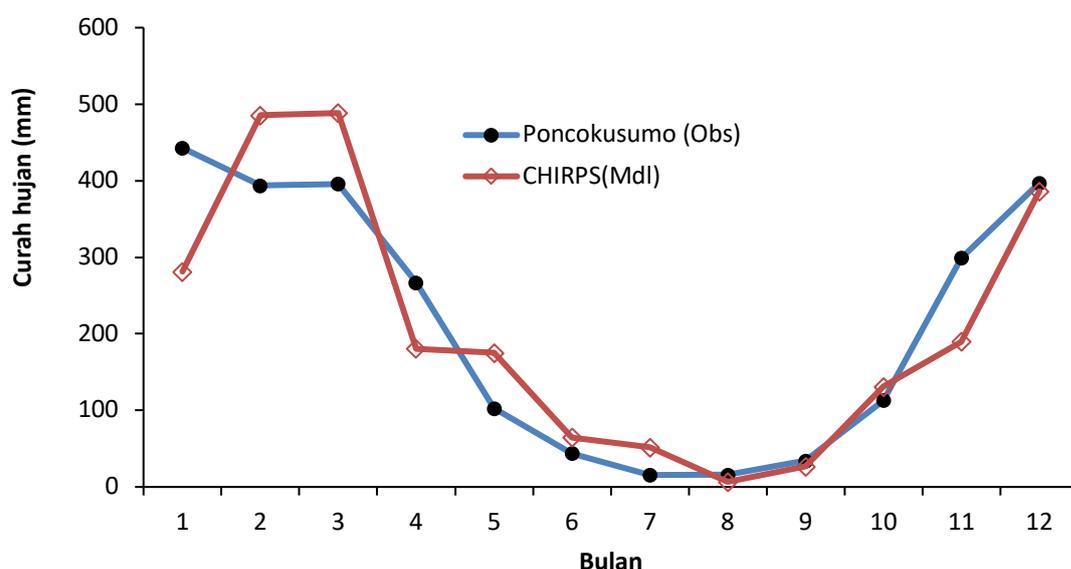
### Status Air Kecamatan Poncokusumo

DAS Brantas secara umum akan mengalami defisit air pada bulan Oktober. Secara spesifik, status ini belum tentu sama dengan yang terjadi di Kecamatan Poncokusumo yang terletak di Sub-DAS Ambang dan Lesti meskipun kedua sub-DAS tersebut merupakan bagian dari DAS Brantas. Untuk membuktikan hal tersebut, kajian ini telah menganalisis ketersediaan air di kedua sub-DAS tersebut di bawah kondisi hujan historis dan proyeksi.

### Curah Hujan Historis dan Proyeksi

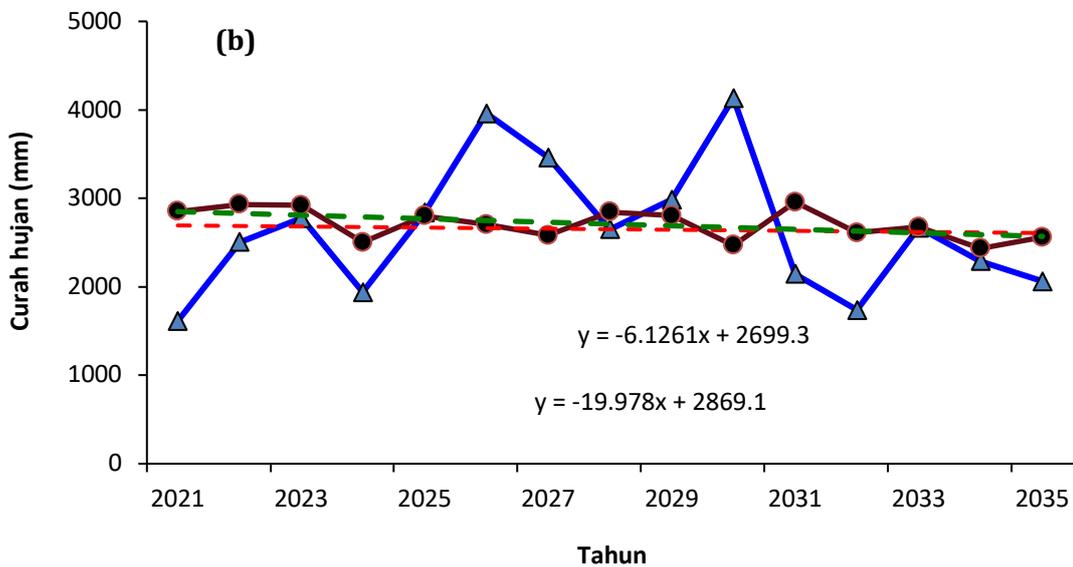
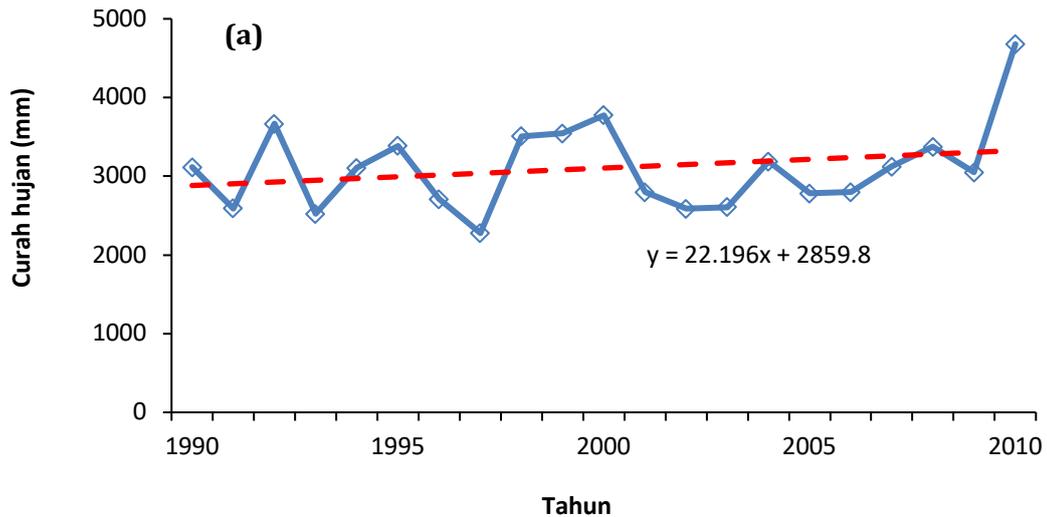
Dalam kajian ini, iklim historis dan proyeksi hanya difokuskan pada satu unsur iklim, yaitu curah hujan. Seperti telah diungkap di awal, data curah hujan historis diambil dari sumber data CHIRPS v2.0 sedangkan data curah hujan proyeksi diduga berdasarkan data model GCM MIROC dan CSIRO untuk skenario *Representative Concentration Pathways* (RCP) 4.5. Sebelum digunakan untuk analisa lebih lanjut, curah hujan historis yang bersumber dari data CHIRPS v2.0 telah dibandingkan dengan data observasi untuk melihat kemiripan pola dan magnitude-nya. Perbandingan antara data hujan observasi, data hujan bersumber dari data CHIRPS dapat dilihat pada Gambar 41.

Gambar 41 menunjukkan pola hujan bulanan di Poncokusumo periode 2000-2010 antara data observasi dan CHIRPS. Seperti ditunjukkan pada Gambar 42, kedua pola hujan bulanan tersebut mirip dan bersesuaian. Dalam kajian ini pola hujan bulanan tersebut diasumsikan sama dengan pola hujan sebelum tahun 2000; artinya, data hujan yang bersumber dari data CHIRPS v2.0 untuk periode 1990 hingga 2000 dapat digunakan untuk analisa lebih lanjut.



Gambar 41. Pola hujan bulanan untuk data hujan Observasi (Stasiun Poncokusumo) dan CHIRPS v2.0 periode 2000-2010

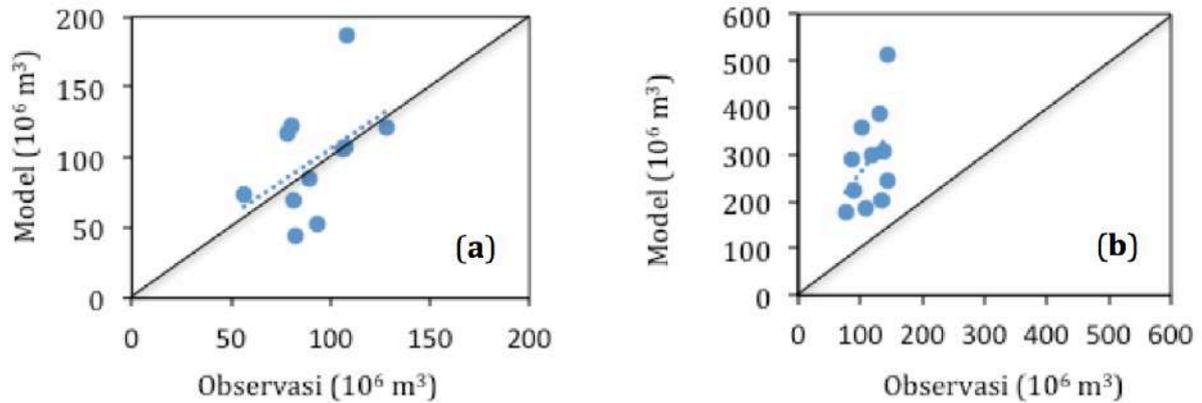
Gambar 42a menunjukkan variabilitas dan tren curah hujan tahunan berdasarkan data curah hujan historis (periode 1990 – 2010) yang bersumber dari data CHIRPS v2.0 untuk wilayah Poncokusumo dan sekitarnya. Berdasarkan gambar tersebut, wilayah studi secara umum menunjukkan adanya tren peningkatan hujan sekitar 22.2 mm/tahun. Sementara itu, Gambar 42b menunjukkan variabilitas dan tren curah hujan tahunan proyeksi berdasarkan data model GCM MIROC dan CSIRO untuk periode 2021 – 2035. Menurut Gambar 42b, wilayah Poncokusumo untuk masa datang diduga akan mengalami tren penurunan hujan sekitar 6.1 mm/tahun berdasarkan data model GCM CSIRO sedangkan dari model GCM MIROC terjadi tren penurunan hujan sekitar 19.9 mm/tahun. Berdasarkan variabilitas dan tren kedua data hujan proyeksi tersebut, curah hujan di wilayah Poncokusumo untuk masa depan cenderung akan mengalami penurunan.



Gambar 42. (a) adalah variabilitas dan tren curah hujan tahunan di Poncokusumo periode 1990-2010 berdasarkan sumber data CHIRPS v2.0 dan (b) adalah variabilitas dan tren curah hujan proyeksi periode 2021-2035 berdasarkan data model GCM CSIRO (garis utuh warna biru dan garis putus-putus warna merah) dan MIROC (garis utuh warna coklat dan garis putus-putus warna hijau)

### Ketersediaan Air di Bawah Kondisi Hujan Historis dan Skenario

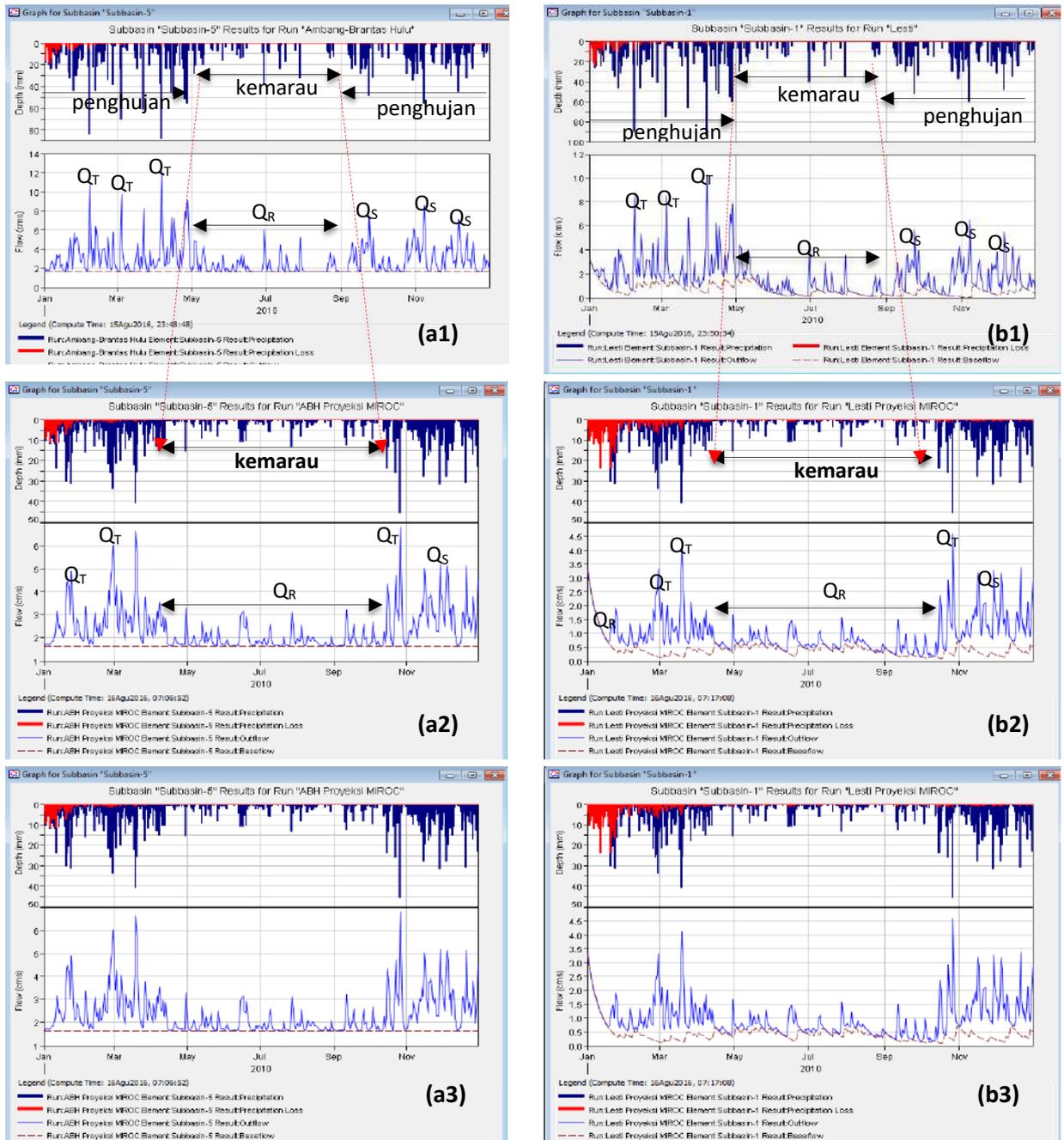
Secara hidrologis, kecamatan Poncokusumo terletak dalam dua sistem daerah aliran sungai, yaitu Sub-DAS Ambang dan Lesti. Di bawah kondisi hujan historis dan karakter fisik DAS pada saat sekarang, pola hidrograf aliran di kedua sub-DAS tersebut dapat diprediksi dengan menggunakan model hidrologi HEC-HMS. Dalam kajian ini, hidrograf aliran atau debit model tahun 2010 di outlet Gadang dan Tawangrejeni telah dibandingkan dengan data debit observasi yang terukur pada tahun dan outlet yang sama. Berdasarkan hasil uji Nash-Sutcliffe (Uji-F), pola debit model agak mirip dengan pola debit observasi; dan, ini ditunjukkan dengan nilai F. Pengujian model juga dilakukan dengan metode grafis (grafik 1:1) dan parameter yang diuji adalah volume debit puncak ( $V_p$ ). Seperti ditunjukkan pada Gambar 43a, nilai  $V_p$  mendekati garis diagonal terutama untuk stasiun Tawangrejeni sedangkan di stasiun Ambang (Gambar 43b) nilai debit model masih lebih tinggi daripada observasi.



Gambar 43. Hubungan antara parameter volume debit puncak ( $V_p$ ) hasil model HEC-HMS dan observasi untuk tahun 2010 dalam bentuk grafik 1 : 1. Notasi **a** dan **b** secara berturut-turut menunjuk pada stasiun Tawangrejeni dan Gadang

Berlandaskan hasil Uji Nash-Sutcliffe dan grafik 1:1 kami telah menghitung debit aliran yang terdapat di Subbasin-5 (bagian Sub-DAS Ambang) dan Subbasin-1 (bagian Sub-DAS Lesti) di bawah kondisi hujan historis, khususnya data curah hujan tahun 2010; Gambar 44a1 dan 44b1 menunjukkan debit aliran di kedua sub-DAS tersebut. Debit aliran rendah (*low flow*,  $Q_R$ ) di Subbasin-5 berkisar antara 3 hingga 6  $\text{m}^3\text{detik}^{-1}$  dan ini terjadi antara bulan Mei hingga September. Debit aliran rendah di Subbasin-1 sekitar 2-4  $\text{m}^3\text{detik}^{-1}$  dan ini terjadi antara bulan Juni hingga akhir September (3 bulan). Debit aliran rendah di kedua sub-DAS tersebut terjadi pada saat musim kemarau di Kecamatan Poncokusumo. Debit aliran tinggi (8-12  $\text{m}^3\text{detik}^{-1}$ ,  $Q_T$ ) di kedua sub-DAS terjadi dalam waktu yang hampir bersamaan, yaitu antara Pebruari, Maret dan April; sementara itu, debit sedang (6-8  $\text{m}^3\text{detik}^{-1}$ ,  $Q_S$ ) terjadi antara Oktober, November, dan Desember.

Gambar 44a2 dan 44b2 menunjukkan debit aliran di Subbasin-5 dan Subbasin-1 di bawah kondisi hujan proyeksi yang dibangun dari data model GCM Miroc, khususnya curah hujan tahun 2035. Musim kemarau di kedua sub-DAS dimulai pada akhir April hingga akhir Oktober (sekitar 6 bulan); dan, tinggi aliran rendah sekitar 2 – 3  $\text{m}^3\text{detik}^{-1}$ . Lama musim kemarau pada Gambar 44a1 dan 44a2 bertambah panjang, yaitu dari 3 bulan menjadi 6 bulan dan kondisi ini setara dengan yang terjadi di Gambar 44b1 dan 44b2. Artinya, lama musim kemarau di masa depan akan semakin panjang dan ini berimplikasi pada penurunan debit di wilayah studi. Pada kondisi hujan historis, debit aliran rendah di Subbasin-5 adalah sekitar 3-6  $\text{m}^3\text{detik}^{-1}$  tetapi di bawah kondisi hujan proyeksi ternyata debit di sub-DAS ini turun jadi 2-3  $\text{m}^3\text{detik}^{-1}$  atau turun hampir 50%. Debit aliran rendah di Subbasin-1 di bawah kondisi hujan historis (Gambar 44b1) sekitar 2-4  $\text{m}^3\text{detik}^{-1}$  tetapi di masa depan (Gambar 44b2) diduga turun jadi 0.5 – 1.5  $\text{m}^3\text{detik}^{-1}$  (turun 67%). Gambar 44a3 dan 44b3 menunjukkan debit aliran di Subbasin-5 dan Subbasin-1 di bawah kondisi hujan proyeksi yang dibangun dari data model GCM CSIRO dan ini konsisten dengan data hujan proyeksi dari model GCM MIROC.

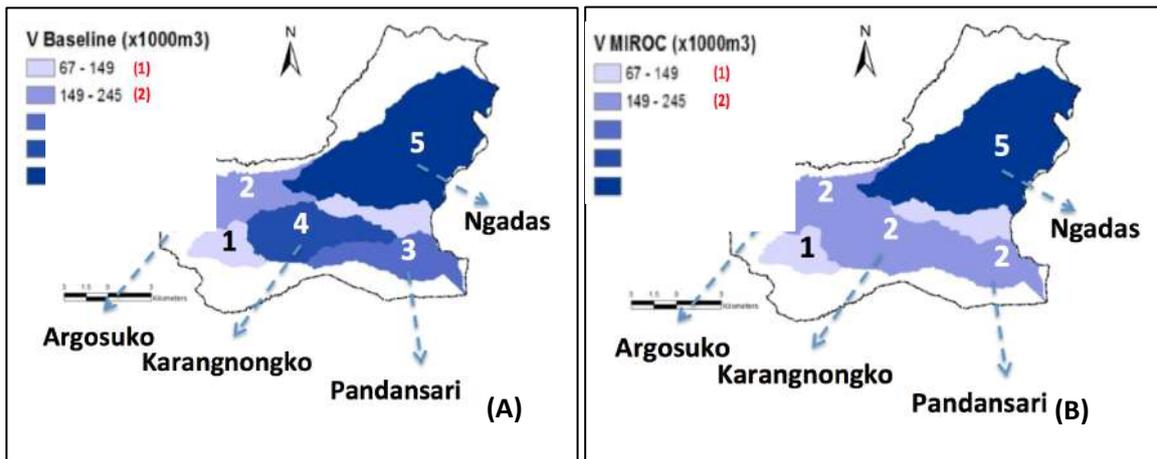


Gambar 44. Debit aliran pada Subbasin-5 (Sub-DAS Ambang) dan Subbasin-1 (Sub-DAS Lesti) tahun 2010. Gambar a dan b menunjukkan debit aliran di Subbasin-5 dan Subbasin-1 sedangkan notasi 1, 2 dan 3 berturut-turut merepresentasikan kondisi hujan historis, proyeksi berdasar data GCM MIROC, dan GCM CSIRO. Notasi  $Q_T$ ,  $Q_S$ , dan  $Q_R$  secara berturut-turut menunjuk pada status debit aliran tinggi, sedang dan rendah

Penurunan besar debit aliran antara kondisi saat ini (di bawah kondisi hujan historis) dan masa depan (di bawah kondisi hujan proyeksi) mengindikasikan bahwa wilayah Ponokusumo akan mengalami penurunan ketersediaan air antara 50-67%; dan, ini terjadi pada saat musim kemarau atau debit aliran rendah.

### Pola Spasial Ketersediaan Air

Penurunan ketersediaan air permukaan antara kondisi saat ini dan masa depan sebesar 50-67% di Kecamatan Poncokusumo adalah bersifat tidak merata. Kecamatan Poncokusumo bagian timur terutama Desa Ngadas, secara spasial ketersediaan air permukaan pada kondisi saat ini berkisar antara 300 – 900 ribu m<sup>3</sup> dan ini relatif tetap atau tidak berubah di masa depan; status ini sama dengan yang terjadi di Desa Argosuko (dengan volume debit sekitar 100 – 200 ribu m<sup>3</sup>). Namun, di Desa Karangnongko terjadi perubahan ketersediaan air yang cukup signifikan dari kondisi saat ini ke masa depan. Pada kondisi saat ini volume debit di Karangnongko sekitar 270 – 300 ribu m<sup>3</sup> tetapi di masa depan volume debitnya turun tajam jadi 100 – 200 ribu m<sup>3</sup> atau turun 60% - 30%. Kondisi ini juga terjadi di Desa Pandansari, yaitu turun sekitar 25%.



Gambar 45. Ketersediaan air permukaan secara spasial pada kondisi saat ini (A) dan masa depan (B)

## Bagian 5

### Analisis Alokasi Sumber Daya Air



Saluran Irigasi di Areal Persawahan

# Analisis Alokasi Sumber Daya Air

## Pendahuluan

Fenomena perubahan iklim merupakan fenomena global yang dampaknya ada di wilayah lokal dengan tingkat keterpaparan yang berbeda pada setiap wilayah. Hal yang sama juga berlaku di wilayah Indonesia yang juga memiliki tingkat keterpaparan tinggi terhadap perubahan iklim. Dengan wilayah yang luas, keterpaparan dampak dari perubahan iklim berbeda untuk setiap wilayah. Hal ini dipengaruhi oleh kondisi geografis serta kemampuan adaptif wilayah tersebut. Berdasarkan hasil survei pada tahun 2012, Kabupaten Malang merupakan salah satu wilayah yang memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap perubahan iklim. Berdasarkan hasil kajian tersebut, Kabupaten Malang, khususnya kecamatan Poncokusumo menjadi lokasi pilot untuk kajian ini yang diarahkan sebagai kawasan ekonomi potensial yang mencakup kawasan pengembangan utama komoditi (KAPUK) dan kawasan pengembangan utama. Kabupaten Poncokusumo juga ditetapkan sebagai kawasan pengembangan utama budidaya tanaman hortikultura dengan konsep agropolitan.

Untuk mencapai sasaran pengembangan kawasan agropolitan diperlukan perencanaan yang mencakup aspek sosial, ekonomi, tata ruang dan lingkungan hidup. Salah satu komponen lingkungan hidup adalah penataan sumberdaya air yang berkelanjutan. Sumber daya air berkelanjutan berarti menggunakan sumber daya air secara arif dan melindungi ekosistem yang kompleks untuk generasi masa depan. Tetapi berkelanjutan tidak akan tercapai dengan tingkat konsumsi sumber daya dan penggunaan air yang berlebihan seperti saat ini ([UN] 2005).

Sumberdaya air merupakan salah satu sektor yang sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim. Perubahan yang terjadi pada parameter iklim baik berupa perubahan curah hujan dan suhu serta parameter lainnya secara langsung maupun tidak langsung berpengaruh pada kondisi sumberdaya air di wilayah tersebut. Sumberdaya air merupakan salah satu komponen terkait dengan adaptasi terhadap perubahan iklim dimasa mendatang sehingga kajian kerentanan mutlak diperlukan. Dalam kaitannya dengan pengembangan wilayah agropolitan di Kabupaten Malang khususnya kecamatan Poncokusumo, perlu dilakukan kajian kerentanan yang lebih detail. Kajian kerentanan diharapkan memberikan gambaran terhadap potensi kerugian ataupun masalah yang dapat timbul dimasa mendatang. Selain itu hasil dari kajian ini dapat dikembangkan menjadi beberapa program adaptasi dalam upaya untuk mengurangi risiko pada masa mendatang.

Dalam pengelolaan suatu kawasan, permasalahan air tidak hanya pada berapa jumlah air yang tersedia namun juga yang tidak kalah pentingnya adalah bagaimana mengalokasikan air tersebut. Bagaimana pengguna mendapatkan air sesuai dengan jumlah yang diperlukan serta pola pengelolaan air yang berkelanjutan (Santikayasa et al. 2014). Dengan demikian, bagian laporan ini, yang merupakan bagian laporan yang lebih besar, lebih difokuskan pada pola pengelolaan sumberdaya air khususnya untuk pengalokasian air di kawasan agropolitan.

Berdasarkan sasaran yang ingin dicapai pada penelitian ini, maka tujuan penelitian ini adalah untuk mengalokasikan sumberdaya air di kawasan agropolitan Kecamatan Poncokusumo dengan fokus pada beberapa aspek sebagai berikut. Pertama adalah melakukan analisis pengguna untuk mengetahui bagaimana air tersebut dimanfaatkan di wilayah agropolitan Poncokusumo. Kemudian dilanjutkan dengan menganalisis kebutuhan air dari masing-masing pengguna tersebut. Selanjutnya berdasarkan informasi dari laporan pada bagian sebelumnya dilakukan analisis terhadap ketersediaan air di wilayah kajian untuk melihat apakah air yang diperlukan oleh masing-masing pengguna mampu tersedia dikawasan tersebut. Analisis selanjutnya adalah melihat bagaimana alokasi air dilakukan berdasarkan ketersediaan dan kebutuhan air. Dalam hal ini aplikasi WEAP akan digunakan sebagai "tool" untuk mengalokasikan air kepada pengguna. Kemudian dilanjutkan dengan analisis untuk melihat dampak dari perubahan ketersediaan dan

kebutuhan terhadap alokasi air. Kemudian dilanjutkan dengan membuat rekomendasi pengelolaan sumberdaya air yang berkelanjutan.

## Deskripsi wilayah

### Kondisi geografis wilayah kajian

Lokasi studi untuk kajian alokasi sumberdaya air untuk kawasan Agropolitan adalah Kecamatan Poncokusumo, Kabupaten Malang. Poncokusumo memiliki luas sekitar 103 km<sup>2</sup> (20,632 ha) atau sekitar 3.46 % dari total luas Kabupaten Malang yang terbagi ke dalam 17 desa. Posisi koordinat Kecamatan Poncokusumo terletak antara 112.42° - 122.54° BT dan 8.68° - 7.58° LS.

Letak geografi wilayah Kecamatan Poncokusumo adalah daratan dengan topografi hampir seluruh desa tergolong dataran. Terdapat 9 desa yang memiliki topografi wilayah dataran yaitu Desa Karanganyar, Jambesari, Pajaran, Argosuko, Ngebruk, Karangnongko, Wonomulyo dan Belung. Selain dataran, wilayah Poncokusumo juga terdiri dari topografi lereng perbukitan karena berada di sebelah barat lereng Gunung Semeru yang sebagian besar merupakan lahan produktif berada pada ketinggian antara 600 sampai dengan 1,200 mdpl. Terdapat 8 desa yang memiliki topografi ini yaitu Desa Dawuhan, Sumberejo, Pandansari, Ngadireso, Poncokusumo, Wringinanom, Gubugklakah, dan Ngadas. Ketinggian Kecamatan Poncokusumo kurang lebih antara 600 – 2,300 mdpl. Secara umum wilayah Poncokusumo bagian barat didominasi oleh dataran rendah yang memiliki ketinggian dibawah 1,000 m. Semakin ke timur wilayah ini semakin tinggi karena adanya deretan pegunungan yang mengelilinginya.

### Kondisi iklim

Kecamatan poncokusumo memiliki kondisi iklim yang hampir serupa dengan kondisi iklim Kabupaten Malang secara keseluruhan. Hasil studi literature dan analisis data menunjukkan bahwa wilayah ini memiliki tipe curah hujan musonial yang memiliki puncak hujan sekitar bulan Desember - Februari (selama musim dingin Asia) dan musim kering bulan Juni – Agustus (selama musim dingin Australia). Kabupaten Malang tergolong wilayah yang mempunyai suhu udara rata-rata relatif rendah sekitar 22.0°C hingga 26.8°C. Kelembaban udara di wilayah ini berkisar antara 66% hingga 91%. Rata-rata kecepatan angin di ketiga pos stasiun pengukuran antara 1.8 sampai dengan 4.7 km/jam. Tahun 2014, curah hujan rata-rata sebesar 1,800 – 3,000 mm pertahun dengan rata-rata curah hujan bulanan antara 15.3 mm hingga 417.4 mm.

Berdasarkan klasifikasi iklim Koppen, Kecamatan Poncokusumo tergolong wilayah tropis basah. Curah hujan di Kecamatan Poncokusumo rata-rata antara 2,300 mm sampai dengan 2,500 mm per tahun dan suhu rata-rata 21.7°C. Bulan terkering terjadi di bulan Agustus dengan rata-rata curah hujan sekitar 68 mm. Curah hujan mencapai puncaknya pada bulan Desember dengan rata-rata curah hujan bulanan sekitar 432 mm. Kelembaban di daerah ini sekitar 82%.

### Kondisi Demografi

Berdasarkan data BPS (2016), jumlah penduduk Kecamatan Poncokusumo tercatat sebesar 93.427 jiwa dengan tingkat kepadatan 930 orang/km. Komposisi penduduk menurut jenis kelamin menunjukkan bahwa 50,32 persen adalah laki-laki serta 49,28 persen adalah penduduk perempuan. Laju pertumbuhan penduduk rata-rata di Kabupaten Malang mencapai 0.86% per tahun, sedangkan di Kecamatan Poncokusumo hanya 0.38% per tahun. Hal ini menunjukkan bahwa laju pertumbuhan penduduk Kecamatan Poncokusumo lebih rendah dari sebagian kecamatan lain. Peningkatan jumlah penduduk akan sejalan dengan peningkatan kebutuhan air.

## Sosial dan ekonomi

Mengacu pada data kantor Kecamatan Poncokusumo tercatat sekitar 27.878 rumah tangga menggantungkan diri pada sektor pertanian (tani, buruh tani, peternakan, perikanan). Selanjutnya sektor perdagangan sekitar 2.958 rumah tangga, konstruksi sekitar 775 rumah tangga, jasa-jasa sekitar 150 rumah tangga, karyawan (PNS, TNI, Swasta) sekitar 717 rumah tangga, dan sekitar 239 rumah tangga bergerak pada bidang penggalian. Dalam struktur perekonomian, sektor pertanian mempunyai peranan penting dalam pembangunan ekonomi. Sektor ini berkontribusi dalam pembentukan Produk Domestik regional Bruto sebesar 30 persen atau menempati urutan pertama. Daya serap sektor pertanian terhadap kesempatan kerja dominan dibandingkan sektor lainnya. Jumlah lahan sawah yang di Kecamatan Poncokusumo yang diusahakan adalah seluas 1.470 Ha, dengan produksi padi sebesar 9.733,45 Ton.

Industri di Kecamatan Poncokusumo cenderung masih didominasi oleh industri kecil yaitu mencapai lebih dari 99%. Jumlah usaha industri kecil dan rumah tangga pada tahun 2013 di Kecamatan Poncokusumo sebanyak 837 usaha. Desa yang potensi usaha industri kecil/menengah yang cukup besar adalah Desa Poncokusumo, Agrosuko, Wonomulyo dan Wonorejo. Desa-desa tersebut berkontribusi untuk memasukan perekonomian di wilayah Kecamatan Poncokusumo.

## Metodologi

### Menghitung ketersediaan air

Ketersediaan air wilayah didekati dengan menggunakan data debit dari sungai yang menjadi sumber air wilayah tersebut. Sungai merupakan sumber daya air yang paling sering digunakan oleh masyarakat dalam memenuhi kebutuhan airnya, terutama untuk sektor pertanian. Untuk wilayah kajian, nilai debit dari sungai ini kemudian dikonversi menjadi nilai ketersediaan air yang dapat dialokasikan kepada pengguna. Nilai debit didekati dengan menggunakan pendekatan rainfall-runoff model. HEC –HMS digunakan untuk mengestimasi nilai runoff berdasarkan curah hujan wilayah dengan memperhitungkan karakteristik dari cakupan Daerah Aliran Sungai ((USACE 2000b); (USACE 2005b)).

### Kebutuhan air pengguna

Dalam penelitian ini tiga pengguna utama air di wilayah kajian diidentifikasi. Pengguna tersebut dikelompokkan menjadi tiga kelompok utama yaitu pertanian, domestik dan industri. Pengelompokkan menjadi tiga pengguna ini didasarkan atas data di lapangan yang menunjukkan bahwa ketiga pengguna ini merupakan pengguna yang dominan sebagai pengguna air di wilayah kajian. Untuk mengetahui jumlah penggunaan air untuk masing-masing pengguna tersebut, pendekatan yang berbeda digunakan untuk masing-masing pengguna.

### Standar Nasional per Sektor

Penggunaan air di Indonesia diatur berdasarkan undang-undang (UU) pengelolaan sumberdaya air yang dituangkan dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) penggunaan air (SNI 19-6728.1-2002). Secara umum SNI tersebut menggambarkan jumlah penggunaan air yang didekati dengan jumlah penduduk. Hal ini berguna untuk mengestimasi penggunaan air dimasa mendatang dengan berdasarkan data pertumbuhan penduduk. Kebutuhan air untuk didaerah perkotaan didasarkan atas besarnya kota, Berdasarkan UU pengelolaan sumberdaya air, kota dikategorikann menjadi 5 (lima) kategori sebagai berikut:

1. Kota kategori I ( Metropolitan )
2. Kota kategori II ( Kota Besar )
3. Kota kategori III ( Kota Sedang )
4. Kota kategori IV ( Kota Kecil )
5. Kota kategori V ( Desa )

Berdasarkan data SNI, penggunaan air untuk berbagai sektor dirangkum dalam Tabel 13.

Tabel 13 Standar Kebutuhan Air Bersih Berbagai Sektor

Jenis Pemakaian	Standar	Standar Terpilih	Satuan
Domestik			
Sambungan rumah			
Pedesaan	100		L/jiwa/hari
Keran umum	30		L/jiwa/hari
Non Domestik			
Hidran kebakaran	5		% keb.domestik
Kebocoran	20		% keb.domestik
Sekolah	10		L/m/hari
Kantor	10		L/peg/hari
Tempat Ibadah	2		L/m/hari
Industri	0.4-1.0	0.7	L/det/ha
Komersial			
Pelabuhan udara	10-20	10	L/penumpang/hari
Terminal/Stasiun bis	3		L/penumpang/hari
Pelabuhan laut	10		L/penumpang/hari
Sarana Kesehatan			
Rumah sakit	300		L/liter/hari

Sumber: Penyusunan neraca spasial sumber daya alam – sumber daya air (SNI 19-6728.1-2002)

## Domestik

Penggunaan air untuk sektor domestik dilakukan dengan menggunakan pendekatan jumlah penduduk dikalikan dengan standar penggunaan air nasional (SNI) untuk domestik. Sesuai dengan SNI, penggunaan air per penduduk juga dikelompokkan berdasarkan wilayah kota, kecamatan dan pedesaan. Dengan demikian dalam penelitian ini, wilayah dikelompokkan sesuai dengan kelompok penggunaan air untuk mendapatkan standar penggunaan air per penduduk untuk masing-masing wilayah. Kemudian untuk mendapatkan jumlah penggunaan air domestik total wilayah dilakukan dengan mengalikan jumlah penduduk dengan nilai standar penggunaan air per penduduk tersebut.

Dalam penelitian ini waktu analisis yang digunakan adalah bulan. Sehingga jumlah penggunaan air per wilayah per hari kemudian dikalikan dengan jumlah hari dalam masing-masing bulan dari Januari sampai dengan Desember untuk mendapatkan nilai total penggunaan air wilayah domestik per bulan.

Tabel 14. Kebutuhan air bersih rumah tangga per orang per hari menurut kategori kota

Kategori Kota	Jumlah penduduk (Ribu Jiwa)	Kebutuhan air bersih (L/O/H)
Semi urban	3 – 20	60 – 90
Kota kecil	20 – 100	90 – 110
Kota sedang	100 – 500	100 – 125
Kota besar	500 – 1000	120 – 150
Metropolitan	> 1000	150 – 200

Sumber: Penyusunan neraca spasial sumber daya alam – sumber daya air (SNI 6728.1:2015)

## Industri

Penggunaan air untuk sektor industri menggunakan pendekatan yang sama dengan perhitungan penggunaan air untuk sektor domestik. Namun untuk sektor industri, jumlah penggunaan air per industri dihitung berdasarkan jenis industri. Berdasarkan informasi tentang kebutuhan air industri sesuai dengan Standar nasional Indonesia (SNI), industri di Indonesia dikelompokkan menjadi 8 kelompok industri yaitu industri kulit, kayu, logam mulia, anyaman, gerabah, kain/tenun, makanan dan lainnya. Masing-masing kelompok industri tersebut memiliki kebutuhan air sesuai dengan kelompoknya. Perlu dijelaskan bahwa kebutuhan air hanya dihitung berdasarkan kebutuhan air untuk keperluan proses dalam kegiatan industri. Kebutuhan air untuk karyawan sudah dimasukkan sebagai kebutuhan air domestik pada bagian sebelumnya untuk menghindari adanya perhitungan ganda dari kedua entitas tersebut. Demikian juga halnya dengan kebutuhan air bulanan industri akan bervariasi tergantung dari jumlah hari bulanan.

Kebutuhan air industri termasuk dalam kebutuhan air non domestik. Namun berdasarkan data dari SNI pengelolaan air, kebutuhan air industri memiliki standar tersendiri. Perhitungan jumlah kebutuhan air industri didekati dengan menggunakan informasi tentang jumlah karyawan, luas air industri, serta jenis atau tipe Industri. Kapasitas Standar Air Bersih Kawasan Industri adalah 0.55 – 0.75 l/detik/ha.

Air untuk kebutuhan industri dapat bersumber dari PDAM maupun air tanah yang dikelola sendiri oleh pengelola kawasan industri (KI) sesuai dengan Peraturan Menteri Perindustrian RI No. 35/M-IND/PER/3/2010). Berdasarkan peraturan tersebut, analisis kebutuhan air untuk industri dihitung dengan dua cara. Untuk wilayah yang data luas lahan rencana kawasan industrinya diketahui, kebutuhan industri dihitung dengan menggunakan metode penggunaan lahan industri yaitu sebesar 0,4 liter/detik/ha. Untuk wilayah yang tidak diperoleh data penggunaan lahan industri, kebutuhan air industri dihitung dengan menggunakan metode persamaan linier (Tabel 15).

Tabel 15. Kebutuhan Air Industri Berdasarkan Beberapa Proses Industri

Jenis Industri	Jenis Proses Industri	Kebutuhan Air (L/Hari)
Industri Rumah Tangga Industri Kecil	Belum ada, rekomendasi dapat disesuaikan dengan kebutuhan air rumah tangga	
Industri Sedang	Minuman ringan	1,600 – 11,200
	Industri es	18,000 – 67,000
	Kecap	12,000 – 97,000
Industri Besar	Minuman ringan	65,000 – 78 Juta
	Industri pembekuan ikan dan biota perairan lainnya	225,000 – 1.35 Juta
Industri Tekstil	Proses pengolahan tekstil	400 – 700 l/kapita/hari

Sumber: Pedoman Perencanaan Sumberdaya Air Wilayah Sungai, Direktorat Jenderal Sumberdaya Air

## Pertanian

Penggunaan air untuk pertanian dalam penelitian ini dibatasi sebagai penggunaan air untuk kebutuhan irigasi. Sehingga jumlah air yang dibutuhkan adalah jumlah kebutuhan air tanaman setelah dikurangi dengan hujan efektif di wilayah tersebut. Kebutuhan air untuk pertanian dalam satuan meter kubik per hektar sehingga untuk mendapatkan jumlah kebutuhan air untuk pertanian total, jumlah yang disebutkan sebelumnya dikalikan dengan luas areal pertanian. Selain itu, informasi debit yang diberikan dalam saluran irigasi datanya diperoleh dari dinas pertanian. Sehingga untuk selanjutnya jumlah kebutuhan air total adalah nilai debit dikalikan dengan luas areal pertanian. Variasi bulanan disesuaikan dengan pola tanam sehingga waktu tanam, jenis tanaman dan pola tanam sangat menentukan kebutuhan air untuk pertanian.

Kebutuhan air pertanian terkait erat dengan kebutuhan air irigasi. Kebutuhan air irigasi dipengaruhi berbagai faktor seperti klimatologi, kondisi tanah, koefisien tanaman, pola tanam, pasok air yang diberikan, luas daerah irigasi, efisiensi irigasi, penggunaan kembali air drainase untuk irigasi, sistem golongan, dan jadwal tanam.

Perlu diingat bahwa air untuk irigasi dipergunakan dalam waktu satu tahun sehingga pengaruh lama tanaman dan persentase (%) intensitas tanaman juga harus diperhitungkan. Berdasarkan SNI pada tahun 2015, kebutuhan irigasi dirumuskan sebagai berikut:

$$IG = \frac{(ETc+IR+RW+P-ER)}{IE} \times A \dots\dots\dots \text{Persamaan (1)}$$

Keterangan:

- IG = Kebutuhan air irigasi (m<sup>3</sup>)
- ETc = Kebutuhan air konsumtif (mm/hari)
- IR = Kebutuhan air untuk penyiapan lahan (mm/hari)
- RW = Kebutuhan air untuk mengganti lapisan air (mm/hari)
- P = Perkolasi (mm/hari)
- ER = Curtah hujan efektif (mm/hari)
- IE = Efisiensi irigasi
- A = Luas areal irigasi (m<sup>2</sup>)

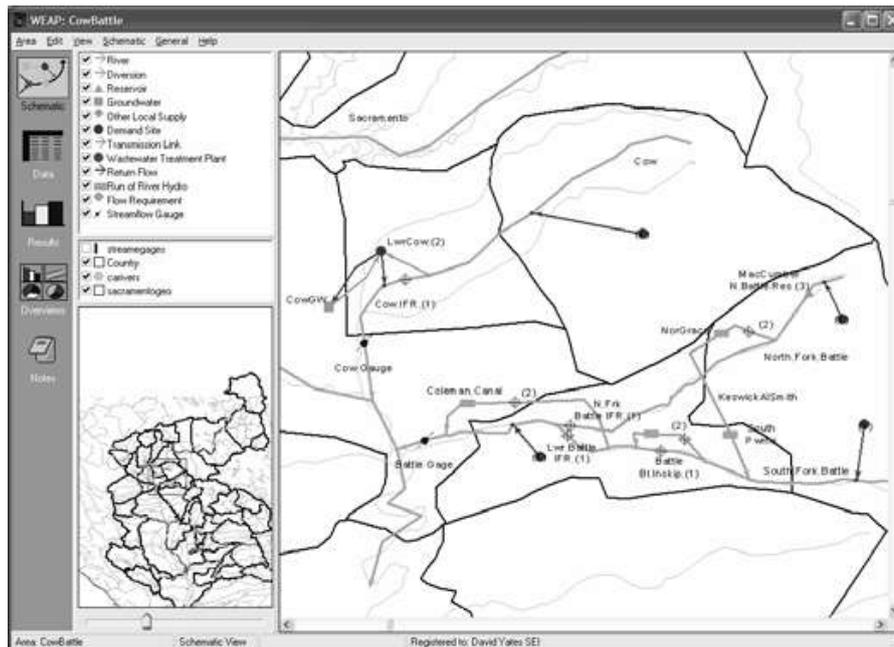
## Pengelolaan lingkungan

Selain ketiga pengguna tersebut, dalam penelitian ini juga didefinisikan penggunaan air untuk mengelola lingkungan di wilayah hilir. Jumlah ini juga termasuk total kebutuhan air yang harus disediakan untuk mengelola lingkungan dan juga kebutuhan di wilayah hilir. Nilai ini diperoleh dari data tentang kebutuhan air untuk wilayah hilir. Karena nilai ini merupakan nilai minimum yang harus dialokasikan, maka jumlah air tersebut dikurangkan dari ketersediaan air. Sedangkan jumlah air tersedia setelah dikurangkan akan menjadi jumlah air tersedia yang bisa dialokasikan untuk ketiga pengguna. Kelebihan air akan dialokasikan kembali kepada kebutuhan air wilayah hilir.

## Alokasi sumberdaya air

Alokasi sumberdaya air merupakan suatu upaya untuk mengoptimalkan “nilai” dari sumberdaya air secara keseluruhan. Dalam penelitian ini, nilai yang dimaksud dalam alokasi sumberdaya air adalah meminimalkan perbedaan antara kebutuhan air untuk suatu pengguna dengan jumlah air yang mampu dialokasikan untuk pengguna tersebut. Mengingat kompleksitas sistem dan interaksi antara kebutuhan dan ketersediaan air, manajemen alokasi air skala besar akan berguna bagi para pengambil keputusan ketika merumuskan strategi pengelolaan air untuk mengatasi perubahan iklim di masa depan mengenai kebutuhan air ((Chung et al. 2008)). Water Evaluation And Planning (WEAP) yang dikembangkan oleh Stockholm Enviromental Institute (SEI) digunakan untuk membantu proses alokasi sumberdaya air kepada pengguna ((Yates et al. 2005); (DR et al. 2007); (SEI 2008)). WEAP merupakan model untuk pengelolaan sumberdaya air yang memperkenalkan konsep prioritas pada penyedia dan pengguna dengan menggunakan program linear untuk menyelesaikan permasalahan alokasi sebagai substitusi dari pendekatan multi-kriteria berbobot yang umum digunakan.

WEAP juga mampu membantu pengelola sumberdaya air untuk melakukan analisis berdasarkan skenario termasuk didalamnya variabilitas iklim, perubahan iklim, perubahan kondisi DAS, perubahan permintaan dan pengguna, ekosistem dan juga peraturan perundangan menyangkut perubahan pola perilaku ketersediaan dan permintaan sumberdaya air akibat perubahan infrastruktur pendukung ((P et al. 1992); ((Yates et al. 2005); (DR et al. 2007)). Secara umum tampilan WEAP seperti Gambar 49. WEAP terdiri dari lima fungsi utama yaitu skematik, data, hasil, skenario dan catatan. Kelima fungsi tersebut dapat diakses secara mandiri tanpa memerlukan prasyarat untuk fungsi yang lainnya namun tetap memiliki keterkaitan. Kemudahan ini memberikan keleluasaan bagi pengguna untuk mengakses setiap fungsi secara mandiri.



Gambar 46 Tampilan skematik WEAP untuk alokasi sumberdaya air

## Hasil dan Pembahasan

### Ketersediaan air wilayah kajian

Menurut tingkat ketersediaannya, potensi air di wilayah Malang Raya yang terletak di DAS Brantas masuk dalam kategori cukup. Seperti dinyatakan oleh BBWS-Brantas (2011), potensi air permukaan DAS Brantas mencapai 13.23 milyar meter kubik per tahun. Air tersedia ini telah digunakan sekitar 3.7 – 4.0 milyar m<sup>3</sup> atau sekitar 28.24 % untuk keperluan irigasi, air rumah-tangga, perkotaan dan industri; sisanya yang mencapai lebih dari 9.53 milyar m<sup>3</sup> per tahun atau sekitar 71.7 % masih terbuang ke laut.

Curah hujan di Kecamatan Poncokusumo rata-rata antara 2,300 mm sampai dengan 2,500 mm per tahun. Bulan terkering terjadi di bulan Agustus dengan rata-rata curah hujan sekitar 68 mm. Curah hujan mencapai puncaknya pada bulan Desember dengan rata-rata curah hujan bulanan sekitar 432 mm. Khusus untuk kajian alokasi sumber daya air di kawasan Agropolitan, Poncokusumo hanya menggunakan 2 sungai sebagai sumber air. Sungai tersebut adalah sungai Lesti dan sungai Amprong, dimana sungai Lesti terdapat pada wilayah selatan Kecamatan Poncokusumo sedangkan sungai Amprong terdapat pada wilayah utara.

Kajian ketersediaan air didekati dengan perhitungan nilai debit dari sumber air dua sungai utama wilayah tersebut yaitu sungai Lesti dan Amprong. Dalam perhitungan nilai alokasi sumber daya air, perlu diketahui nilai ketersediaan air dan besar penggunaan air. Untuk mengetahui nilai ketersediaan air, maka diperlukan perhitungan jumlah ketersediaan air pada sumber penyedia air, dalam hal ini 2 sungai yaitu Sungai Lesti dan Sungai Amprong.

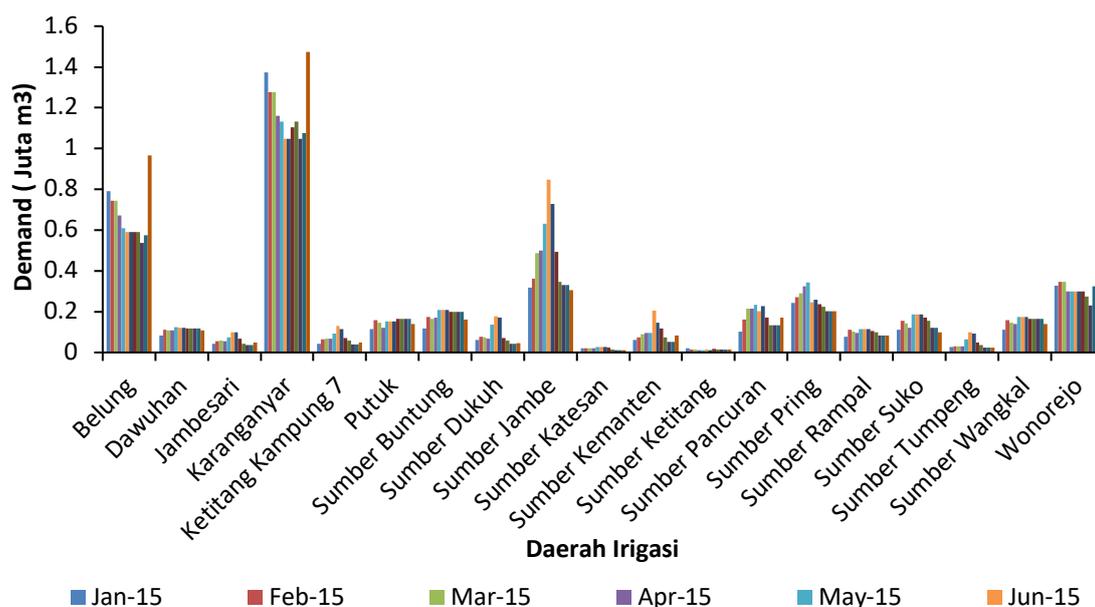
### Kebutuhan Air Sektor Pertanian wilayah Poncokusumo

Kebutuhan air pada sektor pertanian menjadi hal yang perlu diperhatikan, karena dalam proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman terutama padi, sangat tergantung pada ketersediaan air. Pada wilayah poncokusumo pemberian air diberikan melalui teknik irigasi dengan pengaturan debit per 10 hari yang diatur besar debitnya oleh dinas Pengairan Kabupaten Malang. Luasan sawah irigasi dibagi menjadi beberapa beberapa daerah irigasi (DI). Di Kecamatan Poncokusumo terdapat 20 Daerah irigasi yang tersebar pada berbagai desa di Poncokusumo.

Tabel 16 Luas daerah irigasi di kecamatan Poncokusumo

No	Daerah Irigasi (DI)	Luas Baku DI (Ha)	No	Daerah Irigasi (DI)	Luas Baku DI (Ha)
1	Belung	259	11	Sumber Jenon	82
2	Karanganyar	436	12	Sumber Katesan	10
3	Wonorejo	103	13	Sumber Kemanten	45
4	Dawuhan	177	14	Sumber Pancuran	97
5	Jambesari	27	15	Sumber Pring	133
6	Ketitang Kampung 7	35	16	Sumber Rampal	51
7	Sumber Ketitang	14	17	Sumber Suko	66
8	Sumber Buntung	98	18	Sumber Tumpeng	15
9	Sumber Dukuh	36	19	Sumber Wangkal	78
10	Sumber Jambe	231	20	Sumber Putuk	67

Berdasarkan data luas daerah irigasi, jumlah penggunaan air terbesar untuk sektor pertanian adalah daerah irigasi Karanganyar yang memiliki luas 436. Dapat dilihat pada Gambar 47 nilai penggunaan air mencapai nilai diatas 1 juta m<sup>3</sup> per bulan. Variasi jumlah penggunaan air untuk setiap daerah irigasi beragam, tergantung pemberian debit air. Sehingga pada setiap DI memiliki pola penggunaan air yang beragam antar satu dengan yang lainnya.



Gambar 47 Penggunaan air sawah di Poncokusumo



Keterangan:

A : Industri dari kulit (tas, sepatu, sandal, dsb); penggunaan air 586 m<sup>3</sup>/unit

B: Industri dari kayu (meubel, dsb); penggunaan air 586 m<sup>3</sup>/unit

C: Industri logam mulia dan bahan dari logam (perabot dan perhiasan dari logam dsb); penggunaan air 586 m<sup>3</sup>/unit

D: Industri anyaman (peralatan dari rotan/bambu, rumput, mendong, pandan, tikar, tas, hiasan dinding, dsb); penggunaan air 586 m<sup>3</sup>/unit

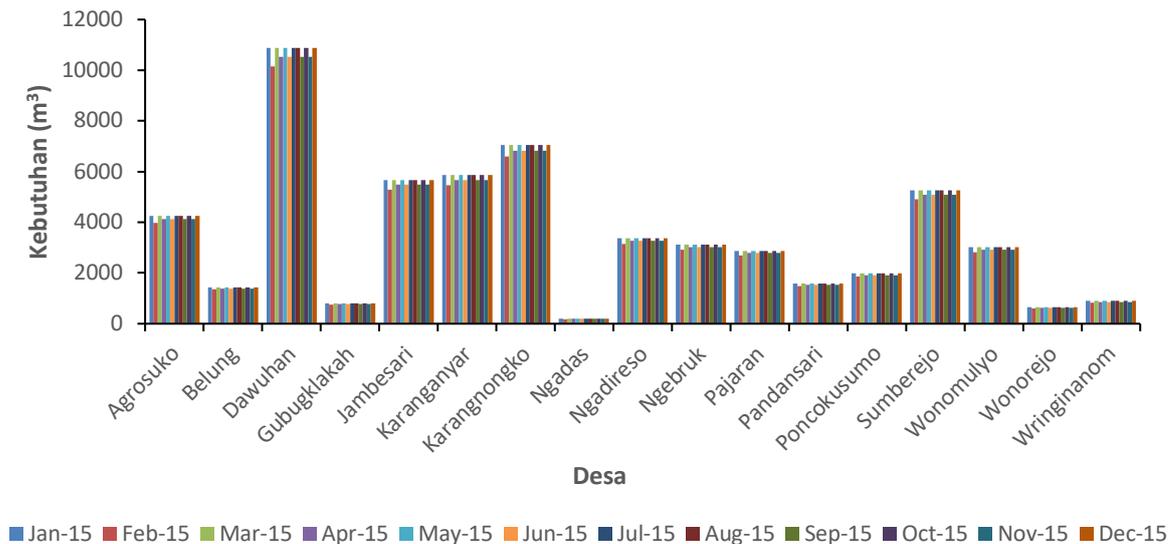
E: Industri gerabah/keramik/batu (genteng, batu bata, porselin, tegel, keramik, dsb); penggunaan air 1171 m<sup>3</sup>/unit

F: Industri dari kain/tenun (kerajinan tenun, konveksi); penggunaan air 1171 m<sup>3</sup>/unit

G: Industri makanan dan minuman (pengolahan dan pengawetan daging, ikan, buah-buahan, sayuran, minyak dan lemak, susu dan makanan dari susu, makanan lain, dan industri minuman); penggunaan air 2342 m<sup>3</sup>/unit

H: Industri lainnya; penggunaan air 586 m<sup>3</sup>/unit

Berdasarkan atas kebutuhan air untuk masing-masing kelompok industri, kebutuhan air untuk masing-masing desa dihitung dan digambarkan pada grafik. Hasil analisis tersebut memperlihatkan bahwa setiap desa memiliki kebutuhan air yang berbeda untuk industri. Hal ini akan mempengaruhi pola alokasi sumber daya air untuk wilayah tersebut.



Gambar 49 Sebaran kebutuhan air untuk industri di wilayah Poncokusumo

## Kebutuhan air untuk sektor domestik

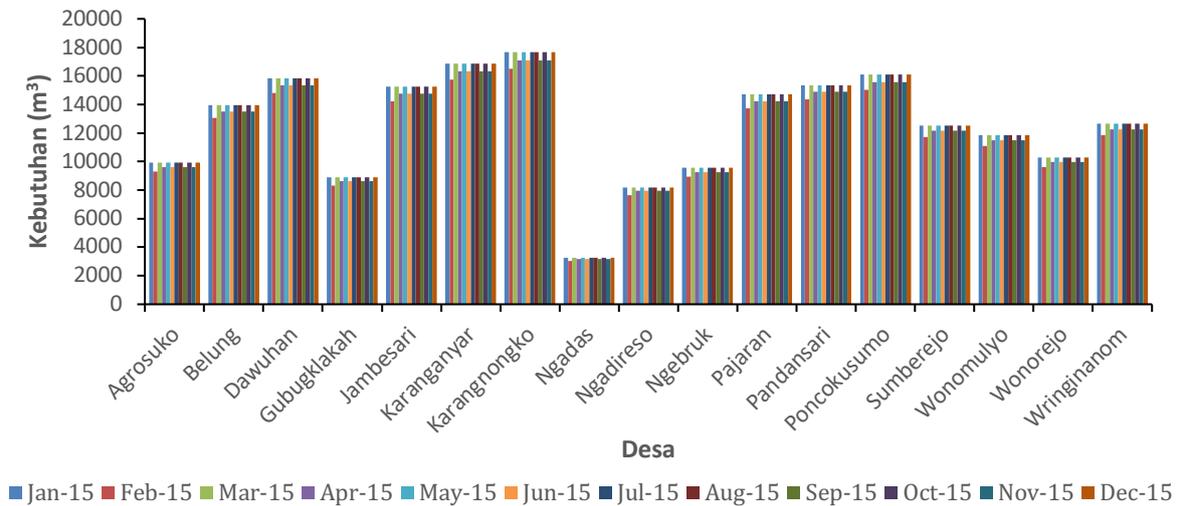
Kebutuhan air untuk sektor domestik didasarkan pada jumlah penduduk masing-masing wilayah. Kebutuhan air per kapita berdasarkan SNI digunakan untuk menghitung jumlah kebutuhan air untuk sektor domestik di wilayah kajian. Jumlah penduduk untuk masing-masing desa beserta jumlah kebutuhan air per kapita disajikan dalam Tabel 18.

Tabel 18 Jumlah penduduk per desa di kecamatan Poncokusumo dan kebutuhan air per kapita

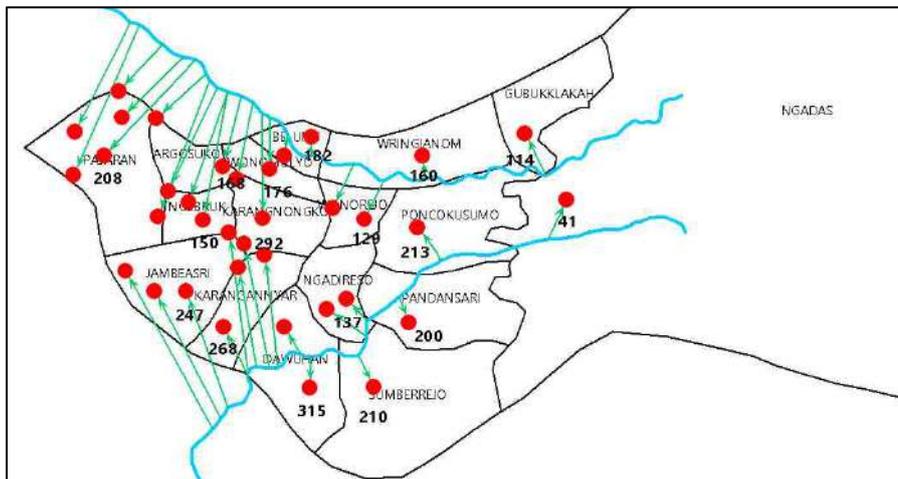
No	Desa/Kelurahan	Penduduk (orang)	Kebutuhan air (m <sup>3</sup> /orang)
1	Dawuhan	6928	27
2	Sumberejo	5485	27
3	Pandansari	6717	27
4	Ngadireso	3585	27
5	Karanganyar	7370	27
6	Jambesari	6660	27
7	Pajaran	6429	27
8	Argosuko	4343	27
9	Ngebruk	4189	27
10	Karangnongko	7722	27
11	Wonomulyo	5188	27

12	Belung	6130	27
13	Wonorejo	4495	27
14	Poncokusumo	7035	27
15	Wringinanom	5541	27
16	Gubukklakah	3892	27
17	Ngadas	1745	22

Berdasarkan data jumlah penduduk dan kebutuhan air per kapita, kebutuhan air untuk sektor domestik untuk wilayah kecamatan poncokusumo dihitung. Hasil perhitungan kemudian disajikan dalam grafik.



Gambar 50 Sebaran kebutuhan air untuk sektor domestik di wilayah Poncokusumo



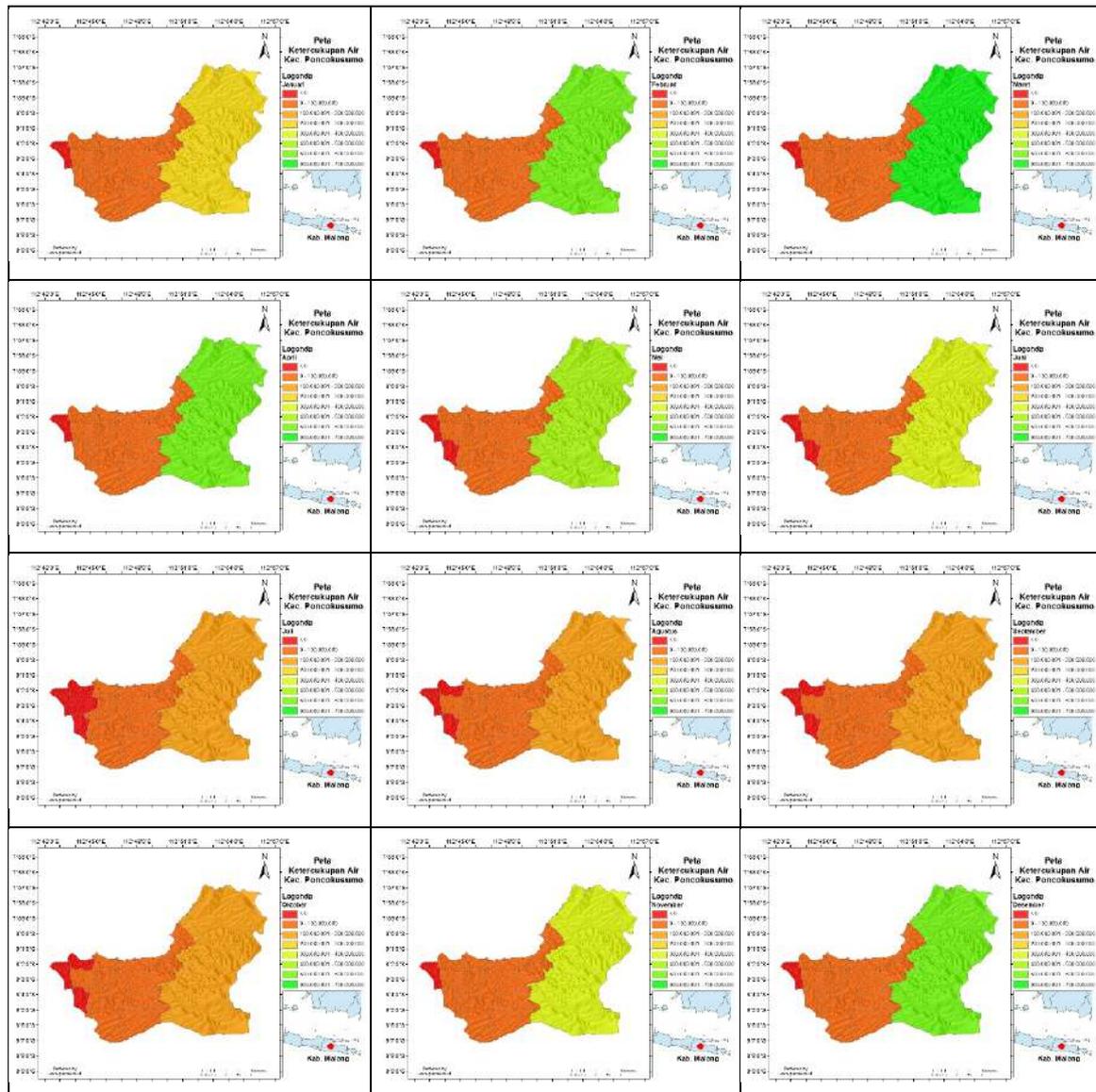
Gambar 51 Peta penggunaan air sektor domestik dan industri (ribu m<sup>3</sup>) kawasan Agropolitan, Poncokusumo

Gambar 50 tersebut menyajikan sebaran kebutuhan air untuk sektor domestik di wilayah kajian Kecamatan Poncokusumo. Hasil kajian memperlihatkan bahwa sebaran kebutuhan air untuk sektor domestik didominasi oleh wilayah yang merupakan wilayah dekat dengan kota kecamatan namun berada sedikit menjaughi wilayah sumber air. Hal ini berarti wilayah tersebut memerlukan jaringan distribusi yang baik untuk mampu membawa air dari sumber kepada pengguna khususnya untuk domestik.

## Pemenuhan Kebutuhan Air di wilayah Poncokusumo

Total kebutuhan air yang diperlukan di wilayah Poncokusumo adalah jumlah dari kebutuhan air dari keseluruhan sektor, berupa sektor pertanian, domestik, dan industri. Total kebutuhan air tersebut bervariasi setiap bulannya, dimana pengaruh terbesar dalam penggunaan air berasal dari sektor pertanian. Penggunaan air di sektor pertanian bervariasi antara satu desa dengan desa lainnya, sehingga dengan ketersediaan air yang ada, kemampuan setiap desa dalam pemenuhan kebutuhan air tersebut akan berbeda pula.

Dilihat dari ketersediaan air dan kebutuhan air setiap desa di wilayah Poncokusumo, dapat dilihat pada Gambar 52 bahwa ada beberapa wilayah yang berpotensi mengalami kekurangan ketersediaan air. Hal tersebut terjadi karena kebutuhan air melebihi jumlah air yang tersedia pada desa tersebut. Jika dilihat pada sebaran waktunya, kekurangan pasokan air cenderung terjadi pada musim kemarau. Kekurangan pasokan air ditandai dengan warna merah pada peta. Dapat dilihat bahwa pada desa-desa di sebelah barat Poncokusumo, yaitu desa Pajaran, Jambesari, Agrosuko, dan Ngebruk mengalami kekurangan air dalam memenuhi kebutuhannya. Potensi kekurangan air yang terbesar dialami oleh desa Pajaran, dimana sepanjang tahun mengalami defisit air. Hal tersebut disebabkan jumlah sawah yang cukup luas terdapat pada lokasi tersebut.



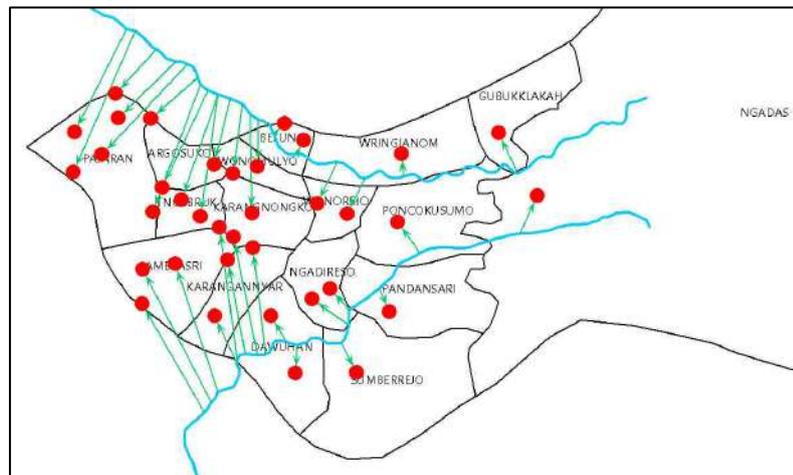
Gambar 52 Ketercukupan air pada masing-masing desa di Poncokusumo pada bulan Januari hingga Desember tahun 2015

Dilokasi lain, dapat dilihat bahwa ada wilayah yang memiliki potensi air yang besar namun penggunaan airnya masih sedikit. Seperti di desa Ngadas, ketersediaan air cukup melimpah, namun kebutuhan air di desa tersebut hanya digunakan untuk sektor domestik dan industri saja, tidak ada sektor pertanian yang terdapat di desa tersebut. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk dapat menambah pasokan air untuk desa yang berpotensi mengalami kekurangan ketersediaan air adalah dengan melakukan alokasi air dari satu desa menuju desa lainnya. Dalam penelitian ini, alokasi sumberdaya air di wilayah Poncokusumo dihitung menggunakan model WEAP.

## Alokasi sumberdaya air berdasarkan kondisi ketersediaan dan kebutuhan air

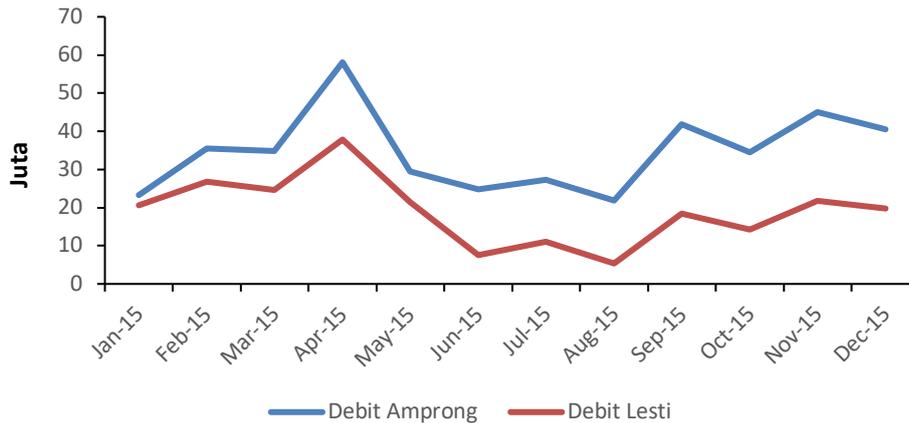
Untuk mengalokasikan sumberdaya air berdasarkan ketersediaan air dan kebutuhan pengguna, WEAP digunakan sebagai alat untuk proses alokasi. Langkah pertama yang dilakukan adalah membuat skematik untuk masing-masing sumber dan pengguna air. Kemudian dengan menggunakan program linear yang terdapat dalam aplikasi proses alokasi dilakukan.

Hasil skematik untuk proses alokasi dengan menggunakan WEAP ditampilkan dalam Gambar 53 berikut. Titik merah menggambarkan lokasi pengguna, garis biru menggambarkan skematik sungai sebagai sumber air dari permukaan sedangkan garis hijau menggambarkan jaringan distribusi air dari sumber kepada pengguna.



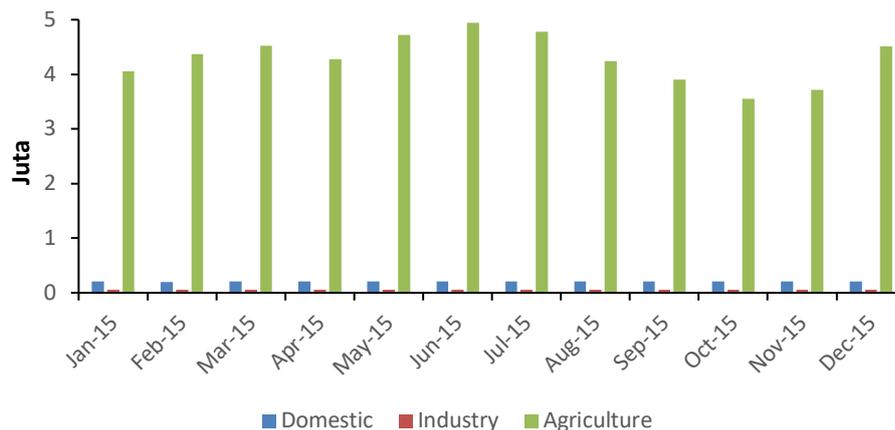
Gambar 53 Skema alokasi sumberdaya air kawasan Poncokusumo

Berdasarkan hasil kajian pada bagian sebelumnya (Bambang et al, 2016), ketersediaan air pada kedua sumber air yaitu Amprong dan lesti disajikan pada grafik berikut. Hasil kajian memperlihatkan variasi bulanan untuk ketersediaan air pada kedua sumber tersebut. Namun kedua sumber tersebut memiliki variasi yang hampir sama yaitu mengalami debit maksimum pada bulan april dengan debit minimum pada periode bulan Juni sampai dengan Agustus. Hal ini sesuai dengan sebaran curah hujan di wilayah kajian serta sebaran musim kemarau yang umumnya terjadi pada bulan Juni sampai dengan Agustus.



Gambar 54 Jumlah ketersediaan air pada kedua sungai di kawasan Poncokusumo

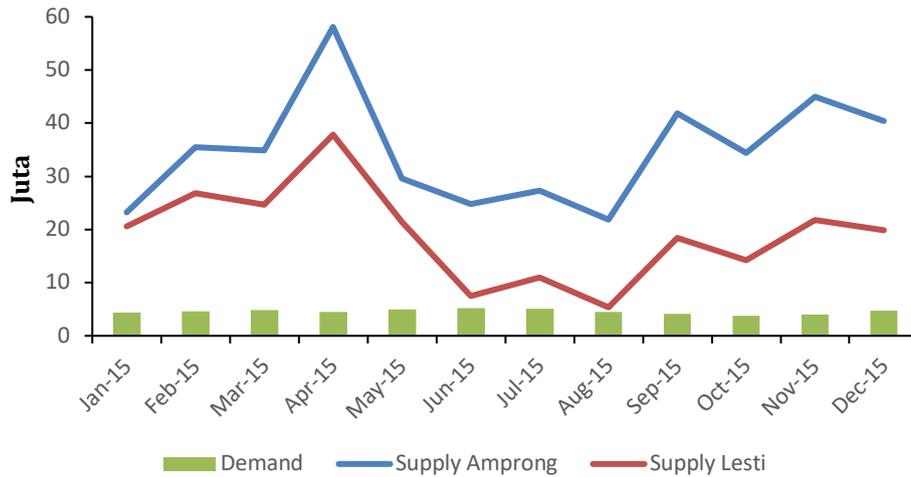
Berdasarkan ketersediaan dan kebutuhan air untuk semua sektor, alokasi air dilakukan. Alokasi air dalam hal ini adalah memberikan air kepada semua pengguna dengan tujuan akhir adalah meminimalkan perbedaan (gap) antara air yang diperlukan dengan air yang dialokasikan. Hasil alokasi untuk wilayah poncokusumo dengan informasi ketersediaan air dan kebutuhan untuk masing-masing sektor ditampilkan pada grafik.



Gambar 55 Total distribusi air yang dialokasikan tiap bulan untuk sektor domestik, industri dan pertanian

Hasil kajian menunjukkan bahwa sektor pertanian merupakan pengguna air terbesar untuk wilayah kajian. Pada penelitian lainnya menjelaskan bahwa umumnya air dipergunakan untuk memenuhi kebutuhan pertanian yang paing besar kemudian diikuti oleh air untuk kebutuhan domestik dan industri. Halini juga diperkuat oleh kenyataan bahwa wilayah kajian merupakan kawasan agropolitan yang secara tutupan lahan, kawasan pertanian menempati porsi terbesar dibandingkan dengan tutupan lahan lainnya.

Seperti dijelaskan sebelumnya bahwa alokasi mampu menjelaskan neraca antara ketersediaan dan kebutuhan air. Sehingga untuk mengetahui bagaimana neraca ketersediaan dan kebutuhan air di wilayah kajian, dilakukan overlay antara ketersediaan dan kebutuhan air. Hasil overlay menunjukkan bahwa ketersediaan air di wilayah kajian masih melebihi kebutuhan total air untuk semua sektor. Hal ini terlihat dari grafik bahwa ketersediaan air untuk tiap-tiap bulan berada diatas kebutuhan air tiap-tiap bulan.

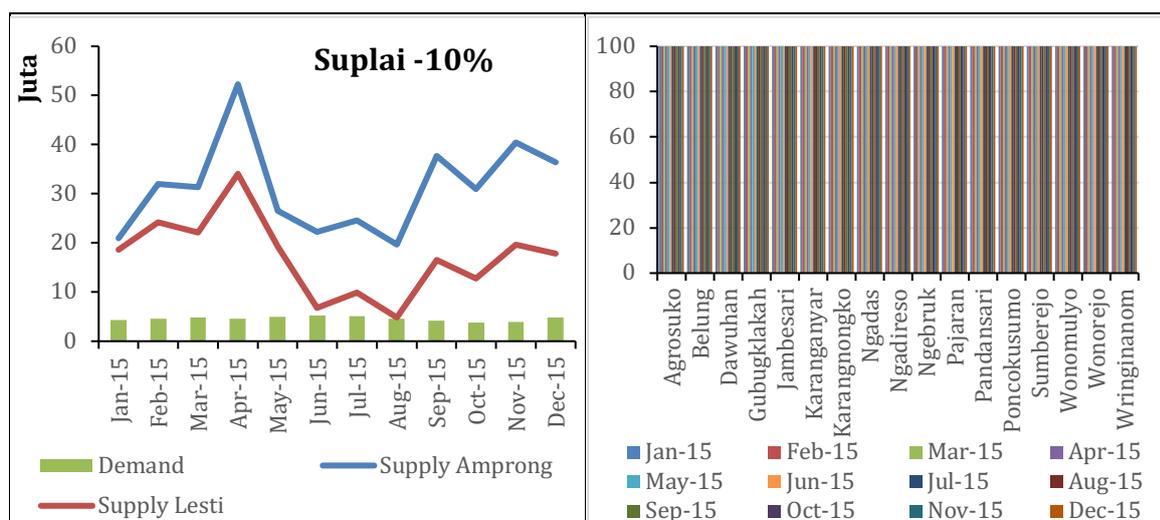


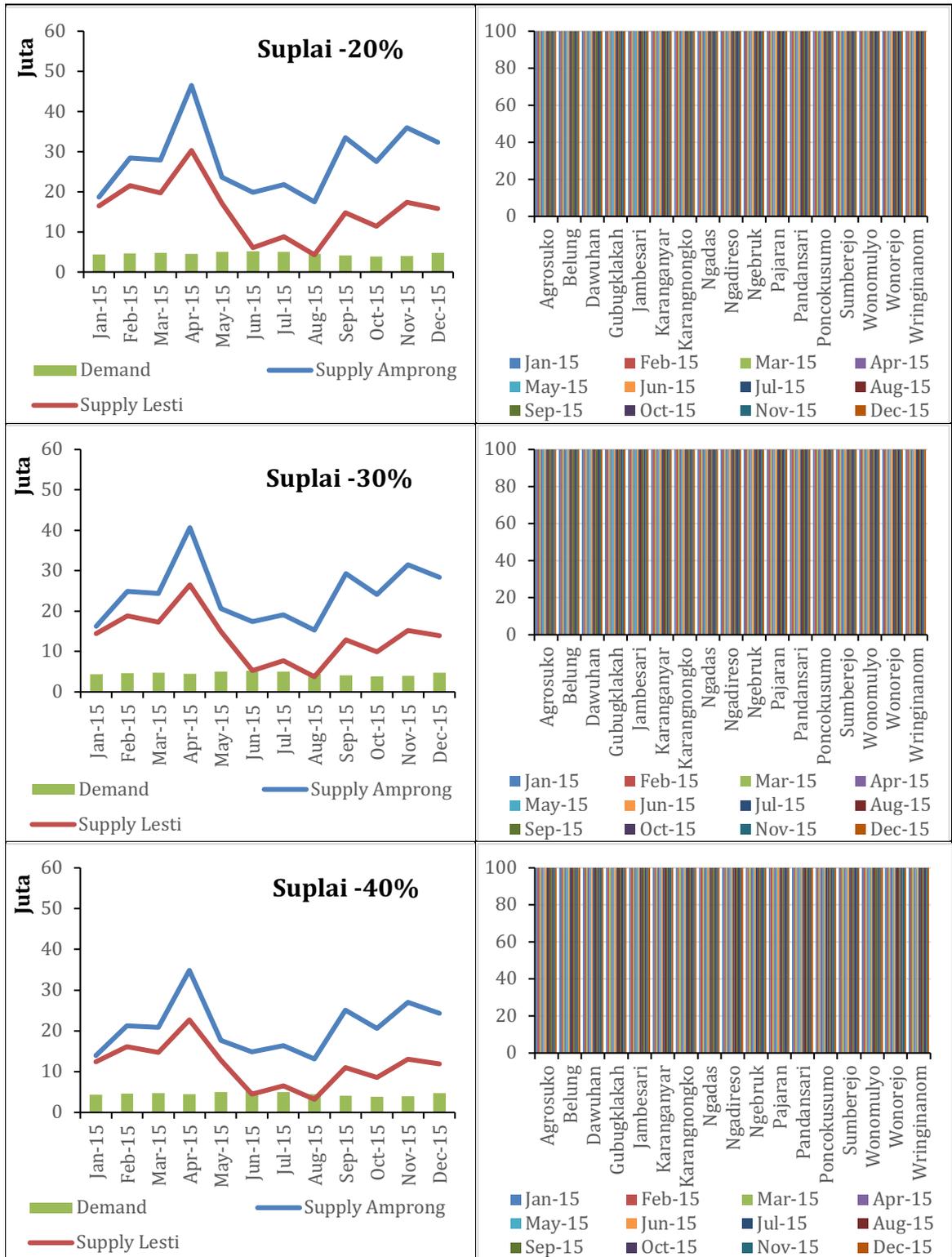
Gambar 56 Jumlah ketersediaan air dan kebutuhan air di wilayah Poncokusumo

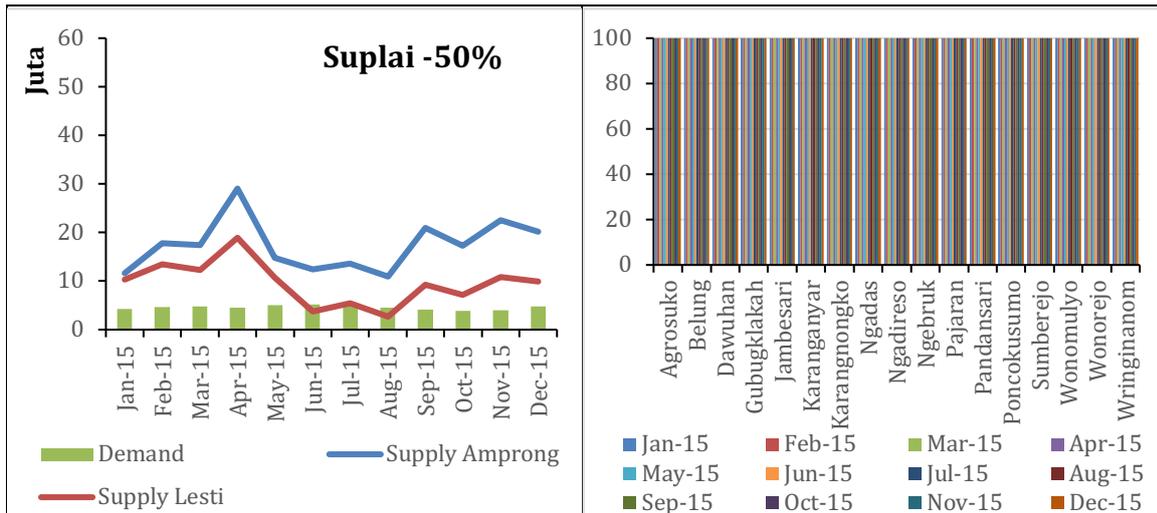
## Analisis sensitivitas alokasi sumberdaya air berdasarkan perubahan ketersediaan dan kebutuhan air

Analisis sensitivitas dilakukan untuk menganalisis perilaku perubahan alokasi akibat adanya perubahan ketersediaan maupun kebutuhan air, perubahan tersebut berupa perubahan ketersediaan maupun kebutuhan air. Perubahan dilakukan dengan menurunkan ketersediaan air sebesar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari nilai ketersediaan air pada kondisi saat ini. Analisis dilakukan dengan melihat keterpenuhan dari kebutuhan air untuk masing-masing sektor. Kecukupan air dapat dilihat dari keterpenuhan terhadap kebutuhan masing-masing sektor.

Hasil kajian menunjukkan untuk wilayah kajian bahwa semua kebutuhan air untuk masing-masing sektor masih dapat dipenuhi pada kondisi penurunan ketersediaan air (scenario -10% sampai -50% (Gambar 57 kiri). Hal ini terlihat dari keterpenuhan untuk masing-masing sektor mencapai 100 % untuk semua skenario penurunan ketersediaan air (Gambar 57 Kanan).

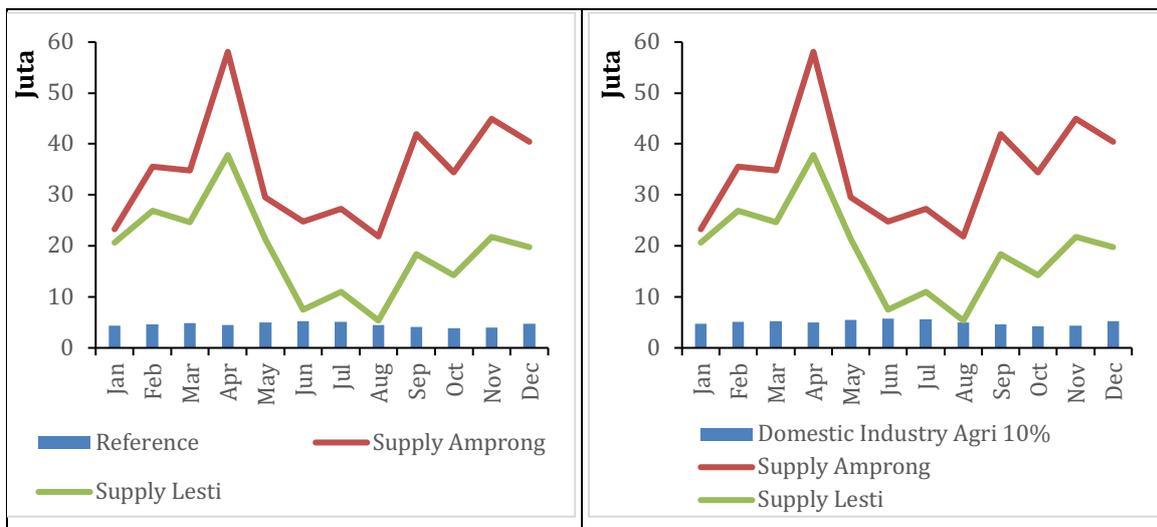


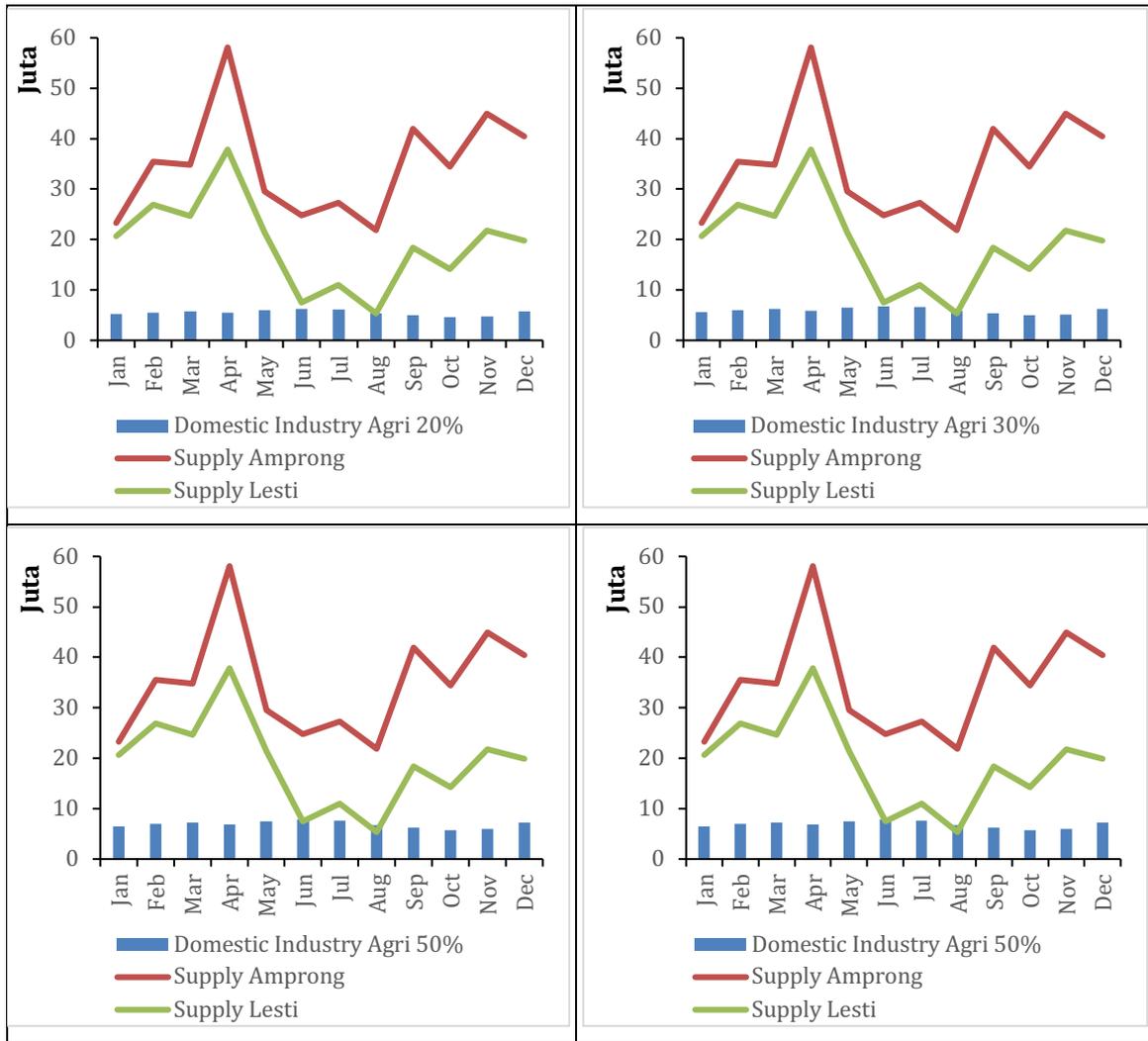




Gambar 57 Analisis sensitivitas pengurangan ketersediaan air dengan tingkat pengurangan 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari ketersediaan normal di wilayah Poncokusumo (kiri) serta tingkat keterpenuhan kebutuhannya dalam persen (kanan)

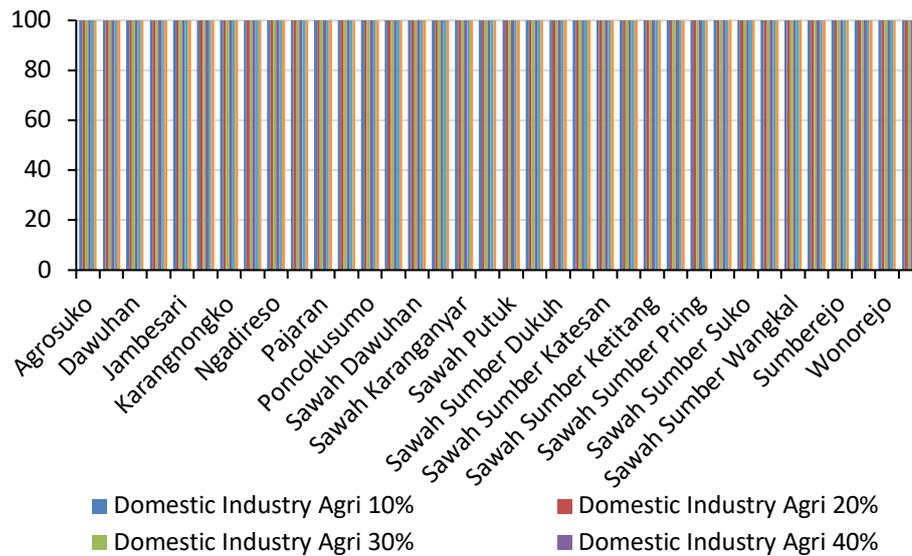
Selain perubahan pada ketersediaan, sensitivitas juga dilakukan dengan menganalisis perubahan pada kebutuhan air pada masing-masing sektor. Dengan cara yang sama, kebutuhan air untuk masing-masing sektor mengalami peningkatan mulai dari 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari kondisi normal. Hasil analisis sensitivitas terhadap perubahan jumlah penggunaan air ditunjukkan pada grafik berikut.





Gambar 58 Analisis sensitivitas peningkatan kebutuhan air dengan tingkat peningkatan 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari kebutuhan normal di wilayah Poncokusumo

Grafik diatas menunjukkan bahwa ketersediaan air masih mencukupi untuk pemenuhan semua sektor pada saat terjadi peningkatan kebutuhan sampai dengan 50%. Hal ini menunjukkan ketercukupan air pada pemenuhan sektor tersebut cukup tinggi untuk wilayah poncokusumo. Demikian juga pada saat dilakukan analisis ketercukupan untuk semua sektor menunjukkan bahwa ketercukupan mencapai 100% (Gambar 59) artinya semua sektor mampu terpenuhi semua kebutuhannya 100% baik untuk sektor pertanian, domestik maupun industri.



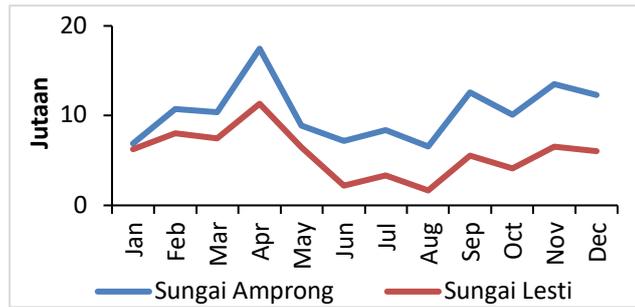
Gambar 59 Tingkat keterpenuhan kebutuhan air dalam persen saat peningkatan jumlah kebutuhan air 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dari kebutuhan normal di wilayah Poncokusumo

## Analisis alokasi berdasarkan persentase air yang bisa dimanfaatkan dan efisiensi saluran

Seperti yang telah dijelaskan pada sub-bab sebelumnya bahwa berdasarkan hasil analisis sensitivitas terhadap ketersediaan dan kebutuhan air, menghasilkan nilai *coverage* yang seluruhnya 100%. Hal ini berarti bahwa akan ada kecukupan air di wilayah kajian. Demikian juga halnya dengan analisis sensitivitas yang dilakukan dengan adanya pengurangan ketersediaan air dan juga penambahan kebutuhan air dari 10 - 50% dari nilai normal menghasilkan nilai *coverage* yang juga hampir keseluruhannya 100%. Berdasarkan hasil ini, maka tidak akan diperoleh kelangkaan air (*water shortage*) dimasa sekarang dan juga dimasa depan.

Namun, jika melihat kembali kepada asumsi, asumsi yang digunakan dalam analisis tersebut ada dua, yaitu; pertama, air yang digunakan dalam alokasi adalah keseluruhan ketersediaan air dari sungai Lesti dan Amprong walaupun informasi dari berbagai sumber menyatakan bahwa penggunaan air yang dialokasikan untuk memenuhi kebutuhan pengguna sebesar 28-30% dari total air yang tersedia. Kedua, efisiensi saluran dari sumber ke lokasi pengguna adalah 100%. Asumsi ini merupakan asumsi yang sangat pesimistis karena berdasarkan literatur, tidak ada saluran baik berupa saluran irigasi maupun saluran domestik dan industri yang memiliki nilai efisiensi sampai dengan 100%.

Berdasarkan hal diatas tersebut, dalam analisis berikutnya dilakukan perubahan pada asumsi tersebut berdasarkan informasi dari PU Brantas (2011) yang menyatakan bahwa jumlah air maksimum yang mampu digunakan untuk dialokasikan kepada pengguna sebesar 30% dari total ketersediaan air dari kedua sungai baik Lesti maupun Amprong. Sedangkan untuk asumsi yang kedua yang menyatakan efisiensi sebesar 100%, dilakukan perubahan dengan memasukkan nilai efisiensi saluran sebesar 40% sesuai dengan nilai rerata efisiensi saluran di wilayah Indonesia dari departemen Pekerjaan Umum. Hasil analisis dengan menggunakan revisi dari asumsi tersebut akan ditampilkan pada Gambar 60 berikut.

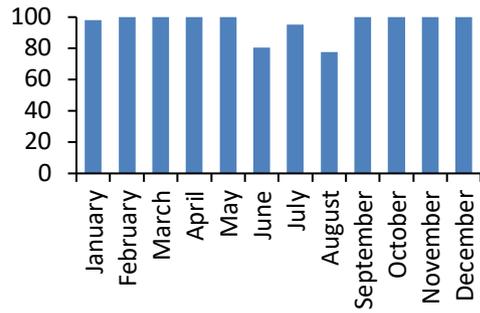
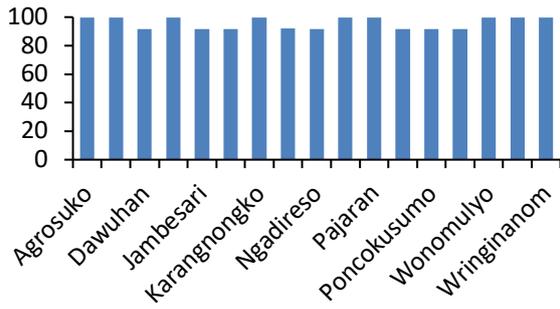


Gambar 60 Ketersediaan air di sungai Amprong dan sungai Lesti setelah dikurangi menjadi 30% dari total ketersediaan normal

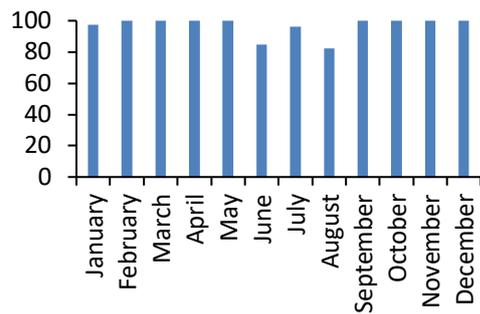
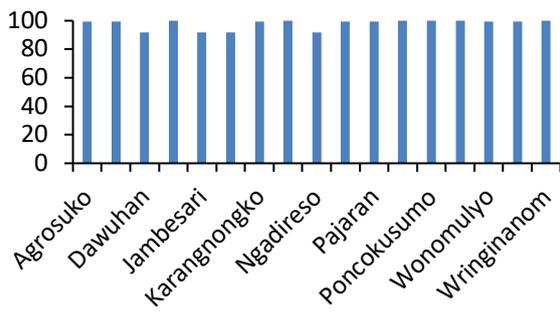
Seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 60 bahwa total nilai debit masih memiliki jumlah yang cukup tinggi dibandingkan dengan total kebutuhan dari keseluruhan pengguna di lokasi tersebut. Secara total nilai debit yang mampu dimanfaatkan untuk alokasi sumberdaya air ke pengguna sebesar 193.9 MCM (juta kubik per meter) pertahun. Sedangkan besarnya permintaan air untuk lokasi tersebut secara total dengan menggabungkan nilai kebutuhan air dari sektor pertanian dan non pertanian adalah sebesar 43.4 MCM per tahun. Hasil ini tetap menunjukkan bahwa jika asumsi efisiensi saluran sebesar 100% maka wilayah tersebut tidak akan mengalami kekurangan air untuk periode sekarang atau dimasa yang akan datang. Namun seperti yang telah dijelaskan, bahwa saluran yang menghubungkan antara sumber air dan pengguna memiliki efisiensi sebesar 40%. Hal tersebut menunjukkan bahwa dari total air yang disalurkan pada ujung hulu saluran, hanya 40% dari air tersebut yang akan sampai ke ujung hilir saluran dan dapat dimanfaatkan oleh pengguna. Sekitar 60% air, mengalami kehilangan akibat adanya proses evaporasi, perkolasi saluran, dan kebocoran.

Hasil analisis dengan menggunakan asumsi tersebut menunjukkan bahwa terdapat wilayah-wilayah yang tidak mampu dipenuhi kebutuhannya oleh ketersediaan air yang ada. Nilai kekurangan air dihitung berdasarkan persentase dari kebutuhan air (*coverage*). Semakin besar jumlah kekurangan air berdasarkan jumlah kebutuhannya maka nilai *coverage*-nya akan semakin rendah. Analisis juga dilakukan dengan mengelompokkan pengguna menjadi dua kelompok yaitu pertanian dan non pertanian. Pengguna pertanian adalah pengguna air khusus untuk kegiatan pertanian khususnya padi-sawah. Sedangkan untuk pengguna non pertanian terdiri dari pengguna untuk domestik dan industri.

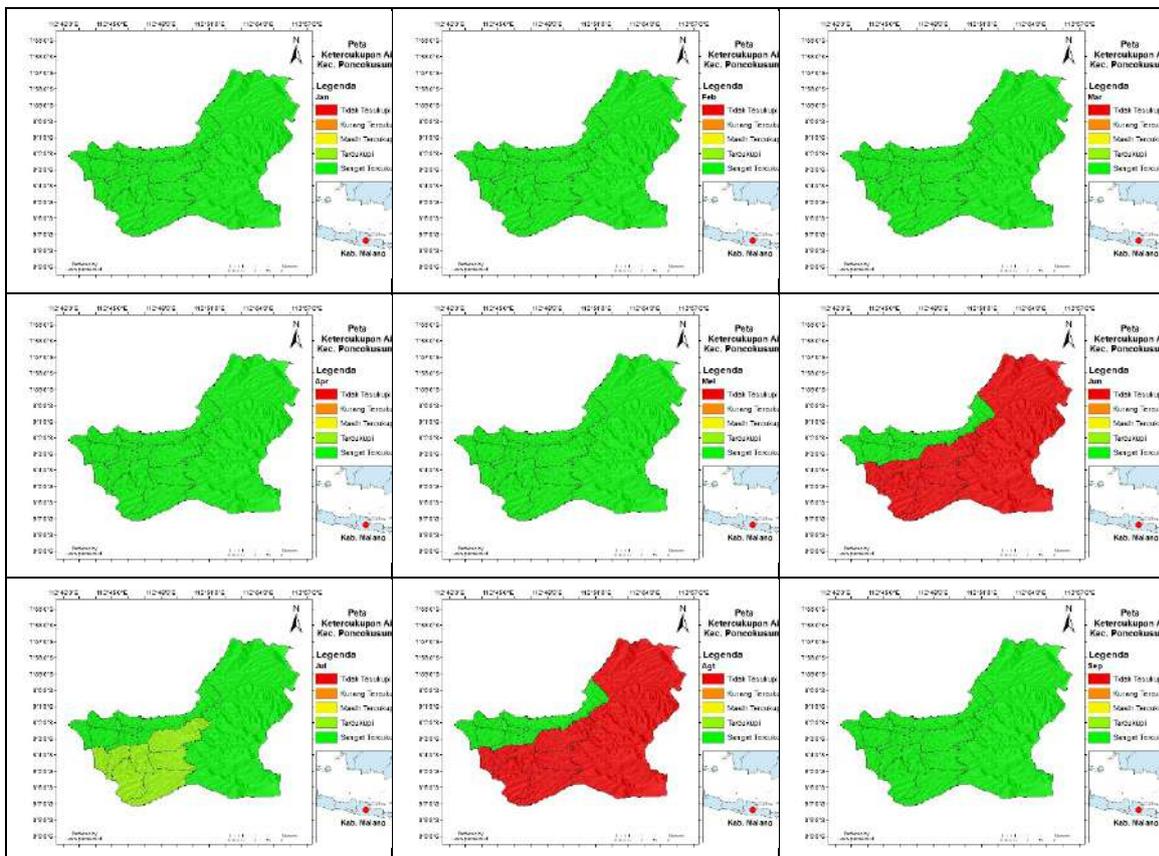
Secara total, wilayah kajian mengalami kekurangan air sebesar 1.5 MCM per tahun. Namun nilai tersebut tersebar di beberapa wilayah serta memiliki nilai yang berbeda untuk masing-masing bulan. Secara keseluruhan kekurangan air terjadi pada periode musim kering yaitu pada bulan Juni, Juli dan Agustus. Pada bulan Juni, Juli dan Agustus berdasarkan hasil kajian, akan mengalami kekurangan air sebesar 0.6, 0.15 dan 0.63 MCM dengan nilai kekurangan terbesar dialami oleh wilayah Jambesari sebesar 0.66 MCM. Jumlah air yang ada di Jambesari dialokasikan ke pengguna baik pertanian maupun non pertanian dengan *coverage* sebesar 91.7% dari total kebutuhan air (Gambar 61). Sedangkan wilayah lain yang mengalami kekurangan air adalah Dawuhan, Karanganyar dan Ngadireso dengan kekurangan air secara berturut-turut sebesar 0.14, 0.35, 0.17 MCM. Sedangkan wilayah selain yang telah disebutkan diatas, kebutuhan airnya akan mampu dipenuhi oleh air yang dialokasikan dari kedua sumber tersebut.

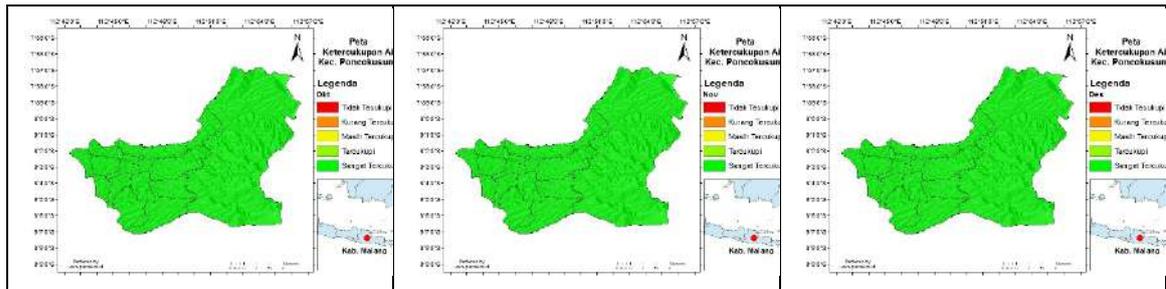


Gambar 61 Jumlah ketercukupan air sektor domestik dan industri berdasarkan sebaran desa di Poncokusumo (kiri) dan berdasarkan sebaran bulan (kanan)



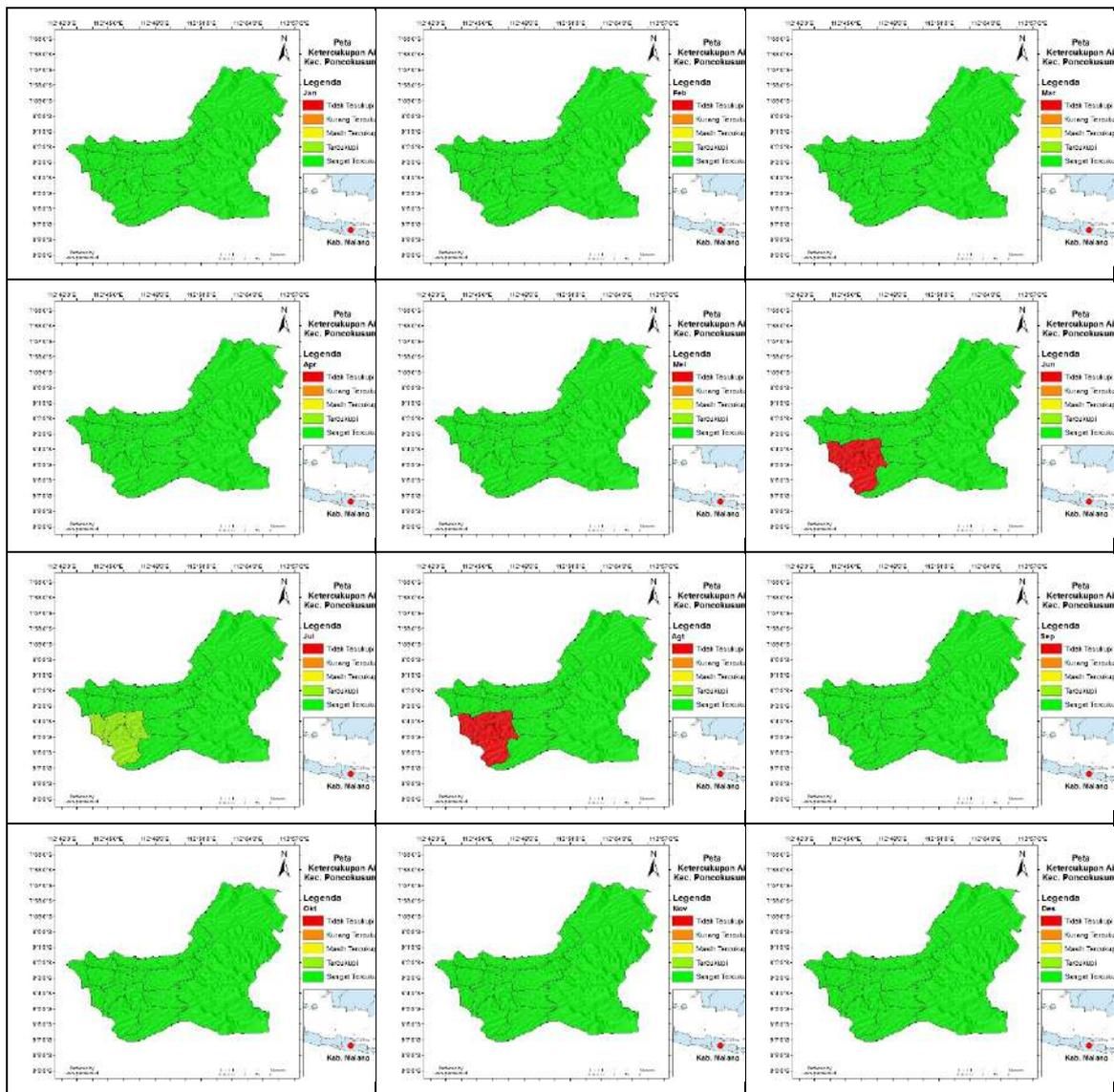
Gambar 62 Jumlah ketercukupan air sektor pertanian berdasarkan sebaran desa di Poncokusumo (kiri) dan berdasarkan sebaran bulan (kanan)





Skala kecukupan: coverage <60% = tidak tercukupi; coverage 60-70% = kurang tercukupi; coverage 70-80% = masih tercukupi; coverage 80-90% = tercukupi; coverage 90-100% = sangat tercukupi

Gambar 63 Analisis spasial alokasi sumberdaya air terhadap kebutuhan air sektor domestik, dan industri di wilayah Poncokusumo.

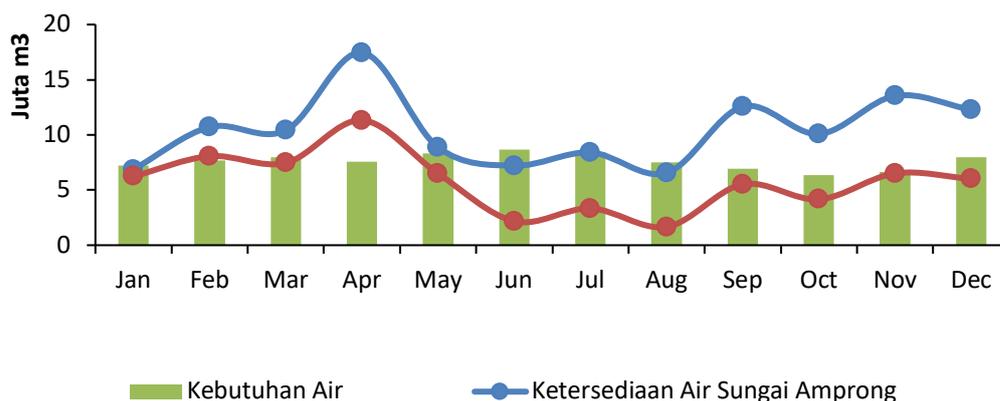


Skala kecukupan: coverage <60% = tidak tercukupi; coverage 60-70% = kurang tercukupi; coverage 70-80% = masih tercukupi; coverage 80-90% = tercukupi; coverage 90-100% = sangat tercukupi

Gambar 64 Analisis spasial alokasi sumberdaya air terhadap kebutuhan air sektor pertanian di wilayah Poncokusumo

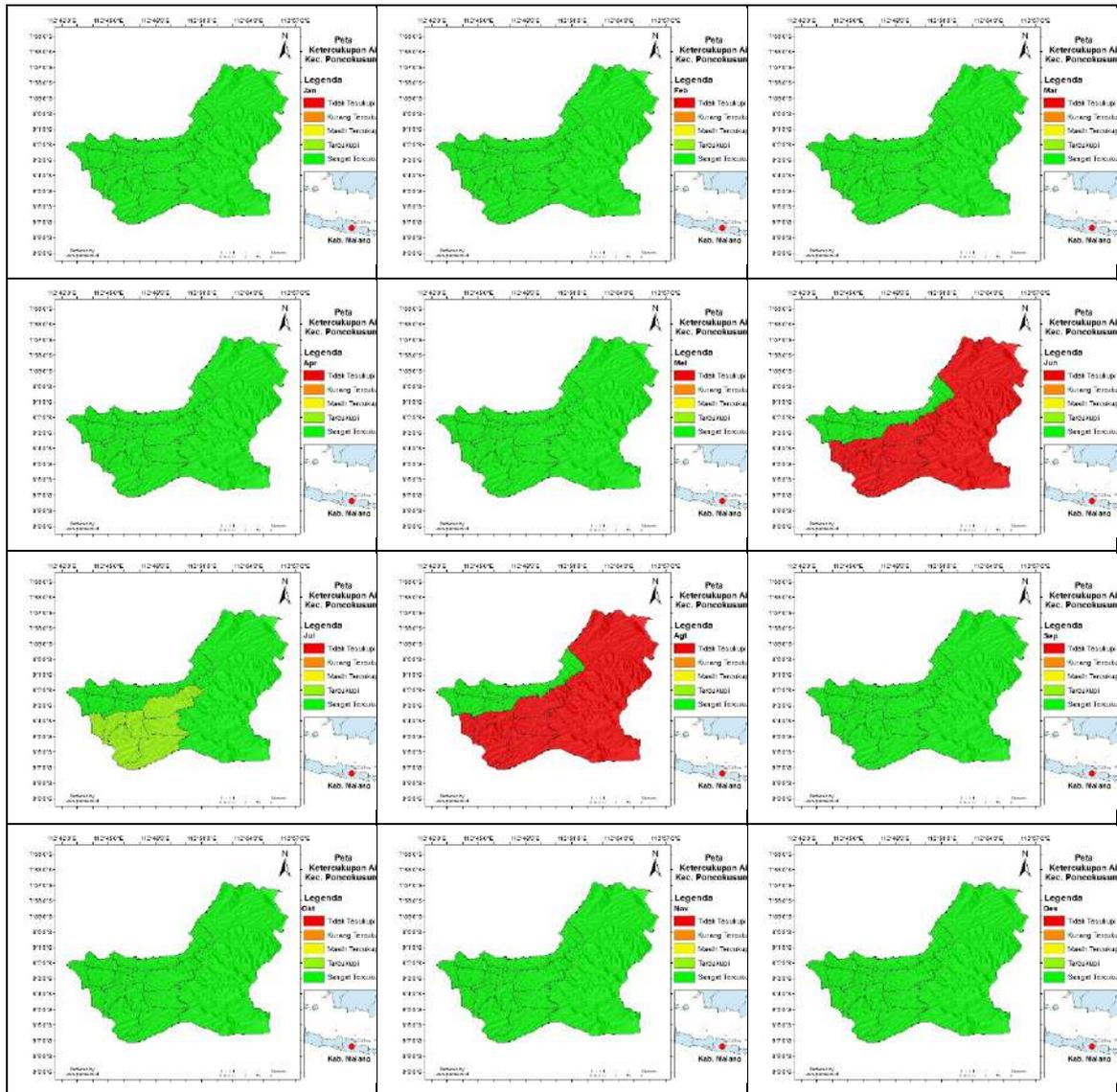
Secara spasial, Gambar 65 menjelaskan bahwa kebutuhan air untuk pertanian memiliki *coverage* hampir 100% untuk semua wilayah yang memiliki lahan pertanian. Hanya pada bulan Juni, Juli, dan Agustus yang mengalami kekurangan air pada wilayah hilir Poncokusumo. Berbeda halnya dengan alokasi air untuk non-pertanian yang beberapa wilayah *coveragenya* tidak mencapai 100% (Gambar 54). Sebaran kekurangan air pada bulan Juni, Juli, dan Agustus untuk alokasi sumberdaya air terhadap kebutuhan sektor domestik dan industri, memiliki wilayah kekurangan air yang lebih luas dibanding alokasi air untuk sektor pertanian (Gambar 64). Hal ini menunjukkan untuk wilayah kajian, pertanian masih merupakan prioritas untuk alokasi sumberdaya air. Hal ini sesuai dengan hasil kajian di lokasi kajian yang menunjukkan bahwa air lebih diprioritaskan untuk wilayah pertanian dibandingkan dengan pengguna lainnya, dalam hal ini untuk kebutuhan domestik dan industri.

Dengan menggunakan analisis neraca air terhadap ketersediaan dan penggunaan air diperoleh bahwa terjadi kekurangan air untuk periode Juni, Juli, dan Agustus, di wilayah kajian. Namun, secara total jika keseluruhan sumber air tersebut digabungkan maka akan mampu memenuhi kekurangan tersebut. Hal ini sesuai dengan informasi yang diperoleh dari informasi dari dinas pengairan Kabupaten Malang yang menyatakan saat ini kebutuhan air tidak mampu dipenuhi oleh satu sumber yaitu sungai Lesti. Namun disisi lain ada kelebihan ketersediaan dari sungai Amprong, sehingga ada rencana untuk membuat saluran penghubung untuk menghubungkan kedua sungai tersebut sehingga kelebihan air dari sungai Amprong mampu dialokasikan ke sungai Lesti (Gambar 65).



Gambar 65 Jumlah total alokasi air di sungai Amprong dan sungai Lesti dengan asumsi 30% air yang tersedia teralokasikan serta jumlah kebutuhan air dengan efisiensi saluran sebesar 40% di wilayah Poncokusumo

Analisis spasial juga dilakukan untuk menunjukkan lokasi-lokasi wilayah yang mengalami kekurangan sumberdaya air. Pemetaan dilakukan dengan menempatkan wilayah-wilayah yang memiliki *coverage* kurang dari 100% kedalam peta. Hasil analisis menunjukkan wilayah yang mengalami kekurangan air berada pada wilayah yang jauh dari hulu dan merupakan sentra pertanian padi sawah. Hal ini sesuai dengan hasil kajian potensi kekeringan yang menyatakan bahwa wilayah yang sama akan memiliki potensi kekeringan yang tinggi dibandingkan dengan wilayah-wilayah lainnya. Selain itu wilayah-wilayah tersebut merupakan sentra padi yang hampir 60% alokasi sumberdaya air di wilayah kajian diperuntukkan untuk pertanian. Secara keseluruhan peta wilayah potensi kekurangan alokasi sumberdaya air ditunjukkan oleh Gambar 66.



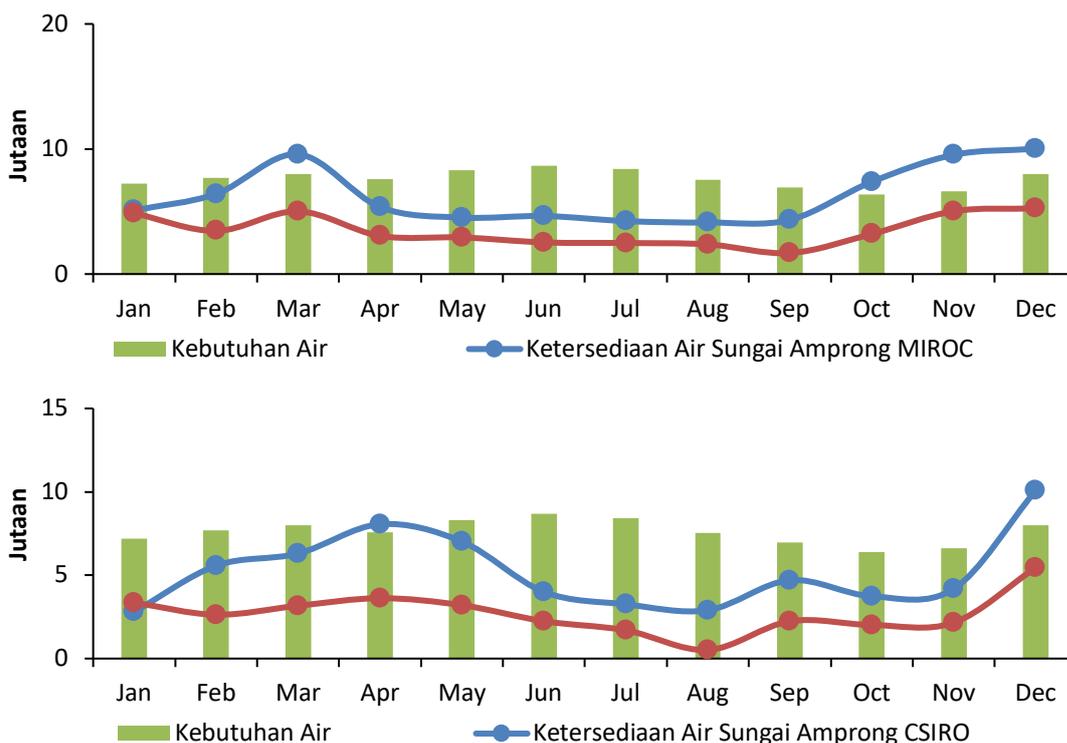
Skala kecukupan: coverage <60% = tidak tercukupi; coverage 60-70% = kurang tercukupi; coverage 70-80% = masih tercukupi; coverage 80-90% = tercukupi; coverage 90-100% = sangat tercukupi

Gambar 66 Analisis spasial alokasi sumberdaya air terhadap total kebutuhan air sektor pertanian, domestik, dan industri di wilayah Poncokusumo

Analisis ketersediaan air juga dilakukan berdasarkan ketersediaan air pada periode di masa mendatang. Proyeksi ketersediaan air di masa mendatang diperoleh dari model GCM CSIRO dan MIROC (informasi detail tentang model GCM ini sudah dijelaskan secara detail pada bagian sebelumnya).

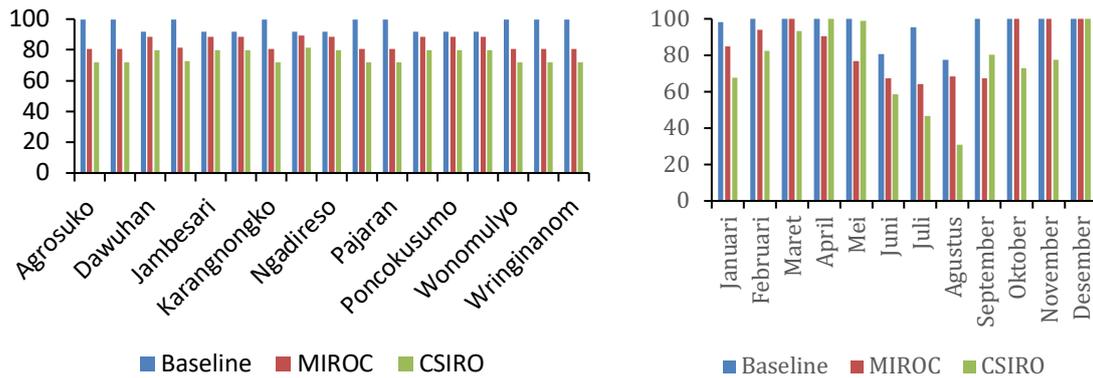
Berdasarkan hasil proyeksi ketersediaan air di wilayah Poncokusumo menggunakan model MIROC dan CSIRO, dapat dilihat bahwa neraca air di wilayah tersebut mengalami kekurangan ketersediaan air. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 67 ketersediaan air yang ada tidak mencukupi kebutuhan air. Berdasarkan model MIROC (Gambar 67 atas), air tidak tercukupi pada beberapa bulan, terutama pada bulan-bulan kering dari bulan April hingga September, namun dapat tercukupi pada bulan-bulan basah seperti Oktober hingga Desember. Hal berbeda ditunjukkan oleh proyeksi model CSIRO (Gambar 67 bawah), dimana ketersediaan air akan dialami pada bulan-bulan kering hingga awal musim basah, pada bulan Mei hingga November. Serta pada bulan Januari pun mengalami ketidakcukupan air. Secara keseluruhan, bulan-bulan yang tidak tercukupi airnya semakin panjang dibandingkan dengan kondisi saat ini.

Kekurangan tersebut tetap terjadi walaupun supply air sudah diperoleh dari kedua sumber tersebut. Sehingga hal ini perlu mendapat perhatian karena seperti yang dijelaskan kondisi tersebut adalah kondisi pada saat hanya 30% dari keseluruhan ketersediaan air yang mampu dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan irigasi, domestic dan industry. Selain itu efisiensi saluran yang dipergunakan masih menggunakan efisiensi saluran saat ini yaitu sebesar 40%. Dengan demikian maka untuk memenuhi kebutuhan tersebut diperlukan upaya untuk meningkatkan persentase pemanfaatan supply air dari kedua sumber dari sungai amprong dan lesti. Selain itu diperlukan upaya untuk meningkatkan efisiensi saluran sebagai salah satu bentuk adaptasi terhadap perubahan sumberdaya air diperiode mendatang.

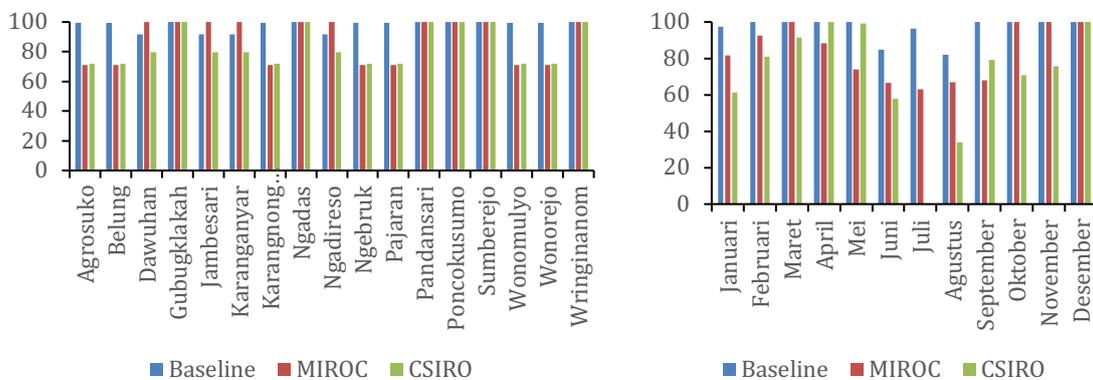


Gambar 67 Proyeksi total alokasi air di sungai Amprong dan sungai Lesti berdasarkan model MIROC (atas) dan model CSIRO (bawah) dengan asumsi 30% air yang tersedia teralokasikan serta jumlah kebutuhan air dengan efisiensi saluran sebesar 40% di wilayah Poncokusumo

Analisis lanjutan juga dilakukan untuk melihat kondisi yang lebih detail. Analisis neraca air pr wilayah dan perbulan dilakukan dan hasilnya ditunjukkan pada gambar 69 dan 70. Secara keseluruhan, wilayah yang terdampak pada kekurangan ketersediaan air di Poncokusumo berdasarkan proyeksi ketersediaan air menggunakan model MIROC dan CSIRO akan semakin meningkat. Pada lokasi-lokasi yang tidak berdampak kekurangan air saat ini, pada proyeksi menggunakan kedua model MIROC dan CSIRO menunjukkan peningkatan jumlah lokasi yang mengalami kekurangan air. Dilihat pada sebaran bulan, model CSIRO memproyeksi kekurangan ketersediaan air akan semakin meningkat, dimana pada setiap bulan hampir mengalami kekurangan ketersediaan air, terutama pada musim kemarau (Juni, Juli, Agustus) yang memiliki ketercukupan air paling sedikit. Sedangkan untuk model MIROC, bulan-bulan yang tidak tercukupi ketersediaannya (bulan Juni, Juli, dan Agustus) tidak terjadi peningkatan yang signifikan.



Gambar 68 Perbandingan jumlah ketercukupan air sektor domestik dan industri berdasarkan sebaran desa di Ponokusumo (kiri) dan berdasarkan sebaran bulan (kanan) menggunakan data *baseline* (data saat ini) dengan data proyeksi model MIROC dan CSIRO



Gambar 69 Perbandingan jumlah ketercukupan air sektor pertanian berdasarkan sebaran desa di Ponokusumo (kiri) dan berdasarkan sebaran bulan (kanan) menggunakan data *baseline* (data saat ini) dengan data proyeksi model MIROC dan CSIRO

## Permasalahan alokasi sumberdaya air dan Tantangan kedepan

Hasil kajian menunjukkan bahwa tidak ada permasalahan antara ketersediaan air dalam memenuhi kebutuhan air di wilayah kajian. Namun kondisi kekurangan ketersediaan air yang melanda beberapa wilayah seperti pengalaman pada tahun-tahun sebelumnya merupakan landasan untuk melakukan pengelolaan sumberdaya air yang terintegrasi. Permasalahan pada distribusi sumberdaya air merupakan masalah utama pada alokasi sumberdaya air di wilayah kajian. Secara kajian neraca air tidak ada kekurangan air pada masing-masing sektor.

Kekurangan air yang terjadi di beberapa wilayah disebabkan oleh adanya alokasi berlebih pada wilayah tertentu sehingga air tidak mampu dialokasikan untuk wilayah yang memerlukan air yang lebih banyak. Selain itu jaringan distribusi air merupakan salah satu kendala yang perlu diperbaiki untuk mendapatkan nilai alokasi sumberdaya air yang memiliki ketercukupan maksimum. Sehingga permasalahan bukan pada jumlah sumberdaya air namun lebih kepada pengelolaan dan pengalokasian sumberdaya air.

## Kesimpulan

Dari hasil kajian ini beberapa hal yang dapat disimpulkan terkait dengan alokasi sumberdaya air di wilayah kecamatan poncokusumo adalah sebagai berikut:

- Secara analisis neraca air total tidak terjadi kekurangan air pada wilayah poncokusumo namun kekurangan akan terjadi pada bulan-bulan tertentu khususnya pada musim kemarau sehingga perlu pengelolaan untuk mampu menampung air berlebih pada musim penghujan untuk dapat dialokasikan pada musim kemarau
- Penurunan ketersediaan air di wilayah poncokusumo hingga 50% masih mampu memenuhi kebutuhan maksimal untuk masing-masing sektor terutama untuk sektor pertanian, industri dan domestik. Demikian juga halnya dengan peningkatan kebutuhan air masih mampu dipenuhi oleh ketersediaan air yang ada.
- Perlu adanya pengelolaan sumberdaya air dengan mempertimbangkan kebutuhan air serta ketersediaan air pada tiap-tiap bulan terutama pada periode bulan musim kemarau dan musim penghujan. Pengelolaan ini akan mampu menjadi dasar pengalokasian sumberdaya air untuk masa sekarang dan masa mendatang
- Model alokasi yang dibangun dengan WEAP mampu menjelaskan perilaku alokasi sumberdaya air pada wilayah kajian. Namun perlu dilakukan kajian menyeluruh terutama pada sektor pengguna yang saat ini hanya menggunakan tida sektor. Analisis pada pengguna lainnya diperlukan karena akan merubah pola perilaku alokasi sumberdaya air. Selain itu kebutuhan air untuk wilayah hilir perlu mendapat perhatian karena kajian saat ini belum memperhitungkan berapa jumlah air yang diprlukan di wilayah hilir. Karena keterbatasan data, untuk kajian dalam penelitian ini diasumsikan bahwa air yang berlebih akan dialokasikan secara keseluruhan ke wilayah hilir.

Adaptasi Perubahan Iklim Kawasan Agropolitan





## Adaptasi Perubahan Iklim Kawasan Agropolitan

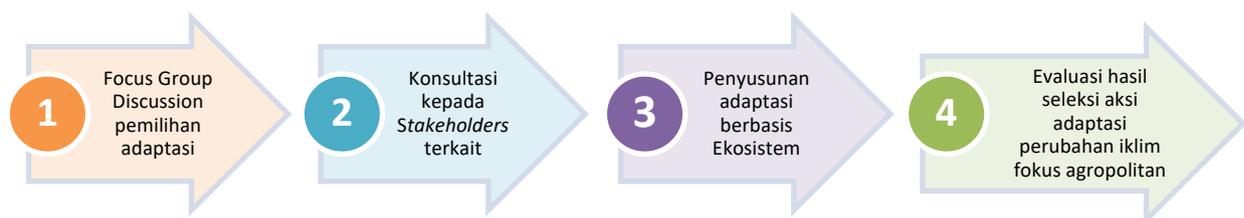
### Pendahuluan

Pertanian merupakan sektor penting dalam menjamin keberlanjutan kehidupan manusia di muka bumi melalui fungsinya dalam penyediaan pangan. Sebagai negara agraris, pertanian Indonesia juga harus menjadi salah satu pilar ekonomi negara yang dapat meningkatkan taraf hidup dan kesejahteraan masyarakat. Salah satu daerah di Indonesia dengan sektor andalan pertanian adalah Kabupaten Malang. Kabupaten Malang menjadi wilayah pengembangan utama komoditi hortikultura terutama yang berpusat di Kecamatan Poncokusumo, yang sekaligus juga ditetapkan sebagai kawasan pengembangan utama budidaya tanaman hortikultura dengan konsep agropolitan.

Sebagai satu kesatuan model pembangunan, agropolitan tersusun dari beberapa aspek utama dalam mencapai tujuannya, i.e, aspek pertanian, aspek ekonomi, aspek industri (agro-industri) dan aspek pariwisata (agro-wisata). Setiap aspek tersebut tersusun dari komponen pendukung masing-masing. Namun, agropolitan dibalik keunggulan modelnya banyak juga dijumpai berbagai tantangan. Sumber air menjadi salah satu persoalan utama yang cukup penting diperhatikan ditambah lagi dengan permasalahan dampak perubahan iklim. Perubahan unsur iklim baik curah hujan dan suhu udara serta parameter lainnya secara langsung maupun tidak langsung berpengaruh pada kondisi sumberdaya air dan berimplikasi pada kawasan agropolitan tersebut. Mempertimbangkan tantangan, persoalan dan dampak perubahan iklim maka sangat penting dilakukan penyusunan adaptasi perubahan iklim fokus agropolitan untuk digunakan sebagai bahan perencanaan pembangunan kawasan agropolitan. Dalam mencapai sasaran tersebut, salah satu upaya untuk menyusun rencana adaptasi perubahan iklim adalah **melalui pemanfaatan kajian kerentanan, risiko, dan dampak perubahan iklim**. Penyusunan dokumen adaptasi perubahan iklim ini telah disesuaikan dengan Permen KLHK No.33/2016 tentang Pedoman Penyusunan Aksi Adaptasi Perubahan Iklim.

### Metodologi

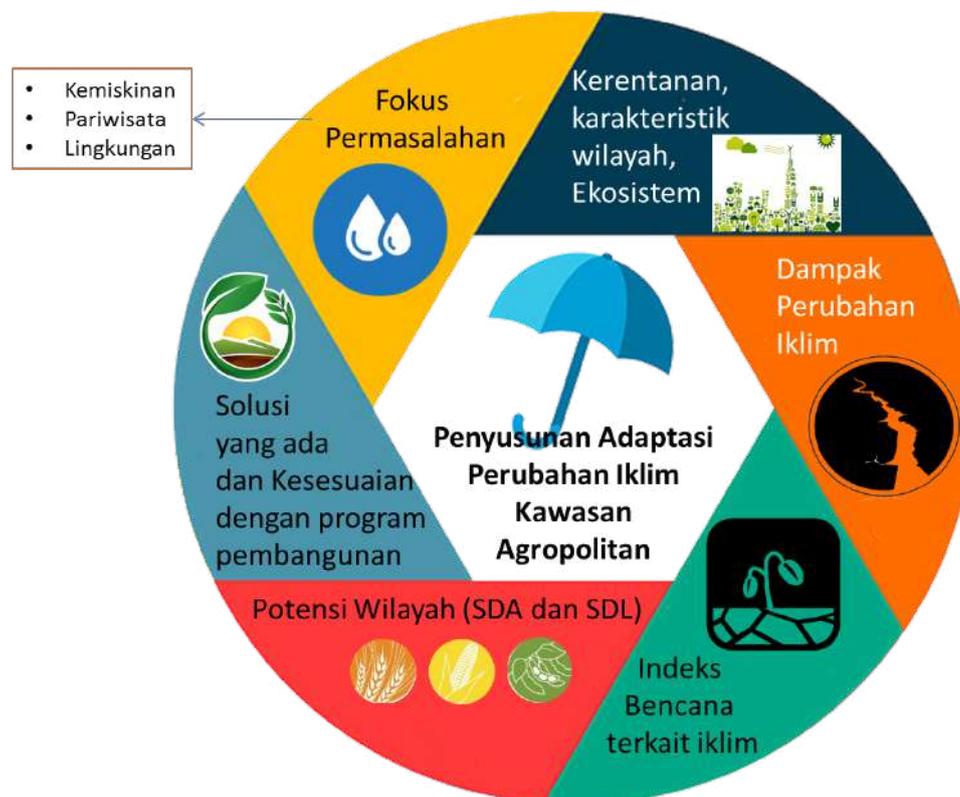
Tahapan penyusunan daftar adaptasi dilakukan melalui beberapa pertemuan dengan Pemerintah Kabupaten Malang dan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Berikut rangkaian proses dalam kegiatan penyusunan adaptasi perubahan iklim:



Gambar 70. Tahapan penyusunan adaptasi dari berbagai partisipasi

Suatu program disebut sebagai adaptasi perubahan iklim apabila program atau kegiatan tersebut telah merespon perubahan iklim (misalnya perubahan curah hujan dan suhu udara) atau pengurangan risiko bencana terkait iklim (misalnya kekeringan) atau gangguan terhadap jasa dan layanan ekosistem yang dihadapi oleh suatu wilayah. Selain itu, dalam upaya pengarusutamaan adaptasi perubahan iklim dalam perencanaan pembangunan Kabupaten Malang maka penyusunan pilihan adaptasi dalam dokumen ini diarahkan pada fokus pembangunan daerah. Pemerintah Kabupaten Malang menetapkan tiga strategi umum sebagai prioritas dalam kegiatan pembangunan pada periode tahun 2016-2021. Ketiga strategi tersebut diantaranya kemiskinan, lingkungan hidup, dan wisata. Di sisi lain,

hasil kajian risiko baik bencana terkait iklim, kerentanan dan dampak perubahan iklim dijadikan sebagai acuan utama dalam penyusunan daftar adaptasi. Sebagai bahan pendukung, dokumen RPJMD dan dokumen pendukung lain terkait dipertimbangkan pula dalam penyusunan pilihan adaptasi. Dokumen pendukung tersebut dijadikan sebagai bahan informasi solusi apa saja yang sudah ada dan dilakukan di Kabupaten Malang serta potensi-potensi wilayah baik berupa Sumber Daya Alam dan Sumber Daya Lokal termasuk sumberdaya manusianya maupun kearifan lokal dan adat istiadat setempat. Dokumen pendukung lain sebagai referensi pilihan adaptasi adalah dokumen SPARC (2015) dan KRAPI Malang Raya (2012).



Gambar 71. Proses penyusunan adaptasi perubahan iklim dengan berbagai aspek pertimbangan

## Hasil dan Pembahasan

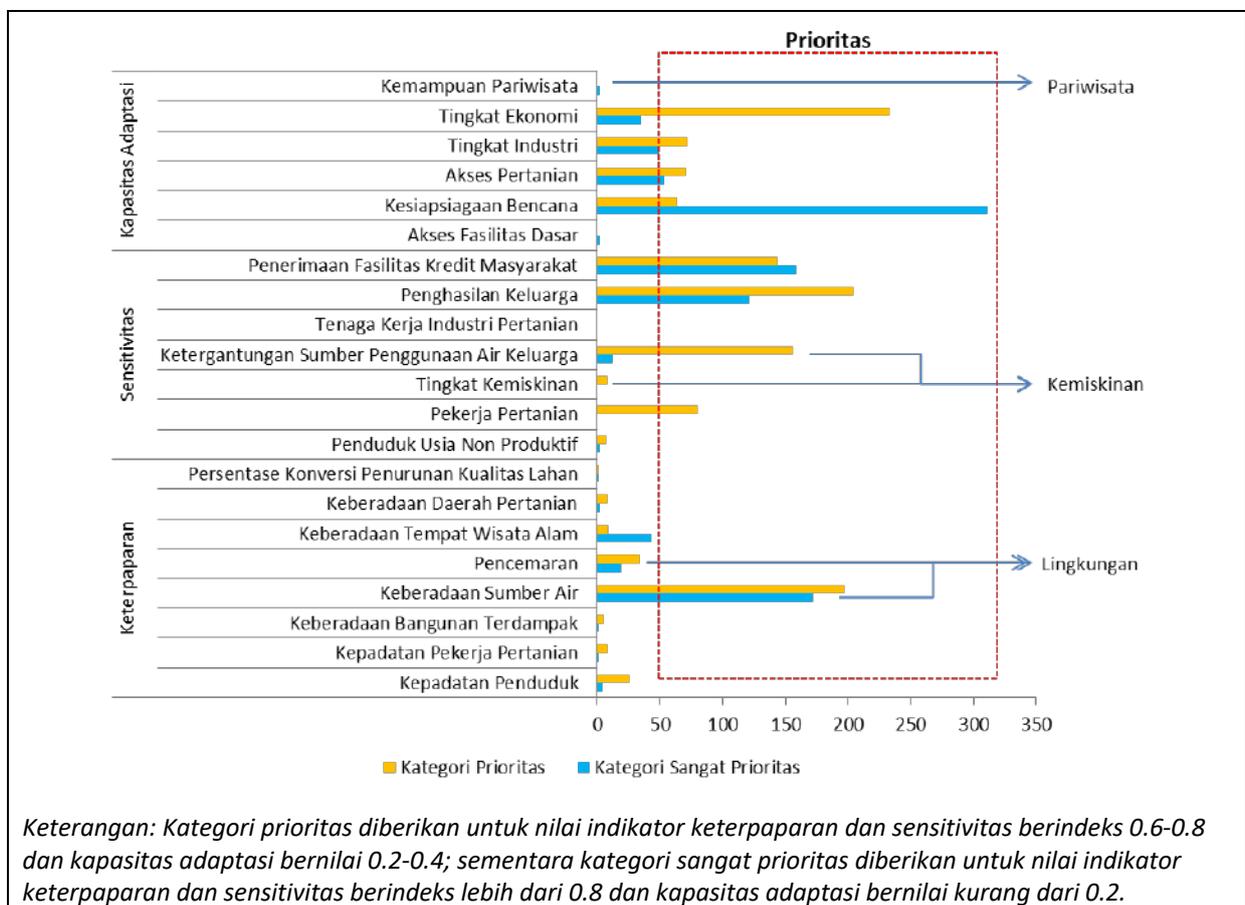
### Adaptasi Perubahan Iklim Tingkat Kabupaten

Perumusan program adaptasi didasarkan pada prioritas komponen kerentanan (sensitivitas dan kapasitas adaptasi) dan keterpaparan. Secara sederhana, penyusunan pilihan adaptasi dapat dilakukan pada tingkat kabupaten/kota dan desa/kelurahan. Pada tingkat kabupaten seperti yang telah ditunjukkan pada Gambar 72 di bawah, pilihan adaptasi disusun berdasarkan indikator dominan yang paling banyak teridentifikasi pada seluruh desa, sehingga indikator tersebut merupakan indikator prioritas yang harus mendapatkan penanganan dibandingkan indikator lainnya. Semakin banyak desa yang memiliki indeks indikator tertentu, maka semakin tinggi prioritas wilayah tersebut perlu ditangani agar risiko dan dampak yang ditimbulkan semakin berkurang. Dengan mengetahui indikator prioritas, pemerintah daerah Kabupaten Malang memiliki acuan untuk penanganan yang lebih fokus, baik dalam bentuk program maupun kegiatan, sehingga dapat mendukung efektivitas dan efisiensi pemanfaatan anggaran.

Dalam mengidentifikasi indikator prioritas pada berbagai desa di Kabupaten Malang, diberlakukan pengkategorian penanganan yaitu sangat prioritas dan prioritas. Kategori prioritas diberikan untuk nilai indikator keterpaparan dan sensitivitas berindeks 0.6-0.8 dan kapasitas adaptasi bernilai 0.2-0.4;

sementara kategori sangat prioritas diberikan untuk nilai indikator keterpaparan dan sensitivitas berindeks lebih dari 0.8 dan kapasitas adaptasi bernilai kurang dari 0.2. Berdasarkan tingkat prioritas hasil identifikasi kerentanan Kabupaten Malang, program adaptasi perlu difokuskan kepada indikator tingkat ekonomi masyarakat, kesiapsiagaan bencana, penghasilan keluarga, ketergantungan penggunaan air keluarga, dan keberadaan sumber air. Daftar prioritas ini menunjukkan permasalahan umum yang terjadi di tingkat Kabupaten Malang.

Perumusan indikator prioritas pada setiap komponen keterpaparan dan kerentanan (sensitivitas dan kapasitas adaptasi) diintegrasikan pada strategi pembangunan Kabupaten Malang (lingkungan, kemiskinan dan pariwisata). Komponen keterpaparan misalnya, indikator prioritas penanganan adalah keberadaan sumberdaya air dan pencemaran. Kedua indikator ini sejalan dengan strategi umum pembangunan berupa penguatan daya dukung lingkungan. Strategi penuntasan kemiskinan diperkuat dengan munculnya indikator prioritas berupa tingkat ekonomi, fasilitas kredit pertanian, penghasilan keluarga, tingkat kemiskinan maupun indikator ketergantungan penggunaan air keluarga. Sementara pada program optimalisasi pariwisata, penanganan harus difokuskan pada penguatan kesiapsiagaan bencana di daerah wisata.



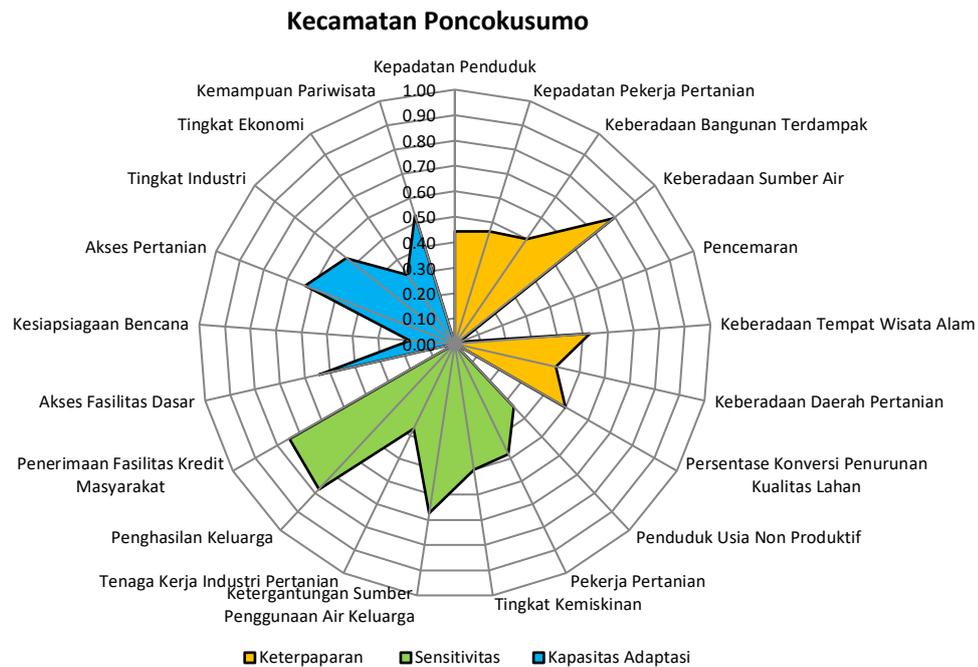
Gambar 72. Jumlah desa di Kabupaten Malang berdasarkan tingkat prioritas hasil analisis indikator keterpaparan, sensitivitas dan kapasitas

## Adaptasi Perubahan Iklim Tingkat Kecamatan dan Desa

Pada tingkat kecamatan dan desa, pilihan adaptasi yang disusun memberikan arahan prioritas dalam perumusan program dan kegiatan yang lebih mikro sesuai dengan kondisi biofisik wilayah dan sosial ekonomi masyarakat. Perumusan tersebut juga memerlukan identifikasi faktor yang berkontribusi terhadap keterpaparan dan kerentanan wilayah. Pada Gambar 73 secara lebih spesifik diuraikan identifikasi faktor berkontribusi terhadap keterpaparan dan kerentanan di Kecamatan Poncokusumo. Untuk mempermudah identifikasi maka indikator atau faktor yang berkontribusi terhadap komponen

risiko tersebut ditampilkan dalam bentuk *petal chart*. Nilai indeks yang ditampilkan dalam *petal chart* memiliki selang 0 hingga 1. Untuk nilai indeks komponen keterpaparan dan sensitivitas, semakin mendekati satu (1) artinya indikator tersebut semakin buruk, sebaliknya untuk komponen kapasitas, semakin kecil nilai kapasitas (mendekati nol) maka semakin buruk keadaan suatu wilayah.

Indikator dominan yang berkontribusi terhadap tingginya tingkat keterpaparan Kecamatan Poncokusumo adalah keberadaan sumberdaya air. Sementara untuk kerentanan adalah ketergantungan sumber penggunaan air keluarga, penghasilan keluarga, penerimaan fasilitas kredit, minimnya akses fasilitas dasar dan akses pertanian serta kurangnya tingkat industri. Oleh karena itu, program adaptasi perlu difokuskan pada indikator-indikator tersebut.



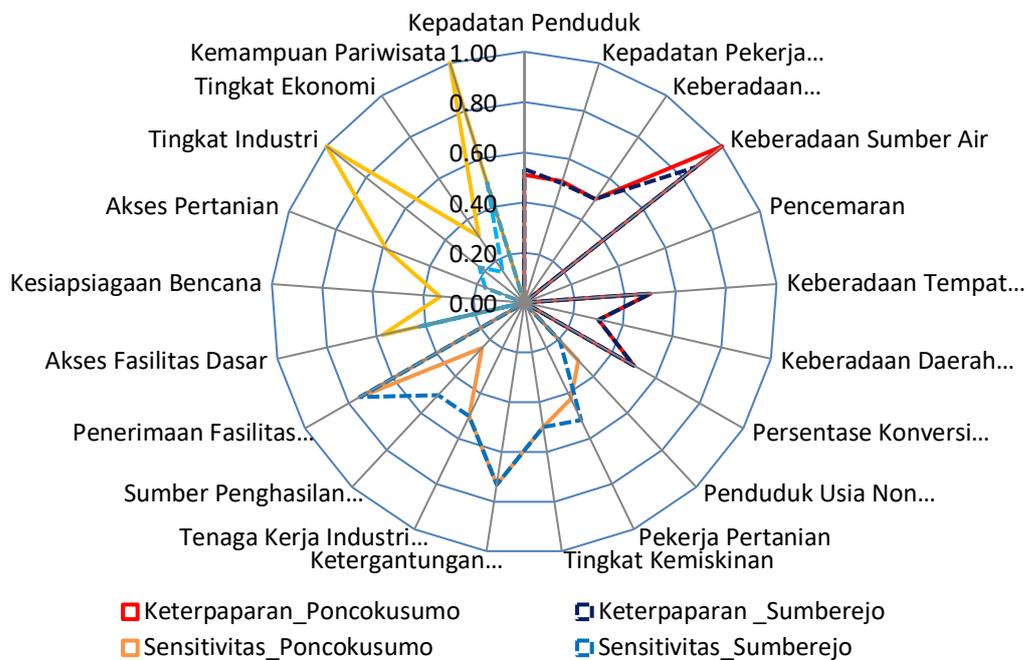
Gambar 73. Identifikasi faktor berkontribusi terhadap keterpaparan dan kerentanan di Kecamatan Poncokusumo

Tingkat kerentanan desa di Kecamatan Poncokusumo berada pada kisaran rendah sampai sangat tinggi. Berdasarkan diagram pada Gambar 74, dapat dilihat bahwa seluruh nilai indikator penyusun kapasitas adaptasi di desa Poncokusumo lebih baik dibandingkan desa Sumberejo terutama untuk tingkat industri dan kapasitas pariwisata. Poncokusumo merupakan desa wisata yang memiliki proporsi jumlah penginapan terhadap jumlah penduduk relatif tinggi dibandingkan desa lain. Selain itu, sebagai desa pertanian Poncokusumo juga memiliki banyak industri pengolahan hasil pertanian. Kondisi berbeda terjadi di desa Sumberejo yang memiliki kemampuan wisata dan tingkat industri pertanian jauh lebih rendah dibandingkan Desa Poncokusumo. Desa Poncokusumo memiliki nilai indikator kesiapsiagaan bencana dari ketersediaan jalur evakuasi yang merupakan satu dari tiga sub indikator kesiapsiagaan bencana. Sementara itu Desa Sumberejo tidak memiliki satupun sub indikator yang dapat mendukung nilai indikator kesiapsiagaan bencana. Hal ini menunjukkan perbedaan penanganan prioritas desa dalam penanganan upaya adaptasinya.

Tingkat ekonomi kedua desa tersebut tidak terlalu jauh berbeda yaitu 0.32 untuk Desa Poncokusumo dan 0.15 untuk Desa Sumberejo, masih dibawah rata desa-desa di Kabupaten Malang dengan nilai 0.36 atau kisaran 0.06 sampai 0.64. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat kemampuan wisata dan industri yang tinggi di Desa Poncokusumo belum memberikan pengaruh untuk tingkat ekonomi yang tinggi, terutama berdasarkan aspek pendapatan asli daerah per desa. Bahkan nilai tingkat ekonomi Desa Poncokusumo masih dibawah rata-rata desa di seluruh Kabupaten Malang.

Tingkat sensitivitas Desa Poncokusumo dan Sumberejo memiliki perbedaan yang kecil, karena nilai indikator pembentuk sensitivitas yang cenderung sama kecuali untuk indikator sumber penghasilan keluarga dan pekerja pertanian. Tingkat sensitivitas semakin tinggi jika sebagian besar lahan pertanian dimanfaatkan untuk tanaman pangan, sementara di Desa Poncokusumo yang berada di dataran tinggi sebagian besar lahan pertanian digunakan untuk pertanian hortikultura berupa buah-buahan dan sayuran. Jika lahan pertanian terkena dampak perubahan iklim, maka jumlah masyarakat yang terkena dampak akan semakin besar jika di desa tersebut banyak terdapat pekerja pertanian dan buruh tani.

Berbeda dengan tingkat sensitivitas dan kapasitas adaptif, tingkat keterpaparan Desa Poncokusumo dan Desa Sumberejo relatif sama yaitu 0.49 dan 0.47. Berdasarkan diagram pada Gambar 74 dapat dilihat bahwa indikator pembentuk keterpaparan memiliki pola dan kisaran nilai yang hampir sama untuk kedua desa tersebut. Hal ini menunjukkan perbedaan tingkat risiko kedua desa tersebut akan lebih banyak dipengaruhi faktor kerentanan dan ancaman bahaya dibandingkan dengan faktor keterpaparan yang dimiliki kedua desa tersebut. Namun nilai indikator keberadaan sumber mata air yang lebih tinggi di Desa Poncokusumo menunjukkan keberadaan sumber air lebih terbatas sehingga memiliki potensi permasalahan air yang lebih besar dimasa depan seiring sebagai dampak perubahan iklim.



Gambar 74. Perbandingan dan identifikasi faktor berkontribusi terhadap keterpaparan dan kerentanan di **Desa Sumberejo dan Desa Poncokusumo**, Kecamatan Poncokusumo

## Prioritas Desa Target Penanganan Adaptasi

Pengembangan pilihan adaptasi juga dilakukan dengan memanfaatkan hasil tingkat risiko iklim wilayah untuk menunjukkan lokasi-lokasi prioritas. Hasil analisis risiko bencana kekeringan untuk desa di Kecamatan Poncokusumo Kabupaten Malang ditunjukkan Tabel 19. Status langkah adaptasi yang diperlukan untuk desa dengan tingkat risiko “tinggi” pada tahun *baseline* dan tahun proyeksi adalah “segera”, artinya desa tersebut perlu penanganan lebih prioritas dibandingkan desa lainnya.

Tabel 19. Daftar desa berisiko kekeringan dan perencanaan waktu pelaksanaan adaptasi di Kecamatan Poncokusumo

No	DESA	<i>baseline</i>	<i>future</i>	<i>baseline</i>	<i>future</i>	Perencanaan Waktu Pelaksanaan Adaptasi
----	------	-----------------	---------------	-----------------	---------------	--

1	Argosuko	0.52	0.54	S	S	Jangka Pendek
2	Belung	0.49	0.51	S	S	Jangka Pendek
3	Dawuhan	0.64	0.66	T	T	Segera
4	Gubukklakah	0.53	0.52	S	S	Jangka Pendek
5	Jambesari	0.57	0.57	S	S	Jangka Pendek
6	Karanganyar	0.59	0.60	S	S	Jangka Pendek
7	Karangnongko	0.54	0.55	S	S	Jangka Pendek
8	Ngadas	0.67	0.66	T	T	Segera
9	Ngadireso	0.62	0.63	T	T	Segera
10	Ngebruk	0.59	0.59	S	S	Jangka Pendek
11	Pajaran	0.58	0.59	S	S	Jangka Pendek
12	Pandansari	0.52	0.52	S	S	Jangka Pendek
13	Poncokusumo	0.46	0.46	S	S	Jangka Pendek
14	Sumberejo	0.69	0.69	T	T	Segera
15	Wonomulyo	0.49	0.50	S	S	Jangka Pendek
16	Wonorejo	0.55	0.56	S	S	Jangka Pendek
17	Wringinanom	0.52	0.54	S	S	Jangka Pendek

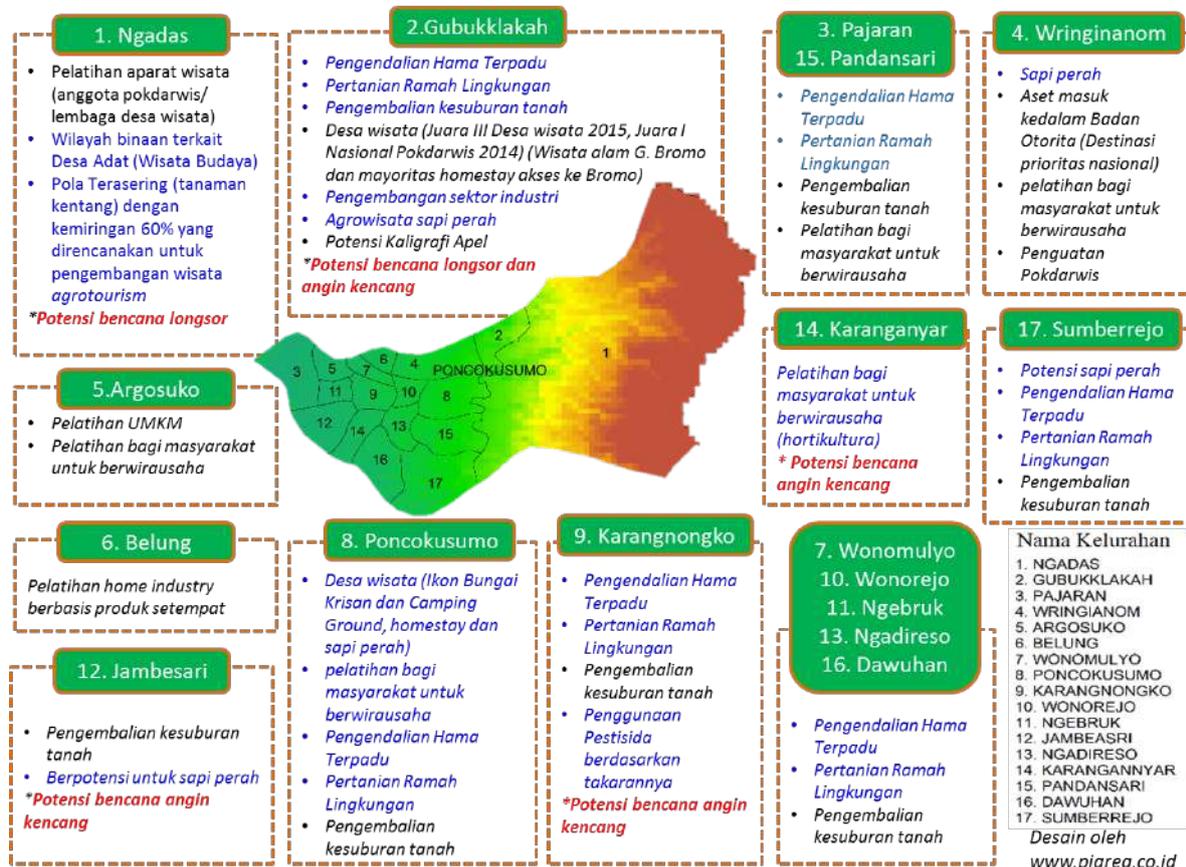
### Pilihan Adaptasi Berdasarkan Hasil Diskusi Bersama *Stakeholders*

Penyusunan aksi adaptasi dilakukan melalui berbagai pertimbangan. Salah satu langkah pertimbangannya adalah dengan mengumpulkan masukan dan rekomendasi dari para pemangku kebijakan Kabupaten Malang. Berdasarkan hasil diskusi dengan pemerintah Kabupaten Malang, perencanaan adaptasi difokuskan pada strategi pembangunan dan disesuaikan dengan kegiatan yang sudah ada terutama difokuskan di Kecamatan Poncokusumo sebagai daerah agropolitan. Pilihan program yang telah dilakukan dan diperoleh dari hasil masukan sangat bervariasi. Namun, suatu program disebut sebagai adaptasi perubahan iklim apabila program atau kegiatan tersebut telah merespon perubahan iklim (misalnya perubahan curah hujan dan suhu udara) atau pengurangan risiko bencana terkait iklim (misalnya kekeringan) atau gangguan terhadap jasa dan layanan ekosistem yang dihadapi oleh suatu wilayah. Dari berbagai masukan, beberapa telah merespon dampak perubahan iklim sehingga dikatakan sebagai suatu langkah adaptasi perubahan iklim sementara beberapa program belum merespon (Gambar 75).

Program adaptasi perubahan iklim ditandai dengan warna biru sedangkan warna hitam menunjukkan program yang belum merespon dampak perubahan iklim. Berbagai program adaptasi yang sama juga dilakukan di berbagai desa di Kecamatan Poncokusumo dengan berbagai bidang. Hal ini menunjukkan setiap program bisa dilakukan lintas administrasi maupun sektor. Dalam upaya pengarusutamaan adaptasi perubahan iklim dalam perencanaan pembangunan Kabupaten Malang maka penyusunan pilihan adaptasi dalam dokumen ini diarahkan pada fokus pembangunan daerah. Pemerintah Kabupaten Malang melalui RPJMD telah menetapkan tiga strategi umum sebagai prioritas dalam kegiatan pembangunan pada periode tahun 2016-2021. Ketiga strategi tersebut diantaranya kemiskinan, lingkungan hidup, dan wisata. Sebagai dokumen pendukung, pilihan adaptasi hasil kajian SPARC (2015) dan KRAPI Malang Raya juga dipertimbangkan dalam penyusunan pilihan adaptasi.

Daftar pilihan adaptasi pada Tabel 20, memberikan arahan potensi langkah adaptasi yang dapat dilakukan di Kecamatan Poncokusumo Kabupaten Malang sesuai dengan fokus strategi pembangunan kabupaten. Beberapa pilihan adaptasi telah sesuai dengan program RPJMD Kabupaten Malang. Bagian ini ditandai dengan warna biru pada nomor ID Pilihan Adaptasi. Hal ini dimaksudkan dan menunjukkan bahwa upaya adaptasi perubahan iklim telah sesuai dengan strategi dan arah kebijakan pembangunan Pemerintah Kabupaten Malang. Strategi pembangunan pada fokus penurunan angka kemiskinan perlu dilakukan beberapa opsi. Diversifikasi penghasilan dan nilai tambah produksi pertanian melalui pelatihan berwirausaha seperti Pelatihan UMKM; pengelolaan pasca panen hasil pertanian (sari buah belimbing); produk unggulan (souvenir) setempat; penjualan hasil susu sapi dan pengolahannya

(yogurt dan keju) merupakan salah satu upaya yang dapat dilakukan. Sementara bagi para petani, juga dapat dilakukan pengembangan kelembagaan petani dan pola kerjasama kemitraan tertutup antara Perbankan, Pemerintah Daerah (Dinas Teknis), Penjamin Pasar (Off-Taker) dan Penjamin Kredit (Avalis) dalam rangka mengatasi keterbatasan agunan yang dimiliki petani atau pemodal melalui PUAP dan pemerintah. Intensifikasi pertanian melalui penggunaan varietas unggul tanaman juga perlu dilakukan. Sebagai langkah peningkatan kewirausahaan maka pengembangan insentif bagi tumbuhnya industri hulu dan hilir pertanian melalui pelatihan *home industry* berbasis produk setempat maupun agribisnis merupakan langkah yang perlu dilakukan.



Gambar 75. Daftar pilihan adaptasi per desa Kecamatan Pongokusumo sesuai masukan dan rekomendasi para pemangku kewenangan Kabupaten Malang

## Rekomendasi Pilihan Adaptasi Perubahan Iklim Kawasan Agropolitan

### Rekomendasi Pilihan Adaptasi Perubahan Iklim Fokus Strategi Pembangunan Kabupaten Malang (RPJMD)

Program adaptasi perubahan iklim dalam penguatan daya dukung lingkungan dapat dilakukan melalui beberapa pilihan. Sumber daya air menjadi salah satu persoalan utama yang cukup penting diperhatikan di Kabupaten Malang mengingat risiko kekeringan. Pasalnya, sumber air sangat rentan terhadap dampak perubahan iklim. Oleh karena itu, pada bagian ini pilihan adaptasi juga difokuskan dengan permasalahan sumberdaya air terutama pada sektor pertanian.

Beberapa upaya adaptasi yang dapat dilakukan untuk mengatasi kekeringan pada lahan pertanian dapat dilakukan dengan teknologi irigasi dan pengelolaan lahan dan air. Teknologi irigasi dapat dilakukan melalui (a) sumur renteng, (b) irigasi kapiler, (c) irigasi tetes, (d) irigasi semprot, (e) irigasi parit, (f) irigasi macak-macak di lahan sawah, (g) irigasi bergilir, dan (h) irigasi berselang). Upaya mekanis juga perlu dilakukan dengan penyiapan pompa drainase/pengelolaan air lebih/sumur dangkal maupun Sabo DAM. Sedangkan pada penyediaan air minum untuk kebutuhan domestik dapat

dilakukan melalui Program Penyediaan Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat (Pamsimas) dan pipanisasi mata air atau integrasi mata air.

Pada fokus lingkungan fisik, pilihan adaptasi yang dapat dilakukan adalah dengan pelaksanaan Sekolah Lapang Iklim (SLI)/SLPHT untuk meningkatkan pemanfaatan informasi iklim dan penggunaan pestisida; Sosialisasi gilir varietas untuk mengurangi intensitas OPT. Selain itu, penguatan daya dukung lingkungan dapat pula dilakukan dengan pertanian ramah lingkungan. Sistem ini dilakukan dengan penciptaan teknologi pengolahan tanah tanpa bakar (Herbisida atau TOT) dan mendorong praktek kearifan lokal untuk penggunaan air yang berkelanjutan; pengembangan herbisida organik dari bahan hayati melalui (pelatihan pembuatan herbisida organik berbasis pada potensi lokal, metode penggunaan herbisida organik sesuai bahan baku lokal dan pengembangan agen hayati).

Sebagai daerah pertanian, beberapa lahan sawah daerah Poncokusumo telah tercemar oleh penggunaan bahan kimia maupun pestisida hasil pengolahan lahan pertanian. Oleh karena itu perlu dilakukan pengembalian kesuburan tanah. Pengembalian kesuburan tanah dapat dilakukan dengan bahan-bahan organik dan sistem rotasi tanaman sehingga unsur hara pada tanah stabil dan pola cocok tanam responsif terhadap perubahan musim; sistem rotasi tanaman sehingga unsur hara pada tanah stabil dan pola cocok tanam responsif terhadap perubahan musim; pemanfaatan pupuk kandang dan teknologi *zero waste* dan pemanfaatan limbah (organik) pertanian, pupuk organik, pakan ternak, teknologi biogas dan bioenergy (kompur arang sekam). Dalam upaya pengurangan risiko bencana diperlukan evaluasi dan penataan kembali tata ruang dengan pertimbangan potensi dampak perubahan iklim untuk mengejar ketertinggalan maupun peningkatan kesiapsiagaan bencana melalui sistem peringatan dini.

Sebagai daerah destinasi wisata, Pemerintah Kabupaten Malang telah menetapkan optimalisasi pariwisata sebagai salah satu langkah strategi pembangunannya sesuai RPJMD 2016 – 2021. Selain itu, potensi poncokusumo sebagai kawasan agropolitan juga perlu dipertimbangkan dalam penyusunan adaptasi perubahan iklim. Oleh karena itu, rekomendasai pilihan adaptasinya adalah pengembangan agrowisata, industri rumah tangga berbahan baku hasil pertanian, dan industri rumah tangga yang dapat menghasilkan peralatan pertanian sederhana dan oleh-oleh khas daerah. Pengembangan agrowisata tanaman kentang (pola terasering) contohnya juga dapat dilakukan di Ngadas. Pengembangan desa wisata pertanian dan peternakan sapi perah disertai *camping ground* dan *homestay* adalah salah satu opsi yang juga dapat meningkatkan penghasilan masyarakat. Sehingga diperlukan juga pelatihan aparat wisata (anggota pokdarwis/ lembaga desa wisata).

Di sisi lain, usaha peternakan juga dapat disandingkan menjadi agrowisata sapi perah dan pemanfaatan limbah pertanian sebagai pakan murah yang berkualitas; pengembangan sistem integrasi tanaman-ternak (*crop livestock system*, CLS) dapat dilakukan sebagai upaya mengurangi risiko dan optimalisasi penggunaan sumberdaya lahan.

Tabel 20 Rekomendasi pilihan adaptasi Kabupaten Malang

ID Pilihan Adaptasi	Rekomendasi Adaptasi Berdasarkan Fokus Permasalahan, Ekosistem Wilayah dan Risiko Perubahan Iklim (Bahaya dan Kerentanan Perubahan Iklim) serta Dampak Perubahan Iklim
	Ket : Kompilasi dengan *KRAPI, **SPARC, ***KRAPI dan SPARC
Sesuai RPJMD	Fokus : Penurunan Angka Kemiskinan
1	Diversifikasi penghasilan dan nilai tambah produksi pertanian melalui pelatihan berwirausaha seperti Pelatihan UMKM; pengelolaan pasca panen hasil pertanian (sari buah belimbing)**; produk unggulan (souvenir) setempat ***; penjualan hasil susu sapi dan pengolahannya (yogurt dan keju)***
2	Intensifikasi pertanian melalui penggunaan varietas unggul Padi, Jagung, Tomat, Kubis dan Cabai merah sebagai produknya***
3	Pengembangan insentif bagi tumbuhnya industri hulu dan hilir pertanian melalui pelatihan <i>home industry</i> dan industri kreatif berbasis produk setempat***
4	Pengembangan kawasan rumah pangan lestari (KRPL) merupakan model pemanfaatan pekarangan yang ramah lingkungan untuk pemenuhan kebutuhan pangan dan gizi keluarga, serta peningkatan pendapatan dan kesejahteraan petani melalui partisipasi masyarakat*
5	Mengembangkan kelembagaan petani dan pola kerjasama kemitraan tertutup antara Perbankan, Pemerintah Daerah (Dinas Teknis), Penjamin Pasar (Off-Taker) dan Penjamin Kredit (Avalis) dalam rangka mengatasi keterbatasan agunan yang dimiliki petani***
6	Perlindungan, proteksi, dan bantuan bagi petani berupa subsidi, asuransi, permodalan, PUAP, akses dan sarana pertanian**
7	Pemanfaatan pemodal yang dilakukan pemerintah dalam peningkatan agribisnis berbasis masyarakat
8	Peningkatan fasilitas saprotan dan alsintan kepada petani***
	<b>Fokus : Penguatan Daya Dukung Lingkungan</b>
9	Pengembangan sumur isi ulang terutama di zona bagian utara kabupaten*
10	Upaya mekanis dengan penyiapan pompa drainase/pengelolaan air lebih/sumur dangkal**
11	Teknologi irigasi ((a) sumur renteng, (b) irigasi kapiler, (c) irigasi tetes, (d) irigasi semprot, (e) irigasi parit, (f) irigasi macak-macak di lahan sawah, (g) irigasi bergilir, dan (h) irigasi berselang)**
12	Teknologi pengelolaan lahan dan air, pengolahan tanah, sistem irigasi intermitten, pengelolaan lahan gambut secara berkelanjutan, dan pengomposan
13	Adanya Program Penyediaan Air Minum dan Sanitasi Berbasis Masyarakat (Pamsimas) dan pipanisasi mata air
14	Pelaksanaan SLI/SLPHT untuk meningkatkan pemanfaatan informasi iklim dan penggunaan pestisida**; Sosialisasi gilir varietas untuk mengurangi intensitas OPT**
15	Pertanian ramah lingkungan dengan penciptaan teknologi pengolahan tanah tanpa bakar (Herbisida atau TOT)**; Mendorong praktek kearifan lokal untuk penggunaan air yang berkelanjutan**
16	Pengembangan herbisida organik dari bahan hayati melalui 1) pelatihan pembuatan herbisida organik berbasis pada potensi lokal * (campuran bahan bawang putih dan air kelapa) dan 2) pelatihan metode penggunaan herbisida organik sesuai bahan baku lokal; 3) Pengembangan agen hayati
17	Pengembalian kesuburan tanah dengan bahan-bahan organik dan sistem rotasi tanaman sehingga unsur hara pada tanah stabil dan pola cocok tanam responsif terhadap perubahan musim
18	Pengembalian kesuburan tanah dengan bahan-bahan organik dan sistem rotasi tanaman sehingga unsur hara pada tanah stabil dan pola cocok tanam responsif terhadap perubahan musim***; pemanfaatan pupuk kandang dan teknologi zero waste dan pemanfaatan limbah (organik) pertanian, pupuk organik, pakan ternak, teknologi biogas dan bioenergy (kompor arang sekam)*****

19	Evaluasi dan penataan kembali tata ruang dengan pertimbangan potensi dampak perubahan iklim untuk mengejar ketertinggalan**
20	Peningkatan kesiapsiagaan bencana melalui sistem peringatan dini***
21	Pola permukiman linier atau the line village dengan mengikuti jalan dan aliran sungai*
<b>Fokus : Optimalisasi Parwisata</b>	
22	Agrowisata sapi perah dan pemanfaatan limbah pertanian sebagai pakan murah yang berkualitas**; Pengembangan sistem integrasi tanaman-ternak (crop livestock system, CLS) untuk mengurangi risiko dan optimalisasi penggunaan sumberdaya lahan**
23	Pelatihan aparat wisata (anggota pokdarwis/anggota lembaga desa wisata)
24	Pengembangan agrowisata, industri rumah tangga berbahan baku hasil pertanian, dan industri rumah tangga yang dapat menghasilkan peralatan pertanian sederhana dan oleh-oleh khas daerah**
25	Pengembangan agrowisata tanaman kentang (pola terasering)***
26	Pelatihan bagi masyarakat untuk berwirausaha dengan pengolahan produk unggulan setempat berbasis alam dan lingkungan (Ekowisata)
27	Pengembangan desa wisata pertanian dan peternakan sapi perah disertai <i>camping ground dan homestay</i> sehingga dapat meningkatkan penghasilan masyarakat
28	Peningkatan potensi wisata sebagai destinasi wisata prioritas nasional

Rekapitulasi pilihan adaptasi untuk seluruh desa di Kecamatan Poncokusumo ditunjukkan oleh Tabel 21. Pilihan adaptasi diatas menunjukkan tidak seluruhnya dilakukan di seluruh desa Kecamatan Poncokusumo. Namun, pilihan adaptasi dapat secara spesifik dilakukan untuk setiap desa target. Berdasarkan tabel tersebut, prioritas adaptasi yang paling banyak dilakukan di seluruh desa di Kecamatan Poncokusumo adalah diversifikasi penghasilan (ID 1) dan intensifikasi penghasilan (ID 2). Selain itu, pelaksanaan SLI/SLPHT dalam meningkatkan pemanfaatan informasi iklim dan penggunaan pestisida serta sosialisasi gilir varietas untuk mengurangi intensitas OPT juga merupakan pilihan adaptasi yang paling banyak dilakukan (ID 14). Pertanian ramah lingkungan dengan penciptaan teknologi pengolahan tanah tanpa bakar (Herbisida atau TOT) serta mendorong praktek kearifan lokal untuk penggunaan air yang berkelanjutan (ID 15). Pada fokus optimalisasi pariwisata, pengembangan desa wisata adalah pilihan adaptasi yang paling banyak dilakukan (ID 27).

Tabel 21 Rekapitulasi pilihan adaptasi per desa di Kecamatan Poncokusumo

ID Pilihan Adaptasi	Daftar Desa di Kecamatan Poncokusumo																Total	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P		Q
<b>Fokus : Penurunan Angka Kemiskinan</b>																		
1		X		X	X	X						X						5
2					X	X	X	X						X	X		X	7
3						X												1
4																X		1
5		X	X			X								X			X	5
6		X			X	X	X										X	5
7				X														1
8												X						1
<b>Fokus : Penguatan Daya Dukung Lingkungan</b>																		
9											X				X			2
10					X										X			2
11								X						X				2
12				X	X	X		X		X							X	6
13									X		X							2
14		X	X				X	X	X	X	X		X		X	X	X	11
15			X				X	X	X	X	X		X		X	X	X	10
16	X	X																2

17			X				X		X	X	X	X		X	X		9
18		X					X				X					X	4
19															X		1
20	X		X							X	X	X	X	X	X		8
21												X					1
<b>Fokus : Optimalisasi Parwisata</b>																	
22		X															1
23	X																1
24	X	X															2
25	X																1
26				X	X			X						X			4
27			X	X				X	X							X	5
28				X													1

Keterangan:

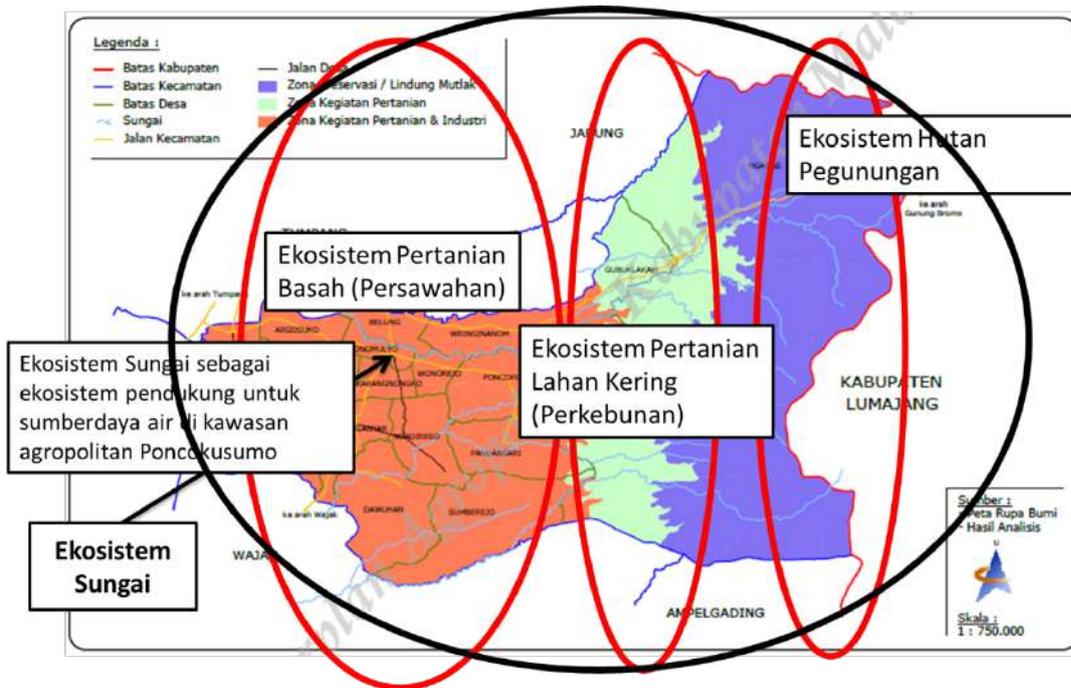
- |                |                 |                |
|----------------|-----------------|----------------|
| A. Ngadas      | G. Wonomulyo    | M. Ngadireso   |
| B. Gubukklakah | H. Poncokusumo  | N. Karanganyar |
| C. Pajaran     | I. Karangnongko | O. Pandansari  |
| D. Wringinanom | J. Wonorejo     | P. Dawuhan     |
| E. Argosuko    | K. Ngebruk      | Q. Sumberrejo  |
| F. Belung      | L. Jambasari    |                |

#### *Rekomendasi Adaptasi Perubahan Iklim Fokus Ekosistem*

Sebagai satu kesatuan sistem, agropolitan didukung oleh berbagai aspek di lingkungan sekitarnya. Salah satu aspek penting yang dapat memberikan pengaruh timbal balik tersebut adalah ekosistem pada kawasan agropolitan. Ekosistem di Poncokusumo sendiri terdiri dari berbagai jenis. Ekosistem hutan dan pegunungan misalnya didominasi di kawasan Ngadas dan Gubukklakah. Ekosistem Pertanian Lahan Kering (Perkebunan) juga didominasi di Desa Gubukklakah sementara ekosistem pertanian bawah (persawahan) mayoritas berada di dataran yang lebih rendah lagi. Ekosistem sungai juga menjadi salah satu aspek penting dalam mendukung sumberdaya air di kawasan agropolitan.

Dalam perencanaan strategi pembangunan Kabupaten Malang, salah satu poin yang ditargetkan adalah **Penguatan Daya Dukung Lingkungan**. Sebagai langkah penguatan ini, ekosistem memegang peranan penting dalam menyangga lingkungan. Permasalahan utama pada ekosistem hutan dan pegunungan adalah kepemilikan lahan yang tidak jelas yang dapat menimbulkan konflik sosial. Ancaman iklim adalah perubahan musim dan ancaman musim kemarau yang panjang sehingga berdampak pada kurangnya debit air. Adaptasi yang dapat dilakukan adalah dengan pembuatan embung terbuka, integrasi mata air, pengembangan Sabo DAM Seri (Mengurangi sedimentasi dan laju aliran air), pembuatan pipa bawah tanah, manajemen penataan air, pemasangan teknologi baru (kincir air) serta integrasi mata air khusus Ngadas dan Gubukklakah.

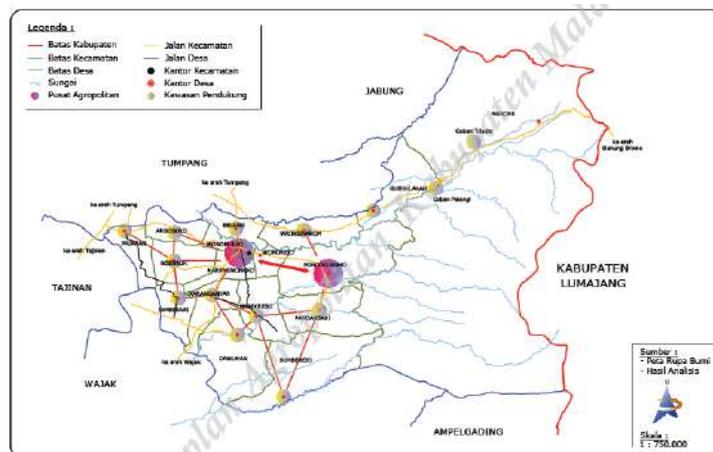
Pada ekosistem pertanian (perkebunan dan persawahan), masalah utama yang sering muncul adalah banyak terjadinya alih fungsi lahan serta debu erupsi gunung bromo. Sedangkan ancaman iklimnya adalah suhu meningkat dan curah hujan meningkat. Hal ini menimbulkan dampak sekunder berupa hama dan penyakit sulit dikendalikan. Sebagai contoh di Desa Dawuhan, semakin banyak pupuk diberikan, hama semakin tidak terkendali. Selain itu pula, peningkatan intensitas hujan mempengaruhi pengikisan lapisan humus. Langkah adaptasi yang dapat dilakukan pada ekosistem ini adalah dengan pengembangan agen hayati, peningkatan pemakaian pupuk organik, pertemuan rutin Gapoktan, jerami ditanam kembali ke tanah sebagai kompos, peningkatan kualitas bibit (adaptif terhadap hama dan perubahan iklim), perbaikan jaringan irigasi, diversifikasi produk hasil pertanian (alih komoditas pertanian : sawah teknis). Langkah-langkah ini dilakukan agar keseimbangan ekosistem dan lingkungan dapat terjaga sehingga ekosistem dapat optimal memberikan layanan dan jasanya.



Gambar 76 Struktur Ekosistem Kawasan Agropolitan pada Zona Poncokusumo

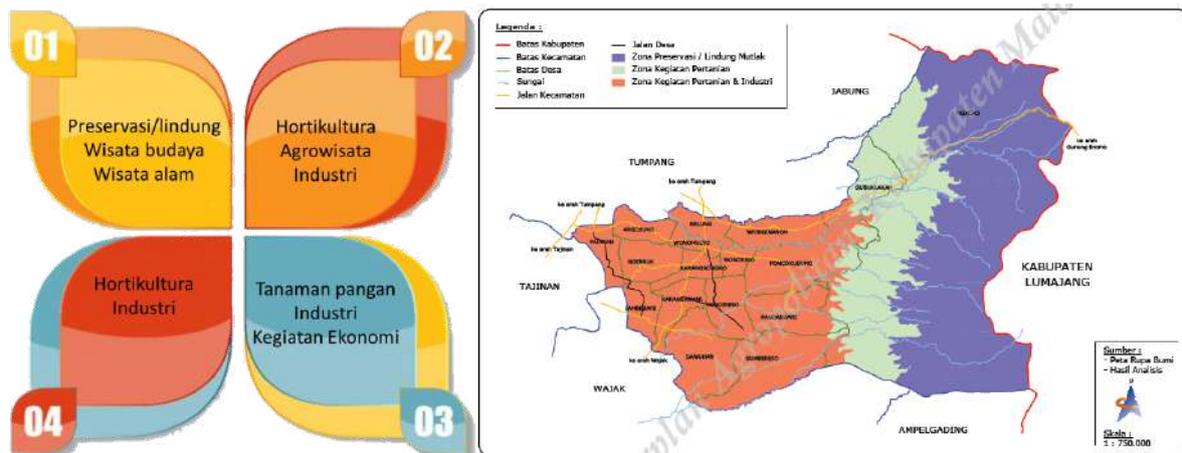
*Rekomendasi Adaptasi Perubahan Iklim Fokus Komponen dan Zonasi Agropolitan*

Kecamatan Poncokusumo merupakan kawasan agropolitan yang memiliki karakteristik lahan yang beragam. Pusat kawasan agropolitan sendiri adalah di Desa Poncokusumo Kecamatan Poncokusumo dan Desa Wonomulyo. Sementara desa-desa lain di Kecamatan Poncokusumo menjadi kawasan pendukung kegiatan agropolitan tersebut (Gambar 77).



Gambar 77 Rencana Struktur Ruang Kawasan Agropolitan Kecamatan Poncokusumo. Sumber: Badan Perencanaan Kabupaten Malang 2007.

Berdasarkan Badan Perencanaan Kabupaten Malang (2007), tipologi kawasan agropolitan ditentukan berdasarkan matriks hubungan fungsional kegiatan yang ditinjau dari kondisi fisik lahan, kesesuaian lahan terhadap pengembangan pertanian dan potensi wisata yang dimilikinya serta berdasarkan kegiatan dominan yang mungkin dikembangkan. Berdasarkan kesesuaian lahan zona kawasan agropolitan terbagi atas 4 Zona (Gambar 78)



Gambar 78 Zonasi (kiri) dan Tipologi (kanan) kawasan agropolitan Kecamatan Poncokusumo Kabupaten Malang. Sumber: Hasil Analisis Badan Perencanaan Kabupaten Malang 2007.

Berdasarkan zonasi dan aspek agropolitan serta fokus strategi pembangunan Kabupaten Malang, maka rekomendasi adaptasi juga diarahkan terhadap aspek dan zonasi tersebut. Secara ringkas rekomendasi adaptasi perubahan iklim fokus kawasan agropolitan disajikan pada Tabel 22. Zona Preservasi/ Lindung Mutlak adalah zona di area dengan ketinggian diatas 1500 m dpl. Kawasan ini lebih cocok untuk kegiatan pariwisata. Zona kegiatan pertanian mengandalkan sektor pertanian sebagai kegiatan utamanya. Budidaya pertanian yang dimaksud adalah Hortikultura. Selain itu, zona dengan ketinggian antara 1000 – 5000 m dpl ini juga dapat dilakukan pengembangan wisata dataran tinggi. Sementara daerah terendah, (Zona 1), dikhususnya untuk zona kegiatan pertanian dan industri Pertanian tanaman pangan. Industri non pulutan/ Rumah tangga pengolahan hasil pertanian.

#### *Rekomendasi Adaptasi Perubahan Iklim Fokus Komponen Agropolitan dan Sensitif Gender*

Isu gender belakangan hangat diperbincangkan. Kontribusi perempuan dan kaum rentan sangat berpengaruh dalam segala aspek salah satunya pembangunan daerah. Implementasi gender perlu dilakukan ke dalam adaptasi perubahan iklim sebagai upaya perencanaan pembangunan Oleh seluruh elemen. Beberapa hasil kajian dan data sebelumnya sebagai pertimbangan perlunya keterlibatan perempuan dalam rekomendasi adaptasi iklim sudah banyak dilakukan.

UNDP (2009) menyebutkan laki-laki dan perempuan memiliki peran berbeda dalam mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim karena adanya perbedaan peran nyata dalam strategi mencari penghasilan dan rumah tangga. Untuk upaya mitigasi perubahan iklim yang efektif, perempuan dapat memberikan kontribusi yang efektif dalam hal penggunaan energi, pengelolaan sampah dan pengelolaan sumber daya alam. Dalam pertanian subsisten perempuan biasanya memberikan kontribusi sekitar 70% sampai 80% dari produksi pangan rumah tangga. Adaptasi perubahan iklim pada akhirnya membutuhkan pendekatan responsif gender untuk memperkenalkan teknologi pertanian baru dan/atau mengembangkan strategi mata pencaharian alternatif (KPPPA 2010). Data BPS (2008) menyebutkan bahwa perempuan sebagai pelaku UKM meningkat cukup signifikan 41% tahun 2000 menjadi 60-80% tahun 2008. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perempuan lebih tertarik melestarikan pekarangan, karena memberi manfaat yang besar seperti keamanan pangan, pendapatan dan keindahan lingkungan (Akher *et al.* 2010). Namun, beberapa perilaku perempuan dalam pemeliharaan lingkungan menunjukkan kondisi masih kurang baik seperti sampah dibakar di sekitar rumah, penyimpanan pestisida di rumah yang tidak tepat (Rahma 2011).

Rekomendasi yang saya susun mengacu pada rekomendasi yang sudah ditulis oleh Tim Peneliti, tetapi rekomendasi lebih kearah sensitif gender.

### Aspek Pertanian

- Penguatan kelembagaan kelompok tani dan kelompok wanita tani (KWT), sehingga kelompok tersebut terbentuk secara profesional, susunan organisasi dan pelaksanaan tupoksinya lebih baik dan lebih aktif. Beberapa bantuan di bidang pertanian (misalnya PUAP) syaratnya harus terbentuk kelompok Gapoktan (gabungan kelompok tani) karena pengelolaan dananya melalui gapoktan
- Pembentukan rumah bibit di setiap desa untuk memudahkan para petani mendapatkan bibit dan hal ini juga untuk membantu keberlanjutan program KRPL. Dengan adanya rumah bibit, anggota KRPL akan lebih mudah mendapatkan bibit sehingga tidak ketergantungan dari bantuan program. Rumah bibit dikelola oleh kelompok tani dan kelompok wanita tani dengan pembinaan dari PPL (penyuluh pertanian) setempat
- Pengembangan TOGA (Tanaman Obat Keluarga) di lahan pekarangan yang dikelola oleh para ibu
- Pelatihan pengolahan limbah pertanian pada kelompok tani dan kelompok wanita tani, melalui pelatihan pembuatan kompos (padat dan cair), pelatihan pemanfaatan limbah kotoran sapi menjadi biogas

### Aspek Ekonomi

- Pelatihan kewirausahaan pada perempuan pelaku UMKM, selain bertujuan menghasilkan jiwa wirausaha pada pelaku UMKM, pelatihan ini juga bertujuan untuk menghasilkan pelaku UMKM yang ramah terhadap lingkungan (cara pembuangan dan pengolahan limbah, penggunaan kertas dalam mengemas). Bidang kewirausahaan yang dilakukan adalah olahan hasil pertanian menjadi barang yang berdaya jual tinggi.
- Pembentukan kelompok simpan pinjam pada perempuan pelaku usaha mikro maupun kelompok wanita tani (untuk memudahkan akses modal bagi para perempuan dan kelompok wanita tani). Kegiatan ini dikelola oleh kelompok perempuan dibawah pengawasan dan pembinaan dari pemberi modal. Bahkan bisa dibentuk simpan pinjam bibit pertanian dalam hal ini rumah bibit bisa dijadikan sarana untuk kegiatan simpan pinjam bibit (dalam teknisnya pinjam bibit dan dibayar oleh bibit lagi, pernah dilakukan pada binaan kelompok wanita tani di Nanggung, Kabupaten Bogor).
- Pelatihan pada kelompok wanita tani dan PKK dalam hal pengolahan pangan basis lokal, pengemasan dan penyimpanan hasil olahan serta pendampingan pemasaran hasil olahan pangan yang dihasilkan
- Pelatihan daur ulang sampah anorganik pada kelompok perempuan, wanita tani dan PKK disertai dengan pendampingan proses pemasaran hasil olahan
- Pembentukan Bank Sampah yang dikelola oleh laki-laki dan perempuan

### Aspek Industri dan daya dukung lingkungan

- Sosialisasi pada Ibu Rumah Tangga dalam hal kesehatan dan sanitasi lingkungan (cara pembuangan limbah rumah tangga; cara penghematan energi (air dan listrik); Ciri-ciri kualitas air layak konsumsi; penanganan dan penyimpanan pestisida dalam rumah
- Pelatihan pada kelompok perempuan dalam hal Siap Siaga Menghadapi Bencana

### Aspek Pariwisata

- Pengembangan lokasi agrowisata atau **AgroEdu** yang melibatkan pengelolaannya oleh kelompok wanita tani dan Ibu Rumah tangga. Lokasi ini tidak hanya sebagai tempat wisata tapi juga sebagai wahana pendidikan untuk anak usia dini dan anak SD terutama dalam hal pertanian, dan pengolahan hasil pertanian
- Pengembangan "Rumah Olahan Susu" sebagai tempat wisata dan edukasi dengan memasarkan semua olahan berasal dari susu. Hal ini perlu didukung oleh pelatihan olahan serba susu terutama bagi para perempuan sebagai pelaku usahanya.

Tabel 22 Rekomendasi pilihan adaptasi berdasarkan karakteristik penentu tipologi kawasan agropolitan

Badan Perencanaan Kabupaten Malang 2007						Rekomendasi Adaptasi Perubahan Iklim dan Lokasi																									
Desa	Ketinggian	Klasifikasi Lahan Menurut Mentan	Klasifikasi Lahan Menurut Perda	Zonasi Kawasan Agropolitan	Jenis Kegiatan	Aspek Agropolitan	Rekomendasi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	Total						
Ngadas	1500 m dpl keatas.	Kaw. Lindung	Kaw. Lindung Mutkak. Kaw. Lindung Terbatas.	Zona Preservasi/ Lindung Mutlak.	Ekowisata	Pariwisata	Agrowisata sapi perah dan pemanfaatan limbah pertanian sebagai pakan murah yang berkualitas**; Pengembangan sistem integrasi tanaman-ternak (crop livestock system, CLS) untuk mengurangi risiko dan optimalisasi penggunaan sumberdaya lahan**		X																	1					
						Pariwisata	Pelatihan aparat wisata (anggota pokdarwis/anggota lembaga desa wisata)	X																						1	
						Pariwisata	Pengembangan agrowisata tanaman kentang (pola terasering)***	X																							1
						Pariwisata	Pengembangan desa wisata pertanian dan peternakan sapi perah disertai <i>camping ground dan homestay</i> sehingga dapat meningkatkan penghasilan masyarakat			X	X				X	X													X		5
						Pariwisata	Peningkatan potensi wisata sebagai destinasi wisata prioritas nasional				X																				1
						Ekonomi	Pelatihan bagi masyarakat untuk berwirausaha dengan pengolahan produk unggulan setempat berbasis alam dan lingkungan (Ekowisata)				X	X			X										X						4
Gubuklakah, sebagian Wringinanom.	1000 – 1500 m dpl.	Kaw. Lindung Lainnya.	Kaw. Lindung Lainnya.	Zona kegiatan pertanian.	Budidaya pertanian Hortikultura. Kegiatan wisata dataran tinggi.	Pertanian	Intensifikasi pertanian melalui penggunaan varietas unggul Padi, Jagung, Tomat, Kubis dan Cabai merah sebagai produknya***					X	X	X	X							X	X		X	7					
						Pertanian	Pengembangan kawasan rumah pangan lestari (KRPL) merupakan model pemanfaatan pekarangan yang ramah lingkungan untuk pemenuhan kebutuhan pangan dan gizi keluarga, serta peningkatan pendapatan dan kesejahteraan petani melalui partisipasi masyarakat*																				X		1		



Ngebruk, Pajaran, Wonorejo, Ngadireso, Dawuhan, Wonomulyo, Wringinanom.	Zona kegiatan pertanian dan industri.	pangan.	Pertanian	Pelaksanaan SLI/SLPHT untuk meningkatkan pemanfaatan informasi iklim dan penggunaan pestisida**; Sosialisasi gilir varietas untuk mengurangi intensitas OPT**		X	X						X	X	X	X	X		X		X	X	X	11		
		Industri non pulutan/ Rumah tangga pengolahan hasil pertanian.	Pertanian	Pertanian ramah lingkungan dengan penciptaan teknologi pengolahan tanah tanpa bakar (Herbisida atau TOT)**; Mendorong praktek kearifan lokal untuk penggunaan air yang berkelanjutan**			X							X	X	X	X	X		X		X	X	X	10	
			Pertanian	Pengembalian kesuburan tanah dengan bahan-bahan organik dan sistem rotasi tanaman sehingga unsur hara pada tanah stabil dan pola cocok tanam responsif terhadap perubahan musim			X							X		X	X	X	X		X		X	X		9
			Industri	Pengembangan insentif bagi tumbuhnya industri hulu dan hilir pertanian melalui pelatihan home industry berbasis produk setempat***							X															1
			Industri	Pengembangan herbisida organik dari bahan hayati melalui 1) pelatihan pembuatan herbisida organik berbasis pada potensi lokal * (campuran bahan bawang putih dan air kelapa) dan 2) pelatihan metode penggunaan herbisida organik sesuai bahan baku lokal; 3) Pengembangan agen hayati	X	X																				2
			Industri	Pengembangan Industri Agrowisata, industri rumah tangga berbahan baku hasil pertanian, dan industri rumah tangga yang dapat menghasilkan peralatan pertanian sederhana dan oleh-oleh khas daerah**	X	X																				2
			Ekonomi	Diversifikasi penghasilan dan nilai tambah produksi pertanian melalui pelatihan berwirausaha seperti Pelatihan UMKM; pengelolaan pasca panen hasil pertanian (sari buah belimbing)**; produk unggulan (souvenir) setempat ***; penjualan hasil susu sapi dan pengolahannya (yogurt dan keju)***		X		X	X	X										X						5



## Penutup dan Arahan

Pemerintah Indonesia cukup responsif dalam mengantisipasi dampak perubahan iklim dengan diterbitkannya pedoman penyusunan adaptasi perubahan iklim melalui PERMEN KLHK No.33/2016. Kegiatan penyusunan adaptasi kawasan Agropolitan Kabupaten Malang dilakukan dengan mengikuti pedoman tersebut, dengan melibatkan multi-stakeholders dibawah koordinasi BAPPEDA Kabupaten Malang. Analisis kerentanan dan risiko iklim saat ini dan masa depan sebagai landasan dalam penyusunan adaptasi dilakukan dengan mengembangkan pemodelan analisis kerentanan dan risiko iklim Kabupaten Malang. Analisis dampak secara spesifik dilakukan untuk menganalisis dampak perubahan iklim terhadap sumberdaya air kawasan Agropolitan.

Tahapan analisis dilakukan dengan mengikuti arahan penyusunan adaptasi perubahan iklim sesuai dengan PERMEN LHK No. 33 Tahun 2016. Walaupun demikian, masih terdapat kelemahan dalam pelaksanaan analisis khususnya terkait dengan kompatibilitas antara metode yang digunakan dengan ketersediaan data. Untuk mengatasi hal tersebut, verifikasi lapang dengan melibatkan *stakeholders* dilakukan untuk memperoleh hasil analisis yang sesuai atau dapat menggambarkan kondisi wilayah studi secara temporal maupun spasial. Verifikasi juga dilakukan dengan menggunakan data sekunder untuk menggali informasi tentang kejadian historis suatu jenis bencana kekeringan sebagai bahan perbandingan dalam pemodelan. Hasil tersebut dipergunakan untuk memodifikasi nilai-nilai “ambang batas” yang disesuaikan dengan kondisi iklim wilayah.

Selanjutnya, data iklim dan biofisik tersedia untuk wilayah studi juga terbatas. Sebagai solusi, data iklim yang digunakan adalah curah hujan dan suhu udara luaran data iklim berbasis grid yang dirilis oleh Hijmans et al. (2005) disebut dengan Worldclim. Data Worldclim ditujukan untuk menggambarkan kondisi klimatologis berbasis wilayah dengan resolusi spasial cukup tinggi. Namun, kelemahan produk ini yakni munculnya ketidakpastian pada wilayah pegunungan dan pulau-pulau kecil, dengan pertimbangan resolusi spasial Worldclim sekitar 1 km. Selain informasi iklim, informasi biofisik, mencakup: kelerengan, ketinggian, ruang terbuka hijau (RTH), diperlukan dalam analisis. Dengan mempertimbangkan pemodelan yang digunakan, data tutupan lahan sudah memadai dengan menggunakan luaran Landsat 8 dengan resolusi spasial sekitar 20-30 meter. Permasalahannya, untuk wilayah tropis seperti Indonesia hasil dari data landsat 8 sering mengalami kendala kondisi keawanan yang tinggi, sehingga diperlukan koreksi sebagaimana dilakukan dalam studi ini. Citra Landsat 8 juga digunakan untuk menyiapkan informasi Ruang terbuka hijau dengan menggunakan analisis NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Metode ini merupakan salah satu metode yang mudah diolah dan dirasakan memadai dalam analisis risiko iklim wilayah studi. Pengklasifikasian kelas untuk ketinggian dan slope dilakukan dengan menggunakan data Digital Elevation Model (DEM). Data DEM SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) memiliki resolusi spasial sebesar 30 m, hamper setara resolusinya dengan Citra Landsat. Walaupun, penggunaan Citra Landsat dan metode NDVI relatif mudah dan dapat disesuaikan dalam konteks skala temporal, ketersediaan data tutupan lahan dapat dipergunakan langsung dalam analisis. Meskipun, pemanfaatan data tersebut perlu pertimbangan terkait dengan kompatibilitas ketersediaan data dan informasi secara temporal.

Selanjutnya, kegiatan penyusunan adaptasi dilakukan dengan pelaksanaan *Focus Group Discussion* dengan peserta dari berbagai aktor terkait agropolitan diantaranya Dinas Peternakan, Dinas Pengairan, Dinas Pertanian, BPBD, BLHD, Dinas Kebudayaan dan Pariwisata, Dinas Perindustrian Perdagangan dan Pasar serta Bappeda Kabupaten Malang sebagai lembaga perencana. Kegiatan FGD difokuskan untuk mengidentifikasi pilihan adaptasi perubahan iklim yang ideal dilakukan di Kawasan Agropolitan Kabupaten Malang dengan mempertimbangkan hasil kajian kerentanan, penilaian bahaya dan risiko iklim, dampak perubahan iklim, pengelolaan dan alokasi sumberdaya air kawasan agropolitan pada kondisi skenario perubahan iklim di Kabupaten Malang. Selanjutnya, pertemuan konsultasi kepada stakeholder dilakukan untuk menerima

masuk dan seleksi serta prioritas pilihan aksi adaptasi. Penyusunan adaptasi dilakukan dengan memaparkan hasil kajian Adaptasi Perubahan Iklim Kawasan Agropolitan di Kabupaten Malang kepada *stakeholder* Kabupaten Malang yaitu Bupati dan jajarannya dengan harapan daftar adaptasi yang disusun dapat menjadi Perbub (Peraturan Bupati). Audiensi kepada *stakeholder* juga merupakan langkah pengarusutamaan aksi adaptasi kedalam perencanaan pembangunan.

Belajar dari pelaksanaan kegiatan penyusunan adaptasi kawasan Agropolitan Kabupaten Malang, arahan strategi ke depan yang dapat dilakukan berdasarkan diskusi dengan stakeholders pada pertemuan yang dilakukan tanggal 3 Oktober 2016, sebagai berikut:

1. Kegiatan merupakan respon terhadap Permen KLHK No 33/2016 mengenai penyusunan upaya adaptasi PI, sehingga perlu diarahkan untuk penguatan Tim Pokja Adaptasi dan Mitigasi Perubahan Iklim Kabupaten sebagai pengampu dokumen kajian
2. Arahan pemanfaatan dokumen kajian :
  - Analisis kerentanan sebagai bagian dari kajian risiko dapat digunakan untuk memetakan kondisi sosial ekonomi di Kabupaten Malang terkait aspek prioritas pembangunan yaitu: Kemiskinan, Pariwisata dan Lingkungan
  - Perlunya penerbitan PERBUP agar dokumen dapat dijadikan acuan dalam penyusunan Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) dan Rencana Program Pembangunan Daerah
  - Kegiatan terkait perubahan iklim lanjutan yang akan dilakukan di Kabupaten Malang perlu menggunakan dokumen kajian ini sebagai referensi
  - Pemetaan tingkat risiko iklim perlu dijadikan pertimbangan dalam partisipasi Kabupaten Malang sebagai salah satu wilayah pengembangan Taman Nasional Bromo, Tengger, Semeru
3. Implementasi adaptasi perubahan iklim perlu mempertimbangkan keterlibatan dan kebutuhan yang berbeda antara atau lintas generasi



## Referensi

- UN, 2005: The millennium development goals report 2005.
- Abdurahman, O., M. I. Iman, E. Riawan, B. Setiawan, N. Puspita, and Z. G. Fad, 2012: Climate risk and adaptation assessment for the water sector - Greater Malang. laporan.
- BAPPENAS, 2010: Indonesia climate change sectoral roadmap.
- BPS, 2012: Analisa Perubahan Penggunaan Lahan di Ekosistem DAS dalam Menunjang Ketahanan Air dan Ketahanan Pangan (Studi Kasus: DAS Brantas).
- Bodini, A., and A. C. Q, 2010: Vulnerability assesment of Central-East Sardinia (Italy) to extreme rainfall event. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, **10**, 61-72.
- BPS, 2014: *Kabupaten Malang dalam angka*. Vol. 1, Badan Pusat Statistik Kabupaten Malang.
- BPS, 2016: *Kabupaten Malang dalam angka*. BPS Kabupaten Malang.
- Chung, G., K. Lansey, P. Blowers, P. Brooks, W. Ela, S. Stewart, and P. Wilson, 2008: A general water supply planning model: evaluation of decentralized treatment. *Environ Model Softw* **23(7)**, 893-905.
- Cunderlik, J. M., and S. P. Simonovic, 2004: Calibration, Verification, and Sensitivity Analysis of the HEC-HMS Model.
- Dessu, S. B., A. M. Melesse, M. G. Bhat, and M. E. McClain, 2014: Assessment of water resources availability and demand in the Mara River Basin. *Catena*, **115**, 104-114.
- Distanbun, 2011: *Rencana strategis (Renstra) tahun 2011-2015*. Dinas Pertanian dan Perkebunan Kabupaten Malang.
- Distanbun, 2014: *Rencana Strategis (Renstra) Tahun 2011-2015*. Dinas Pertanian dan Perkebunan Kabupaten Malang.
- DR, P., H.-L. A, Y. DN, H. M, and H.-J. S, 2007: Integrating a climate change assessment tool into stakeholder-driven water management decision-making processes in California. *Water Resour Manag* **21**, 315-329.
- Friedmann, J. D., 1975: Agropolitan development: Towards a new strategy for regional planning in asia. *Growth pole strategy and regional development planning in Asia*, UNCRD, 333-387.
- Hassanzadeh, E., A. Elshorbagy, H. Wheeler, and P. Gober, 2016: A risk-based framework for water resource management under changing water availability, policy options, and irrigation expansion. *Advances in Water Resources* **94**, 291-306.
- Herrera-Pantoja, M., and K. M. Hiscock, 2015: Projected impacts of climate change on water availability indicators in a semi-arid region of central Mexico. *Environmental Science & Policy*, **54**, 81-89.
- Hijmans, R., C. SE, P. JL, J. PG, and J. A, 2005: Very high resolution interpolated climate surface for global land areas. *International journal of climatology*, **25**, 1965-1978.
- IPCC, 2014: Fifth Assessment report.
- Kurniawan, L., S. Triutomo, R. Yunus, M. R. Amri, and A. A. Hantyanto, 2013: *Indeks Risiko Bencana Indonesia*. Vol. 1, Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Malang, B. K., 2007: *Masterplan Agropolitan Kabuapten Malang*. Vol. 1, BAPPEDA, 1-72 pp.
- McCuen, 1982: *A Guide to Hydrologic Analysis Using SCS Methods*. Prentice Hall Inc. .
- Nash, J., and J. Sutcliffe, 1970: River flow forecasting through conceptual models: Part I—A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, **10**, 282-290.
- OHCHR, U.-H, and WHO, 2010: The right to water. In: Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights, World Health Organization, (Eds.), Human Rights: Fact Sheet No. 35. U. N. Office, Ed., 1-56.
- P, R., H. E, and Z. Z, 1992: Simulation of water supply and demand in the Aral Sea. *Region 1*, **17(2)**, 55–67.

- Perdinan, R. Boer, K. Kartikasari, B. D. Dasanto, R. Hidayati, and D. Oktavariani, 2012: Economic and Adaptation Cost of Climate Change: A Case Study of Indramayu – West Java Indonesia. *The Role of Science and Technology in Climate Change and Disaster Mitigation and Adaptation*, Geo-system Technology and Hazard Mitigation Laboratory ( GEOSTECH - BPPT ), 110-120.
- Perdinan, and Coauthors, 2015: Pengembangan metode kajian risiko iklim fokus anak.
- PU Brantas, 2011: BBWS Brantas. *BBWS Brantas*, PU.
- Pujiraharjo, A., A. Rachmansyah, I. Wijatmiko, and M. R. Anwar, 2015: Pengaruh perubahan iklim terhadap ketersediaan air baku di Malang Raya. *Jurnal rekayasa sipil*, **9**, 1.
- Ragab, R., and C. Prudhomme, 2002: Climate Change and Water Resources Management in Arid and Semi-arid Regions: Prospective and Challenges for the 21st Century. *Biosystems Engineering*, **81**, 3-34.
- Rosdiana, H., and M. Inayati, 2014: Evaluation of fiscal policy on agropolitan development to raise sustainable food security (A Study case in Bangli Regency, Kuningan Regency and Batu Municipality, Indonesia). *Procedia Environmental Sciences*, Indonesia, 563-572.
- Ruben, M. G., 2002: Regional development in the philippines: a review of experience, state of the art and agenda for research and action., UNPAN.
- Ruminta, and Handoko, 2012: Climate risk dan adaptation assessment for the agriculture sector- Greater MALANG. Laporan.
- Rustiadi, 2011: *Perencanaan dan pengembangan wilayah* Yayasan Pustaka Obor Indonesia.
- Rustiadi, E., and S. Hadi, 2006: *Kawasan agropolitan konsep pembangunan desa-Kota Berimbang*. Crestpent Press P4W-LPPM IPB.
- Santikayasa, I. P., M. S. Babel, S. Shrestha, D. Jourdain, and R. S. Clemente, 2014: Evaluation of water use sustainability under future climate and irrigation management scenarios in Citarum River Basin, Indonesia. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, **21**, 181-194.
- Schwank, J., R. Escobar, G. H. Girón, and E. Morán-Tejeda, 2014: Modeling of the Mendoza river watershed as a tool to study climate change impacts on water availability. *Environmental Science & Policy*, **43**, 91-97.
- SEI, 2008: *Water Evaluation and Planning System, tutorial*. Stockholm Environment Institute, Boston Center.
- USACE, 2000a: Hydrologic Modeling System, HEC-HMS Technical Reference Manual. A. D. Feldman, Ed., 155.
- , 2000b: *Hydrologic modeling system, hec-hms technical reference manual*. A.D. Feldman (Ed.).
- , 2005a: Hydrologic Modeling System, HEC-HMS User's Manual. M. J. F. William A. Scharffenberg, Ed., 260.
- , 2005b: *Hydrologic modeling system, hec-hms user's manual*. M. J. F. William A. Scharffenberg (Ed.).
- Vorosmarty, C. J., P. Green, J. Salisbury, and R. B. Lammers, 2000: Global Water Resources: Vulnerability from Climate Change and Population Growth.
- Worldbank, 2015: *Global economic prospect*. Worldbank.
- Yates, D., J. Seiber, D. Purkey, H.-L. A, and G. H, 2005: WEAP21: a demand, priority, and preference driven water planning model: part 2, aiding freshwater ecosystem service evaluation. . *Water Int*, **30 (4)**, 487-500.



Universitas Negeri Padang