

# **AIRTANAH UNTUK ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM DI MALANG, JAWA TIMUR: Penilaian Risiko Penurunan Ketersediaan Air**

## *Groundwater for Climate Change Adaptation in Malang, East Java: Water Shortage Risk Assessment*

**Munib Ikhwatun Iman<sup>1</sup>, Edi Riawan<sup>2</sup>, Budhi Setiawan<sup>3</sup>, Oman Abdurahman<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>) Pusat Airtanah dan Geologi Tata Lingkungan, Badan Geologi

<sup>2</sup>) Program Studi Meteorologi, Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan, ITB

<sup>3</sup>) Program Studi Teknik Geologi, Universitas Sriwijaya

<sup>4</sup>) Museum Geologi, Badan Geologi, KESDM

**ABSTRAK** Risiko penurunan ketersediaan air akibat perubahan iklim di Malang, Jawa Timur dikaji melalui analisis skenario proyeksi model hingga tahun 2030 terhadap basis data tahun 1960-1990 sebagai kondisi acuan normal. Hasil proyeksi iklim sebagai pemicu awal bahaya perubahan iklim menunjukkan pola kenaikan suhu dan penurunan presipitasi yang berdampak atau berisiko pada adanya potensi penurunan ketersediaan air di Malang. Untuk mengukur dan menentukan upaya pengurangan risiko tersebut dilakukan pendekatan analisis bahaya penurunan ketersediaan air dan kerentanan terhadapnya akibat perubahan iklim. Kerentanan dimaksud di Malang secara sederhana ditentukan oleh tiga faktor yang dinilai dominan, yaitu kebutuhan air, sumber air, dan kesejahteraan masyarakatnya. Kerentanan secara spasial memperlihatkan wilayah bagian barat dan selatan Malang mengalami peningkatan nilai risiko penurunan ketersediaan air dari tinggi

menjadi sangat tinggi pada tahun 2030. Pertumbuhan penduduk dan perubahan tata guna lahan merupakan faktor non-klimatik yang mempengaruhi bahaya dan kerentanan penurunan ketersediaan air. Hasil analisis memperlihatkan adanya peningkatan risiko yang lebih tinggi yang dipengaruhi kondisi hidrogeologi yang terkait potensi airtanahnya. Pengelolaan airtanah yang optimal diharapkan dapat memberikan kontribusi sebagai salah satu upaya adaptasi terhadap risiko perubahan iklim atas sumber air di Malang.

**Kata kunci:** *Perubahan iklim, Malang, risiko kerentanan airtanah.*

**ABSTRACT** Risk of water shortage related to climate change in Malang Regency has been conducted by a climate projection model to the year of 2030 based on baseline data in 1960-1990 as a normal condition. The projection as a trigger for an early warning of the water shortage hazard has shown a trend of increase in temperature and change of precipitation. Vulnerability can be simplified based on three dominant factors, which are water source for availability, water demand, and population welfare. The vulnerability has spread in the west and the south region spatially, that increasing from high to very high risk in 2030. Population growth and landuse change were conducted the main factor as non-climatic driven related to

---

Naskah masuk : 30 Januari 2017  
Naskah direvisi : 04 Februari 2017  
Naskah diterima : 02 Mei 2017

---

Munib Ikhwatun Iman  
Pusat Airtanah dan Geologi Tata Lingkungan,  
Badan Geologi, KESDM  
Jl Diponegoro No. 57, Bandung 40122  
Email : munib.iman@gmail.com

©2017 Pusat Penelitian Geoteknologi  
Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

*hazard and vulnerability of water availability. Analysis result has conducted higher risk depends on its hydrogeology. Groundwater can take a part for adaptation to climate change if it could be managed optimally.*

**Keywords:** *Climate change, Malang, Groundwater vulnerability risk.*

## PENDAHULUAN

Kenaikan suhu permukaan abad ke-21 secara global pada semua model diproyeksikan naik 1,8°C hingga 4°C. Ketersediaan air tawar diproyeksikan berkurang seiring dengan pertumbuhan penduduk dan kenaikan kebutuhan air terus meningkat yang akan mempengaruhi jutaan penduduk pada tahun 2050 (IPCC, 2007).

Air sangat diperlukan dalam semua bentuk kehidupan. Gambar 1 memperlihatkan bagaimana kegiatan manusia mempengaruhi sumberdaya air secara kuantitas dan kualitas serta pengelolaannya (Kundzewicz et al., 2007). Iklim dan sistem air tawar terhubung melalui situasi yang kompleks. Penduduk, gaya hidup, ekonomi, dan teknologi akan mempengaruhi emisi gas kaca, penggunaan lahan, dan kebutuhan makanan. Makanan disediakan melalui pertanian dengan irigasi akan memerlukan air dalam jumlah yang besar. Perubahan signifikan dalam penggunaan air atau daur hidrologi memerlukan adaptasi dalam pengelolaan sumberdaya air.

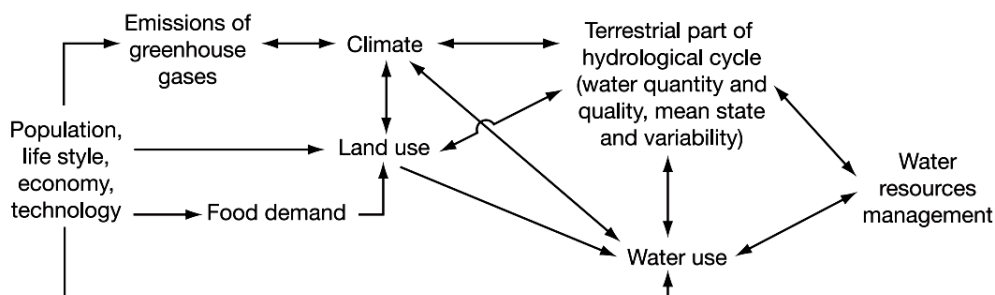
Keterdapatannya air dapat ditemukan dalam semua lingkungan yang dapat diakses di atas atau dekat dengan permukaan bumi (Fitts, 2013). Jumlah air di planet ini sekitar  $1,4 \times 10^9 \text{ km}^3$  yang

terdistribusi dan dihubungkan melalui daur hidrologi. Komponen iklim berupa suhu, curah hujan, intensitas penyinaran matahari, dan kecepatan serta arah angin sangat berperan dalam daur air di atmosfer dan di bumi ini.

Indonesia sebagai negara kepulauan tropis pada garis ekuator akan menghadapi dampak langsung dari perubahan iklim. Perubahan iklim dicirikan oleh kenaikan suhu, perubahan presipitasi/curah hujan, kenaikan muka air laut, dan kejadian-kejadian ekstrim yang akan berdampak pada ketersediaan air di suatu wilayah (Suroso et al., 2010). Analisis dari jumlah stasiun cuaca yang terbatas memperlihatkan kenaikan suhu sekitar 0,5° telah terjadi pada abad ke-20. Kondisi ini selaras dengan kenaikan suhu global yang telah diproyeksikan IPCC AR-4 sekitar  $0,7^\circ \pm 0,2$  setiap abad (Hadi et al., 2012).

Malang Raya meliputi tiga wilayah kabupaten/kota, yaitu Kota Malang, Kabupaten Malang, dan Kota Batu. Lokasi wilayahnya merupakan bagian hulu dari Sungai Brantas yang memiliki peran penting dalam penyediaan sumberdaya air. Peran tiga pemerintah daerah tingkat kabupaten/kota ini terhadap sumberdaya airnya perlu dikaji karena kebijakan pemerintah merupakan salah satu faktor non-iklim yang mempengaruhi ketersediaan airtanah dalam menanggapi perubahan iklim.

Penelitian ini dimaksudkan untuk melihat risiko dan kerentanan wilayah Malang Raya secara spasial dalam menanggapi hasil proyeksi model iklim terhadap ketersediaan air. Airtanah melalui peta hidrogeologi sebagai data spasial digunakan dalam analisis kerentanan penurunan ketersediaan air untuk menghasilkan fungsi



**Gambar 1.** Dampak kegiatan manusia terhadap sumberdaya air tawar dan pengelolaannya, dengan perubahan iklim sebagai salah satu dari sekian banyak tekanannya (Kundzewicz et al., 2007).

risiko sebagai adaptasi pada kondisi proyeksinya.

**LOKASI PENELITIAN**

Lokasi penelitian meliputi Kab. Malang, Kota Malang, dan Kota Batu di provinsi Jawa Timur. Secara geografis terletak pada koordinat 112°17'12,25" – 112°57'28,17" Bujur Timur dan 7°45'41,86" – 8°27'53,58" Lintang Selatan. Daerah Malang bagian utara merupakan dataran tinggi diapit jajaran pegunungan di bagian barat dan timurnya dengan elevasi lebih dari 1.500 meter di atas permukaan laut dan daerah pantai di bagian selatan yang menghadap langsung ke Samudera Indonesia.

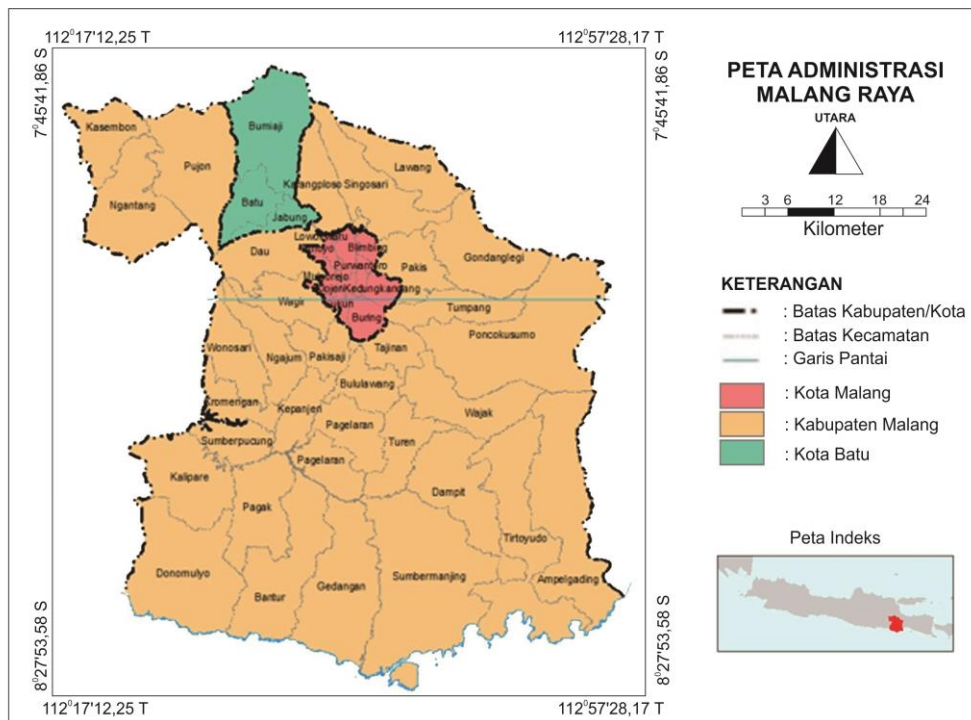
Selain itu, pemilihan Malang mengingat faktor populasi yang mempengaruhi sensitifitas kerentanannya terhadap ketersediaan air. Setelah Surabaya, populasi yang mendiami wilayah Malang merupakan yang terbesar. Berdasarkan data jumlah penduduk BPS Prov. Jatim Tahun 2015 tercatat 3.596.098 jiwa yang tersebar di Kabupaten Malang 2.544.315 jiwa, Kota Malang 851.298 jiwa, dan Kota Batu 200.485 jiwa (BPS Provinsi Jatim, 2016).

Kondisi iklim di Malang berdasarkan data kantor Badan Meteorologi, Klimatologi, dan

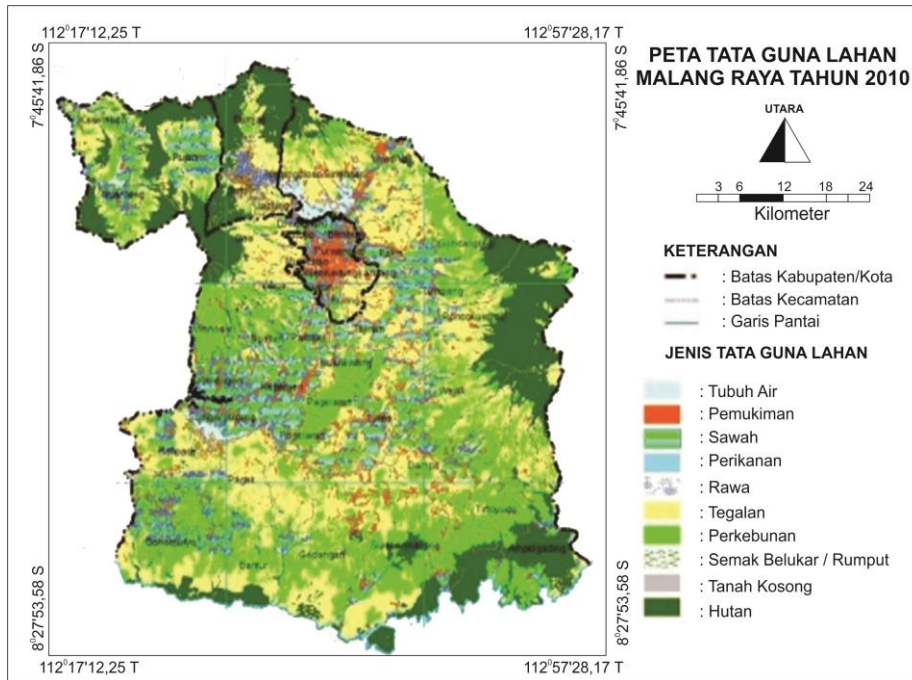
Geofisika Karangploso (BPS, 2016) termasuk tropis dengan suhu udara rata-rata 22,1°C - 26,8°C, kelembaban rata-rata 69% - 87%, dan curah hujan sekitar 4 mm - 727 mm. Puncak curah hujan pada bulan Januari, sedangkan September merupakan curah hujan terendah.

Peta tata guna lahan wilayah Malang tahun 2010 memperlihatkan dominasi vegetasi (Gambar 3). Pemukiman terkonsentrasi di Kota Malang yang mencerminkan nilai kebutuhan air yang lebih tinggi. Mengacu pada kondisi tata guna lahan 2010, ketersediaan air secara alami bukan menjadi persoalan bagi Malang. Bisri (2011) menyatakan bahwa 51% dari 1,4 juta hektar hutan di Jawa Timur telah berubah menjadi hutan produksi yang akan berimbas pada luas imbuhan airtanahnya.

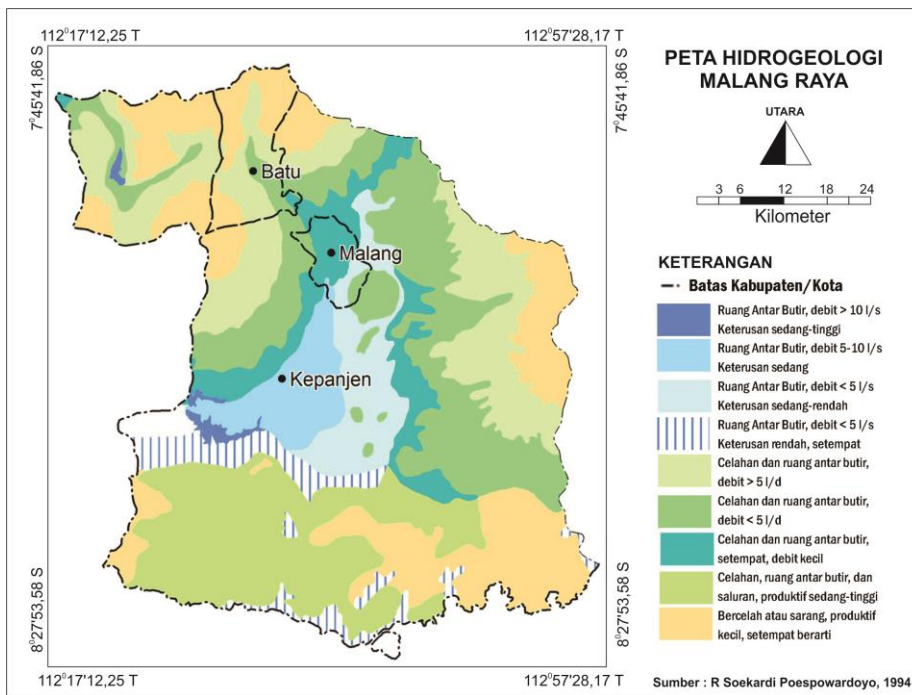
Jajaran pegunungan di barat dan timur menjadikan hidrogeologi Malang termasuk dalam akuifer dengan aliran airtanah melalui celahan dan ruang antar butir di bagian utara Sepanjang jalur aliran sungai Brantas dari utara dan berbelok ke arah barat termasuk dalam akuifer dengan aliran melalui ruang antar butir. Batugamping di bagian selatan membentuk cekungan airtanah tersendiri dengan aliran melalui saluran rekahan (Gambar 4).



Gambar 2. Peta Administrasi Malang Raya (Setiawan et al., 2012).



Gambar 3. Peta Tata Guna Lahan Malang Raya Tahun 2010 (Setiawan et al, 2012)



Gambar 4. Peta Hidrogeologi Malang (Poespowardoyo, 1984)

Ketersediaan air di Malang berasal dari sungai Brantas sebagai sungai utama yang mengalir dari Kota Batu ke selatan sebelum memutar untuk bermuara di utara. Potensi airtanah di bagian utara Malang sekitar 15% termasuk dalam Cekungan Airtanah (CAT) Brantas yang memiliki potensi akuifer bebas sebesar 3.674

juta m<sup>3</sup>/tahun dan potensi akuifer tertekan sebesar 175 juta m<sup>3</sup>/tahun, sedangkan bagian selatan terdapat CAT Sumberbening dengan potensi akuifer bebas sebesar 238 juta m<sup>3</sup>/tahun (Arifin, 2008).



Bahaya penurunan ketersediaan air dipengaruhi oleh faktor iklim dan faktor non-iklim. Iklim akan mempengaruhi distribusi air mencapai kesetimbangannya. Pengaruh iklim dengan arah kecenderungan suhu naik dan curah hujan yang menurun berpotensi untuk mengurangi air yang mengalir di bumi. Suhu naik akan meningkatkan nilai evapotranspirasi. Dengan nilai curah hujan yang cenderung turun akan memperkecil jumlah air yang mengalir di permukaan tanah maupun airtanah.

**METODE**

**Perhitungan Neraca Keseimbangan Air**

Laporan Penilaian Keempat (AR4) IPCC menyatakan dua faktor yang mempengaruhi sektor air di masa yang akan datang, yaitu iklim dan non-iklim. Faktor iklim yang mempengaruhi ketersediaan air didominasi presipitasi/curah hujan, suhu, dan penguapan. Faktor non-iklim terdiri dari perubahan penggunaan lahan, penggunaan air seiring dengan perubahan populasi penduduk, gaya hidup, dan teknologi, serta kebutuhan airnya.

Penurunan ketersediaan air dianalisis sebagai potensi bahaya karena faktor iklim melalui perhitungan neraca kesetimbangan air. Faktor non-iklim menjadi komponen perhitungan bahaya dan kerentanannya meliputi penduduk, penggunaan lahan, jaringan infrastruktur, kebutuhan air, sumber air, dan kesejahteraan penduduk. Kedua faktor tersebut dianalisis melalui metode sistem informasi geografis/geographic information system (GIS) dengan proses seperti ditampilkan pada gambar 5.



**Gambar 5.** Proses pemodelan sektor air terhadap skenario proyeksi model perubahan iklim.

Bahaya penurunan ketersediaan air dihitung melalui pendekatan neraca kesetimbangan air melalui persamaan umumnya:

$$P = Ea + \Delta Gs + Tro....(1)$$

Jumlah curah hujan yang turun di suatu wilayah (presipitasi, P) sama dengan jumlah evapotranspirasi (Ea), jumlah aliran air (*total runoff*, TRO), dan perubahan simpanan airtanah pada zona tidak jenuh air (*groundwater storage*, ΔGs). Evapotranspirasi potensial (*Potential Evapotranspiration*, PET) dihitung melalui rumus *Blaney-Criddle* karena hanya data suhu yang tersedia (Blaney dan Criddle, 1950):

$$PET = Kp(0.46T_m + 8.13)..... (2)$$

dengan p merupakan waktu siang harian atau bulanan dan K adalah koefisien konsumtif bulanan tergantung jenis tumbuhan, lokasi, dan musimnya. Di garis khatulistiwa, p = 0,27 dan K empirik sebesar 0,75.

Perhitungan neraca keseimbangan air merupakan jumlah gabungan limpasan langsung di permukaan dan aliran airtanah sehingga simpanan airtanah menjadi bagian dari aliran airtanah yang dihitung dalam potensi ketersediaan air dan dapat diberikan nilai nol. Kerentanan suatu wilayah dalam merespon penurunan ketersediaan air diidentifikasi dari kepadatan penduduk, tutupan lahan, kebutuhan air, kualitas air, infrastruktur distribusi air, dan potensi airtanah. Infrastruktur distribusi air dan potensi airtanah merupakan kapasitas adaptasinya. Dalam kajian ini, bahaya penurunan ketersediaan air (BTSA) didefinisikan sebagai jumlah dari penurunan ketersediaan air (TSA) dan kebutuhan air (BA) terhadap ketersediaan air (Q) pada kondisi dasar yang ditetapkan pada kondisi tahun 1960-1990.

$$BTSA = \frac{(TSA + BA)}{Q_{dasar}} .....(3)$$

Dengan probabilitas kumulatif 50%, perubahan nilai limpasan total hasil analisis neraca kesetimbangan air digunakan sebagai dasar analisis untuk menghitung penurunan ketersediaan air.

Kerentanan didefinisikan sebagai fungsi dari ciri, besaran, dan laju perubahan iklim sebagai derajat variasi sistem yang terdampak, sensitivitasnya, serta kapasitas adaptasinya (Affeltranger, 2006). Melalui kriteria tingkat signifikansi hubungan indikator dan bahayanya, data yang tersedia untuk proses penilaian, serta belum digunakan dalam analisis bahaya maka

indikator-indikator kerentanan penurunan ketersediaan air adalah nilai kebutuhan air, sumber air, dan kesejahteraan penduduknya.

Kerentanan penurunan ketersediaan airtanah ditentukan oleh tiga indikator, yaitu kebutuhan air (BA), sumber air (SA), dan kesejahteraan penduduknya. Masing-masing dari tiga indikator ini dihitung dan dipetakan distribusinya secara spasial. Dalam menghitung kebutuhan air, perhitungan menggunakan standar kebutuhan minimum air bersih perkotaan sebesar 150 liter per orang per hari.

**Data**

Data dianalisis dengan neraca kesetimbangan air dan *FEM Water* yang berdasarkan jenisnya ditampilkan pada Tabel 1. Data faktor iklim diperoleh dari tim ilmiah dasar, sedangkan data faktor non-iklim diperoleh dari tim GIS yang dioleh dari berbagai sumber.

Tabel 1. Daftar data yang digunakan

No	Data	Sumber	Analisis
1	Curah hujan (mm/bulan)	Tim Ilmiah Dasar	1,2
2	Suhu	Tim Ilmiah Dasar	1
3	Tata guna lahan	Tim GIS	1,2
4	Geologi	Tim GIS	1,2
5	Area imbuhan	Tim GIS	1,2
6	Area pemanfaatan air	Tim GIS	2
7	Airtanah	Tim GIS	2
8	Model elevasi digital	Tim GIS	1,2
9	Debit		1

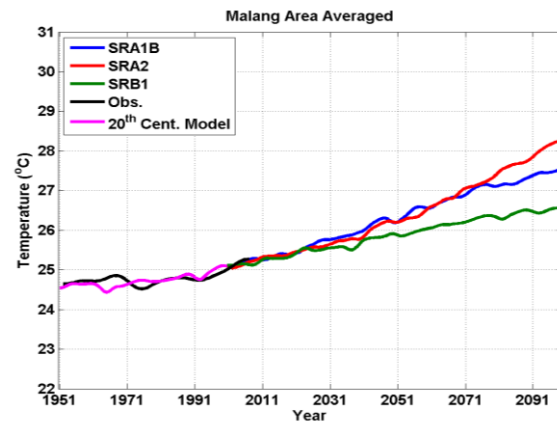
Alat analisis: <sup>1)</sup> Neraca kesetimbangan air, <sup>2)</sup> *FEM Water*

Data berdasarkan faktor iklim adalah curah hujan dan suhu. Proyeksi curah hujan melalui *Global Circulation Models (GCMs)* dengan tiga skenario emisi karbon (SRES) B1 (rendah), A1B (moderat), dan A2 (tinggi) digunakan. Gambar 6 memperlihatkan proyeksi kenaikan suhu mencapai 1°C hingga tahun 2030 dibandingkan dengan periode 1961-1990 sebagai kondisi awal untuk semua skenario yang paralel dengan arah kecenderungan 25 tahun terakhir karena pemanasan global.

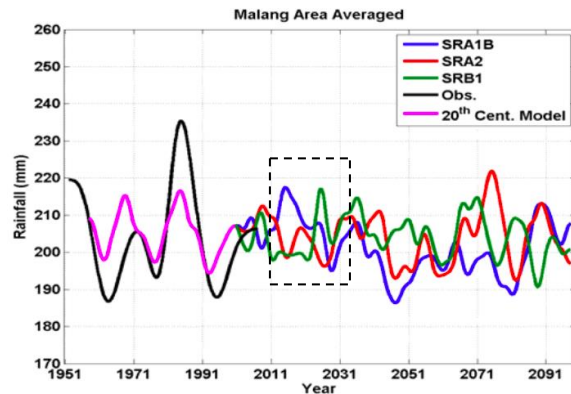
Sedangkan, curah hujan/presipitasi bulanan rata-rata dalam proyeksi bervariasi tetapi memperlihatkan arah kecenderungan menurun hingga tahun 2030. Gambar 7 dibatasi segi empat dengan garis putus-putus memperlihatkan

proyeksi semua skenario umumnya menurun, kecuali untuk SRB1. Penurunan terbesar pada skenario SRA1B pada periode 2021-2030.

Data berdasarkan faktor non-iklim utama adalah penduduk dan penggunaan lahan. Kepadatan penduduk yang cukup tinggi tahun 2010 terletak di Kota Malang dan kecamatan yang menjadi pusat pemerintahan (Gambar 8). Kepadatan



Gambar 6. Proyeksi suhu di Malang berdasarkan model GCM (Hadi et al., 2012).



Gambar 7. Proyeksi model curah hujan Malang.

penduduk rata-rata mencapai 786 orang untuk tiap Km<sup>2</sup>, sedangkan Kota Malang memiliki tingkat kepadatan penduduk tertinggi mencapai 7.420 orang per Km<sup>2</sup>.

Peta tata guna lahan Malang pada kondisi proyeksi didasarkan pada Rencana Tata Ruang Wilayah 2030 dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kota Malang, Kota Batu, dan Kab. Malang (Gambar 9). Tiap jenis tata guna lahan diberikan nilai untuk menghitung kerentanannya terhadap perubahan iklim pada kondisi proyeksi seperti ditampilkan pada Tabel 2.

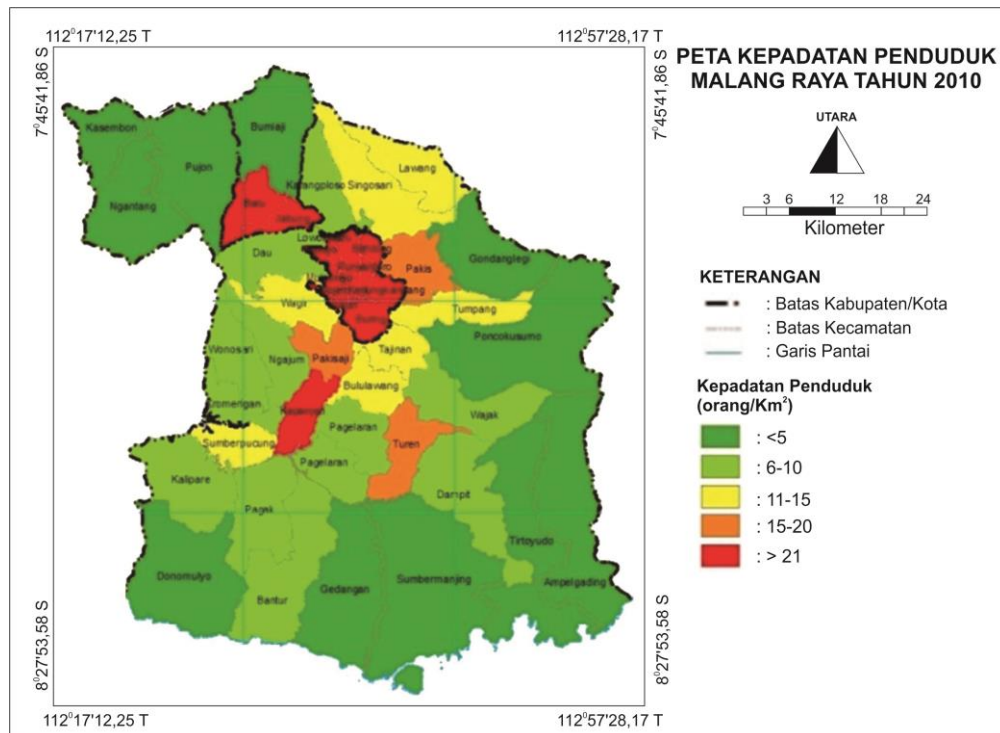
Tabel 2. Nilai jenis tata guna lahan pada kondisi proyeksi.

Tata Guna Lahan dalam Rencana	Nilai
<b>Tata Ruang Wilayah</b>	
Bandara	10
Fasum Fasos	10
Kawasan Industri dan Pergudangan	10
Kawasan Militer	10
Kawasan Pariwisata	10
Kawasan Pemukiman	10
Kawasan Perdagangan & Jasa	10
Perikanan	5
Perkebunan	2
Sawah Irigasi	5
Sawah Tadah Hujan	2
Tegalan	1
Hutan Lindung	0,1
Hutan Produksi	0,1
Hutan Rawa	0,1
Ruang Terbuka Hijau	0,1
Kawasan Lindung Setempat	0,1
Taman Hutan Raya	0,1
Danau/waduk	0

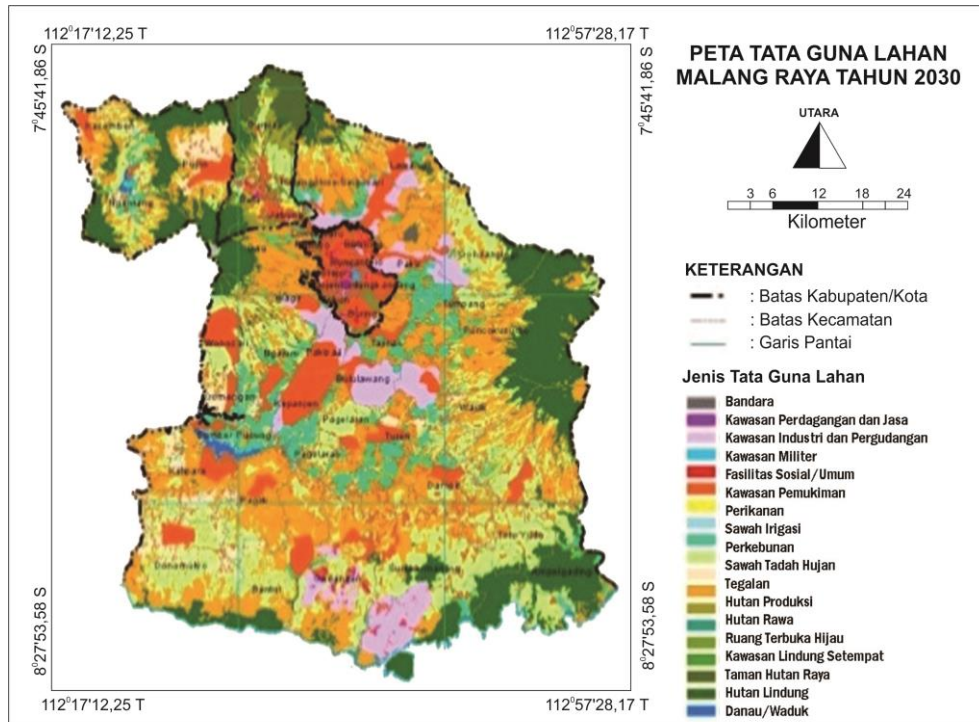
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan lahan merupakan faktor utama yang berkontribusi besar dalam menentukan nilai ketersediaan air. Perubahan fungsi lahan dan terbukanya vegetasi sangat berperan dalam nilai air yang melimpas atau mengalir. Gambar 10a memperlihatkan arah kecenderungan nilai jumlah air yang mengalir tanpa ada perubahan tutupan lahan atau perubahan penggunaan lahan. Jumlah air yang mengalir menurun 1,05 mm setiap tahun. Sedangkan perubahan penggunaan lahan semakin memperbesar nilai penurunan jumlah air yang mengalir menjadi 1,1 mm setiap tahun (Gambar 10b). Malang meliputi Kota Malang, Kota Batu, dan Kab. Batu seluas 3.985,05 Km<sup>2</sup> akan berpotensi mengurangi air yang mengalir sebesar 4,2 juta hingga 4,4 juta meter kubik setiap tahun.

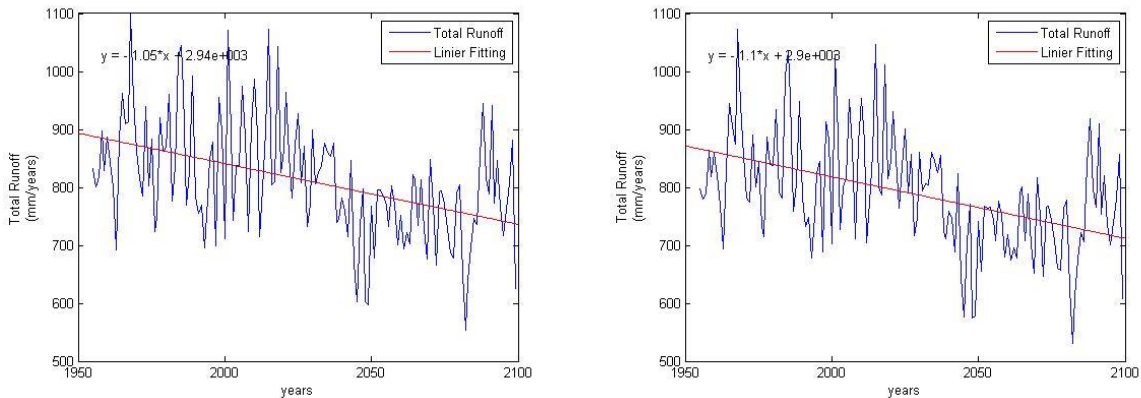
Pengaruh non-iklim ditentukan oleh banyak kebutuhan air yang ditentukan oleh jumlah penduduk dan perubahan penggunaan lahan. Kebutuhan air lainnya dihitung melalui pendekatan penggunaan lahan dengan kebutuhan untuk pertanian, tanaman, dan industri. Hasil proyeksi memperlihatkan sebaran penambahan wilayah yang berubah warna semakin besarnya kebutuhan air di bagian utara, terutama di Kota Malang (Gambar 11a dan Gambar 11b).



Gambar 8. Peta densitas penduduk tahun 2010 (Setiawan *et al.*, 2012).



Gambar 9. Peta Tata Guna Lahan Malang Raya Tahun 2030.



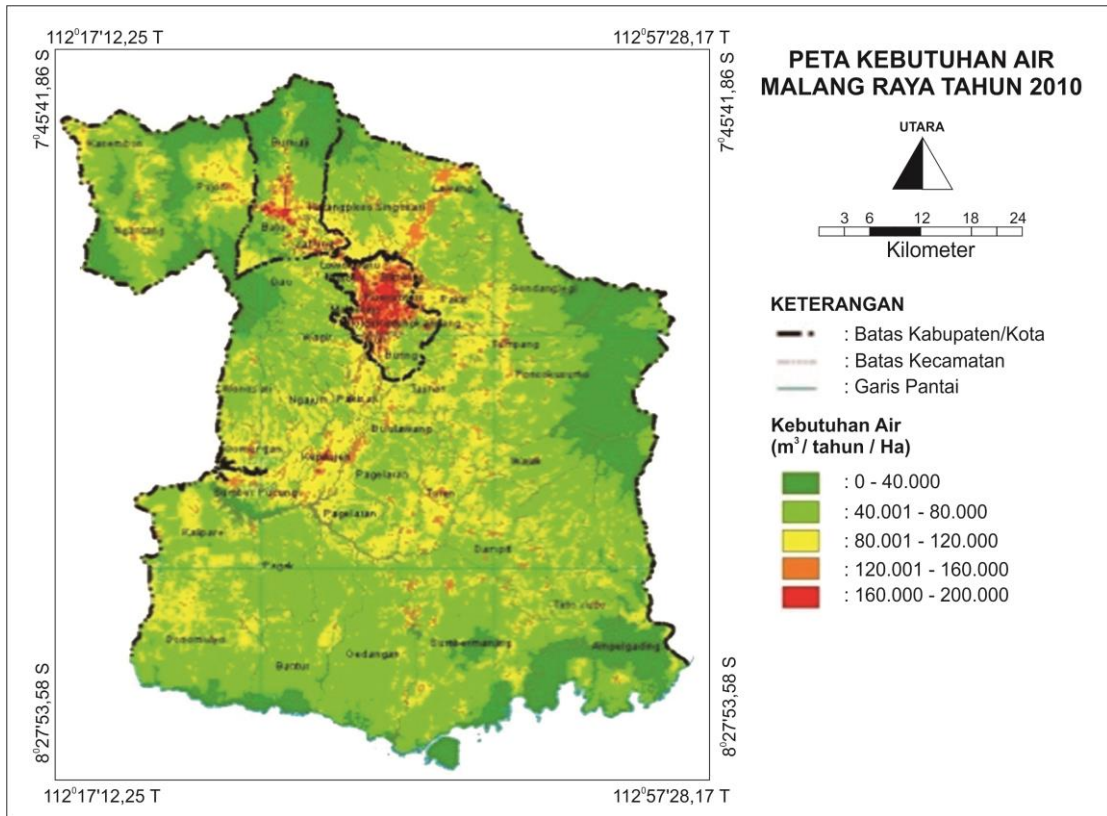
Gambar 10. (a) Jumlah air yang mengalir (*Total Runoff*) tanpa adanya perubahan lahan. (b) Jumlah air yang mengalir (*Total Runoff*) dengan adanya perubahan lahan.

Laju pertumbuhan penduduk pada kondisi proyeksi sebesar 0,67% per tahun menghasilkan kepadatan penduduk seperti pada gambar 10. Perhitungan nilai kerentanan untuk masing-masing indikator menghasilkan peta sebaran kerentanan yang disajikan pada Gambar 12 hingga Gambar 16.

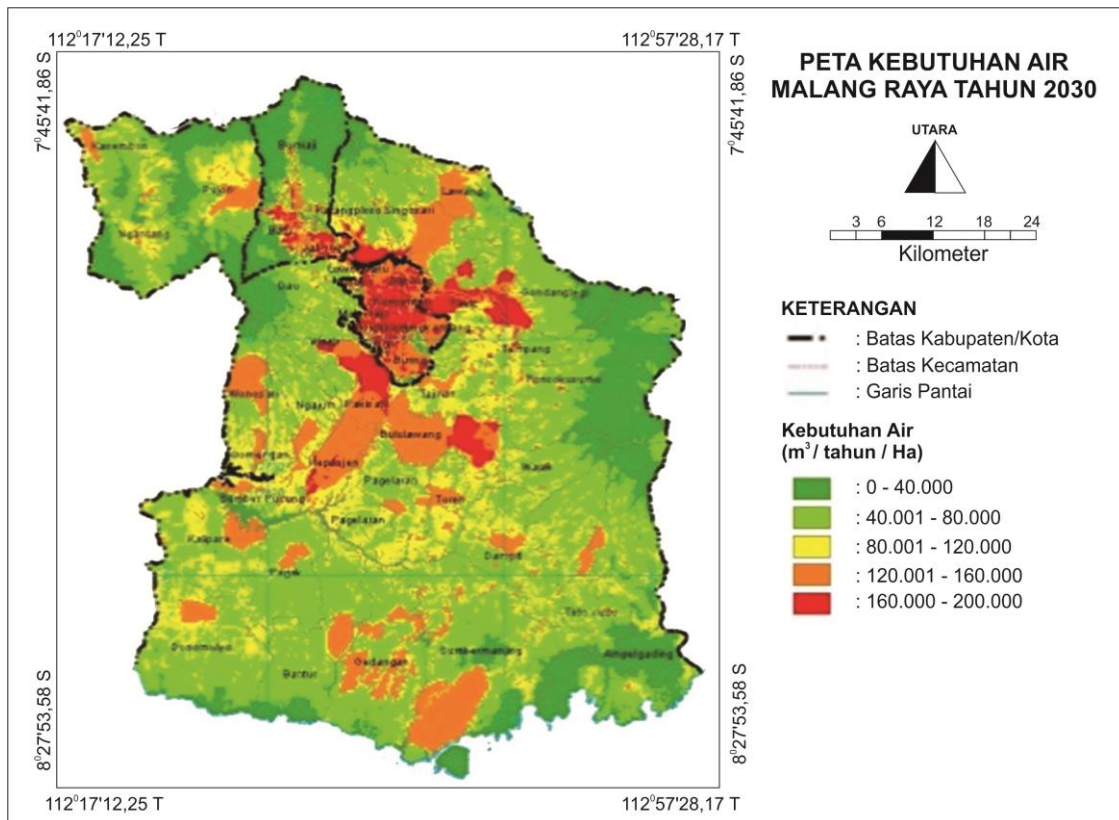
Penduduk, penggunaan lahan, jaringan infrastruktur, kebutuhan air, sumber air, dan kesejahteraan penduduk. Peningkatan nilai rendah ke tinggi ditentukan intensitas warna dengan urutan hijau, hijau muda, kuning, jingga,

dan merah. Densitas penduduk memperlihatkan sebaran intensitas yang meningkat di bagian tengah ke utara (Gambar 12). Sebaran intensitas meningkat di tengah ke selatan untuk penggunaan lahan (Gambar 13a dan 13b). Jaringan infrastruktur tidak banyak yang berubah (Gambar 14a dan 14b). Bagian timur yang paling rentan terhadap sumber air (Gambar 15). Kesejahteraan penduduk diklasifikasi berdasarkan data pendapatan sensus nasional tahun 2007 memperlihatkan bagian selatan dan sedikit di timur dan barat paling rentan terhadap risiko penurunan ketersediaan air (Gambar 16).

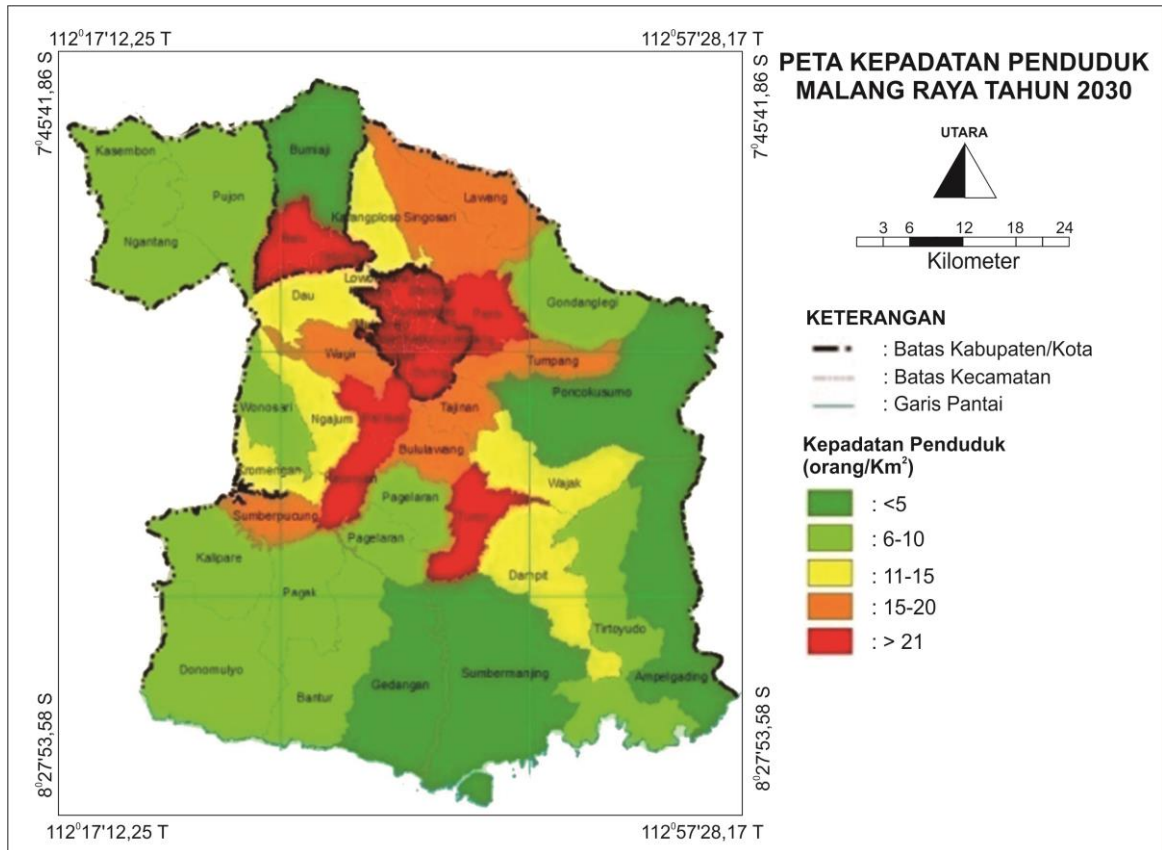




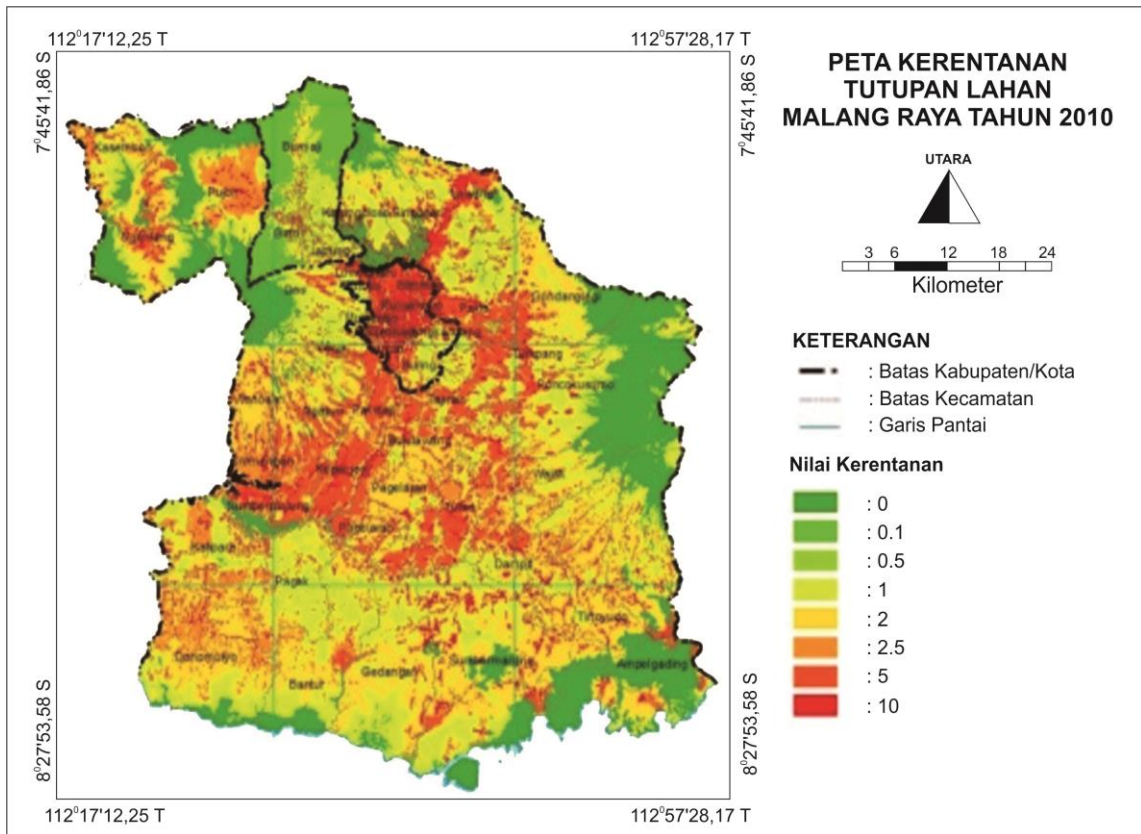
Gambar 11a. Peta kebutuhan air per kecamatan Tahun 2010.



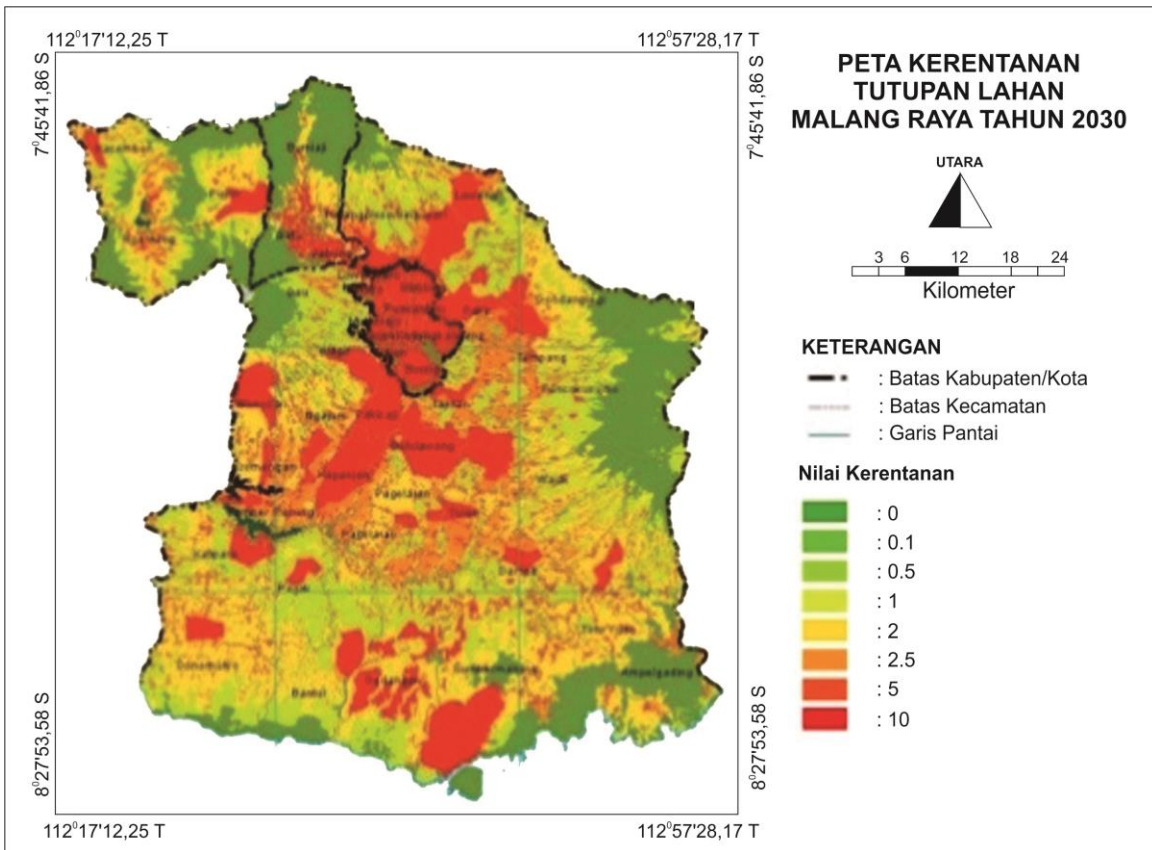
Gambar 11b. Peta kebutuhan air per kecamatan Tahun 2030.



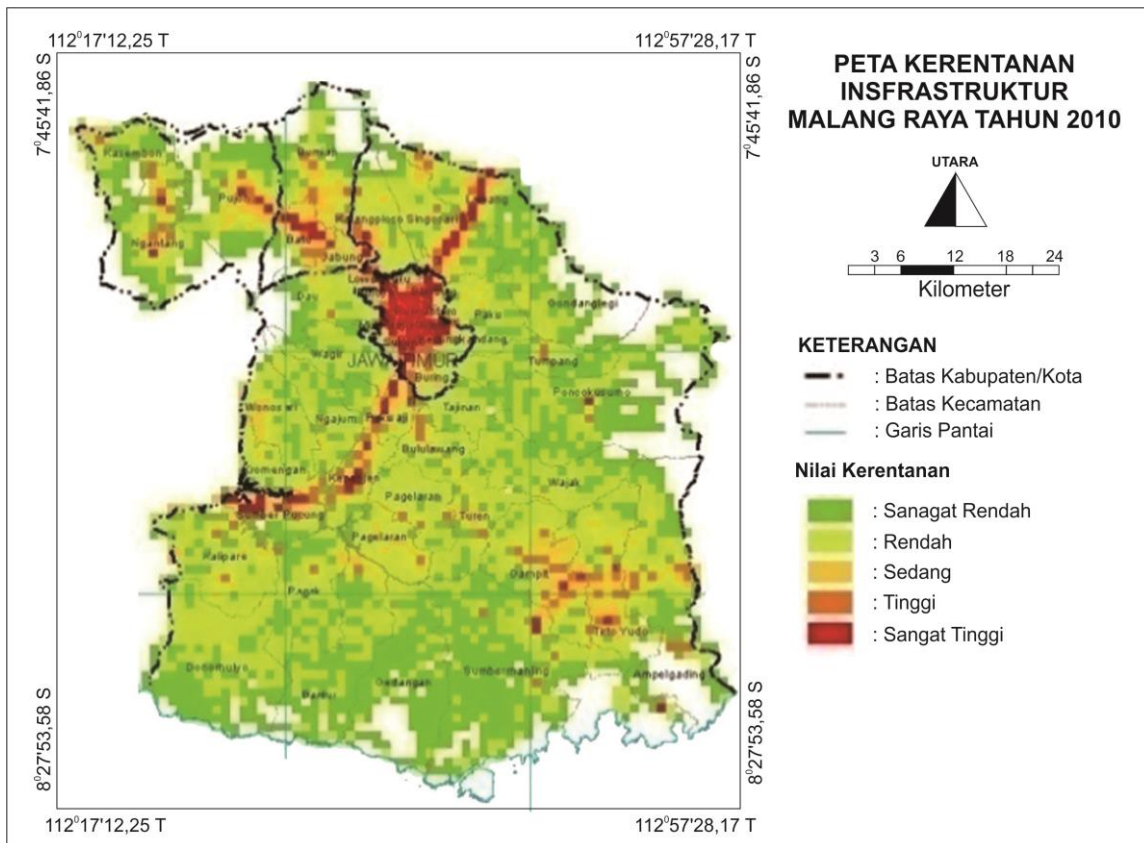
Gambar 12. Peta densitas penduduk Tahun 2030.



Gambar 13a. Peta penggunaan lahan Tahun 2010.

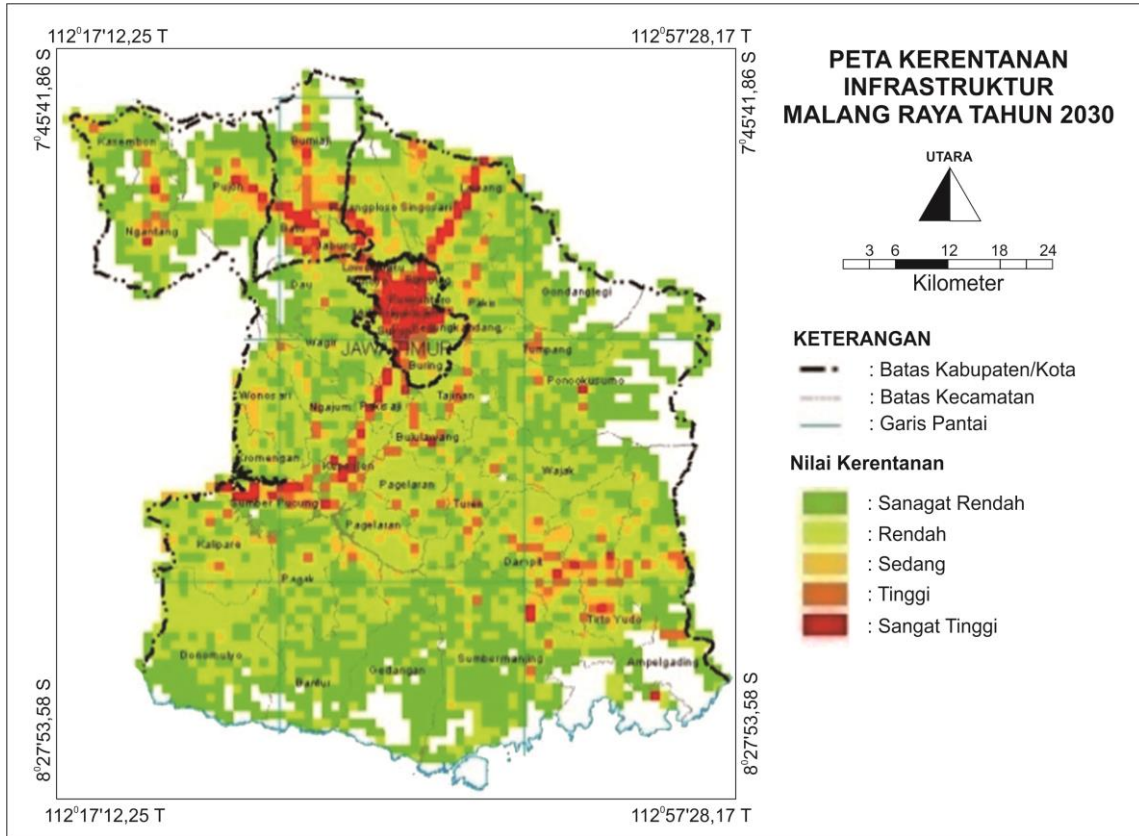


Gambar 13b. Peta kerentanan infrastruktur Tahun 2030.

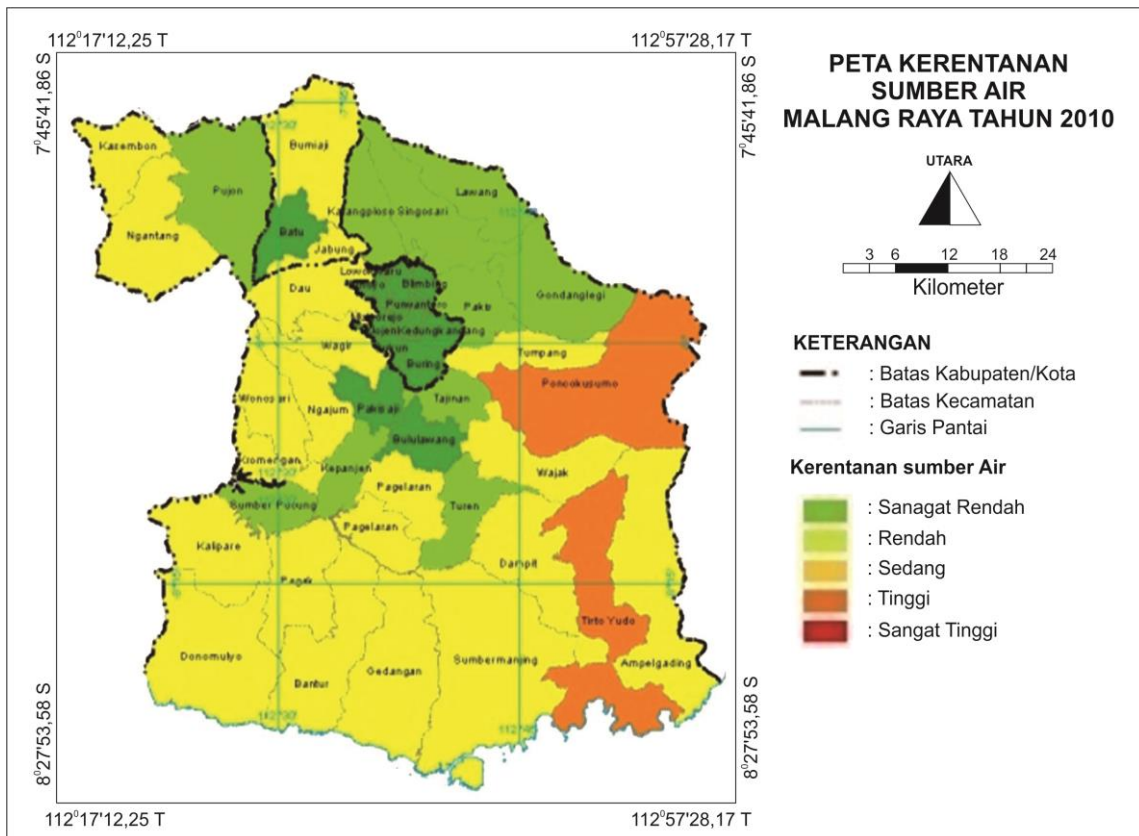


Gambar 14a. Peta kerentanan infrastruktur Tahun 2010.





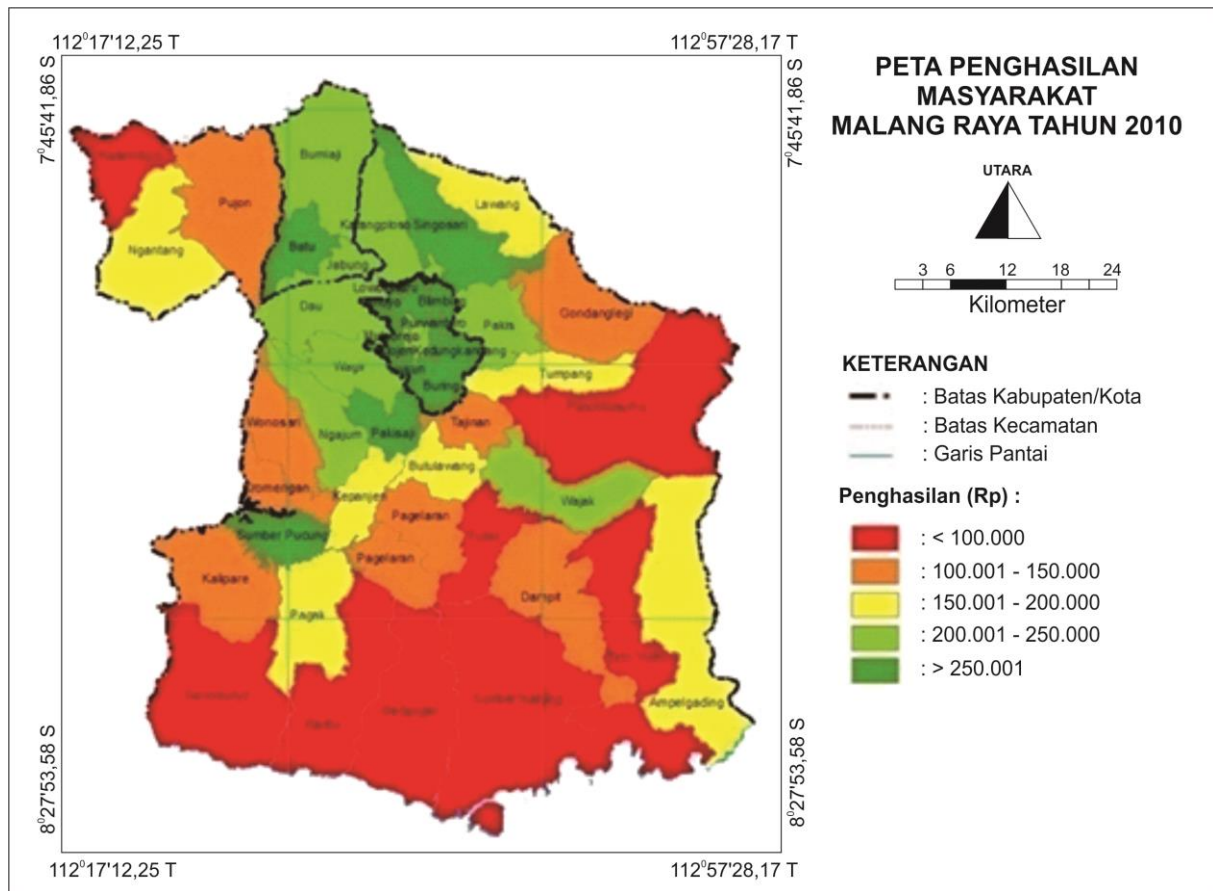
Gambar 14b. Peta kerentanan infrastruktur Tahun 2030.



Gambar 15. Peta kerentanan sumber air Tahun 2010.



Pada tahun 2010 dan proyeksi tahun 2030 di



Gambar 16. Peta kesejahteraan penduduk Tahun 2010.

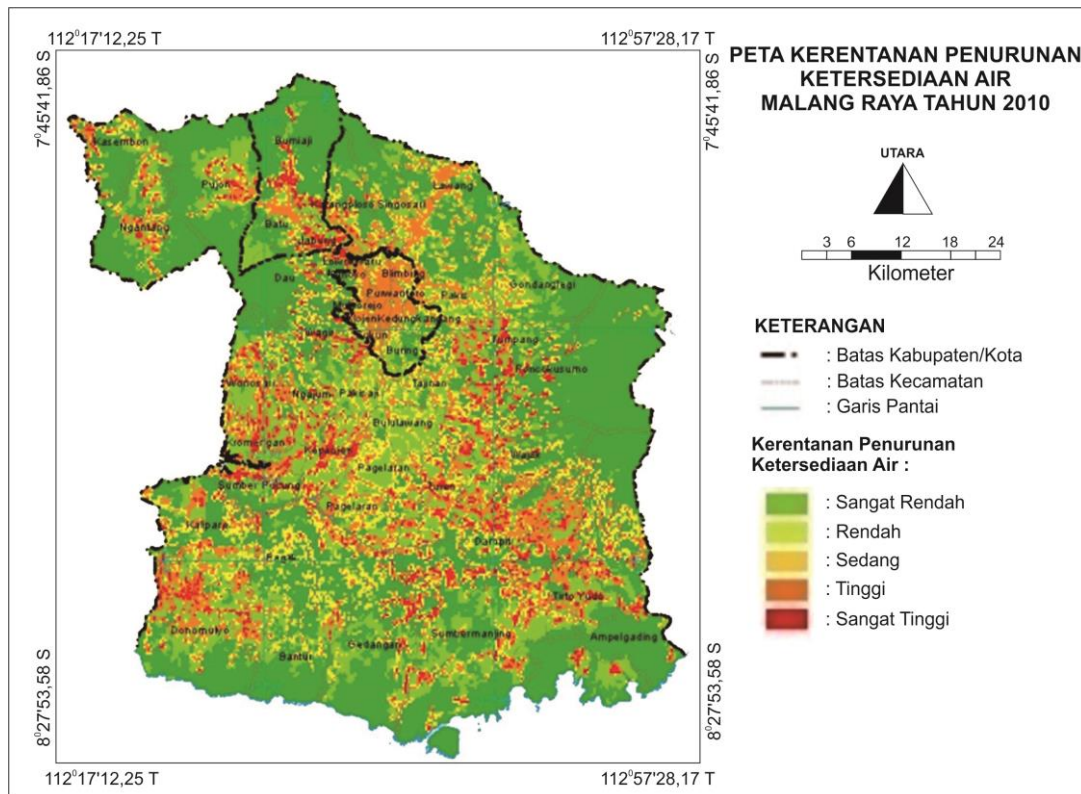
Kerentanan penurunan ketersediaan air dibagi menjadi tiga komponen yang terkait dengan indikatornya seperti ditampilkan pada Tabel 3. Pembobotan dengan metode GIS menunjukkan dampak dengan indikator kebutuhan air yang dipengaruhi oleh penduduk dan penggunaan lahan memiliki rasio terbesar. Pembobotan ini digunakan sebagai bahan pembuatan peta kerentanannya pada Gambar 17a dan Gambar 17b.

Tabel 3. Pembobotan komponen dan indikator kerentanan penurunan ketersediaan air.

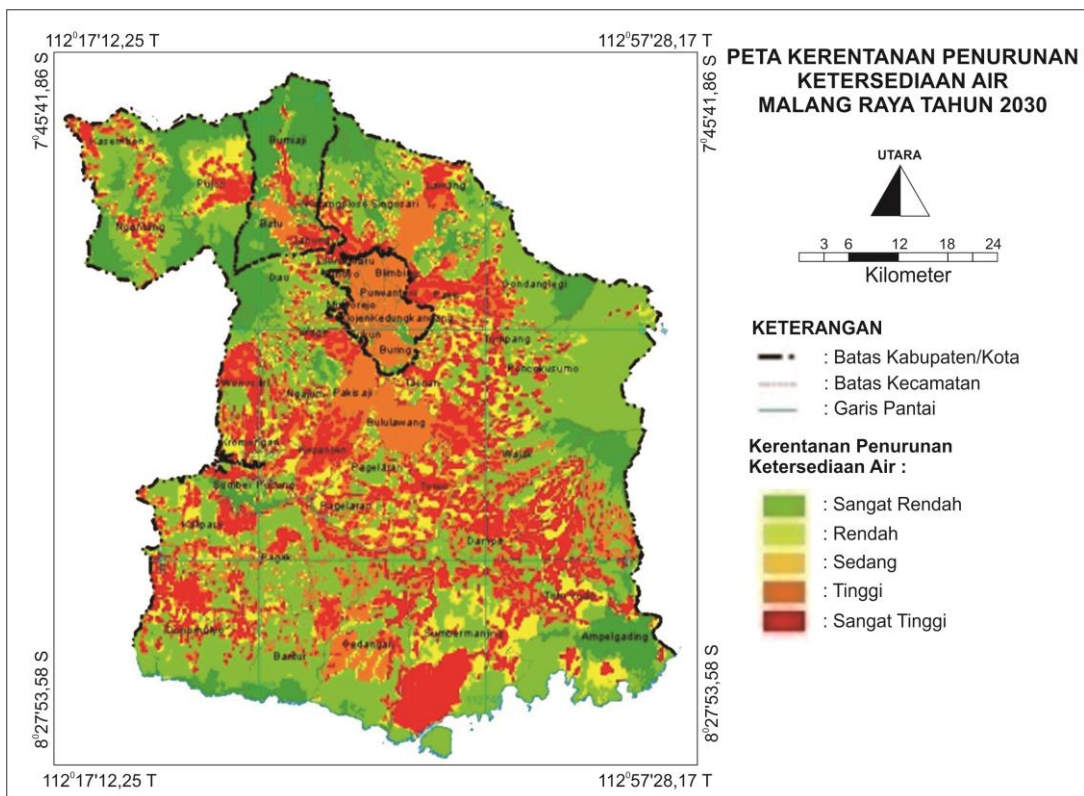
Komponen	Indikator	Rasio
Dampak	Kebutuhan air (penduduk dan penggunaan lahan)	0,5
Sensitivitas	Sumber air	0,32
Kapasitas Adaptasi	Kesejahteraan penduduk	0,18

Malang memperlihatkan kerentanan yang bervariasi dari sangat rendah ke sangat tinggi. Kontribusi terbesar terhadap kerentanan adalah kepadatan penduduk dan penggunaan lahan. Gambar 17a memperlihatkan kerentanan penurunan ketersediaan air di Malang pada tahun 2010. Bagian tengah dipengaruhi pusat kegiatan penduduknya memperlihatkan distribusi kerentanan sedang hingga tinggi, terutama di pusat ibukota kecamatan.

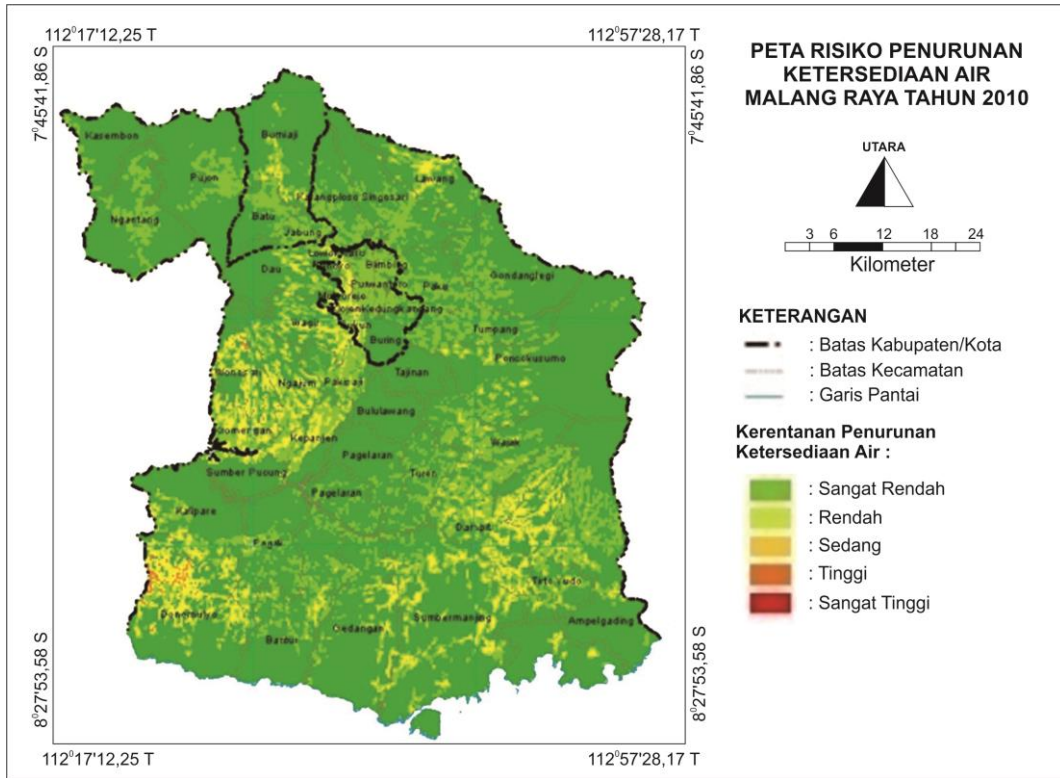
Pada tahun 2030, kerentanan penurunan ketersediaan semakin meningkat secara signifikan menjadi sangat tinggi (Gambar 17b). Daerah yang mengalami peningkatan signifikan intensitas kerentanan rendah menjadi sangat tinggi meliputi Sumbermanjing, Gondangdia, Lawang, Dampit, Donomulyo, Pagak, Sumberpucung, Wonosari. Yang paling banyak berubah pada kondisi proyeksi adalah



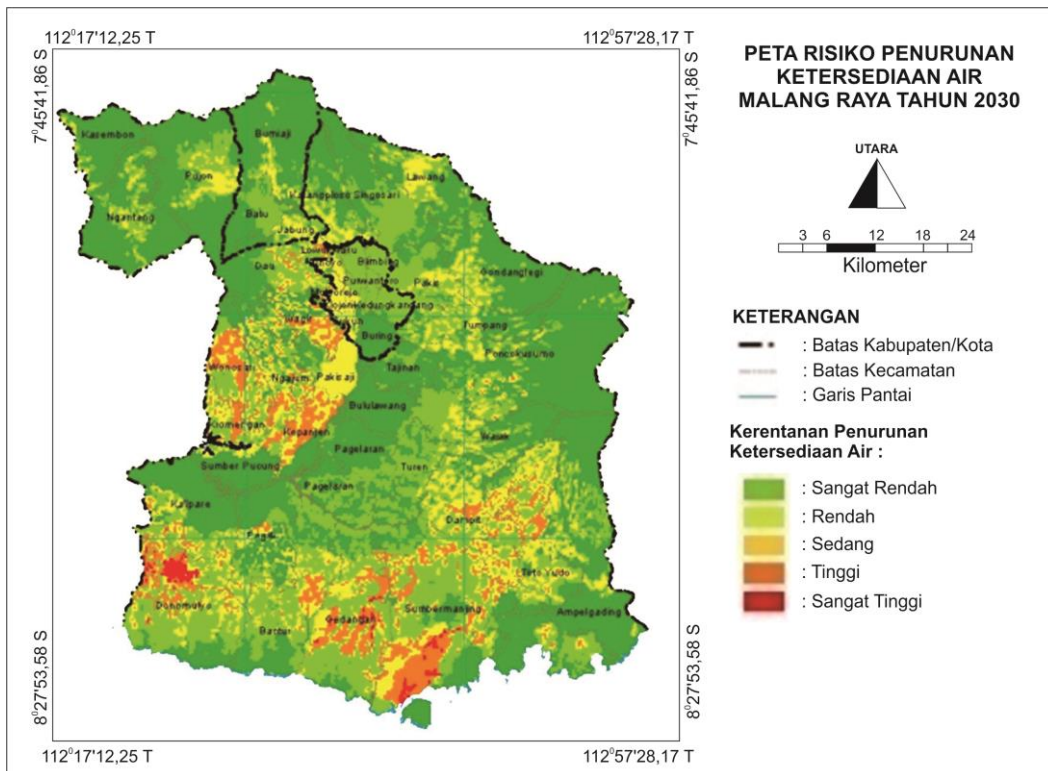
Gambar 17a. Peta kerentanan penurunan ketersediaan air Tahun 2010.



Gambar 17b. Peta kerentanan penurunan ketersediaan air Tahun 2030.

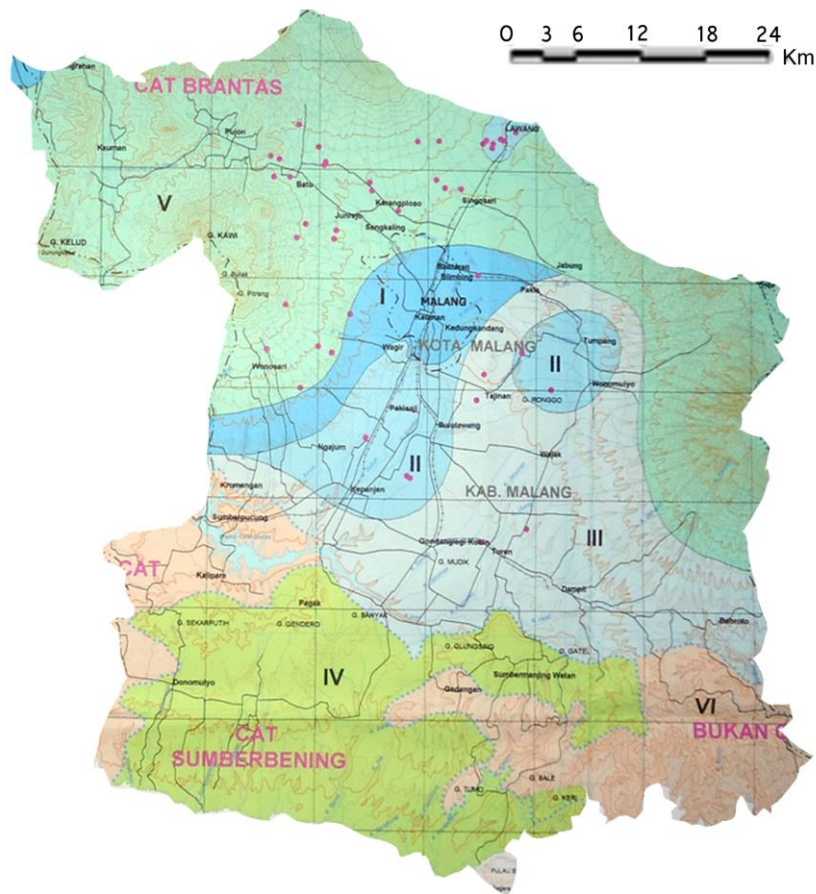


Gambar 18a. Peta risiko penurunan ketersediaan air di Malang Tahun 2010.



Gambar 18b. Peta risiko penurunan ketersediaan air di Malang Tahun 2030.





Gambar 19. Peta konservasi airtanah Malang 2003 (modifikasi dari Warsito, 2003).

peningkatan intensitas kerentanan sedang hingga kerentanan sangat tinggi.

Melalui fungsi bahaya dan kerentanan diolah dan dianalisis dengan metode GIS, risiko penurunan ketersediaan air pada tahun 2010 dinilai sangat rendah hingga rendah (Gambar 18a). Risiko penurunan ketersediaan air tahun 2010 didominasi tingkat intensitas risiko sedang. Peningkatan risiko ditemukan di bagian selatan dan tengah ke barat pada jalur aliran sungai Brantas pada tahun 2030 (Gambar 18b). Perubahan iklim secara tidak langsung atau lebih lambat mempengaruhi airtanah dibandingkan dengan air permukaan. Airtanah dapat berperan sebagai komponen adaptasi terhadap perubahan iklim. Potensi airtanah dalam Konservasi Airtanah Daerah Madiun-Kediri-Malang, Jawa Timur (Gambar 19) yang dipetakan oleh Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan (sekarang Pusat

Airtanah dan Geologi Tata Lingkungan, Badan Geologi, Kementerian Energi dan Sumberdaya Mineral) tahun 2003 menunjukkan dua Cekungan Airtanah (CAT) yang ada di Malang. Tabel 4 merupakan zonasi konservasi dengan membagi batas akuifer hingga kedalaman 40 mbmt (meter di bawah muka tanah).

Tabel 4. Zonasi konservasi airtanah Malang (Warsito, 2003).

ZONA		Akuifer < 40 mbmt	Akuifer >40 mbmt
I	Aman, potensi tinggi	3,5	400
		m <sup>3</sup> /hari/sumur Interval min. 10 m	m <sup>3</sup> /hari/sumur Interval min. 75 m
II	Aman, potensi sedang	3,5	250
		m <sup>3</sup> /hari/sumur Interval min. 10 m	m <sup>3</sup> /hari/sumur Interval min. 100 m
III	Aman, potensi	3,5	75
		m <sup>3</sup> /hari/sumur	m <sup>3</sup> /hari/sumur



	rendah	Interval min. 10 m	Interval min. 100 m
IV	Aman, potensi rendah, setempat potensi tinggi	<30 mbmt: 30 m <sup>3</sup> /hari/sumur Interval min. 10 m	
V	Daerah resapan	<30 mbmt: 30 m <sup>3</sup> /hari/sumur Interval min. 20 m	
VI	Airtanah langka	Tidak dikembangkan dan difungsikan sebagai pendukung daerah resapan	

Melihat peta proyeksi risiko penurunan ketersediaan airtanah tahun 2030 yang intensitasnya meningkat ke arah selatan dan peta konservasi airtanah yang dapat berkontribusi sebagai adaptasi terhadap perubahan iklim di bagian tengah pada zona konservasi I-III. Mengingat belum ada data mutakhir airtanah di Malang maka perlu dilakukan identifikasi dan inventarisasi potensi airtanah lintas sektoral dari semua pihak yang berkepentingan baik pemerintahan, akademisi, masyarakat, maupun swasta.

## KESIMPULAN

Penurunan ketersediaan air di Malang pada tahun 2030 memperlihatkan kecenderungan yang sama dengan hasil proyeksi IPCC untuk wilayah Asia Tenggara pada abad ke-21 dengan potensi berkurangnya air sebesar 4,4 juta meter kubik setiap tahun. Faktor dominan yang berkontribusi terhadap kerentanannya adalah oleh kepadatan penduduk dan penggunaan lahan. Penilaian risiko penurunan

air ketersediaan air di Malang pada tahun 2010 dan proyeksi tahun 2030 memperlihatkan peningkatan intensitas risiko dan sebarannya yang meluas di bagian selatan Malang. Mengingat airtanah dapat berkontribusi dalam adaptasi dan terakumulasi di bagian utara wilayah Malang yang mempunyai risiko penurunan ketersediaan air paling tinggi maka diperlukan pengelolaan sumberdaya air yang terpadu dan pengendalian penggunaan lahan untuk memperbesar nilai aliran airtanah. Adaptasi sederhana terhadap perubahan iklim untuk sektor air dapat diupayakan dari membangun kesadaran untuk memiliki cara berinteraksi dengan air secara sederhana seperti menghemat airdan mendaur ulang air.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (Bappenas) dan GTZ (GIZ) atas kegiatan kajian risiko adaptasi perubahan iklim sektor air tahun 2011 yang datanya digunakan dalam tulisan ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Affeltranger, B., 2006. Living with Risk: A Global Review of Disaster Reduction Initiatives. ISDR.
- Arifin, M. B., 2008. Peta Cekungan Airtanah Provinsi Jawa Timur, Skala (Scale) 1:250.000. Pusat Lingkungan Geologi, Badan Geologi, Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral, Bandung.
- Bisri, M., 2011. Konservasi Air. Upaya untuk Mengurangi Dampak Perubahan Iklim Global di Malang Raya. Paparan disampaikan pada Lokakarya Teknis Kajian Risiko dan Adaptasi Perubahan Iklim I pada tanggal 18 April 2011. Batu.
- Blaney, H. F., dan Criddle, W. D., 1950. Determining water requirements in irrigated area from climatological irrigation data. US Dept Agric., Soil Conservation Service, Tech. Paper no. 96.
- BPS (Badan Pusat Statistik) Provinsi Jawa Timur, 2016. Provinsi Jawa Timur Dalam Angka 2016. Surabaya.
- Fitts, C. R., 2013. Groundwater Science, Second Edition. Academic Press. USA.
- Hadi, T. W., Junnaedhi, I. D. G. A., dan Syahputra, M. R., 2012. Climate Change Risk and Adaptation Assessment Greater Malang – Climate Analysis and Projection.
- IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R. K., dan Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
- Kundzewicz, Z.W., L. J., Mata, N.W., Arnell, P., Döll, P., Kabat, B., Jiménez, K. A., Miller, T., Oki, Z., Sen dan I. A., Shiklomanov, 2007. Freshwater resources and their management. In: Parry, M. L., O. F.,

- Canziani, J. P., Palutikof, P. J., van der Linden dan C. E., Hanson (Eds). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 173-210.
- Poespowardoyo, R. S., 1984. Peta Hidrogeologi Indonesia Skala 1:250.000 Lembar X – Kediri. Direktorat Geologi Tata Lingkungan, Bandung.
- Setiawan, B., Abdurahman, O., Riawan, E., Puspita, N., and Iman, M. I., 2012. Climate Risk and Adaptation Assessment for the Water Sector – Tarakan. Ministry of Environment. Jakarta, Indonesia.
- Suroso, D. S. A., Abdurahman, O., Setiawan, B., 2010. Impacts of Climate Change on the Sustainability of Water Supply in Indonesia. Proceedings of the Second International Workshop on Water Supply Management System and Social Capital. March 15-16. Sepuluh November Institute of Technology. Surabaya.
- Warsito, D., 2003. Konservasi Airtanah Daerah Madiun-Kediri-Malang, Jawa Timur. Laporan No. 19/LAP/PIPA/2003. Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan, Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Departemen Energi dan Sumberdaya Mineral, Bandung.