

ANALISIS TINGKAT KEKRITISAN AIR SEBAGAI DASAR ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM UNTUK KEBERLANGSUNGAN USAHATANI PANGAN: STUDI KASUS DI PULAU SULAWESI

Woro Estiningtyas, Budi Kartiwa, Dariin Firda

Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi
Jalan Tentara Pelajar No. 1A, Kampus Penelitian Pertanian Cimanggu Bogor 16111
Email: woro_esti@yahoo.com

ABSTRACT

Analysis of Water Criticality Level as a Basis for Adaptation of Climate Change for Food Sustainability Farming: A Case Study in Sulawesi Island. Water is a major factor for the growth and sustainability of crop production. The occurrence of climate change has a significant impact on the agricultural sector including water resources. Rainfall as the main water source will change its pattern, intensity and distribution due to climate change so that it greatly affects water availability. This paper aimed to present the level of water criticality and distribution at the district/city level on Sulawesi Island. The level of water criticality was determined based on the ratio between availability and demand for water. Discharge simulations were generated based on the GR2M model. Around 32.1% of district on Sulawesi Island were still at the "critical" level, 50% at the "moderate" level and 17.9% not critical. Districts with a critical status were generally production center areas where water is needed for the sustainability of food farming. Disruption of water availability at this location will result in reduced production. Adaptation efforts need to be undertaken to minimize risks, including through the dissemination and implementation of water-saving technologies in rice cultivation, implementation of irrigation network improvement programs, improvement of critical watersheds, repair and development of irrigation infrastructure especially the development of water harvesting infrastructure (agricultural reservoir, long storage, and trench dams), determining the right time and cropping pattern and the use of adaptive varieties.

Keywords: water criticality, water availability, water demands, food farming vulnerability

ABSTRAK

Air merupakan faktor utama untuk pertumbuhan dan keberlangsungan produksi tanaman. Terjadinya perubahan iklim telah membawa dampak signifikan terhadap sektor pertanian termasuk sumberdaya air. Curah hujan sebagai sumber air utama akan mengalami perubahan pola, intensitas serta distribusinya akibat perubahan iklim sehingga sangat mempengaruhi ketersediaan air. Tujuan penulisan ini adalah menyajikan hasil analisis tingkat kekritisan air dan sebarannya pada level kabupaten/kota di Pulau Sulawesi. Tingkat kekritisan air ditentukan berdasarkan rasio antara ketersediaan dan kebutuhan air. Simulasi debit dibangkitkan berdasarkan model GR2M. Sekitar 32,1% kabupaten/kota di Pulau Sulawesi masih berada pada tingkat "kritis", 50% pada tingkat "sedang" dan 17,9% belum kritis. Kabupaten/kota dengan status kritis pada umumnya merupakan daerah sentra produksi yang memerlukan air untuk keberlangsungan usahatani pangan. Gangguan ketersediaan air di lokasi ini akan berakibat pada berkurangnya produksi. Upaya adaptasi terkait sumberdaya air perlu dilakukan untuk meminimalkan risiko, antara lain melalui sosialisasi dan implementasi teknologi hemat air dalam budidaya sawah, pelaksanaan program perbaikan jaringan irigasi, perbaikan DAS kritis, perbaikan dan pengembangan infrastruktur irigasi, terutama pengembangan infrastruktur panen air (embung, *long storage*, dam parit), penentuan waktu dan pola tanam yang tepat serta penggunaan varietas yang adaptif.

Kata kunci: kekritisan air, ketersediaan air, kebutuhan air, kerentanan usahatani pangan

PENDAHULUAN

Pertanian adalah kegiatan pemanfaatan sumberdaya hayati yang dilakukan manusia untuk menghasilkan bahan pangan, bahan baku industri, sumber energi serta untuk mengelola lingkungan hidupnya. Ketersediaan pangan yang berkesinambungan sangat ditentukan oleh sumberdaya alam seperti tanah, iklim dan air didukung dengan teknologi dan usahatani pangan yang handal. Parameter iklim yang sangat erat hubungannya dengan usahatani pangan adalah curah hujan. Curah hujan menjadi sumber utama dalam penyediaan air di bumi. Pola, intensitas, dan distribusi curah hujan sangat menentukan jenis dan bentuk usahatani. Demikian juga ketersediaan air di sungai, bendung, bendungan dan bentuk tampungan air lainnya sangat dipengaruhi oleh curah hujan.

Fenomena perubahan iklim di sisi lain tidak dapat dihindari. Hal ini ditandai dengan awal musim hujan/kemarau yang sulit diprediksi, curah hujan yang tidak jelas pola dan distribusinya, peningkatan frekuensi kejadian iklim ekstrim (El-Nino dan La-Nina), kenaikan muka air laut dan intrusi air laut. Iklim saat ini memanaskan sangat cepat dibandingkan dengan peristiwa pemanasan masa lalu. Dalam jutaan tahun terakhir, suhu bumi meningkat 4 – 7 °C untuk setiap 5000 tahun (Deb Pal *et al.*, 2019). Perubahan iklim dan pertanian adalah proses yang saling terkait, keduanya berlangsung dalam skala global (Paryatha, 2014). Pemanasan global diproyeksikan berdampak signifikan pada pertanian sebagai akibat dari kenaikan suhu, karbon dioksida, curah hujan, kenaikan permukaan laut, meningkatkan pengasaman laut, radiasi UV-B, kejadian cuaca ekstrim, hilangnya gletser, ENSO, dan interaksi elemen-elemen tersebut. Kondisi ini menentukan kapasitas biosfer untuk menghasilkan makanan yang cukup bagi populasi manusia dan hewan peliharaan. Pertanian merupakan sektor yang paling terdampak akibat perubahan Iklim (Deb Pal *et al.*, 2019). Dampak besar dirasakan khususnya pada sub sektor tanaman pangan yang ditandai dengan tingkat kerentanan usahatani pangan

(Estiningtyas *et al.*, 2016). Hasil penelitian telah banyak dilakukan terkait dengan dampak perubahan iklim pada tanaman (Zinyengere *et al.*, 2017; Smith dan Almaraz, 2004; Kukal *et al.*, 2018; Thornton *et al.*, 2018; Eitzinger *et al.*, 2012; Kinose dan Masutomi 2019; Xing-Guo *et al.*, 2017; Hay, 2019). Tantangan pertanian dalam konteks perubahan iklim adalah dua kali lipat, baik untuk mengurangi emisi maupun untuk beradaptasi terhadap perubahan iklim (Smith dan Olesen, 2010).

Dampak perubahan iklim juga mengancam sumberdaya air. Kelangkaan air adalah masalah global utama. Tekanan pada sumber daya air akan diperburuk oleh peningkatan populasi dan juga oleh perubahan iklim (Gosling dan Arnell, 2013). Berbagai penelitian mengeksplorasi bagaimana kedua faktor ini dapat mempengaruhi kelangkaan air global di masa depan dengan menggunakan proyeksi populasi dan simulasi perubahan iklim dari model iklim global (GCMs) dengan model sumber daya air (Alcamo *et al.*, 2007; Arnell 2004; Arnell *et al.*, 2011; Gosling *et al.*, 2010; Hayashi *et al.*, 2010; Oki dan Kanae 2006; Shilong *et al.* 2010; Zachariadis 2010; Kartiwa *et al.*, 2013). Dampak perubahan iklim terhadap sumberdaya air juga terlihat dari terjadinya penurunan debit sungai Krueng Aceh yang ditandai kemungkinan debit aliran lebih kecil dari 18,77 m³/s dan menurunkan debit andalan terutama pada periode April-Desember sebesar 23,5% (Ferijal *et al.*, 2016).

Secara umum kondisi sumber daya air dalam suatu wilayah dipengaruhi oleh kondisi Daerah Aliran Sungai (DAS), hidrologi dan sumber air, penggunaan air dalam kondisi normal, tingkat efisiensi penggunaan air, kualitas, dan aspek-aspek sosial ekonomi, kelembagaan dan pengaturan (hukum). Sebaran Sumber Daya Air (SDA) di Indonesia tidak merata. Walaupun Indonesia memiliki cadangan yang cukup besar sekitar 2350 Kilometer Kubik (No. 5 di dunia), namun jumlah ini lebih banyak tersebar di bagian barat sementara bagian timur merupakan daerah yang rawan terhadap kekeringan (Munir, 2010). Pada umumnya tingkat ketersediaan air di

beberapa pulau di Indonesia masih dalam kategori ‘tanpa tekanan’ kecuali Pulau Jawa yang memiliki kepadatan penduduk tertinggi dan juga merupakan sentra produksi padi dengan kebutuhan air yang cukup tinggi dan sejak tahun 2000 sudah masuk dalam status “scarcity” atau langka (Bappenas, 2019).

Indonesia termasuk 10 negara kaya air, namun dalam pemanfaatannya terdapat permasalahan mendasar yang masih terjadi. Pertama, adanya variasi musim dan ketimpangan spasial ketersediaan air. Pada musim hujan, beberapa bagian di Indonesia mengalami kelimpahan air luar biasa besar sehingga berakibat terjadinya banjir dan kerusakan lain yang ditimbulkannya, di sisi lain pada musim kemarau kekurangan air dan kekeringan menjadi bencana di beberapa wilayah. Kedua, terbatasnya jumlah air yang dapat dieksplorasi dan dikonsumsi, sedangkan jumlah penduduk Indonesia yang terus bertambah menyebabkan kebutuhan air baku meningkat secara drastis (Wahyunto, 2005 *dalam* Las *et al.*, 2011).

Peta sebaran ketersediaan air wilayah sungai berdasarkan klasifikasi ketersediaan air perkapita yang dikeluarkan oleh Kementerian PUPR (PUPR, 2016) memperlihatkan Pulau Sulawesi memiliki status ketersediaan air wilayah sungai pada tingkat ‘tanpa tekanan’. Kondisi ini menunjukkan ketersediaan air di Pulau Sulawesi relatif masih aman untuk memenuhi berbagai kebutuhan. Demikian juga berdasarkan data yang dikeluarkan Bappenas dalam Kajian Lingkungan Hidup Strategis (KLHS) RPJM 2019 (Bappenas, 2019) menunjukkan bahwa sejak tahun 2000 dan proyeksinya hingga tahun 2040 dan 2045 ketersediaan air untuk Pulau Sulawesi masih dalam katagori tidak ada tekanan dengan potensi air >1700 m³/kapita/tahun. Berdasarkan data dari Sub Direktorat Hidrologi, Departemen Kimpraswil tahun 2000, kebutuhan air di musim kemarau untuk Pulau Sulawesi sekitar 9,7 milyar m³ atau 12,8% dari total kebutuhan Pulau-pulau besar di Indonesia yang sebesar 75,6 milyar m³, sedangkan ketersediaannya sebesar 14,4 milyar m³ (3% dari total ketersediaan pulau-pulau besar

di Indonesia yang sebesar 483,1 milyar m³), sehingga untuk Pulau Sulawesi masih surplus, sedangkan untuk Pulau Jawa, Bali dan Nusa Tenggara mengalami defisit (Pasandaran, 2006).

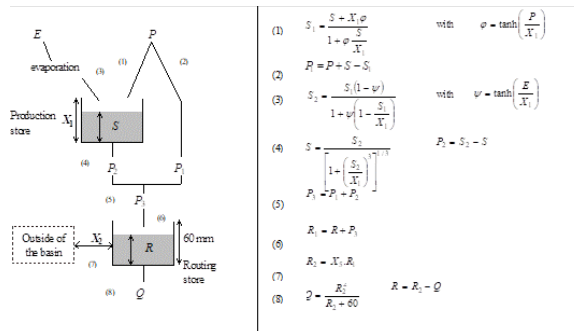
Mengingat dampak perubahan iklim yang cukup signifikan terhadap sumberdaya air, maka diperlukan upaya antisipasi dan adaptasi dalam rangka meminimalkan risiko. Tersedianya informasi ketersediaan dan kebutuhan air pada level kabupaten/kota akan sangat membantu dalam pengelolaan sumberdaya air. Tujuan penulisan ini adalah menyajikan hasil analisis dan sebaran tingkat kekritisian air pada level kabupaten/kota di Pulau Sulawesi sebagai dasar dalam melakukan adaptasi terhadap perubahan iklim untuk mendukung keberlangsungan usaha tani pangan.

METODE

Analisis Ketersediaan Air

Ketersediaan air dihitung dari potensi air berasal dari aliran sungai yang mengalir di setiap kabupaten sebelum bermuara ke laut. Besaran aliran sungai pada tiap kabupaten dihitung berdasarkan pembobotan luas kabupaten terhadap luas DAS. Debit sungai yang mengalir pada outlet DAS disimulasi menggunakan model debit.

Simulasi debit dibangkitkan berdasarkan aplikasi model *Global Rainfall-Runoff Model* (GR2M) (Mouelhi *et al.*, 2006). Model ini merupakan model debit sederhana berbasis data bulanan yang hanya membutuhkan 2 (dua) parameter model dan dapat dikalibrasi menggunakan pasangan data hujan dan data debit bulanan yang terekam pada suatu DAS. Kedua parameter tersebut adalah: X1, yaitu kapasitas simpanan kelembaban tanah (SMC) (mm) dan X2 yaitu koefisien tukar air bawah tanah (Gambar 1).



Gambar 1. Model GR2M (Mouelhi *et al.*, 2006)

Analisis Kebutuhan Air

Kebutuhan air dihitung dari beberapa pengguna yang mencakup kebutuhan rumah tangga, pertanian, dan industri. Penentuan kebutuhan air yang diperhitungkan adalah kebutuhan air primer yaitu domestik dan pertanian. Kebutuhan air untuk domestik digunakan asumsi bahwa untuk daerah perkotaan sebesar 103 liter/orang/hari, sedangkan untuk daerah pedesaan sebesar 68 liter/orang/hari (Martopo, 1991). Menurut Martopo (1991), kebutuhan air domestik adalah banyaknya air yang digunakan suatu rumah tangga setiap hari untuk kebutuhan rumah tangga seperti minum, memasak, mandi, mencuci, sanitasi, membersihkan rumah, membersihkan peralatan atau barang, memberi minum ternak, menyiram halaman, dan berbudu yang diukur dengan liter per kapita per hari.

Menurut penetapan yang dilakukan Dinas Pekerjaan Umum, kebutuhan irigasi lahan sawah di Indonesia sebesar satu liter per detik per hektar yang dihitung dari asumsi bahwa laju kehilangan air karena perkolasi berada dalam kisaran 1-2 mm per hari (Notohadiprawiro, 1992).

Analisis Indeks Kekritisan Air

Kekritisan sumberdaya air merupakan salah satu masalah lingkungan hidup yang disebabkan oleh proses antropogenik. Terjadinya kekritisan air disebabkan oleh kebutuhan air yang selalu

meningkat dari waktu ke waktu sehingga melebihi ketersediaan air yang dapat dimanfaatkan.

Ketersediaan air adalah jumlah air yang diperkirakan terus menerus ada dalam DAS dengan jumlah tertentu dan dalam jangka waktu tertentu. Ketersediaan air yang dapat dimanfaatkan yaitu berupa aliran mantap, yakni aliran yang selalu ada setiap waktu dalam tahun rerata, sedangkan kebutuhan air adalah jumlah air yang dipergunakan oleh manusia untuk keperluan rumah tangga, pertanian, industri, perikanan, pembentukan tenaga hidrologi dan navigasi serta rekreasi. Penentuan ketersediaan air berdasarkan aliran mantap dapat dilakukan dengan menggunakan imbalan air rerata tahunan.

Dengan diketahui besar ketersediaan dan kebutuhan air pada suatu wilayah maka dapat dilakukan evaluasi untuk menentukan indeks kekritisan air. Indeks kekritisan air adalah angka yang menunjukkan prosentase perbandingan antara kebutuhan dan ketersediaan air. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$IKA = \frac{W_n}{W_s} \times 100\%$$

Keterangan:

IKA : Indeks Kekritisan Air (%)

W_n : Jumlah Kebutuhan Air (m^3)

W_s : Jumlah Ketersediaan Air (m^3)

(Sumber: Direktorat Bina Program 1984 dalam Martopo, 1991).

Klasifikasi indeks kekritisan air dapat dikelompokkan menjadi 4 kelas seperti yang disajikan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi indeks kekritisan air

Indeks Kekritisan Air	Klasifikasi
< 50 %	Belum Kritis
50 % - 75%	Mendekati Kritis
75% - 100%	Kritis
>100%	Sangat Kritis

Sumber: Direktorat Bina Program, 1984 dalam Martopo, 1991

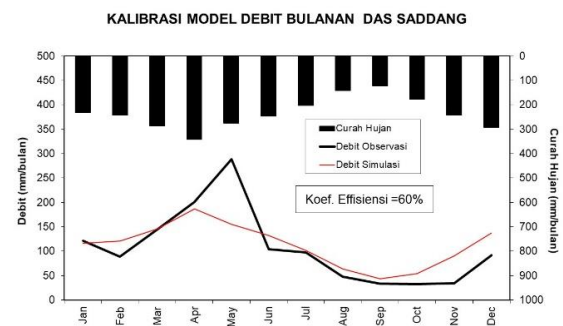
Data tingkat kekritisitas air merupakan salah satu data yang mewakili indikator Indeks Keterpaparan dan Sensitivitas (IKS) yang menjadi salah satu indikator penilaian tingkat kerentanan selain data iklim dan sosial ekonomi. Kerentanan adalah derajat atau tingkat kemudahan suatu sistem terkena atau ketidakmampuannya menghadapi dampak buruk dari perubahan iklim, termasuk keragaman dan iklim ekstrem (IPCC, 2001).

Tingkat kerentanan usahatani pangan terhadap perubahan iklim merupakan fungsi dari Indeks Kapasitas Adaptasi (IKA) dan IKS. Untuk setiap indikator dilakukan pembobotan menggunakan metode *expert judgement* berdasarkan tingkat kontribusinya terhadap IKA dan IKS dan indeks diberi nilai dengan kisaran 0-1. Untuk melakukan penilaian tingkat kerentanan dilakukan plotting indeks IKA dan IKS dalam bentuk kuadran sehingga diperoleh 5 (lima) kelompok tingkat kerentanan, yaitu: sangat rendah (1), tinggi (2), sedang (3), rendah (4), dan sangat tinggi (5).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tingkat Kekritisitas Air

Hasil kalibrasi model GR2M di DAS Saddang disajikan pada Gambar 2. DAS Saddang berada di wilayah Kabupaten Pinrang dan sebagian wilayah Kabupaten Toraja. Hasil kalibrasi menunjukkan nilai kemiripan sebesar 60%, sehingga Model GR2M layak digunakan untuk mensimulasi ketersediaan air berdasarkan skenario perubahan input hujan.



Gambar 2. Kalibrasi model debit bulanan DAS Saddang menggunakan Model GR2M

Berdasarkan hasil analisis, ketersediaan air di Pulau Sulawesi sebesar 24,443.0 juta meter kubik (MCM, *million meter cubic*), sedangkan kebutuhannya mencapai 15,880.2 MCM. Pulau Sulawesi memiliki nilai indeks kekritisitas air 65, sehingga masuk dalam kriteria mendekati kritis. Provinsi yang memiliki kriteria mendekati kritis, antara lain Sulawesi Utara, Gorontalo, Sulawesi Tengah, Sulawesi Tenggara, dan Sulawesi Selatan yang ditandai dengan nilai indeks kekritisitas antara 61,4 hingga 71,4. Provinsi Sulawesi Barat masuk dalam kategori kritis, dengan nilai indeks mencapai 75,5.

Lokasi Provinsi Sulawesi Utara terdapat dua kabupaten yang masuk kategori belum kritis yaitu Kota Kotamobagu dan Siau Tagulandang Biaro, 7 kabupaten mendekati kritis yaitu Bolaang Mongondow, Bolaang Mongondow Selatan, Bolaang Mongondow Timur, Bolaang Mongondow Utara, Kepulauan Talaud, Kota Manado, dan Kota Tomohon. Enam kabupaten sudah masuk kategori kritis meliputi Kepulauan Sangihe, Kota Bitung, Minahasa, Minahasa Selatan, Minahasa Tenggara, dan Minahasa Utara.

Terdapat empat kabupaten di Provinsi Gorontalo, yang masuk kategori belum kritis yaitu Boalemo, Gorontalo, Gorontalo Utara dan Kota Gorontalo, sedangkan Kabupaten Pohuwato dan Bone Bolango masuk kategori kritis.

Wilayah Provinsi Sulawesi Tengah memiliki 4 (empat) kabupaten kriteria belum kritis meliputi Poso, Morowali Utara, Sigi, dan Kota Palu, 3 (tiga) kabupaten masuk kategori mendekati kritis yaitu Kabupaten Banggai Kepulauan, Toli-Toli, dan Parigi Moutong, sementara 6 (enam) kabupaten masuk kategori kritis adalah Banggai, Morowali, Donggala, Buol, Tojo Una-Una, dan Banggai Laut.

Kabupaten Konawe, Wakatobi dan Kota Baubau tercatat sebagai wilayah dengan kategori belum kritis untuk Provinsi Sulawesi Tenggara. Lima kabupaten mendekati kritis meliputi Buton, Muna, Kolaka, Konawe Selatan, dan Konawe Kepulauan. Enam kabupaten selanjutnya masuk kategori kritis mencakup Bombana, Kolaka Utara, Buton Utara, Konawe Utara, Kolaka Timur, dan Kota Kendari.

Terdapat 5 (lima) kabupaten yang termasuk kategori belum kritis di Provinsi Sulawesi Selatan, antara lain Pinrang, Enrekang, Tana Toraja, Toraja Utara, dan Kota Parepare. 16 kabupaten sudah masuk kategori mendekati kritis yaitu Bulukumba, Bantaeng, Jeneponto, Takalar, Gowa, Sinjai, Maros, Pangkajene, Kepulauan Barru, Bone, Soppeng, Wajo, Sidenreng Rappang, Luwu, Luwu Utara, dan Luwu Timur. Tiga kabupaten/kota masuk kategori kritis meliputi Kepulauan Selayar, Kota Makassar, dan Kota Palopo.

Provinsi Sulawesi Barat mempunyai 4 (empat) wilayah dengan kategori mendekati kritis yaitu Polewali Mandar, Mamasa, Mamuju, dan Mamuju Tengah, sedangkan 2 (dua) kabupaten masuk kategori kritis adalah Majene dan Mamuju Utara. Contoh hasil analisis kekritisan air disajikan dalam Tabel 2-4, sedangkan sebaran tingkat kekritisan kabupaten/kota seluruh Pulau Sulawesi disajikan dalam Gambar 3.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, ketersediaan air pada level kabupaten/kota di Pulau Sulawesi menunjukkan sekitar 32,1% kabupaten/kota yang berada pada kategori “kritis”, selebihnya pada kategori “mendekati kritis” (50%), dan “belum kritis” (17,9%). Kabupaten/kota dengan kategori kritis

mengindikasikan bahwa kebutuhan air di wilayah tersebut jauh lebih besar dibandingkan dengan ketersediaannya. Dengan kata lain Neraca Sumber Daya Air (NSDA) (*water budget*) pada kondisi defisit.

NSDA adalah perbandingan antara ketersediaan air dan kebutuhan air yang menyatakan tiga kondisi, yaitu: defisit, krisis, atau berlebih (surplus). NSDA menggambarkan risiko ketersediaan air. Ketidaksetimbangan NSDA akan menyebabkan serangkaian risiko atau dampak terhadap ketersediaan air seperti gangguan pada pasokan beberapa sumber air dalam jangka waktu pendek terutama sumber-sumber air yang berhubungan langsung dengan curah hujan seperti embung, air sungai, mata air lokal, dan air tanah akifer bebas. Dampak lanjutannya dapat berupa penurunan pasokan air bersih keperluan penduduk sehari-hari, air baku untuk pertanian, industri, dan lainnya.

NSDA defisit berisiko menurunkan ketersediaan air yang lebih parah. NSDA yang defisit dapat menimbulkan dampak sosial akibat kekurangan air, seperti perebutan sumber-sumber air, menurunnya kinerja penduduk, penurunan produksi pertanian, industri, dan ekonomi, serta berdampak pada kesehatan penduduk (Kartiwa *et al.*, 2013). Tingkat kekritisan air pada setiap kabupaten/kota di Pulau Sulawesi menjadi data masukan untuk penilaian tingkat kerentanan usahatani pangan dan merupakan dasar penerapan teknologi adaptasi terhadap perubahan iklim (Estiningtyas *et al.*, 2016).

Kekritisan air terjadi disebabkan kebutuhan air telah melampaui ketersediaan air di suatu tempat. Dibandingkan dengan sektor lain seperti domestik dan industri yang membutuhkan air dalam jumlah relatif sedikit, kebutuhan air sektor pertanian sangat besar. Dengan demikian upaya efisiensi penggunaan air untuk pertanian akan berdampak cukup signifikan dalam memperbaiki tingkat kritis air di suatu wilayah. Menurut Sutrisno dan Hamdani (2019), pengelolaan sumber daya air harus dilakukan secara menyeluruh dari DAS tersebut dan

pengelolaannya harus tepat yaitu menerapkan konservasi lahan dan air di hulu dan pendistribusian secara hemat dan adil. Optimalisasi penggunaan sumber daya air untuk pertanian bertujuan untuk meningkatkan produksi pertanian dengan tetap memperhatikan kelestarian lingkungan seperti menjaga ekosistem sungai tetap baik, mengantisipasi kerusakan sumber daya air dan memanfaatkan secara efisien tidak berlebihan.

Berdasarkan analisis tersebut di atas, meskipun di Pulau Sulawesi tingkat kekritisian air level kabupaten/kota didominasi status “sedang”, namun ada 25 kabupaten/kota yang berstatus kritis. Seluruh 25 kabupaten/kota inilah hendaknya yang menjadi perhatian dan prioritas dalam perencanaan dan penyusunan program serta aksi adaptasi terhadap perubahan iklim.

Ketersediaan Air dan Keberlangsungan Usahatani Pangan

Dunia sedang menghadapi krisis air dengan sedikit ruang untuk melakukan perluasan lebih lanjut untuk irigasi skala besar. Oleh karena itu, perlu dilakukan peningkatan pengelolaan air untuk pertanian tidak hanya untuk mengamankan air yang dibutuhkan untuk produksi makanan (Molden *et al.*, 2007) tetapi juga untuk membangun ketahanan menghadapi risiko dan ketidakpastian terkait air di masa depan (Rockström *et al.*, 2010).

Air dan pangan merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan manusia. Usahatani pangan sangat tergantung dengan ketersediaan air, utamanya untuk budidaya tanaman pangan khususnya padi yang sangat membutuhkan air dalam pertumbuhannya. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk, maka kebutuhan pangan dan air juga akan semakin meningkat. Menurut Pasandaran (2006) dalam kurun waktu dua dasa warsa terakhir, permintaan terhadap air meningkat sebagai akibat peningkatan jumlah penduduk dan perluasan areal tanam. Intensitas tanam padi di daerah irigasi di Pulau Jawa meningkat dari 1,71 menjadi 1,79, sedangkan di

luar Jawa meningkat dari 1,63 menjadi 1,70. Apabila kecepatan perubahan besarnya suplai air tidak dapat memenuhi kecepatan perubahan permintaan dan pola distribusinya tidak berubah maka akan terjadi kekurangan air atau kekeringan pada areal tanam di Daerah Aliran Sungai (DAS) (Pasandaran *et al.*, 2001).

Terkait dengan tingkat kekritisian air, masalah yang perlu mendapat prioritas adalah pemulihan kemampuan berbagai sumberdaya alam yang mengalami degradasi dalam DAS. Menurut Pasandaran (2006), konsep pemulihan DAS perlu dilihat dalam perspektif jangka Panjang sebagai upaya memelihara kemampuan optimal DAS secara berlanjut. Konsep pemulihan DAS yang efektif adalah dengan melakukan rehabilitasi DAS melalui upaya penghijauan kembali (reboisasi) pada zona prioritas yaitu wilayah yang berkontribusi terhadap terjadinya debit banjir.

Zona prioritas tersebut umumnya berada pada wilayah tengah DAS hingga bagian hulu. Upaya lain dapat dilakukan dengan membangun bangunan konservasi air seperti DAM penahan, dam parit, terasering, ataupun menerapkan budidaya pertanian yang memperhatikan aspek konservasi tanah dan air. Selain itu pula penerapan pengelolaan air ramah lingkungan seperti teknik irigasi *Alternate Wetting and Drying* (AWD) pada lahan sawah maupun irigasi hemat air pada lahan kering, dapat berdampak secara signifikan dalam menurunkan tingkat kekritisian air di suatu wilayah.

Indonesia memiliki sumber daya air sangat besar yang dengan keragaman spasial dan temporalnya memerlukan kajian hidrologi dan sumber daya air lebih intensif dan sistematis untuk banyak tujuan meliputi perencanaan, pengembangan, pengelolaan, dan keberlanjutannya. Dalam menghadapi dampak perubahan iklim terhadap sektor pertanian, diperlukan strategi yang tepat, salah satunya melalui pengembangan pertanian adaptif terhadap perubahan iklim, yaitu praktek-praktek pertanian yang telah memperhitungkan aspek iklim mulai

dari perencanaannya. Sebagai contoh Kementerian Pertanian telah menghasilkan Kalender Tanam Terpadu yang di dalamnya terdapat informasi tentang awal tanam yang disarankan berdasarkan kondisi curah hujan serta rekomendasi lainnya. Harapannya informasi dan rekomendasi dalam Sistem Informasi Kalender Tanam ini dapat diikuti dan diterapkan oleh petani dan pelaku pertanian di lapangan untuk meminimalkan risiko dan produksi tetap baik dan bahkan meningkat.

Ketersediaan air yang pada umumnya melimpah di musim hujan perlu dipanen misalnya melalui embung, dam parit, *long storage* agar dapat dimanfaatkan pada musim kemarau sehingga dapat dilakukan penanaman untuk peningkatan indeks pertanaman (IP). Implementasi dari pendekatan dan teknologi ini telah diterapkan melalui hasil penelitian Heryani *et al.* (2013) pada lahan kering dan lahan tadah hujan di Desa Limampocoe, Kecamatan Cenrana, Kabupaten Maros, Sulawesi Selatan, lahan yang biasa mengalami kekeringan pada musim kemarau dan banjir pada musim hujan dapat ditingkatkan indeks pertanamannya dari 100 menjadi 250.

Peningkatan indeks pertanaman dapat dilakukan karena air tersedia hasil eksplorasi dari bagian hulu yang dialirkan ke lahan pertanian, sehingga tanam ke-2 bisa dilakukan. Selain itu hasil penelitian Harmanto (2019) menunjukkan bahwa wilayah demfarm pertanian korporasi pada lahan 1000 hektar sawah di Karawang, Jawa Barat yang biasanya kekeringan pada MK III karena kehabisan air irigasi atau IP-200, dapat ditingkatkan menjadi IP-300 dengan menahan air buangan untuk dijadikan sumber irigasi di musim tanam ketiga.

Prinsip penting dalam pengelolaan air adalah meningkatkan ketersediaan air dan melakukan efisiensi penggunaan air sehingga dapat memperpanjang masa tanam atau meningkatkan indeks pertanaman (Sutrisno dan Hamdani 2019). Menurut Sharma *et al.* (2010) efisiensi penggunaan air mampu meningkatkan

produksi hingga 50% untuk beberapa tanaman di daerah tadah hujan seperti sorgum, kacang tanah, dan kedelai.

Strategi Antisipasi dan Adaptasi

Iklim Indonesia yang bersifat kompleks dan dinamis merupakan kondisi yang akan terus berubah dengan hadirnya perubahan dan kejadian iklim ekstrem. Sektor pertanian yang paling rentan menerima konsekuensi berupa dampak cukup signifikan. Dampak perubahan iklim terhadap ketahanan pangan nasional terjadi secara runtut, mulai dari pengaruh negatif terhadap sumberdaya (lahan dan air), infrastruktur pertanian (irigasi) hingga sistem produksi melalui produktivitas, luas tanam dan panen. Oleh karena itu perlu dilakukan antisipasi dengan melakukan pemantauan terhadap anomali dan perubahan iklim melalui sumber-sumber informasi seperti Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), perencanaan dan penyesuaian aktifitas usahatani berdasarkan perkembangan kondisi iklim.

Beberapa teknologi adaptasi dalam menghadapi ancaman kelangkaan ketersediaan air akibat dampak perubahan iklim di antaranya adalah penyesuaian waktu tanam dan pola tanam berdasarkan Kalender Tanam. Penyesuaian waktu dan pola tanam merupakan upaya yang sangat strategis dalam pendekatan adaptasi guna mengurangi atau menghindari dampak perubahan iklim, akibat pergeseran musim dan perubahan pola curah hujan akibat perubahan iklim global. Sebagai contoh di Kabupaten Mamuju Sulawesi Barat hasil tanaman padi dengan pola biasa yang dilakukan petani menghasilkan 5 ton/ha, sedangkan apabila mengikuti Kalender Tanam produksi hasil dapat mencapai 7,7 ton/ha, sementara di Maros 6,2 ton/ha dengan pola biasa dan 7,4 ton/ha dengan menerapkan Kalender Tanam (Balitbangtan 2020 dalam Estiningtyas *et al.*, 2020).

Teknologi lainnya dalam rangka adaptasi terhadap perubahan iklim adalah penggunaan varietas yang adaptif terhadap kekeringan, genangan, salinitas, dan hama penyakit.

Berdasarkan data deskripsi varietas padi (Wahab *et al.*, 2017), varietas unggul tahan kekeringan yang direkomendasikan adaptif di lahan kering antara lain varietas Batutege, Situ Patenggang, Situ Bagendit, Inpago 4, Inpago 5, Inpago 7, Inpago 8, Inpago 9, Inpago 10, Inpago 11, Inpago 12, Luhur 1, Luhur 2, Jatiluhur. Varietas unggul tahan kekeringan adaptif di lahan sawah tadah hujan antara lain varietas Batutege, Sarinah, Towuti, Dodokan, Silugonggo, Inpari 10, Inpari 11, Inpari 12, Inpari 13, Inpari 18, Inpari 19, Inpari 20, Inpari 22, Inpari 26, Inpari 27, Inpari 28, Inpari 32, Inpari 33, Inpari 38, Inpari 39, Inpari 40, Inpari 41, Inpari 42, dan Inpari 43. Varietas padi yang tahan genangan adalah Inpari 30, sedangkan yang tahan salinitas adalah Inpari 34 dan Inpari 35.

Keragaan varietas di lahan tadah hujan yang dilakukan di Kabupaten Konawe Selatan, Provinsi Sulawesi Tenggara menunjukkan bahwa Inpari 6 menghasilkan pertumbuhan yang baik dan hasil yang tertinggi (5,72 ton/ha) gabah kering panen dibandingkan Inpari 15, Inpari 30 dan Ciherang (Tando dan Asaad, 2020). Pemilihan varietas yang tepat sesuai dengan kondisi wilayah dan adaptif terhadap perubahan iklim sangat penting dalam rangka peningkatan produksi dan meminimalkan risiko.

Menurut Bananiek dan Abidin (2013), penggunaan varietas unggul dan penerapan teknologi panen merupakan teknologi yang banyak diadopsi petani. Hal ini akan mempermudah implementasinya di lapangan. Dari aspek sumberdaya air perlu dilakukan sosialisasi dan implementasi teknologi hemat air dalam budidaya sawah, pelaksanaan program perbaikan jaringan irigasi, perbaikan DAS kritis, perbaikan dan pengembangan infrastruktur irigasi, terutama pengembangan infrastruktur panen air (embung, *long storage*, dam parit, sumur dalam), irigasi hemat air serta rehabilitasi jaringan irigasi. Dalam implementasinya di lapang, aksi adaptasi tidaklah mudah. Pemahaman, pengetahuan dan ketrampilan yang berbeda-beda akan menghasilkan respon yang berbeda-beda juga. Oleh karena aksi adaptasi perlu didukung dengan peningkatan kapasitas petani/penyuluh dan pengguna lainnya serta

didukung koordinasi antar instansi/lembaga terkait.

KESIMPULAN

Neraca kebutuhan dan ketersediaan air menjadi dasar dalam penilaian tingkat kekritisan air pada level kabupaten/kota di Pulau Sulawesi yang menghasilkan 4 (empat) kategori, yaitu: “belum kritis”, “mendekati kritis”, “kritis”, dan “sangat kritis”.

Berdasarkan hasil penilaian untuk Pulau Sulawesi diperoleh 25 kabupaten/kota berada pada kategori “kritis” (32,1%), 39 kabupaten/kota pada kategori “mendekati kritis” (50%), dan 14 kabupaten/kota “belum kritis” (17,9%). Dari 25 kabupaten/kota dengan kekritisan air dalam katagori “kritis”, terdapat 4 (empat) kabupaten yang memiliki tingkat kerentanan usahatani pangan dan risiko iklim “tinggi” dan “sangat tinggi” yaitu Minahasa Selatan, Pohuwato, Bombana, dan Konawe Utara. Wilayah ini yang menjadi prioritas utama untuk program dan aksi adaptasi.

Keberlangsungan usahatani pangan perlu didukung dengan aksi adaptasi terkait ketersediaan air melalui panen air (dam parit, embung, *long storage*), serta efisiensi penggunaan air melalui pengaturan sistem pemberian air, teknik irigasi, perbaikan dan pemeliharaan infrastruktur irigasi dan DAS kritis. Selain itu juga pemilihan waktu tanam yang tepat (kalender tanam), pengelolaan tanaman terpadu, dan penggunaan varietas adaptif terhadap perubahan iklim.

Tabel 2. Ketersediaan-kebutuhan air serta indeks kekritisan air Pulau Sulawesi

No	Kabupaten	Provinsi	Ketersediaan Air (Mcm)	Kebutuhan Air (Mcm)	Indeks Kekritisan	Kriteria
1	Bolaang Mongondow	Sulawesi Utara	636,9	419,5	65,9	Mendekati Kritis
2	Minahasa	Sulawesi Utara	124,1	117,1	94,3	Kritis
3	Kepulauan Sangihe	Sulawesi Utara	2,0	1,9	96,8	Kritis
4	Kepulauan Talaud	Sulawesi Utara	25,8	15,5	60,0	Mendekati Kritis
5	Minahasa selatan	Sulawesi Utara	78,2	73,8	94,3	Kritis
6	Minahasa Utara	Sulawesi Utara	60,1	56,7	94,3	Kritis
7	Bolaang Mongondow Utara	Sulawesi Utara	189,6	140,3	74,0	Mendekati Kritis
8	Siau Tagulandang Biaro	Sulawesi Utara	5,7	2,0	35,0	Belum Kritis
9	Minahasa Tenggara	Sulawesi Utara	49,5	46,7	94,3	Kritis
10	Bolaang Mongondow Selatan	Sulawesi Utara	64,7	42,7	66,1	Mendekati Kritis
11	Bolaang Mongondow Timur	Sulawesi Utara	48,9	30,4	62,1	Mendekati Kritis
12	Kota Manado	Sulawesi Utara	163,9	100,0	61	Mendekati Kritis
13	Kota Bitung	Sulawesi Utara	2,1	2,0	94,3	Kritis
14	Kota Tomohon	Sulawesi Utara	19,7	14,2	72,2	Mendekati kritis
15	Kota Kotamobagu	Sulawesi Utara	55,5	27,0	48,7	Belum Kritis
16	Banggai Kepulauan	Sulawesi Tengah	26,4	18,7	71,0	Mendekati Kritis
17	Banggai	Sulawesi Tengah	178,4	168,2	94,3	Kritis
18	Morowali	Sulawesi Tengah	18,6	17,5	94,3	Kritis
19	Poso	Sulawesi Tengah	844,9	329,9	39,0	Belum Kritis
20	Donggala	Sulawesi Tengah	149,6	141,1	94,3	Kritis
21	Toli-toli	Sulawesi Tengah	186,2	137,6	73,9	Mendekati Kritis

Tabel 2. Ketersediaan-kebutuhan air serta indeks kekritisian air Pulau Sulawesi (lanjutan)

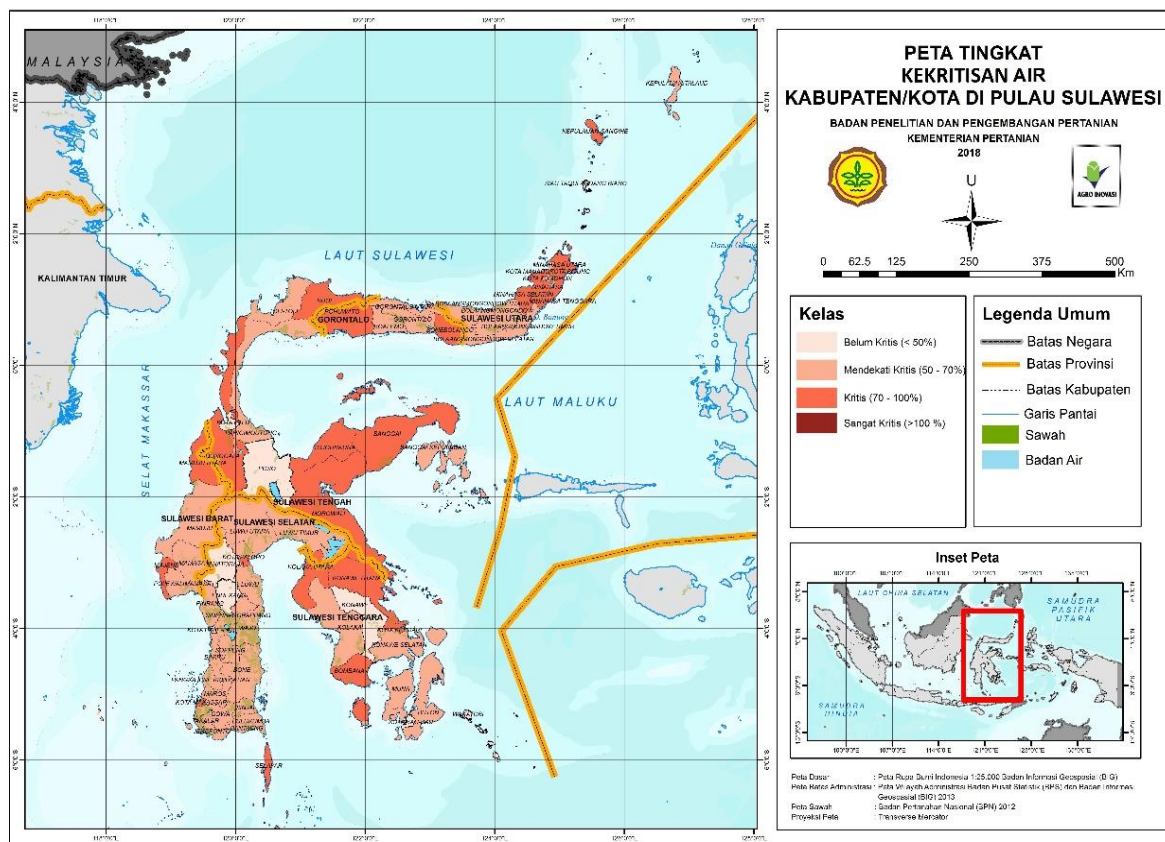
No	Kabupaten	Provinsi	Ketersediaan Air (Mcm)	Kebutuhan Air (Mcm)	Indeks Kekritisian	Kriteria
22	Buol	Sulawesi Tengah	61,5	58,0	94,3	Kritis
23	Parigi Moutong	Sulawesi Tengah	205,1	150,8	73,6	Mendekati Kritis
24	Tojo Una-una	Sulawesi Tengah	39,6	37,4	94,3	Kritis
25	Morowali Utara	Sulawesi Tengah	169,6	80,4	47,4	Belum Kritis
26	Banggai Laut	Sulawesi Tengah	3,4	3,1	92,0	Kritis
27	Sigi	Sulawesi Tengah	214,6	103,1	48,0	Belum Kritis
28	Kota Palu	Sulawesi Tengah	33,6	15,7	46,8	Belum Kritis
29	Boalemo	Gorontalo	108,9	77,3	70,9	Mendekati Kritis
30	Gorontalo	Gorontalo	380,1	218,8	57,6	Mendekati Kritis
31	Pohuwato	Gorontalo	74,8	61,1	81,7	Kritis
32	Bone Bolango	Gorontalo	35,3	33,3	94,3	Kritis
33	Gorontalo Utara	Gorontalo	140,7	102,1	72,6	Mendekati Kritis
34	Kota Gorontalo	Gorontalo	18,6	13,8	73,9	Mendekati Kritis
35	Majene	Sulawesi Barat	20,3	19,2	94,3	Kritis
36	Polewali Mandar	Sulawesi Barat	364,8	269,4	73,8	Mendekati Kritis
37	Mamasa	Sulawesi Barat	279,3	202,6	72,5	Mendekati Kritis
38	Mamuju	Sulawesi Barat	330,1	242,2	73,4	Mendekati Kritis
39	Mamuju Tengah	Sulawesi Barat	235,8	176,4	74,8	Mendekati Kritis
40	Mamuju Utara	Sulawesi Barat	98,3	92,8	94,3	Kritis
41	Kep. Selayar	Sulawesi Selatan	60,4	56,2	93,0	Kritis
42	Bulukumba	Sulawesi Selatan	552,3	353,3	64,0	Mendekati Kritis
43	Bantaeng	Sulawesi Selatan	167,7	123,2	73,5	Mendekati Kritis
44	Jeneponto	Sulawesi Selatan	439,4	265,2	60,3	Mendekati Kritis
45	Takalar	Sulawesi Selatan	427,5	255,9	59,8	Mendekati Kritis

Tabel 2. Ketersediaan-kebutuhan air serta indeks kekritisan air Pulau Sulawesi (lanjutan)

No	Kabupaten	Provinsi	Ketersediaan Air (Mcm)	Kebutuhan Air (Mcm)	Indeks Kekritisan	Kriteria
46	Gowa	Sulawesi Selatan	786,0	535,9	68,2	Mendekati Kritis
47	Sinjai	Sulawesi Selatan	419,5	249,6	59,5	Mendekati Kritis
48	Maros	Sulawesi Selatan	623,7	409,1	65,6	Mendekati Kritis
49	Pangkajene dan Kepulauan	Sulawesi Selatan	436,0	262,5	60,2	Mendekati Kritis
50	Barru	Sulawesi Selatan	398,4	233,1	58,5	Mendekati Kritis
51	Bone	Sulawesi Selatan	2330,8	1742,7	74,8	Mendekati Kritis
52	Soppeng	Sulawesi Selatan	667,1	443,1	66,4	Mendekati Kritis
53	Wajo	Sulawesi Selatan	2009,7	1491,9	74,2	Mendekati Kritis
54	Sidenreng Rappang	Sulawesi Selatan	1054,3	745,5	70,7	Mendekati Kritis
55	Pinrang	Sulawesi Selatan	1654,1	802,7	48,5	Belum Kritis
56	Enrekang	Sulawesi Selatan	356,3	170,9	48,0	Belum Kritis
57	Luwu	Sulawesi Selatan	897,6	623,1	69,4	Mendekati Kritis
58	Tana Toraja	Sulawesi Selatan	354,0	169,3	47,8	Belum Kritis
59	Luwu Utara	Sulawesi Selatan	660,3	437,7	66,3	Mendekati Kritis
60	Luwu Timur	Sulawesi Selatan	613,8	401,4	65,4	Mendekati Kritis
61	Toraja Utara	Sulawesi Selatan	560,1	240,1	42,9	Belum Kritis
62	Kota Makassar	Sulawesi Selatan	44,0	41,5	94,3	Kritis
63	Kota Pare-pare	Sulawesi Selatan	26,8	13,1	49,0	Belum Kritis
64	Kota Palopo	Sulawesi Selatan	44,8	42,3	94,3	Kritis
65	Buton	Sulawesi Tenggara	44,0	26,4	60,0	Mendekati Kritis
66	Muna	Sulawesi Tenggara	122,2	88,0	72,0	Mendekati Kritis
67	Konawe	Sulawesi Tenggara	1296,0	630,6	48,7	Belum Kritis
68	Kolaka	Sulawesi Tenggara	236,5	176,9	74,8	Mendekati Kritis
69	Konawe Selatan	Sulawesi Tenggara	616,7	364,6	59,1	Mendekati Kritis
70	Bombana	Sulawesi Tenggara	173,6	163,8	94,3	Kritis
71	Wakatobi	Sulawesi Tenggara	24,0	1,0	4,2	Belum Kritis
72	Kolaka Utara	Sulawesi Tenggara	48,1	45,4	94,3	Kritis

Tabel 2. Ketersediaan-kebutuhan air serta indeks kekritisan air Pulau Sulawesi (lanjutan)

No	Kabupaten	Provinsi	Ketersediaan Air (Mcm)	Kebutuhan Air (Mcm)	Indeks Kekritisan	Kriteria
73	Buton Utara	Sulawesi Tenggara	47,6	38,1	80,0	Kritis
74	Konawe Utara	Sulawesi Tenggara	100,4	94,7	94,3	Kritis
75	Konawe Kepulauan	Sulawesi Tenggara	100,0	57,9	57,9	Mendekati Kritis
76	Kolaka Timur	Sulawesi Tenggara	230,0	179,7	78,1	Kritis
77	Kota Kendari	Sulawesi Tenggara	22,0	20,8	94,3	Kritis
78	Kota Baubau	Sulawesi Tenggara	52,0	22,7	43,6	Belum Kritis



Gambar 3. Sebaran tingkat kekritisan air di Pulau Sulawesi

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian melalui DIPA Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi yang memberikan dana penelitian. Woro Estiningtyas dan Budi Kertiwa merupakan kontributor utama dalam penulisan ini, sedangkan Dariin Firda merupakan kontributor anggota.

DAFTAR PUSTAKA

- Alcamo, J., M. Florke, dan M. Marker. 2007. Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. *Hydrol Sci J.*, 52:247–275.
- Arnell, N.W. 2004. Climate change and global water resources: SRES emissions and socio-economic scenarios. *Glob Environ Chang*, 14:31–52.
- Arnell, N.W., D.P. van Vuuren, dan M. Isaac. 2011. The implications of climate policy for the impacts of climate change on global water resources. *Glob. Environ. Change*, 21:592 – 603.
- Bappenas. 2019. Proyeksi ketersediaan air. KLHS RPJMN 2019.
- Bappenas. 2019. Kajian lingkungan hidup strategis RPJM 2019. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20190520141416-4-73589/mengerikan-kelangkaan-absolut-2040-krisis-air-di-pulau-jawa>. Diakses tanggal 13 Februari 2020).
- Deb Pal, D., K.J. Pramod, dan N.K. Tyagi. 2019. Two-way association between agriculture and climate change dalam buku *climate smart agriculture in South Asia: technologies, policies and institutions*. Springer Nature © 2019 Springer Nature Switzerland AG. Part of Springer Nature. p. 1-16.
- Dinesh, C.U., V.R. Reddy, dan J.D. Mura. 2018. Temperature changes in book *climate change and agriculture a historical analysis*. p. 43 – 51. Springer.
- Eitzinger J, M. Trnka, D. Semerádová, dan S. Thaler. 2012. Regional climate change impacts on agricultural crop production in Central and Eastern Europe hotspots, regional differences and common trends. *The Journal of Agricultural Science*, 151(6): 787 – 812. Cambridge University Press.
- Estiningtyas, W., Suciantini, dan E. Susanti. 2020. The Efficacy of using climate data for developing food crops in wetlands: A case study from Kalimantan Island. *Proceeding of the International workshop on tropical wetlands: Innovation in Mapping and Management*. CRC Press (Taylor & Francis Group). London, UK.
- Estiningtyas, W., E. Surmaini, dan E. Susanti. 2016. Kerentanan sub-sektor tanaman pangan terhadap perubahan iklim. *Jurnal Sumberdaya Lahan Edisi Khusus*, Desember 2016. ISSN 1907-0799.
- Ferijal, T., M. Mustafiril, dan D.S. Jayanti. 2016. Dampak perubahan iklim terhadap debit andalan Sungai Krueng Aceh. *Rona Teknik Pertanian, Jurnal Ilmiah dan Penerapan Keteknikan Pertanian*, 9(1): 50 – 61.
- Gosling, S.N., D. Bretherton, K. Haines, dan N.W. Arnell. 2010. Global hydrology modelling and uncertainty: running multiple ensembles with a campus grid. *Philos Trans R Soc A Math Phys Eng Sci.*, 368:4005 – 4021.
- Harmanto, A.H. 2019. Progress of development of irrigation means longstorage demfarm agriculture corporation of Karawang. Ministry of Agriculture.
- Hay, J. 2019. Extreme weather and climate events, and farming risks in managing weather and climate risks in agriculture. Editors (view

- affiliations) Mannava V. K. Sivakumar Raymond P. Motha. p. 1 – 19. Springer.
- Hayashi, A., K. Akimoto, F. Sano, S. Mori, dan T. Tomoda. 2010. Evaluation of global warming impacts for different levels of stabilization as a step toward determination of the long-term stabilization target. *Climate Change*, 98(1): 87 – 112.
- Heryani, N., H. Sosiawan, dan S. Hariadi. 2013. Penilaian kesesuaian dam parit bertingkat untukantisipasi kekeringan: studi kasus di Kecamatan Cenrana, Kabupaten Maros Propinsi Sulawesi Selatan. *Jurnal Sumber Daya Air*, 10(2): 113 – 124.
- IPCC-Intergovernmental Panel On Climate Change. 2001. Impacts, adaptation & vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: University Press, 2001. 1000p.
- Las, I., E. Runtunuwu, E. Surmaini, W. Estiningtyas, Suciantini, I. Amien, P. Rejekiningrum, N. Pujilestari, A. Unadi, F. Agus, E. Susanti, A. Pramudia, H. Syahbuddin, A.K. Makarim, Irawan, Suwandi, I.K.G. Mudiarsa, A. Wijayanti, N. Sutrisno, P. Noble, Wahyunto, A. Thalib, A. Hamdani, dan Haryono. 2011. Roadmap strategi sektor pertanian menghadapi perubahan iklim (Revisi). Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Kartiwa, B., E. Surmaini, H. Sosiawan, dan P. Rejekiningrum. 2013. Dampak perubahan iklim terhadap keragaan sumber daya air. Dalam Buku Politik Pembangunan Pertanian Menghadapi Perubahan Iklim. IAARD Press.
- Kinose, Y. dan Y. Masutomi. 2019. Impact assessment of climate change on rice yield using a crop growth model and activities toward adaptation: targeting three provinces in indonesia dalam buku adaptation to climate change in agriculture research and practices. Editors (view affiliations) Toshichika Iizumi Ryuichi Hirata Ryo Matsuda. Springer.
- Kukal, M.S dan S. Irmak. 2018. Climate-driven crop yield and yield variability and climate change impacts on the u.s. great plains agricultural production. *Scientific Report*, 8: 3450.
- Martopo, S. 1991. Keseimbangan ketersediaan air di Pulau Bali. Laporan Penelitian Fakultas Geografi UGM, Yogyakarta.
- Molden, D., K. Frenken, R. Barker, C.de. Fraiture, B. Mati, M. Svendsen, C. Sadoff, dan C.M. Finlayson. 2007. Trends in water and agricultural development. In *Water for food, water for life: a comprehensive assessment of water management in agriculture*. Eds. D. Molden, 57–89. London, UK: Earthscan; and Colombo, Sri Lanka: International Water Management Institute.
- Mouelhi, S., C. Michel, C. Perrin, dan V. Andréassian. 2006. Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model. *J. Hydrol.*, 318(1-4): 200 – 214. Doi:10.1016/j.jhydrol.2005.1006.1014.
- Munir A. 2010. Masalah air di Indonesia dan di Jawa. <https://jurnalair.wordpress.com/2010/05/07/geografi-pesisir/>. Diakses tanggal 13 Feb 2020.
- Notohadiprawiro, T. 1992. Sawah dalam tataguna lahan. seminar sehari ”pencetakan lahan sawah sebagai salah satu alternatif kebijaksanaan dalam pengembangan tata guna lahan”. Himpunan Mahasiswa Ilmu Tanah. UGM. 12 Mei 1992.
- Oki, T dan S. Kanae. 2006. Global hydrological cycles and world water resources. *Science* 313:1068–1072.
- Parvatha, R.P. 2014. Impacts of climate change on agriculture dalam buku climate resilient

- agriculture for ensuring food security. p 43 – 90. Springer Nature © 2019 Springer Nature Switzerland AG. Part of Springer Nature.
- Pasandaran, E. 2006. Prospek ketersediaan sumberdaya lahan dan air untuk mendukung ketahanan pangan. Dalam Buku Pengelolaan Lahan dan Air di Indonesia. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Pasandaran, E. 2001. Conceptual frame work for watershed development in Indonesia in Thapa gopal B. et al. (eds): Integrated Watershed Development and Management in Asia, Training and Research Needs and Priorities, AIT, 2001. p. 61 – 69.
- PUPR. 2016. Peta ketersediaan air wilayah sungai berdasarkan klasifikasi ketersediaan air per kapita. <https://www.cnbcindonesia.com/news/20190520141416-4-73589/mengerikan-kelangkaan-absolut-2040-krisis-air-di-pulau-jawa>. Diakses tanggal 13 Februari 2020).
- Rockström, J., L. Karlberg, S.P. Wanic, J. Barron, N. Hatibud, T. Oweise, A. Bruggemane, J. Farahanie, dan Z. Qiangf. 2010. Managing water in rainfed agriculture – The need for a paradigm shift. *Agricultural Water Management*, 97(4):543 – 550.
- Sharma, B.R., K.V. Rao, K.P.R. Vittal, Y.S. Ramakrishna, dan U. Amarasinghe. 2010. Estimating the potential of rainfed agriculture in India: Prospects for water productivity improvements. *Agricultural Water Management*, 97(1):23 – 30.
- Shilong, P., P. Ciais, Y. Huang, Z. Shen, S. Peng, J. Li, L. Zhou, H. Liu, Y. Ma, Y. Ding, P. Friedlingstein, C. Liu, K. Tan, Y. Yu, T. Zhang, dan J. Fang. 2010. The impacts of climate change on water resources and agriculture in China. *Nature*, 467: 43 – 51.
- Smith, D.L dan J.J. Almaraz. 2004. Climate change and crop production: contributions, impacts, and adaptations. *Journal Canadian Journal of Plant Pathology*, 26(3): 253 – 266.
- Smith, P dan J.E. Olesen. 2010. Synergies between the mitigation of, and adaptation to, climate change in agriculture. *The Journal of Agricultural Science*, 148 (October 2010): 543 – 552.
- Sutrisno, N dan A. Hamdani. 2019. Optimalisasi pemanfaatan sumber daya air untuk meningkatkan produksi pertanian. *Jurnal Sumberdaya Lahan Pertanian*, 13(2): 73 – 88.
- Tando, E dan M. Asaad. Keragaan varietas padi musim tanam ii melalui inovasi teknologi pada lahan sawah tadah hujan di Kabupaten Konawe Selatan Provinsi Sulawesi Tenggara. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 23(1): 93 – 106.
- Thornton, P., D. Dinesh, L. Cramer, A.M. Loboguerrero, dan B. Campbell. 2018. Agriculture in a changing climate: Keeping our cool in the face of the hothouse. Perspective Paper. *Outlook on Agriculture* 2018, 47(4): 283 – 290.
- Wahab, M.I, Satoto, R. Rachmat, A. Guswara, dan Suharna. 2017. Deskripsi varietas unggul baru padi. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Xing-Guo, M., S. Hua, Z.H. Lin, S.X. Liu, dan J. Xia. 2017. Impacts of climate change on agricultural water resources and adaptation on the North China Plain. *Advances in Climate Change Research*, 8(2): 93 – 98.
- Zachariadis, T. 2010. Residential water scarcity in Cyprus: impact of climate change and policy options. *Water* 2010, 2(4): 788 – 814. MDPI and ACS Style.