

Ketahanan Air Indonesia dalam Perspektif Ilmu Lingkungan dan Paradigma Nexus Pangan-Energi-Air Berkelanjutan

M. Bayu Rizky Prayoga¹, Fatmah², dan Budi Harsoyo¹

¹Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Indonesia; e-mail: prayoga.mbay@gmail.com

²Sekolah Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia

ABSTRAK

Sumberdaya air merupakan salah satu elemen vital dalam menunjang kelangsungan hidup di bumi ini. Semakin tingginya kebutuhan terhadap sumberdaya air menjadikan kajian seputar ketersediaan air dan ketahanan air di suatu wilayah menjadi penting. Hal itu menjadikan ketahanan air memegang peranan vital dalam konsep keberlanjutan. Ketahanan air penting untuk dapat dicapai karena memiliki implikasi terhadap pencapaian ketahanan sektor-sektor lainnya, seperti energi dan pangan, secara nasional. Saat ini, pengelolaan dan pemanfaatan sumber daya air di Indonesia masih menghadapi beberapa tantangan yang mesti segera diselesaikan melalui kebijakan dan program yang berorientasi pada tercapainya ketahanan air. Tulisan ini bertujuan untuk melakukan kajian dan analisis terhadap ketahanan air di Indonesia dalam perspektif Ilmu Lingkungan dan Nexus Pangan-Energi-Air Berkelanjutan. Melalui studi literatur yang dilakukan terhadap berbagai sumber yang relevan, tulisan ini juga berupaya memberikan pandangan terhadap arah kebijakan pengelolaan sumberdaya air di Indonesia. Hasil penelitian ini menjelaskan beberapa tantangan utama dalam ketahanan air di Indonesia merupakan persoalan yang belakangan semakin terasa dampaknya bagi keberlanjutan hidup penduduk Indonesia. Dari hasil identifikasi tantangan dalam ketahanan air di Indonesia, penelitian ini memberikan rekomendasi bagi arah kebijakan pengelolaan sumber daya air di Indonesia.

Kata kunci: air, keberlanjutan, ketahanan, lingkungan, nexus Pangan-Energi-Air

ABSTRACT

Water resources are one of the vital elements in supporting survival on this earth. The increasing demand for water resources makes it important to study water availability and water security in an area. That condition makes water security play a vital role in the concept of sustainability. Water security is important to achieve because it has implications for achieving the resilience of other sectors, such as energy and food, nationally. Currently, the management and utilization of water resources in Indonesia still face several challenges that must be resolved immediately through policies and programs that are oriented toward achieving water security. This paper aims to conduct a study and analysis of water security in Indonesia from the perspective of Environmental Science and the Sustainable Food-Energy-Water Nexus. Through a literature study conducted on various relevant sources, this paper also attempts to provide views on the direction of water resources management policies in Indonesia. The results of this study explain some of the main challenges in water security in Indonesia, which are issues that have recently had an increasingly felt impact on the sustainability of the lives of the Indonesian people. From the results of identifying challenges in water security in Indonesia, this study provides recommendations for the direction of water resources management policies in Indonesia.

Keywords: environment, security, sustainability, water, food-energy-water nexus

Citation: Prayoga, M. B. R., Fatmah., dan Harsoyo, B. (2023). Ketahanan Air Indonesia dalam Perspektif Ilmu Lingkungan dan Paradigma Nexus Pangan-Energi-Air Berkelanjutan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(2), 279-288, doi:10.14710/jil.21.2.279-288

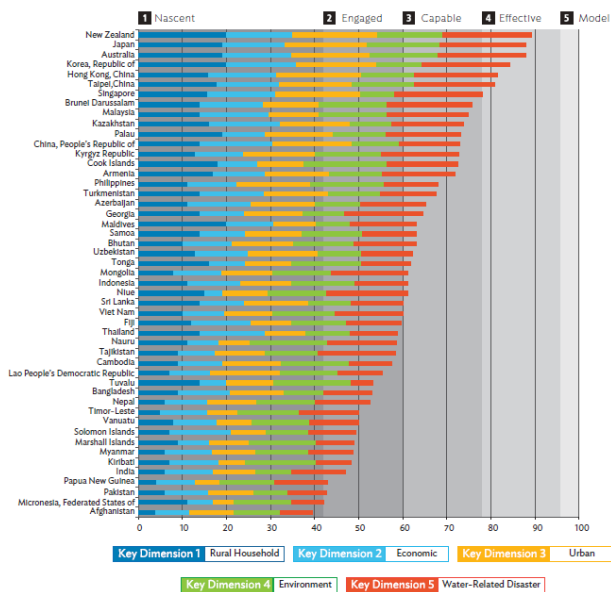
1. Latar Belakang

Pada skala global, ketahanan ekologis secara umum telah membawa fokus dan cara pandang baru terhadap kajian lingkungan, hal tersebut dikarenakan adanya tekanan terhadap planet bumi yang berpotensi terus melampaui daya dukung lingkungannya (Peng *et al.*, 2018; Huang *et al.*, 2020; Lu *et al.*, 2020). Pada konteks *Food-Ener-Water Nexus* (FEW Nexus), air merupakan kebutuhan primer manusia yang ketersediaan, keterjangkauannya, dan keamanannya juga harus dijaga (Shukla *et al.*, 2018). Pertumbuhan penduduk merupakan salah satu faktor

utama yang berimplikasi terhadap pertumbuhan ekonomi serta meningkatnya kebutuhan manusia terhadap sumber daya, termasuk pangan, energi, dan air (Wu *et al.*, 2014; Lamba & Singh, 2017; Purwanto *et al.*, 2021). Indonesia adalah negara terpadat keempat secara global, dengan sedikitnya 270 juta penduduk tercatat pada tahun 2020. Negara-negara berpenduduk besar memiliki masalah yang sama mengenai ketahanan dalam konteks FEW Nexus, yaitu dalam ketimpangan antara kebutuhan dan ketersediaan. Tanpa adanya perencanaan dan inovasi terhadap sumber daya pangan, energi, dan air, maka

pertumbuhan penduduk akan menjadi ancaman yang serius terhadap ketahanan sumber daya tersebut (Rozaki, 2021; Barinda & Ayuningtyas, 2021).

Air merupakan elemen ekologi alam yang sangat vital untuk keberlanjutan kehidupan. Ketahanan air juga disebutkan dalam beberapa penelitian merupakan bagian penting dari optimalisasi ketahanan ekologi secara regional, karena sumber daya air bersifat *trans-boundary* (Veettil & Mishra, 2018; Sen & Kansal, 2019; Chawla *et al.*, 2020). Ketahanan air adalah konsep dinamis yang berkembang dengan kepentingan pemangku kepentingan yang melibatkan pasokan air tawar, kelangkaan air, pengelolaan air, risiko banjir, dan keamanan nasional (Damkjaer and Taylor, 2017; Howlett and Cuenca, 2017).



Gambar 1 Penilaian ketahanan air di negara-negara Asia-Pasifik
Sumber: (Asian Development Bank, 2020)

Upaya inti yang terkandung dari kajian ketahanan air adalah meningkatkan pengetahuan untuk memandu perencanaan dan pengelolaan sumber daya air dan bagaimana mencapai keberlanjutan. Dengan mengintegrasikan konsep-konsep yang terkait dengan ketahanan air, maka dapat dinyatakan bahwa perencanaan yang baik terhadap sumber daya air dapat menopang pembangunan ekonomi dan menjaga keberlanjutan ekosistem (Mekonnen & Hoekstra, 2016; Dou *et al.*, 2021). Sebagai contoh, pasokan air tawar sangat penting untuk pembangunan ekonomi berkelanjutan dan ekosistem regional. Namun, meningkatnya permintaan antropogenik untuk sumber daya air tawar, ditambah dengan polusi dan pemborosan air, telah memperburuk kelangkaan air, menyebabkan krisis keamanan air di banyak daerah. Bahkan dalam beberapa penelitian juga disinggung bahwa ketahanan air selain memberikan dampak yang signifikan terhadap keberlanjutan ekologi, juga berpengaruh pada ketahanan pangan yang akan

berimplikasi pula terhadap ketahanan nasional suatu negara (Lang *et al.*, 2017; Shomar and Dare, 2016).

Banyak metode dan pendekatan untuk menilai ketahanan air di suatu wilayah. Salah satu penilaian terhadap ketahanan air secara regional adalah seperti laporan berjudul *Asian Water Development Outlook 2020* yang diterbitkan oleh Asian Bank Development (ADB) di akhir tahun 2020. Pada laporan tersebut dilakukan penilaian terhadap ketahanan air di beberapa negara Asia-Pasifik. Secara umum, Indonesia ada pada kategori *'Capable'* atau juga bisa dimaknai sebagai skala menengah dalam ketahanan air secara nasional. Seperti yang bisa dilihat pada Gambar 1, Indonesia berada pada kategori *'Capable'* yang mengindikasikan masih adanya tantangan yang mesti diselesaikan untuk mencapai ketahanan air yang ideal. Pada laporan tersebut, disebutkan bahwa sistem air di wilayah perkotaan dan dimensi bencana hidrometeorologi yang berhubungan dengan sumber daya air adalah tantangan yang masih menjadi hambatan utama dalam ketahanan air nasional Indonesia.

Pada tulisan ini, Penulis berupaya untuk mengkaji ketahanan air di Indonesia melalui perspektif Ilmu Lingkungan serta melakukan elaborasi dalam paradigma *Food-Water-Energy Nexus* (FEW Nexus). Beberapa penelitian terdahulu, laporan kelembagaan, dan sumber-sumber relevan lainnya dalam ruang lingkup terkait digunakan untuk membantu analisis pada tulisan ini. Hasil analisis digunakan Penulis untuk memberikan pandangan dan argumen yang bisa dimaknai sebagai rekomendasi fokus kajian ketahanan air di Indonesia.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan bentuk penelitian kualitatif deskriptif dengan menggunakan teknik studi literatur dalam pengumpulan data. Analisis deskriptif yang dilakukan pada penelitian ini bertujuan untuk mempertegas beberapa teori dari penelitian terdahulu yang dijadikan acuan pada penelitian ini (Creswell and Creswell, 2018). Pengumpulan data melalui studi literatur dilakukan terhadap berbagai sumber dengan mayoritas merupakan publikasi ilmiah internasional yang terindeks Scopus di kurun waktu 5 (lima) tahun terakhir. Hal tersebut dilakukan untuk membantu menemukan fokus pembahasan yang relevan terkait tema penelitian. Selain itu, pertimbangan kebaruan mengenai pembahasan ketahanan air juga menjadi dasar utama pemilihan referensi yang dipilih.

Selain melalui beragam tulisan ilmiah, laporan kelembagaan dan pendapat ahli juga digunakan sebagai sumber utama pada penelitian ini, sehingga dalam elaborasi yang dilakukan pada bagian Hasil dan Pembahasan, Penulis dapat membangun sudut pandang dan analisis yang komprehensif terkait tema penelitian. Hasil laporan kelembagaan dalam tema terkait membantu Penulis dalam mengidentifikasi *gap* (kesenjangan) antara teori-teori pada beberapa

penelitian terdahulu dan kenyataan yang terjadi seputar tema ketahanan air di Indonesia.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Konsep Ketahanan Air

Konsep ketahanan air awalnya dipahami pada awal 1990-an dalam konteks kekhawatiran tentang kelangkaan air dan dampaknya terhadap sektor penunjang kehidupan lainnya, termasuk keamanan nasional. Konsep ketahanan air terus berkembang menjadi konsep yang mencakup semua masalah terkait air dan tak jarang pula didefinisikan didefinisikan sebagai 'tingkat risiko terkait air yang dapat ditoleransi bagi masyarakat' (Gain *et al.*, 2016; Doeffinger & Hall, 2021). Kajian terhadap ketahanan air juga dapat dicontohkan terhadap beberapa fenomena seperti risiko yang dihadapi petani ketika dihadapkan pada pasokan air irigasi yang tidak dapat diandalkan, risiko yang mungkin dihadapi kota dari memburuknya infrastruktur air, atau risiko yang mungkin dihadapi suatu negara ketika menghadapi kekeringan skala besar dan iklim ekstrem lainnya. Masing-masing situasi ini dapat ditangani oleh pengambil keputusan di berbagai skala spasial dan temporal (van Noordwijk *et al.*, 2016; Kangmennaang & Elliott, 2021).

Ketahanan air dapat digambarkan sebagai tingkat risiko terkait air yang dapat ditoleransi bagi masyarakat (Abdelkader and Elshorbagy, 2021; Grey *et al.*, 2013). Ketahanan air juga bisa didefinisikan sebagai tujuan mendasar, di mana setiap individu memiliki akses ke air bersih yang memadai dan terjangkau untuk kehidupan yang bersih, sehat, dan produktif serta jaminan untuk perlindungan dan peningkatan kehidupan maupun lingkungan. Mencapai ketahanan air sangat penting untuk kesejahteraan masyarakat, pertanian, energi, dan sektor lainnya, oleh karena itu ketahanan air adalah salah satu tantangan utama abad ke-21 dalam hal ilmu pengetahuan, masyarakat, dan politik (Zakeri *et al.*, 2021). Pada beberapa penelitian juga mendefinisikan ketahanan air sebagai akses berkelanjutan ke jumlah air yang memadai secara kuantitatif dan kualitatif untuk masyarakat dan ekosistem dalam menghadapi tantangan global yang tidak pasti (Boelens & Seemann, 2014; Besbes *et al.*, 2018; Brandshaug, 2019).

Ketahanan terhadap sumber daya air merupakan prioritas kebijakan yang mendesak, indikator yang tepat dalam menilai ketahanan air diperlukan untuk menilai kondisi saat ini dan menjadi landasan untuk kebijakan di masa mendatang. Indeks-indeks pada kajian ketahanan air berfungsi untuk memberikan gambaran dan melacak ketidakseimbangan antara penawaran dan permintaan, seperti indeks tekanan air (*water stress index*) atau indeks kemiskinan air (*water poverty index*) yang sering digunakan dalam mengkaji ketahanan air di suatu wilayah (Jensen and Wu, 2018; Kosovac and Davidson, 2020). Penggunaan model hidrologi juga telah lama digunakan dalam pengelolaan air untuk mengevaluasi ketahanan air.

Hal yang perlu menjadi perhatian dalam penggunaan model hidrologi untuk membantu kajian ketahanan air adalah bagaimana hasil permodelan dapat menggambarkan kenyataan interaksi antara ekosistem dan aktivitas manusia. Konsep itu kemudian berkembang menjadi konsep pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS) yang juga merupakan konsep pengelolaan dalam kerangka besar ketahanan air (Hoekstra *et al.*, 2018; Lüke and Hack, 2018; Pirmana *et al.*, 2021).



Gambar 2 Lima dimensi utama dalam kajian ketahanan air
Sumber: (Asian Development Bank, 2020)

Ada banyak indikator yang dapat digunakan untuk menilai ketahanan air di suatu wilayah. Banyaknya indikator tersebut dapat dikelompokkan ke dalam lima dimensi (Gambar 2) seperti yang dilakukan oleh *Asian Development Bank* (ADB). Dalam menilai ketahanan air secara nasional, ADB mempunyai konsep pengelompokan indikator ke dalam lima dimensi utama yaitu sebagai berikut.

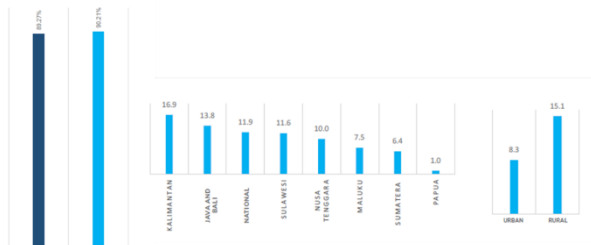
- Rural household water security.* Dimensi ini menjelaskan ketahanan air di wilayah non-perkotaan untuk memisahkan variasi tipologi wilayah dengan asumsi perbedaan maupun karakteristik wilayah desa dan kota.
- Economic water security.* Dimensi ini menjelaskan jaminan kecukupan air untuk memenuhi pertumbuhan ekonomi suatu negara secara berkelanjutan dan menghindari kerugian ekonomi akibat bencana yang disebabkan oleh air.
- Urban water security.* Mewakili ketahanan air di wilayah perkotaan seperti yang bisa dianalisis melalui penyediaan layanan air dan sanitasi yang dikelola dengan aman dan terjangkau bagi komunitas perkotaan.
- Environmental water security.* Mencakup penilaian terhadap kondisi sungai, lahan basah, dan sistem air tanah serta program restorasi ekosistem perairan pada skala nasional dan regional.
- Water-related disaster security.* Memberikan gambaran terhadap keterpaparan suatu negara terhadap bencana terkait air (bencana hidrometeorologi). Dimensi ketahanan air ini juga

sekaligus dapat dilihat dari kerentanan terhadap bencana hidrometeorologi dan kapasitas atau kemampuannya untuk bangkit kembali.

Contoh pengelompokan kajian ketahanan air yang dilakukan oleh ADB dapat dijadikan pedoman dalam penilaian ketahanan air. Melalui pengelompokan indikator-indikator ke dalam lima dimensi utama tersebut, maka itu juga akan mewakili kajian ketahanan air secara nasional dalam perspektif Ilmu Lingkungan karena tiga pilar lingkungan, sosial dan ekonomi bisa terwakilkan ke dalam lima dimensi utama tersebut.

3.2. Kondisi Ketahanan Air Indonesia

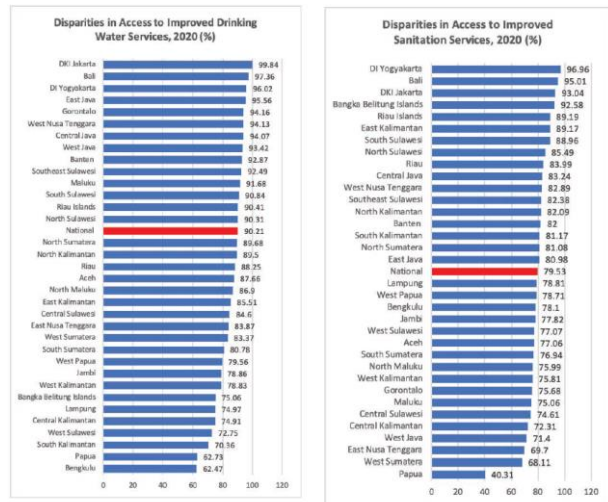
Beragamnya indikator yang bisa digunakan untuk menilai ketahanan air di suatu wilayah menjadikan perlu adanya monitoring dan evaluasi rutin untuk melihat kecenderungan yang terjadi. Salah satu evaluasi terhadap kondisi ketahanan air di Indonesia adalah seperti yang bisa disimak dari *Voluntary National Review* atau VNR yang dirilis oleh Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/BAPPENAS. Pada VNR terbaru, Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/BAPPENAS (2021) memberikan data terkait beberapa indikator yang bisa digunakan untuk melakukan evaluasi ketahanan air nasional sekaligus menjelaskan capaian Pembangunan Berkelanjutan khususnya Tujuan 6 (Air Bersih dan Sanitasi).



Gambar 3 Persentase rumah tangga dengan akses layanan air minum per-tahun (kiri), variabilitasnya berdasarkan wilayah (tengah) dan variabilitasnya berdasarkan tipologi wilayah perkotaan/non-perkotaan (kanan)
 Sumber: (Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/BAPPENAS, 2021)

Gambar 3 memberikan informasi secara nasional, proporsi rumah tangga yang mendapatkan akses terhadap layanan air bersih mencapai 90,21% pada tahun 2020. Jumlah tersebut menunjukkan kecenderungan peningkatan dibandingkan tahun 2019 yang bernilai 89,27%. Sementara jika dilakukan pengelompokan berdasarkan wilayah kepulauan, maka hanya rumah tangga di Pulau Kalimantan dan Pulau Jawa-Bali yang menunjukkan nilai persentase akses terhadap air minum dengan fasilitas yang baik, mengingat standar nasional adalah 11,9%. Ini tentu menjadi pekerjaan rumah bagi pemerintah untuk melakukan akselerasi penyediaan fasilitas maupun infrastruktur layanan air bersih di wilayah-wilayah lainnya di Indonesia.

Sebagian besar permasalahan terhadap pemenuhan air minum yang layak juga masih menjadi tantangan di wilayah perkotaan di Indonesia. Seperti yang bisa disimak pada Gambar 3, proporsi rumah tangga dengan akses air minum yang layak di wilayah perkotaan masih ada pada kisaran nilai 8,3 sedangkan di wilayah non-perkotaan menunjukkan proporsi yang lebih baik yaitu 15,1. Ini juga mengindikasikan bahwa adanya kesenjangan di wilayah perkotaan turut berkontribusi terhadap rendahnya proporsi rumah tangga di wilayah perkotaan yang memiliki akses terhadap air yang layak.



Gambar 4 Persentase akses terhadap layanan air minum dan sanitasi pada masing-masing provinsi di Indonesia
 Sumber: (Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/BAPPENAS, 2021)

Adanya disparitas yang besar terhadap ketimpangan akses sumber daya air juga bisa disimak pada perbandingan data aksesibilitas air dan sanitasi masing-masing provinsi di Indonesia seperti pada Gambar 4. Dengan rata-rata nasional untuk akses terhadap layanan air minum adalah 90,21%, dan akses terhadap layanan sanitasi sebesar 79,53%, maka masih banyak provinsi yang perlu mendapat perhatian dalam pembangunan infrastruktur air minum dan sanitasi, khususnya di luar Pulau Jawa.

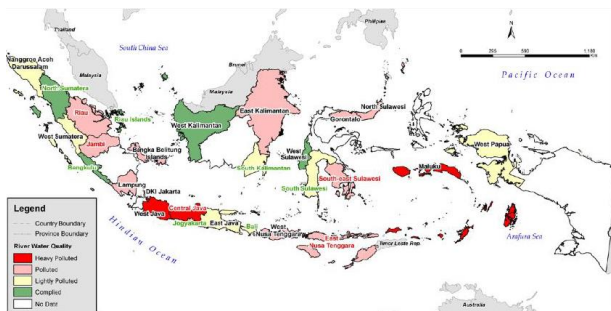


Gambar 5 Indeks Kualitas Air periode 2015-2020
 Sumber: (Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/BAPPENAS, 2021)

Sementara itu untuk aspek kualitas air, maka indikator yang bisa dijadikan untuk acuan adalah Indeks Kualitas Air Nasional (IKA). IKA ditentukan

untuk menilai tingkatan kualitas air dari suatu perairan (sungai dan danau). Indeks ini didasarkan pada 9 parameter yang mencakup pH, suhu, *dissolved oxygen* (DO), *biological oxygen demand* (BOD), turbiditas, *total solid*, total fosfat, nitrat, dan jumlah *faecal coliform*. Pada RPJMN 2020-2024, ditetapkan nilai IKA yang ingin dicapai adalah 55,1. Jika melihat target tersebut, maka tantangan besar masih harus dihadapi untuk mencapai nilai IKA 55,1. Sebagai bahan evaluasi, selama periode 2015-2020 nilai IKA di tiap provinsi di Indonesia masih cenderung fluktuatif. Adapun provinsi-provinsi yang telah mencapai ambang-batas IKA pada akhir tahun 2020 adalah Bengkulu, Banten, Yogyakarta, Jawa Tengah, Jawa Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Utara, dan Papua (Gambar 5).

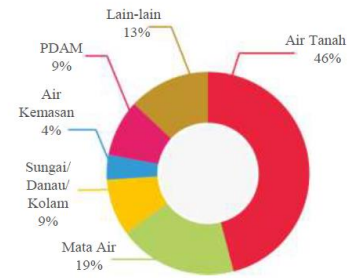
Permasalahan kualitas air juga tidak bisa dipisahkan dari banyaknya DAS dan perairan darat (danau, embung, atau waduk) di Indonesia yang ada dalam kondisi tercemar. Sebuah laporan dari Asian Development Bank (2016) menjelaskan bahwa Sebagian besar DAS dan perairan darat di Indonesia ada dalam kategori tercemar, dengan sebagian besar DAS di Jawa ada pada kondisi tercemar berat, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 6.



Gambar 6 Status DAS Indonesia yang sebagian ada pada kategori tercemar

Sumber: (Asian Development Bank, 2016)

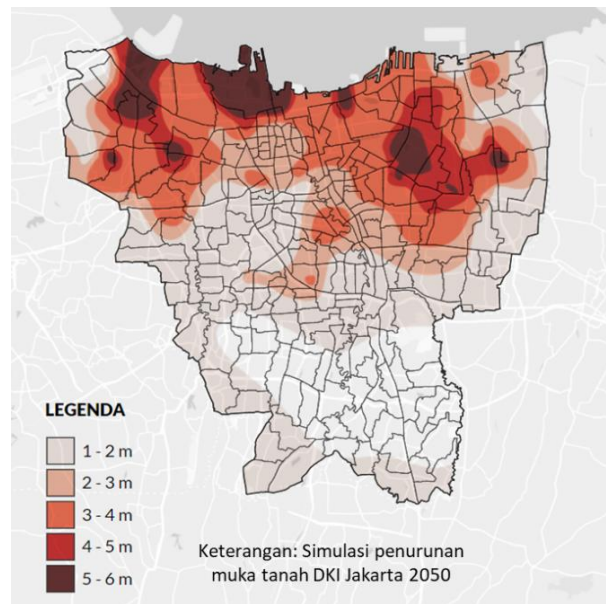
Kondisi ini menjadi sinyal bahwa manajemen DAS di Indonesia diperlukan untuk mendukung perbaikan kualitas air untuk penunjang kebutuhan domestik. Manajemen DAS yang komprehensif untuk menyelesaikan permasalahan kualitas dan kuantitas aliran air sungai perlu menjadi perhatian dan diwujudkan ke dalam program atau bentuk pengaturan lainnya. Mencermati laporan yang disajikan pada VNR 2021, maka masalah ketersediaan air minum yang layak di Indonesia masih menjadi tantangan yang harus diselesaikan. Pemenuhan akses air minum layak dan aman serta akses air minum perpipaan menjadi penting, terlebih sebagaimana ditargetkan dalam RPJMN 2020-2024 ada target 100% kebutuhan akses air minum layak tercukupi pada tahun 2024 dengan 15% menggunakan fasilitas yang aman. Selain itu akses air minum perpipaan juga ditargetkan mencapai 30% di akhir tahun 2024, dengan *baseline* 20% yang diambil pada kondisi tahun 2018.



Gambar 7 Bauran sumber air untuk keperluan domestik tahun 2019

Sumber: (RPJMN, 2020)

Pada RPJMN 2020-2024 juga telah disinggung mengenai pengelolaan air tanah dan air baku di Indonesia yang masih diliputi beberapa tantangan mendasar seperti tingkat layanan penyediaan air baku yang masih rendah, permasalahan kuantitas dan kualitas air, dan permasalahan pemanfaatan teknologi untuk menjamin kuantitas dan kualitas air baku yang aman dan layak secara berkelanjutan. Data bauran sumber air untuk keperluan domestik pada tahun 2019 seperti yang bisa dilihat pada Gambar 7 menunjukkan bahwa penduduk Indonesia mayoritas masih menggunakan ekstraksi air tanah sebagai sumber utama (40%), sedangkan pengguna PDAM hanya mencapai 9%.



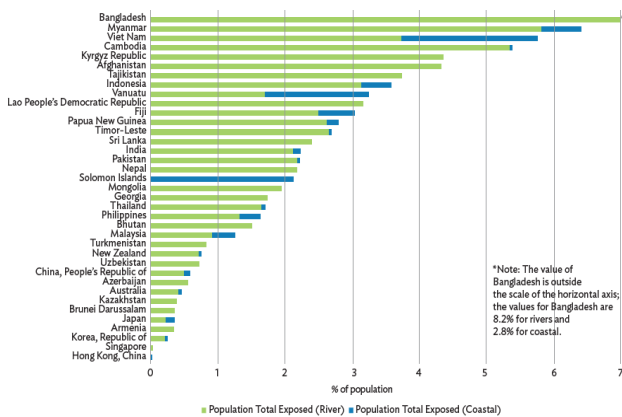
Gambar 8 Simulasi penurunan muka tanah DKI Jakarta pada 2050 dengan skenario ekstraksi air tanah dan kebutuhan air tanah di masa depan

Sumber: (Andreas, 2020)

Peningkatan tekanan populasi dan aktivitas ekonomi di daerah-daerah aglomerasi dan kutub pertumbuhan seperti perkotaan dan kawasan strategis (KEK, KI, KSPN) juga perlu diperhatikan pemenuhan kebutuhan air bakunya melalui infrastruktur penyedia air baku. Jika ketersediaan air baku pada kawasan-kawasan tersebut tidak mencukupi kebutuhan yang ada, akan terdapat

potensi ekstraksi air tanah dalam skala besar. Hal ini juga menjadi perhatian besar karena selain terdapat potensi permasalahan kualitas air tanah, permasalahan lain akibat ekstraksi air tanah dalam skala besar adalah penurunan muka tanah yang cukup signifikan di beberapa wilayah, seperti di DKI Jakarta dan mayoritas pesisir utara Jawa, sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 8.

Kerentanan Indonesia terhadap bencana hidrometeorologi juga berpengaruh pada ketahanan air nasional. Asian Development Bank (2020) dalam laporannya yang berjudul 'Asian Water Development Outlook' menjelaskan bahwa salah satu dimensi yang perlu mendapat fokus perbaikan adalah dimensi keterkaitan terhadap bencana hidrometeorologi. Hal tersebut sejalan dengan bencana hidrometeorologi yang sering terjadi di Indonesia.



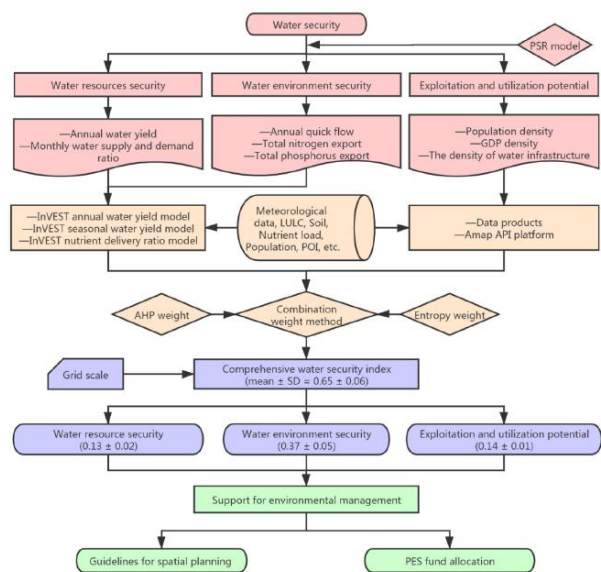
Gambar 9 Proyeksi keterpaparan terhadap bencana banjir tahun 2030 (dalam persentase terhadap populasi)
 Sumber: (Asian Development Bank, 2020)

Sebagai contoh terbaru, BNPB (2021) mencatat bahwa dari total 3.034 bencana yang terjadi selama tahun 2021, 98,9% didominasi oleh bencana hidrometeorologi. Bencana seperti banjir, longsor, kebakaran hutan dan lahan (karhutla), dan kekeringan merupakan bencana yang kerap melanda Indonesia. Aspek kebencanaan di Indonesia, khususnya pada konteks keterpaparan dan kerentanannya, dihelaskan oleh Asian Development Bank (2020) merupakan salah satu dimensi ketahanan air yang belum sepenuhnya terselesaikan di Indonesia. Gambar 9 menunjukkan perbandingan proyeksi keterpaparan terhadap banjir antara negara-negara di Asia yang dilakukan oleh Asian Development Bank (2020) untuk tahun 2030.

3.3. Penilaian Ketahanan Air dalam Nexus Pangan-Energi-Air Berkelanjutan

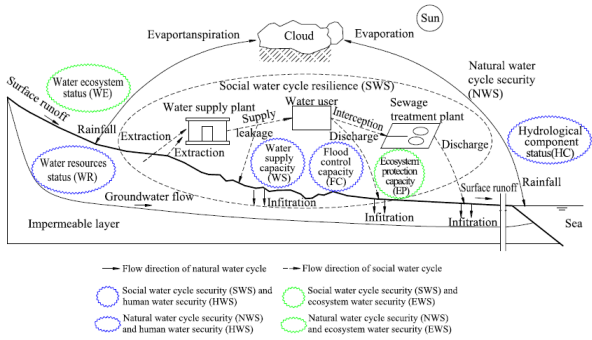
Ada beragam metode dan indikator yang digunakan untuk menilai ketahanan air di suatu wilayah. Perbedaan karakteristik, baik secara biofisik dan lanskap, sosial-ekonomi, hingga budaya,

menjadikan penilaian ketahanan air memiliki beragam indikator dan bervariasi. Dou *et al.* (2021) merumuskan suatu kerangka teknis untuk penilaian ketahanan air dengan memisahkannya ke dalam tiga komponen utama yaitu *water resources security*, *water environment security*, dan *exploitation and utilization potential*. Masing-masing komponen utama tersebut memiliki masing-masing variabel yang harus diperhitungkan dalam memberikan penilaian ketahanan air secara utuh seperti yang diilustrasikan pada Gambar 10. Penilaian ketahanan air dengan menggunakan metode yang dilakukan oleh Dou *et al.* (2021) ini cocok untuk dilakukan dalam menilai ketahanan air secara nasional, karena selain membutuhkan kelengkapan data dari banyak variabel, metode ini juga akan menghasilkan output secara umum yang bisa dijadikan acuan dalam perencanaan maupun pendanaan pembangunan.



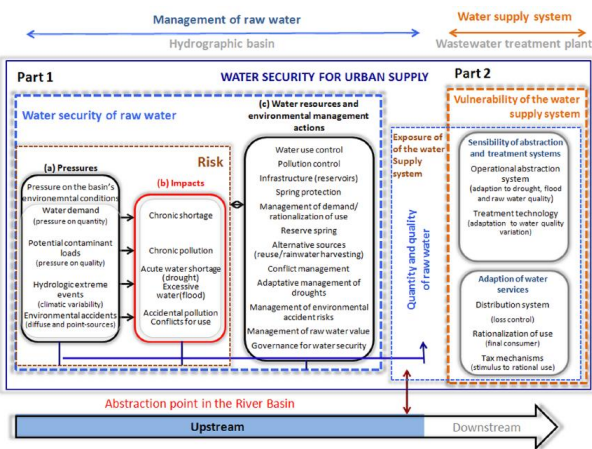
Gambar 10 Kerangka teknis penilaian ketahanan air
 Sumber: (Dou *et al.*, 2021)

Contoh metode lainnya dalam menilai ketahanan air secara nasional bisa disimak dari pengembangan yang dilakukan oleh Liu *et al.* (2021). Pada penelitiannya yang menilai ketahanan air di seluruh daratan China, Liu *et al.* (2021) membagi ketahanan air ke dalam 4 komponen utama dengan tambahan 2 komponen jasa ekosistem yang didapatkan dari pengelompokan interaksi fisik dan sosial terhadap siklus hidrologi, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 11. Penilaian menggunakan metode ini juga bisa digunakan untuk mempelajari variasi spasial dan temporal dari ketahanan air di suatu negara, yang biasanya dianalisis dalam unit administrasi setingkat provinsi. Kelebihan metode Liu *et al.* (2021) adalah telah mempertimbangkan aspek potensi dan catatan historis bencana ke dalam penilaian ketahanan air.



Gambar 11 Interaksi komponen-komponen ketahanan air dan ekosistem pada siklus hidrologi
 Sumber: (Liu *et al.*, 2021)

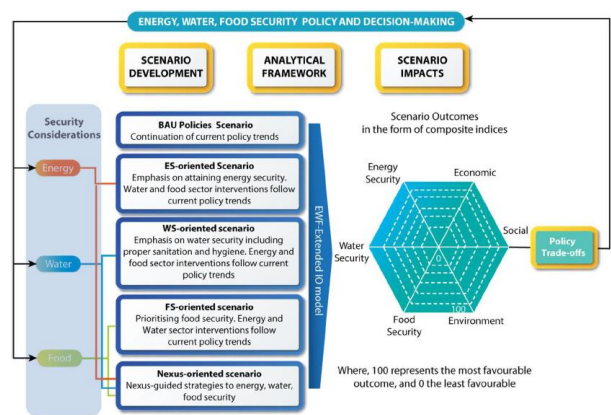
Metode yang agak berbeda dalam penilaian ketahanan air bisa disimak pada penelitian yang dilakukan oleh de Melo *et al.* (2021). Pada penelitiannya, ketahanan air justru dinilai dari pembobotan terhadap faktor risiko yang berpotensi memberikan degradasi terhadap sumber daya air di suatu DAS. Sudut pandang tersebut dilakukan untuk membantu memberikan metode penilaian ketahanan air di wilayah perkotaan, karena wilayah perkotaan dianggap menghasilkan tekanan yang besar terhadap sumber daya air. de Melo *et al.* (2021) memberikan argumen bahwa melalui permodelan faktor-faktor pemberi tekanan terhadap ketahanan air di suatu wilayah akan memberikan penilaian ketahanan air yang bisa memberikan proyeksi lebih realistis.



Gambar 12 Kerangka penilaian ketahanan air berbasis risiko untuk wilayah perkotaan
 Sumber: (de Melo *et al.*, 2021)

Metode penilaian ketahanan air berbasis risiko juga dianggap mampu memberikan identifikasi pada faktor-faktor yang menjadi prioritas untuk segera diselesaikan. Oleh karena itu, penilaian berbasis risiko dapat memberikan masukan yang konstruktif untuk rencana pemerintah, baik jangka pendek maupun panjang, terhadap pengelolaan sumber daya air di suatu wilayah. Penelitian de Melo *et al.* (2021) memberikan output kerangka kerja dalam penilaian ketahanan air, mulai dari hulu hingga hilir suatu DAS, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 12.

Mencapai ketahanan air bisa dimaknai sebagai salah satu bentuk kemajuan dalam upaya menjamin keberlanjutan di suatu negara atau wilayah. Oleh karena itu, dalam skala lebih luas maka ketahanan air juga bisa menyatakan interaksi yang terbentuk dengan komponen energi dan pangan dalam paradigma FEW Nexus (Madani and Khatami, 2015; Nhamo *et al.*, 2020). Keterkaitan sektor air dengan sektor vital lainnya dalam kehidupan, seperti energi dan pangan, membutuhkan identifikasi faktor pemberi tekanan dalam penilaiannya. Identifikasi terhadap keterkaitan faktor pemberi tekanan pada FEW Nexus akan sangat bermanfaat dalam memberikan arah kebijakan karena itu artinya kebijakan akan diambil berdasarkan pada hasil kajian yang komprehensif, seperti penilaian ketahanan air (Endo *et al.*, 2017; Ding *et al.*, 2020; Zarei, 2020).



Gambar 13 Ilustrasi penilaian ketahanan air dan komponen FEW Nexus lainnya dalam membantu pengambilan keputusan
 Sumber: (Vats *et al.*, 2021)

Pada penelitian Vats *et al.* (2021) dijelaskan bahwa penilaian terhadap ketahanan air yang dikombinasikan dengan penilaian ketahanan energi dan pangan, serta melalui penilaian pada aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi (Gambar 13), akan membantu dalam merumuskan bentuk kebijakan yang diambil dalam level perencanaan. Kelebihan pada satu aspek harusnya bisa menjadi dasar *trade-off* demi mencapai kondisi ideal dalam menunjang kehidupan manusia, maupun kegiatan pembangunan di suatu negara.

4. Kesimpulan

Ketahanan air penting untuk dapat dicapai karena memiliki implikasi terhadap pencapaian ketahanan sektor-sektor lainnya, seperti energi dan pangan, secara nasional. Penilaian ketahanan air dengan menggunakan perspektif Ilmu Lingkungan akan memberikan penilaian yang komprehensif antara keterkaitan aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi dari variabel-variabel terkait sumber daya air. Tercapainya ketahanan air akan mendukung tercapainya ketahanan energi dan pangan dalam kerangka besar FEW Nexus. Keterbatasan penelitian ini adalah hanya melihat dinamika ketahanan air

dalam skala nasional. Pengembangan penelitian pada skala wilayah yang lebih kecil (misal: kabupaten/kota) tentunya akan memberikan pembahasan yang lebih detil terhadap kajian ketahanan air di wilayah tersebut.

Pada skala nasional, tantangan utama seperti adanya kesenjangan akses terhadap air minum dan sanitasi yang bersih, kuantitas dan kualitas aliran permukaan, pengelolaan ekstraksi air tanah, dan ketahanan terhadap bencana hidrometeorologi, merupakan persoalan yang belakangan semakin terasa dampaknya bagi keberlanjutan hidup penduduk Indonesia. Saran dan rekomendasi bagi arah kebijakan pengelolaan sumber daya air di Indonesia adalah sebagai berikut.

- a. Pemeliharaan dan pemulihan ekosistem sumber air perlu dilaksanakan secara berkelanjutan dan digunakan sebesar-besarnya untuk meningkatkan kesejahteraan penduduk Indonesia.
- b. Pembangunan infrastruktur sumber daya air perlu dilakukan dengan memperhatikan keterkaitannya dengan sektor lain seperti energi dan pangan.
- c. Dalam tata kelola kelembagaan, perlu adanya peningkatan kapasitas untuk menjamin keterpaduan pengelolaan sumber daya air. Peraturan tentang sumber daya air, meski dibuat untuk kepentingan multi-sektoral, harus diimplementasikan secara terintegrasi agar bisa terus mendukung kehidupan manusia. Apalagi sistem air memiliki kompleksitas tinggi karena banyaknya komponen yang mempengaruhinya. Selain itu, sistem sumber daya air juga bersifat *trans-boundary*.
- d. Ketangguhan terhadap bencana hidrometeorologi juga seharusnya merupakan aspek yang perlu terus diperkuat mengingat karakteristik Indonesia sebagai salah satu negara dengan tingkat keterpaparan bencana hidrometeorologi yang intens. Perlu ada *mainstreaming* ketahanan iklim dalam rencana pembangunan untuk mencapai ketahanan nasional, termasuk ketahanan air.
- e. Beragamnya indikator dan metode dalam penilaian ketahanan air memerlukan perhatian khusus, karena tidak semua indikator dan metode di suatu wilayah bisa diterapkan di wilayah lainnya. Identifikasi terhadap tiptologi wilayah menjadi penting sebelum memilih indikator dan metode yang sesuai untuk kajian ketahanan air nasional.

DAFTAR PUSTAKA

Abdelkader A., and Elshorbagy A. (2021). ACPAR: A framework for linking national water and food security management with global conditions. *Advances in Water Resources*, 147(June 2020), 103809. DOI: 10.1016/j.advwatres.2020.103809

Andreas, H. (2020). *Masalah Usang dan Runyam Penurunan Muka Tanah Jakarta*. Tirto.Id.

<https://tirto.id/masalah-usang-dan-runyam-penurunan-muka-tanah-jakarta-fkWs>

Asian Development Bank. (2016). *Country Water assessment Indonesia Country Water assessment*. ADB. www.adb.org

Asian Development Bank. (2020). *Asian Water Development Outlook 2020*. <https://www.adb.org/publications/asian-water-development-outlook-2020>

Barinda, S., and Ayuningtyas, D. (2022). Assessing the food control system in Indonesia: A conceptual framework. *Food Control*, 134, 108687. DOI: 10.1016/j.foodcont.2021.108687

Besbes, M., Chahed, J., and Hamdane, A. (2018). *National Water Security: Case Study of an Arid Country: Tunisia*. In: *National Water Security: Case Study of an Arid Country: Tunisia*. DOI: 10.1007/978-3-319-75499-4

BNPB. (2021). *BNPB Mencatat 3.034 Bencana Alam Terjadi di 2021, Didominasi Banjir*. Sindo News. <https://nasional.sindonews.com/read/639951/15/bnpb-mencatat-3034-bencana-alam-terjadi-di-2021-didominasi-banjir-1640567537>

Boelens, R., and Seemann, M. (2014). Forced engagements: Water security and local rights formalization in Yanque, Colca valley, Peru. *Human Organization*, 73(1), 1–12. DOI: 10.17730/humo.73.1.d44776822845k515

Brandshaug, M. K. (2019). Water as more than commons or commodity: Understanding water management practices in Yanque, Peru. *Water Alternatives*, 12(2), 538–553.

Carvalho de Melo, M., Formiga-Johnsson, R. M., Soares de Azevedo, J. P., de Oliveira Nascimento, N., Lisboa Vieira Machado, F., Leal Pacheco, F. A., and Sanches Fernandes, L. F. (2021). A raw water security risk model for urban supply based on failure mode analysis. *Journal of Hydrology*, 593(July 2020). DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.125843

Chawla, I., Karthikeyan, L., and Mishra, A. K. (2020). A review of remote sensing applications for water security: Quantity, quality, and extremes. *Journal of Hydrology*, 585(March), 124826. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2020.124826

Creswell, W. J., and Creswell, J. D. (2018). *Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Methods Approaches*. In: *Journal of Chemical Information and Modeling*, Vol. 53, Issue 9. [file:///C:/Users/Harrison/Downloads/John W. Creswell & J. David Creswell - Research Design_ Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches. \(2018\).pdf%0Afile:///C:/Users/Harrison/AppData/Local/Mendeley Ltd./Mendeley Desktop/Downloaded/Creswell, Cr](file:///C:/Users/Harrison/Downloads/John%20W.%20Creswell%20&%20J.%20David%20Creswell%20-%20Research%20Design%20Qualitative,%20Quantitative,%20and%20Mixed%20Methods%20Approaches.%20(2018).pdf%0Afile:///C:/Users/Harrison/AppData/Local/Mendeley%20Ltd./Mendeley%20Desktop/Downloaded/Creswell,%20Cr)

Damkjaer, S., and Taylor, R. (2017). The measurement of water scarcity: Defining a meaningful indicator. *Ambio*, 46(5), 513–531. DOI: 10.1007/s13280-017-0912-z

Ding, T., Liang, L., Zhou, K., Yang, M., and Wei, Y. (2020). Water-energy nexus: The origin, development and prospect. *Ecological Modelling*, 419(January), 108943. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2020.108943

Doeffinger, T., and Hall, J. W. (2021). Assessing water security across scales: A case study of the United States. *Applied Geography*, 134(May), 102500. DOI: 10.1016/j.apgeog.2021.102500

- Prayoga, M. B. R., Fatmah., dan Harsoyo, B. (2023). Ketahanan Air Indonesia dalam Perspektif Ilmu Lingkungan dan Paradigma Nexus Pangan-Energi-Air Berkelanjutan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(2), 279-288, doi:10.14710/jil.21.2.279-288
- Dou, P., Zuo, S., Ren, Y., Rodriguez, M. J., and Dai, S. (2021). Refined water security assessment for sustainable water management: A case study of 15 key cities in the Yangtze River Delta, China. *Journal of Environmental Management*, 290(April), 112588. DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.112588
- Endo, A., Tsurita, I., Burnett, K., and Orencio, P. M. (2017). A review of the current state of research on the water, energy, and food nexus. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 11, 20–30. DOI: 10.1016/j.ejrh.2015.11.010
- Gain, A. K., Giupponi, C., and Wada, Y. (2016). Measuring global water security towards sustainable development goals. *Environmental Research Letters*, 11(12). DOI: 10.1088/1748-9326/11/12/124015
- Grey, D., Garrick, D., Blackmore, D., Kelman, J., Muller, M. and Sadoff, C. (2013). Water security in one blue planet: Twenty-first century policy challenges for science. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371(2002). DOI: 10.1098/rsta.2012.0406
- Hoekstra, A. Y., Buurman, J., and Van Ginkel, K. C. H. (2018). Urban water security: A review. *Environmental Research Letters*, 13(5). DOI: 10.1088/1748-9326/aaba52
- Howlett, M. P., and Cuenca, J. S. (2017). The use of indicators in environmental policy appraisal: lessons from the design and evolution of water security policy measures. *Journal of Environmental Policy and Planning*, 19(2), 229–243. DOI: 10.1080/1523908X.2016.1207507
- Huang, J., Yu, H., Han, D., Zhang, G., Wei, Y., Huang, J., An, L., Liu, X., and Ren, Y. (2020). Declines in global ecological security under climate change. *Ecological Indicators*, 117(June), 106651. DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106651
- Jensen, O., and Wu, H. (2018). Urban water security indicators: Development and pilot. *Environmental Science and Policy*, 83(February), 33–45. DOI: 10.1016/j.envsci.2018.02.003
- Kangmenang, J., and Elliott, S. J. (2021). Linking water (in)security and wellbeing in low-and middle-income countries. *Water Security*, 13(October 2020), 100089. DOI: 10.1016/j.wasec.2021.100089
- Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional/BAPPENAS. (2021). *Indonesia's Voluntary National Review (VNR) 2021*.
- Kosovac, A., and Davidson, B. (2020). Is too much personal dread stifling alternative pathways to improving urban water security? *Journal of Environmental Management*, 265(August 2019), 110496. DOI: 10.1016/j.jenvman.2020.110496
- Lamba, K., and Singh, S. P. (2017). Big data in operations and supply chain management: current trends and future perspectives. *Production Planning and Control*, 28(11–12), 877–890. DOI: 10.1080/09537287.2017.1336787
- Lang, Y., Song, W., and Zhang, Y. (2017). Responses of the water-yield ecosystem service to climate and land use change in Sancha River Basin, China. *Physics and Chemistry of the Earth*, 101, 102–111. DOI: 10.1016/j.pce.2017.06.003
- Liu, B., Zhang, F., Qin, X., Wu, Z., Wang, X., and He, Y. (2021). Spatiotemporal assessment of water security in China: An integrated supply-demand coupling model. *Journal of Cleaner Production*, 321(August), 128955. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128955
- Lu, S., Tang, X., Guan, X., Qin, F., Liu, X., and Zhang, D. (2020). The assessment of forest ecological security and its determining indicators: A case study of the Yangtze River Economic Belt in China. *Journal of Environmental Management*, 258(December 2019), 110048. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.110048
- Lüke, A., and Hack, J. (2018). Comparing the applicability of commonly used hydrological ecosystem services models for integrated decision-support. *Sustainability (Switzerland)*, 10(2). DOI: 10.3390/su10020346
- Madani, K., and Khatami, S. (2015). Water for Energy: Inconsistent Assessment Standards and Inability to Judge Properly. *Current Sustainable/Renewable Energy Reports*, 2(1), 10–16. DOI: 10.1007/s40518-014-0022-5
- Mekonnen, M. M. and Hoekstra, A. Y. (2016). Sustainability: Four billion people facing severe water scarcity. *Science Advances*, 2(2), 1–7. DOI: 10.1126/sciadv.1500323
- Nhamo, L., Ndlela, B., Mpandeli, S., and Mabhaudhi, T. (2020). The water-energy-food nexus as an adaptation strategy for achieving sustainable livelihoods at a local level. *Sustainability (Switzerland)*, 12(20), 1–16. DOI: 10.3390/su12208582
- Peng, J., Yang, Y., Liu, Y., Hu, Y., Du, Y., Meersmans, J., and Qiu, S. (2018). Linking ecosystem services and circuit theory to identify ecological security patterns. *Science of the Total Environment*, 644, 781–790. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.06.292
- Pirmana, V., Salsiah, A., Anshory, A., Hoekstra, R., and Tukker, A. (2021). Environmental costs assessment for improved environmental- economic account for Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 280, 124521. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124521
- Purwanto, A., Sušnik, J., Suryadi, F. X., and de Fraiture, C. (2021). Quantitative simulation of the water-energy-food (WEF) security nexus in a local planning context in indonesia. *Sustainable Production and Consumption*, 25, 198–216. DOI: 10.1016/j.spc.2020.08.009
- Republik Indonesia. (2020). *RPJMN 2020-2024*.
- Rozaki, Z. (2021). Food security challenges and opportunities in indonesia post COVID-19. In: *Advances in Food Security and Sustainability*, 1st ed. Elsevier Inc. DOI: 10.1016/bs.afs.2021.07.002
- Sen, S. M., and Kansal, A. (2019). Achieving water security in rural Indian Himalayas: A participatory account of challenges and potential solutions. *Journal of Environmental Management*, 245(May), 398–408. DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.05.132
- Shomar, B., and Dare, A. (2016). Ten key research issues for integrated and sustainable wastewater reuse in the Middle East. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(8), 5699–5710. DOI: 10.1007/s11356-014-3875-7
- Shukla, S., Singh, S. P., and Shankar, R. (2018). Evaluating elements of national food control system: Indian context. *Food Control*, 90, 121–130. DOI: 10.1016/j.foodcont.2018.02.046
- van Noordwijk, M., Kim, Y. S., Leimona, B., Hairiah, K., and Fisher, L. A. (2016). Metrics of water security, adaptive capacity, and agroforestry in Indonesia. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 21, 1–8. DOI: 10.1016/j.cosust.2016.10.004
- Vats, G., Sharma, D., and Sandu, S. (2021). A flexible input-output price model for assessment of a nexus

- perspective to energy, water, food security policymaking. *Renewable and Sustainable Energy Transition*, 1(May), 100012. DOI: 10.1016/j.rset.2021.100012
- Veettil, A. V., and Mishra, A. K. (2018). Potential influence of climate and anthropogenic variables on water security using blue and green water scarcity, Falkenmark index, and freshwater provision indicator. *Journal of Environmental Management*, 228(August), 346–362. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.09.012
- Wu, X., Ye, Y., Hu, D., Liu, Z., and Cao, J. (2014). Food safety assurance systems in Hong Kong. *Food Control*, 37(1), 141–145. DOI: 10.1016/j.foodcont.2013.09.025
- Zakeri, M. A., Mirnia, S. K. and Moradi, H. (2021). Assessment of water security in the large watersheds of Iran. *Environmental Science and Policy*, 127, 31–37. DOI: 10.1016/j.envsci.2021.10.009
- Zarei, M. (2020). The water-energy-food nexus: A holistic approach for resource security in Iran, Iraq, and Turkey. *Water-Energy Nexus*, 3, 81–94. DOI: 10.1016/j.wen.2020.05.004