

PERUBAHAN IKLIM SEBAGAI ANCAMAN KETAHANAN KUALITAS AIR PADA DAERAH ALIRAN SUNGAI: *LITERATUR REVIEW*

TASTAPTYANI KURNIA NUFUTOMO¹

1. Program Studi Doktor Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No.10, Bandung, 40132
Email : tyannufutomo@gmail.com

ABSTRAK

Perubahan iklim terjadi secara alami dan dari aktivitas manusia yang berkontribusi besar merubah emisi di atmosfer yang menciptakan efek rumah kaca, sehingga pemanasan global terjadi yang disertai oleh peningkatan suhu bumi, perubahan curah hujan, pola angin, dan evapotranspirasi. Perubahan iklim memiliki dampak terhadap sumber daya air yang biasanya diketahui adalah menurunnya ketersediaan air, sedangkan hubungannya dengan kualitas air masih kurang dipahami. Tujuan literatur review pada makalah ini adalah sebagai kumpulan referensi untuk mengetahui terdapat dampak perubahan iklim terhadap kualitas air di Daerah Aliran Sungai dan sebagai pencarian state of art untuk gap yang akan dilakukan pada penelitian selanjutnya. Pada makalah ini akan membahas mengenai pembagian iklim, Dampak Perubahan Iklim di Indonesia terhadap Sumber Daya Air, kondisi kualitas air sungai, dan ketahanan air terhadap perubahan iklim serta peraturan dan kebijakan di Indonesia mengenai pengelolaan sumberdaya air di Indonesia dan klimatologi. Metode yang digunakan dalam literatur review ini adalah menggunakan kata kunci dampak perubahan iklim pada pencarian di website jurnal seperti di Google scholar, Scopus dan Science direct dengan rentan waktu 5 sampai 10 tahun (2011 – 2021). Hasil pencarian tersebut diolah dengan tools VOS viewer untuk membangun dan mevisualisasikan jaringan bibliometrik yang didapat. Kata kunci land use change, nutrient, phosphorus adalah hasil dari VOS viewer yang nantinya dijadikan gap pada penelitian selanjutnya.

Kata kunci: perubahan iklim, ketahanan air, kualitas air, daerah aliran sungai

ABSTRACT

Climate changes that occur naturally and from human activities cause large changes in emissions in the atmosphere that create the greenhouse effect, so that global warming is accompanied by an increase in earth's temperature, changes in rainfall, wind patterns, and evapotranspiration. Climate change has an impact on air resources, which is usually known to be a decrease in air availability, while its relationship with air quality is still less affordable. The purpose of the literature review in this paper is as a collection of references to determining the impact of climate change on air quality in watersheds and as a state of art for gaps that will be carried out in future research. This paper will discuss the climate, the impact of climate change in Indonesia on water resources, the condition of river water quality, and air resistance to climate change as well as regulations and policies in Indonesia regarding the management of water resources in Indonesia and climatology. The method used in this literature review is to use keywords on climate change impacts in web search journals such as Google Scholar, Scopus and Science directly with a time span of 5 to 10 years (2011 – 2021). The search results are processed with the VOS viewer tool to build and visualize the obtained bibliometric network. The keywords land use change, nutrient, phosphorus are the results of the VOS viewer which will be used as a gap in further research.

Keywords: climate change, water security, water quality, watershed

1. PENDAHULUAN

Indonesia saat ini sedang mengalami perubahan iklim ekstrem yang ditunjukkan dari terjadinya anomali suhu udara dan perubahan pola curah hujan. Berdasarkan pengamatan dari Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG) dari tahun 1981 – 2021, tahun 2016 adalah tahun terpanas karena nilai suhu udara rata-rata tahunan 0.8°C , dan tahun 2020 adalah urutan kedua tahun terpanas dengan nilai 0.7°C , sedangkan curah hujan pada periode pengamatan 10 tahun (1991 – 2000) mengalami peningkatan dan 10 tahun berikutnya (2001 – 2010) mengalami penurunan curah hujan (BMKG 2021). Perubahan iklim dalam IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) mengacu pada setiap periode waktu yang disebabkan oleh variabilitas secara alami atau dari akibat aktivitas manusia yang mengubah komposisi atmosfer global (Mc Carthy dkk., 2002). Perubahan iklim menyebabkan terjadinya perubahan frekuensi, luasan wilayah, durasi dan waktu terjadinya kejadian cuaca dan iklim ekstrim dan dapat menyebabkan terjadinya kejadian cuaca dan iklim ekstrim yang belum pernah terjadi sebelumnya. Sehingga peristiwa perubahan iklim ekstrem memiliki efek yang lebih merusak terhadap manusia dan lingkungan yang dampaknya diperkirakan akan sama seperti pandemi (IPCC 2015). Perubahan iklim disebabkan karena peningkatan konsentrasi emisi CO_2 di atmosfer dan peningkatan kadar ozon di troposfer (O_3) yang menciptakan efek rumah kaca, sehingga pemanasan global terjadi yang disertai oleh peningkatan suhu bumi, perubahan curah hujan, pola angin, dan evapotranspirasi (Lobell & Gourji, 2012).

Perubahan iklim yang terjadi seperti pada suhu dan curah hujan akan berdampak kepada volume limpasan dan merubah transportasi serta pengenceran dan ekokinetik kontaminan di perairan (Luo dkk., 2013). Peningkatan suhu air berdampak pada kinetika reaksi kimia, dan berkaitan dengan penurunan kualitas air serta penurunan status mutu ekologi air tawar. Dengan bertambahnya debit air karena curah hujan yang meningkat atau sebaliknya, intensitas aliran air dan beban sedimen akan berubah, yang dapat mengubah bentuk sungai dan juga berpengaruh atas perpindahan sedimen, sehingga hal ini mempengaruhi habitat air tawar di danau dan sungai (Whitehead dkk., 2009). Pada saat musim hujan ketika peralihan dari siklus kering ke basah dapat menurunkan kualitas air, karena terjadinya peningkatan dekomposisi dan pembilasan zat organik ke sungai (Evans dkk., 2005). Perubahan iklim berpengaruh terhadap kesetimbangan fisika, kimia dan reaksi biologis yang dapat meningkatkan reaksi endotermik, sehingga fenomena ini akan membuat meningkat atau menurunkan konsentrasi zat terlarut dalam air terutama kadar oksigen terlarut di air (Bates dkk., 2008). Peningkatan radiasi matahari seperti radiasi *ultra violet* B (UVB) yang dapat merubah kualitas air terutama zat organik alami (NOM) di sistem perairan karena dapat meningkatkan proses fotolisis (Soh dkk., 2008).

Dampak perubahan iklim yang memiliki banyak indikator secara tahunan dan musiman seperti jumlah curah hujan, suhu udara rata-rata, jumlah suhu udara, standar deviasi suhu udara harian, curah hujan harian maksimum, dan lain sebagainya dapat ditetapkan dengan bantuan analisis statistik multivariat seperti menggunakan analisis komponen utama (PCA) (Tadić dkk., 2019). Salah satu hasil analisis dengan PCA adalah logam Fe merupakan salah satu logam yang sensitive terhadap faktor meteorologi yaitu suhu dan kurang terpengaruh dari aktivitas antropogenik, karena Fe berasal dari pelapukan mineral dan erosi tanah sehingga Fe akan menunjukkan tren penurunan yang signifikan selama 50 tahun terakhir dari pengaruh dampak perubahan iklim. Peningkatan suhu dapat mempercepat pembentukan lingkungan pereduksi di sedimen dan melepaskan logam berat dari sedimen ke air di permukaan (Wu dkk., 2017). Selain itu terdapat tiga metode dasar untuk menilai dampak perubahan iklim terhadap perilaku hidrologis yaitu dengan menggunakan model

iklim regional beresolusi tinggi, menggunakan *General Circulation Model* (GCM) melalui teknik penurunan skala statistik dan menggunakan skenario hipotesis sebagai masukan untuk model hidrologi. Sebagai contoh di Sungai Ardak, Iran dalam melihat dampak perubahan iklim terhadap kualitas air sungai menggunakan model sirkulasi bulanan (GCM) dengan jalur konsentrasi representative (RCP) 2.6 dan RCP 8.5 untuk memprediksi suhu dan curah hujan dengan mengimpor data ke *Identification of Hydrographs and Components from Rainfall, Evaporation and Stream* (IHACRES) dan aliran sungai disimulasikan dengan model Qual2kW untuk memprediksi efek masa depan dari kualitas air dengan hasil perubahan suhu 0,5 – 1,2 °C akan terjadi di musim dingin dan musim panas sehingga kualitas air diperkirakan akan menurun karena peningkatan suhu dan laju aliran yang rendah serta terjadi peningkatan pada DO dan NO₃ di RCP 8.5 dan COD serta pH di RCP 2.6 (Nikakhtar dkk., 2020). Hosseini dkk., (2017) juga telah melakukan simulasi dampak perubahan iklim terhadap kualitas air pada hulu Sungai Qu'Appelle, Swiss, dengan *Water Quality Analysis Simulation Program* (WASP) versi 7 untuk masa saat ini dan masa depan dengan memprediksi nitrogen dan fosfor untuk tahun 2050 – 2055 dan 2080 – 2085 bahwa peningkatan suhu secara global akan mengakibatkan penurunan ketebalan es dan penurunan konsentrasi nutrisi di tahun 2050 dan 2080 dibanding di tahun 2010 selain itu juga dapat menyebabkan peningkatan konsentrasi ammonium, nitrat dan oksigen terlarut serta ortofosfat di musim panas. Hal serupa dari dampak perubahan iklim secara substantial dapat mempengaruhi aliran sungai dan kualitas air (nitrat, amonia, fosfor total, dan fosfor reaktif terlarut) di masa depan, dengan aliran rata-rata yang lebih besar dan kemungkinan besar banjir yang terus meningkat serta kekeringan yang berkepanjangan di DAS Sungai Mekong melalui simulasi *dari integrated catchment model* (INCA) (Whitehead dkk., 2019).

Secara global para peneliti telah melakukan aksi atas perubahan iklim terhadap daerah aliran sungai khususnya untuk melihat kualitas air agar dapat layak dikonsumsi oleh manusia dan juga melihat faktor pencemaran dari kegiatan manusia ke badan air. Oleh karena itu Persatuan Bangsa–Bangsa (PBB) menetapkan 17 tujuan pembangunan berkelanjutan secara global untuk mengatasi kemiskinan dan pembangunan sosial, ekonomi dan meningkatkan kualitas lingkungan di tahun 2030. Dari 17 Tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) ada tujuan ke-6 yaitu untuk memastikan ketersediaan dan manajemen air bersih yang berkelanjutan dan sanitasi bagi semua, sedangkan tujuan ke-13 yaitu mengambil aksi dalam menangani perubahan iklim dan dampaknya (United Nations 2015). Penelitian di Indonesia yang sudah banyak dilakukan terkait monitoring kualitas air belum menambahkan variabel iklim, oleh karena itu berdasarkan penelitian terdahulu dapat mengkaitkan perihal perubahan iklim dan kualitas air dengan tujuan monitoring dan mengelola keberlanjutan kualitas dan kuantitas sumber daya air di Daerah Aliran Sungai di Indonesia yang memiliki iklim tropis, agar sumber daya air dapat layak dikonsumsi oleh manusia dan menjaga kelestarian ekosistem di perairan di bawah fenomena perubahan iklim saat ini.

2. METODE

Metode yang digunakan dalam penulisan ini adalah *literature review*. Sumber pustaka yang digunakan dalam penyusunan literature review menggunakan artikel jurnal dari tahun 2011 – 2021, agar dapat sumber yang terbaru dari penelitian terkait perubahan iklim dengan kualitas air. Proses pencarian artikel melalui *GoogleScholar*, *Scopus*, dan *Science Direct*, menggunakan kata kunci *climate change impact to water quality on watersheds*, *climate change in tropical country*, *water quality sustainable* dan lain sebagainya yang masih memiliki keterkaitan dengan topik makalah ini.

Langkah selanjutnya adalah menyimpan jurnal tersebut apda *reference manager* yaitu Mendeley. Selain mendeley ada Zotero, namun pemilihan ini tergantung dari kemudahan *fitur* dan *tools* yang lebih *friendly user* atau mudah dan biasa digunakan. *Reference manager* dilakukan untuk dapat menyimpan makalah dari jurnal agar lebih memudahkan dalam membaca, menyitir dan mengelola makalah yang kita dapatkan. *Mendeley* dapat di unduh secara gratis pada website www.mendeley.com dan pilih yang untuk di *desktop* agar dapat di buka pada pc komputer.

Analisis tren yang membicarakan *climate change, water quality, watershed, lake* dari situs Scopus terdapat 304 dokumen terkait dan 3 negara yang banyak membahas mengenai hal ini berasal dari United States, Canada dan China. Dari 304 dokumen di lakukan proses *screening* dengan memilih tahun (dibatasi 5 atau 10 tahun terakhir, misal 2021 – 2017), jenis dokumen (artikel, tulisan konferensi, review, bagian dari buku, dll) dan sumber tipe publikasi (jurnal, prosiding, atau buku). Setelah dilakukan *screening* maka didapatkan 132 dokumen yang tersaring, jika ingin disaring kembali dapat dilakukan dengan pemilihan kata kunci lebih spesifik pada kolom *filter* seperti *climate change, water quality, lakes, watershed*, dll. Dan didapatkan hasil 122 dokumen, lalu unduh bagian keseluruhan dokumen dalam bentuk format ris untuk diolah pada *tools* VOS. Langkah selanjutnya adalah melakukan keterkaitan kata kunci dengan bantuan *VOS viewer* yang dapat di unduh secara gratis di www.vosviewer.com. VOS berfungsi untuk membangun dan memvisualisasikan jaringan bibliometrik. Pada gambar 1 menunjukkan hasil *overlay visualisasi* dari kata kunci yang dicari, dan terlihat bahwa kaitan perubahan iklim dan kualitas air di Sungai atau Danau pada tahun 2020an masih sedikit dibahas keterkaitannya dengan *land use change* atau *land use, soil, phosphorus, nutrien, sedimen, model*, dll. Oleh karena itu hal ini adalah gagasan baru yang dapat dilakukan oleh para peneliti di Indonesia untuk mengembangkan pengetahuan baru terkait perubahan iklim dan juga kualitas air permukaan dan mengkaitkannya dengan beberapa kata kunci lain seperti *land use change* agar dapat membantu pihak terkait dalam mengelola sumber daya alam dan melakukan mitigasi serta adaptasi dibawah fenomena perubahan iklim.



Gambar 1. Hasil menggunakan VOS viewer

3.HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pembagian Iklim

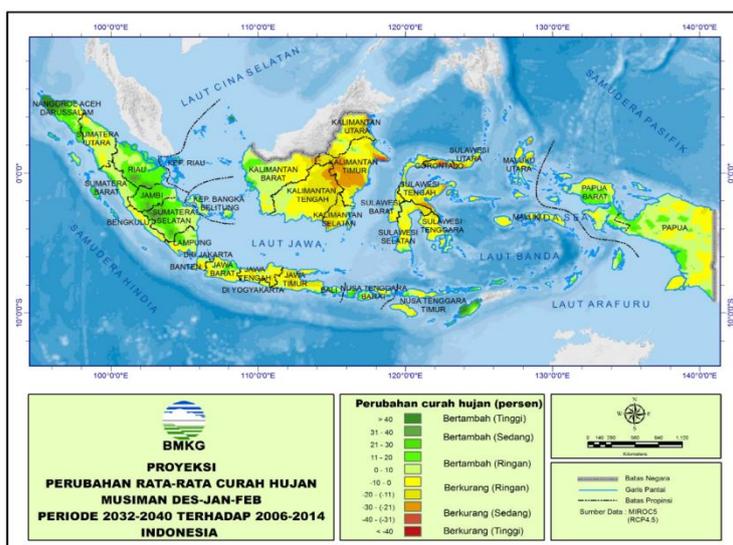
Meteorologi dan klimatologi merupakan ilmu pengetahuan yang menjelaskan mengenai proses dan gejala yang terjadi di atmosfer bumi. Meteorologi adalah ilmu yang membahas pembentukan dan gejala perubahan cuaca serta fisika yang terjadi di atmosfer atau lebih menekankan pada proses terjadinya cuaca. Cuaca adalah nilai atmosfer sesaat dan perubahan jangka pendek pada suatu lokasi tertentu di permukaan bumi atau keadaan atmosfer di suatu lokasi. Misalnya seperti suhu udara di lokasi X pada tanggal 1 desember 2021 pukul 13.00 adalah 30°C. Sedangkan klimatologi adalah ilmu yang mempelajari iklim yaitu membahas mengenai sintesis atau statistik unsur perubahan cuaca dalam jangka panjang di suatu wilayah tertentu. Misalnya suhu udara di Bandung pada bulan November berkisar antara 18° – 24°C. Unsur cuaca dan iklim diantaranya adalah hujan, intensitas matahari, kecepatan angin, suhu udara dan kelembaban (Koesmaryono & Askari, 2013).

Pembagian iklim di setiap wilayah berkaitan dengan letak garis lintang dan ketinggian di permukaan bumi oleh karena itu iklim dapat dibedakan menjadi dua macam yaitu iklim matahari dan iklim fisik, selain itu para ahli juga mengklasifikasi iklim yang disesuaikan dengan kebutuhan manusia juga seperti iklim Junghuhn, iklim Koppen, iklim Schmidt dan Ferguson, dan iklim Oldeman (Winarno dkk., 2019). Klasifikasi iklim matahari berdasarkan pada jumlah sinar matahari yang diterima oleh setiap wilayah di permukaan bumi, diantaranya adalah iklim tropis, iklim sub tropis, iklim sedang dan iklim dingin. Iklim fisik terjadi menurut oleh keadaan atau fakta sesungguhnya di suatu wilayah di muka bumi sebagai hasil pengaruh lingkungan alam yang terdapat di wilayah tersebut. Misalnya, pengaruh lautan, daratan yang luas, relief muka bumi, angin dan curah hujan. Iklim fisik dapat dibedakan menjadi iklim laut, iklim darat, iklim dataran tinggi, iklim gunung/pegunungan dan iklim musim (muson) (Caraka & Tahmid, 2019).

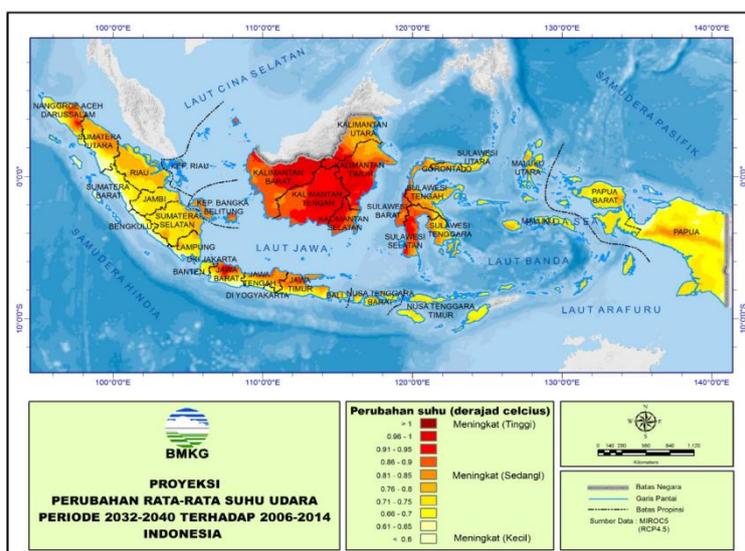
Indonesia memiliki tiga sub wilayah iklim yang memiliki karakteristik berbeda (Aldrian and Dwi Susanto 2003). Salah satunya berdasarkan dari distribusi curah hujan bulanan di Indonesia, karena Indonesia memiliki 3 (tiga) pola curah hujan, diantaranya yaitu tipe ekuatorial, tipe monsun dan tipe lokal (Caraka dan Tahmid, 2019). Indonesia merupakan negara maritim yang memiliki lima pulau utama dan beribu pulau serta dikelilingi oleh dua samudera dan terletak di daerah tropis yang memiliki iklim panas dan lembab sepanjang tahun, sehingga iklim di Indonesia terpengaruh oleh sistem Monsun Asia-Australia (Robertson dkk., 2011). Monsun merupakan suatu sirkulasi tahunan angin permukaan dan berkaitan dengan musim hujan, musim panas dan musim dingin. Monsun lokal di negara tropis mempengaruhi siklus musim hujan dan musim kemarau dengan sirkulasi angin tahunan berdasarkan dari zona wilayah dan daerah garis katulistiwa. Selain itu efek rotasi bumi juga memiliki peran dalam membentuk sirkulasi monsun. Monsun regional dibentuk juga oleh distribusi daratan dan lautan yang ditentukan secara geologis sehingga akan membentuk siklus hidrologi yang berbeda antara wilayah (Wang dkk., 2017). Selain itu iklim di Indonesia juga terkait dengan El Nino Southern Oscillation (ENSO) serta peristiwa dipol Samudra Hindia (Jun-Ichi dkk., 2012). Dampak IOD dan ENSO dapat membuat kejadian aliran air yang tinggi di Sungai Citarum, sebab diidentifikasi ada fase negatif IOD dan EL Nino, dan aliran air yang rendah berhubungan dengan IOD positif saat El Nino, oleh karena itu terdapat hubungan antara indeks IOD musiman dan aliran arus air musiman (Sahu dkk., 2012).

Proyeksi perubahan curah hujan dan suhu di Indonesia dapat diakses melalui Pusat Informasi perubahan iklim Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) yang disediakan

informasinya berupa peta spasial dengan resolusi 25 km x 25 km. peta proyeksi iklim ini adalah hasil pengolahan data keluaran dari kegiatan pemodelan iklim regional dan konsorsium internasional pemodelan iklim CORDEX-SEA yang terdiri atas *ensemble* dari hasil proses *downscaling* enam jenis model proyeksi iklim global (GCM) dalam dua skenario kenaikan gas rumah kaca yaitu RCP 4.5 dan RCP 8.5. pada gambar 2 dan 3 menunjukkan proyeksi perubahan rata-rata curah hujan musiman dan rata-rata suhu udara periode 2032 – 2040 terhadap periode 2006 – 2014 di Indonesia (BMKG, 2022).



Gambar 2. Proyeksi Perubahan Curah Hujan Musiman Provinsi Jawa Barat (Sumber: BMKG, 2022)



Gambar 3. Proyeksi Perubahan Suhu Udara Provinsi Jawa Barat (Sumber: BMKG, 2022)

3.2. Dampak Perubahan Iklim di Indonesia terhadap Sumber Daya Air

Di Indonesia perubahan iklim terjadi di semua daerah, perubahan iklim yang terjadi di Indonesia lebih terkait dengan ketersediaan air, sedangkan perubahan iklim yang membahas mengenai kualitas air masih sangat sedikit. Pada musim kemarau daya tampung beban pencemar Waduk Saguling memiliki nilai yang kecil dibanding musim penghujan, nilai dari kapasitas beban P sebesar 5,212.7 ton per tahun di musim kemarau dan 6,423 ton di musim hujan. Beban pencemar oleh kadar P disebabkan juga oleh aktivitas sistem keramba jaring apung (KJA) (Mushfiroh & Marselina, 2020). Debit andalan dan debit aliran juga memiliki dampak terhadap perubahan iklim, seperti di Sungai Krueng Aceh, yaitu terjadinya penurunan debit aliran lebih kecil hingga 18,77 m³/s dan penurunan debit andalan di periode April – Desember sebesar 23,5% (Ferijal dkk., 2016). Peningkatan curah hujan setiap tahun akan memiliki dampak peningkatan debit aliran yang menjadi banjir seperti di Kawasan GedeBage, dengan presentase kenaikan debit tertinggi di tahun 2030 yaitu 329% akibat perubahan iklim pada seluruh lahan di GedeBage dibanding dengan prasarana drainase primer saat ini (Dwiputri 2017). Selain itu kenaikan permukaan air laut (SLR) akibat dari perubahan iklim akan memiliki ancaman terhadap keberadaan suatu wilayah kepulauan, pantai, atau wilayah yang dekat laut, karena berpotensi akan tenggelam dan muncul masalah yang signifikan yaitu bergesernya dan tenggelamnya garis pangkal pantai yang dapat mempengaruhi pengaturan negara pantai terkait titik batas maritimnya, seperti penentuan laut territorial di Indonesia (Karlina & Viana, 2020).

3.3. Kondisi Kualitas Air Sungai di Indonesia

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia melaporkan mengenai Status Lingkungan Hidup Indonesia tahun 2020, pada laporan tersebut menunjukkan bahwa Indeks Kualitas Air (IKA) di Wilayah Indonesia secara nasional pada tahun 2015 – 2017, sebanyak 58,82% - 44,12% sungai berstatus kualitas cukup baik. Pada tahun 2018 sebagian besar (70,1%) sungai Indonesia memiliki kualitas baik dan cukup baik (IKA>70). Akan tetapi, pada 2019 kualitas sungai prioritas Indonesia mulai menurun, dimana mayoritas (76,5%) sungai memiliki kualitas kurang dan cukup baik (IKA: 50 – 70). Pada saat ini sumber baku yang sudah mulai tercemar karena kegiatan antropogenik yang membawa dampak kepada kualitas air permukaan yaitu peningkatan parameter fisikokimia dan biologinya yang melebihi standar baku mutu, seperti perilaku manusia yang masih membuang sampah ke badan sungai, kontaminasi dari air limbah MCK (mandi cuci kakus), kotoran ternak yang dibuang ke badan air (Faisal dan Atmaja, 2019). Namun, jika ingin melihat kondisi sungai tidak tercemar dapat diketahui dari keberadaan fitoplankton sebagai indikator, karena fitoplankton memanfaatkan karbondioksida dan mengeluarkan oksigen di perairan sehingga membuat air di perairan sungai tersebut memiliki kualitas air yang baik dan layak dikonsumsi (Nirmalasari, 2018). Sedangkan untuk mengetahui kualitas air sungai dari parameter kimia salah satunya dapat diketahui melalui parameter BOD dan COD yang menggambarkan pengaruhnya akibat aktivitas manusia, jika parameter tersebut melebihi baku mutu, maka nilai oksigen di perairan tersebut akan menurun karena dipengaruhi dari masuknya kandungan organik ke badan air (Sara, dkk., 2018).

Perubahan tata guna lahan terhadap kuantitas dan kualitas air, seperti yang terjadi di Sungai Percut, telah teridentifikasi air limpasan meningkat sebesar 0,034 – 0,036 % karena lahan menjadi belukar dan pertanian, 0,465% akibat berubah menjadi lahan tambak, sehingga status mutu air adalah tercemar ringan karena pemanfaatan lahan pertanian, kegiatan wisata, industry dan pemukiman di sekitar daerah aliran sungai tersebut (Machairiyah, 2019). Badan Pengawas Lingkungan Hidup Daerah Provinsi Jawa Barat menerangkan bahwa kondisi kualitas air Sungai Citarum belum memenuhi baku mutu air sepanjang tahun

terutama di musim kemarau dan berstatus sungai yang tercemar berat karena tingginya pencemar yang masuk ke dalam sungai dari kegiatan antropogenik seperti pertanian, peternakan, perikanan, industri dan kegiatan domestik lainnya. Parameter kualitas air yang terdiri dari parameter fisika (suhu air, kekeruhan TDS, konduktivitas dan lain – lain), kimia (meliputi pH, logam berat, COD, BOD dan lain – lain) dan biologi (mikroorganisme patogen seperti bakteri fecal coliform) dapat menunjukkan suatu cemaran yang terjadi di badan air (Utami, 2019). Sungai Cibaligo, Cimahi mengalami penurunan kualitas air dengan hasil analisis dengan indeks pencemar kategori cemar berat di tiap musim dengan nilai indeks tertinggi pada musim hujan di titik hilir, hal ini dikarenakan air sungai tercemar oleh air limbah domestik dan nilai total coliform serta fecal coliform melebihi baku mutu (Anggraini dan Wardhani, 2021).

3.4. Ketahanan Air terhadap Perubahan Iklim

Ketahanan menurut terminology *United Nations International Strategy For Disaster Risk Reduction* (UNISDR) adalah kemampuan sistem, komunitas atau masyarakat yang terkena bahaya untuk bertahan, menerima, menampung serta pulih dari dampak bahaya secara efisien dan tepat waktu, yaitu termasuk pemeliharaan dan pemulihan dari struktur dan fungsi dasarnya yang essensial (UNISDR, 2009). Dalam pembangunan berkelanjutan ketahanan adalah upaya untuk meningkatkan kesejahteraan manusia dengan mengatur dinamika sistem sosial – ekologi yang kompleks sebagai bagian dari biosfer yang dinamis (Folke, 2016). Pembangunan berkelanjutan memiliki dasar sistem sosial, ekologi manusia, komunitas, ekonomi, masyarakat dan budaya (Laitinen dkk., 2020). Ketahanan perkotaan didasarkan kepada empat pilar yaitu *resisting*, *recovering*, *adapting* dan *transforming*. Selain itu ketahanan perkotaan dibagi kedalam lima dimensi yaitu alam, ekonomi, sosial, fisik dan kelembagaan (Ramirez-Rubio dkk., 2019).

Pengelolaan air memiliki indikator sebagai transisi pengelolaan air dengan tujuan untuk mencapai praktik pengelolaan air yang lebih baik, di antaranya yaitu (Zhu & Chang 2020):

- *Water supply city*: Ketersediaan dan aksesibilitas sumber daya air untuk kegiatan manusia
- *Sewered city*: Membangun cakupan jaringan pembuangan limbah yang memadai untuk menjamin Kesehatan masyarakat dari risiko penularan penyakit melalui air
- *Drained city*: Peningkatan efektivitas infrastruktur drainase untuk *zero run off*
- *Water ways city*: Peningkatan kualitas air dan kemudahan badan air melalui penanganan dan pencegahan pencemaran
- *Water cycle city*: Pemanfaatan air yang efisien dan penggunaan air yang berulang
- *Water sensitive city*: Ketahanan sarana infrastruktur yang integrative dalam adaptasi menghadapi bencana dan perubahan iklim.

Proses tercapainya pembangunan yang berkelanjutan diperlukan dari sudut pandang keamanan, ketahanan dan keberlanjutan air. Keamanan adalah suatu bentuk dari tingkat layanan, ketahanan adalah kemampuan sistem untuk merespon dan memulihkan serta keberlanjutan memiliki keberlangsungan sistem yang berjangka (Krueger dkk., 2020). Pengaruh perubahan iklim dan urbanisasi pada ketersediaan dan kualitas sumber daya air dibutuhkan bentuk adaptasi yang diperlukan, seperti strategi dan dokumen pedoman pengelolaan sumber daya air, di Ethiopia telah memulai transisi ke rencana keamanan air yang disesuaikan dengan perubahan iklim untuk memastikan air minum yang aman (Berg dkk., 2019). Ketahanan ketersediaan air perlu dilakukan agar dapat memiliki kemampuan dalam menyediakan kebutuhan air, menghadapi permasalahan air, menjamin diagnostik lingkungan dan kemandirian mengatasi kondisi ekstrim pada perubahan iklim (Wuysang

dkk., 2016). Alternatif sumber daya air dapat melengkapi pasokan air di perkotaan seperti pemanenan air hujan sebagai bentuk ketahanan air terhadap perubahan iklim di perkotaan (Fisher-Jeffes dkk., 2017). Sistem drainase perkotaan berkelanjutan dengan menggabungkan vegetasi yang dapat menyerap panas dan menahan air hujan dapat mengurangi terjadinya banjir dan panas dikala perubahan iklim terjadi sebagai bentuk ketahanan air di perkotaan (Chan dkk., 2019). Indeks kepekaan air perkotaan (*water sensitive cities – WSC*) dapat digunakan sebagai alat tolak ukur dan diagnostic untuk sensitivitas air di perkotaan dengan menetapkan target aspirasional dan tanggapan pengelolaan informatif untuk meningkatkan praktik sensitive air terhadap suatu perubahan seperti perubahan iklim (Rogers dkk., 2020). Pengelolaan sumber daya air dapat diukur ketahanannya terhadap perubahan iklim pada pasokan dan permintaan air dengan lima aspek ketahanan sistem sumber daya air, aspek pertama dapat mendefinisikan ketahanan sebagai kekuatan sistem terhadap suatu keandalan, aspek kedua yaitu jika sistem melewati keandalan maka tingkat pemulihan sistem setelah adanya gangguan akan dievaluasi, aspek ketiga yaitu kerentanan yang mempertimbangkan tingkat keparahan kegagalan, aspek keempat adalah resiliensi dibawah kejadian esktrim dengan probabilitas kejadian yang tidak diketahui dengan empat sub kriteria (kecepatan, ketahanan, sumber daya dan redundansi, dan aspek kelima yang terakhir yaitu mempertimbangkan kondisi sistem ekologi (Behboudian & Kerachian 2021).

3.5. Peraturan dan Kebijakan di Indonesia

Indonesia memiliki beberapa peraturan mengenai pengelolaan sumberdaya air dan klimatologi. Hal ini dibuat sebagai landasan hukum untuk mengelola sumber daya air pada sumber air permukaan di Indonesia dan bentuk adaptasi dan mitigasi dari perubahan iklim yang terjadi. Peraturan tersebut diantaranya yaitu:

- 1) Undang – Undang No. 31 Tahun 2009
Undang – undang No. 31 Tahun 2009 tentang Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika membahas mengenai perubahan iklim yang diakibatkan secara langsung atau tidak langsung oleh aktivitas manusia dan menyebabkan perubahan komposisi atmosfer secara global serta variabilitas iklim. Oleh karena itu butuh adanya mitigasi dan adaptasi atas perubahan iklim yang terjadi (Pemerintah Republik Indonesia 2009).
- 2) Undang – undang No.17 Tahun 2019
Undang – undang No.17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air yang perlu dikelola dengan memperhatikan fungsi sosial, lingkungan hidup dan ekonomi untuk mewujudkan sinergi dan keterpaduan antar wilayah, antar sektor dan antar generasi dalam pemenuhan kebutuhan rakyat atas air. Pada pasal 22 pengelolaan sumber daya air didasarkan pada wilayah sungai dengan memperhatikan keterkaitan penggunaan air permukaan dan air tanah dengan memperhatikan DAS (daerah aliran sungai), karakteristik fungsi sumber air, daya dukung sumber daya air, kekhasan dan aspirasi daerah dan masyarakat, kemampuan pendanaan, perubahan iklim, konservasi sumber daya alam hayati dan ekosistem, pengembangan teknologi dan jumlah serta penyebaran penduduk beserta proyeksinya (Pemerintah Republik Indonesia 2019).
- 3) Undang -undang No.11 Tahun 2020
Undang – undang No.11 tahun 2020 tentang Cipta Kerja membahas perubahan iklim memiliki pengaruh terhadap kondisi biofisik dan dampak yang penting terhadap kehidupan generasi sekarang dan masa datang, oleh karena itu perubahan iklim harus dikendalikan dengan kebijakan yang dibuat (Pemerintah Republik Indonesia 2020).

4) Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021

Peraturan No. 22 Tahun 2021 membahas mengenai penyelenggaraan perlindungan dan pengelolaan lingkungan hidup, dimana pada Bab III terdapat perlindungan dan pengelolaan mutu air (PPMA) (Pemerintah Republik Indonesia 2021).

3.6. Analisis Hubungan Perubahan Iklim dan Kualitas Air

Hubungan perubahan iklim dengan kualitas air dapat menggunakan berbagai macam metode dalam membantu mengelola sumber daya air di Daerah Aliran Sungai baik secara statistik ataupun perhitungan aritmatik dan model. Seperti Model CE-QUAL-W2 ada model hidrodinamika 2D dan model kualitas air yang digunakan untuk memprediksi kondisi hidrologi dan meteorologi masa depan yang mungkin berdampak pada nutrisi dalam reservoir dan rezim kimia air (Cole & Wells, 2006). Analisis SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) yang merupakan model hidrologi DAS yang terdistribusi oleh GIS dan digunakan untuk memprediksi efek dari pengelolaan hidrologi DAS, sedimen dan bahan kimia, serta penggunaan lahan dan kondisi iklim (Dile dkk., 2016). Metode uji Mann – Kendall (M-K) uji mutasi, metode leveling kumulatif, metode sensitifitas iklim dan indeks perubahan penggunaan lahan dapat digunakan untuk menganalisis secara sistematis untuk variasi limpasan, suhu dan curah hujan, evapotranspirasi, luas danau, penggunaan air sisi sosio-ekonomi, tinggi muka air tanah, dan kualitas air (Wang dkk., 2021).

Efek variabilitas iklim pada eutrofikasi tanah, danau, sungai dan perairan pantai menggunakan pendekatan PCA untuk dua komponen utama yang menunjukkan parameter kualitas air dan variabel iklim yang menunjukkan pola serupa, dengan hasil seperti konsentrasi NO₃ memiliki hubungan dengan suhu dan penguapan yang menggambarkan terjadinya kekeringan jangka Panjang dan konsentrasi klorofil di sungai menunjukkan hubungan dengan suhu dan radiasi, karena dengan suhu tinggi (terkait penguapan tinggi, radiasi global dan curah hujan jangka panjang) akan berkaitan dengan konsentrasi klorofil yang tinggi juga (Rozemeijer dkk., 2021).

4. KESIMPULAN

Dari studi literatur yang dilakukan pada pencarian di *google scholar*, *scopus* ataupun di *science direct*, gap yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya adalah dapat mengkaitkan beberapa kata kunci lainnya dari hasil olah dengan VOS *viewer*. Penelitian yang akan dilakukan terkait perubahan iklim dan kualitas air akan mengkaitkan juga dengan kata kunci dari VOS *viewer* yang dianggap sebagai gap penelitian yang perlu di tambahkan di penelitian selanjutnya seperti *land use change*, *nutrient*, dan *phosphorus*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, Edvin, and R. Dwi Susanto. (2003). Identification of Three Dominant Rainfall Regions within Indonesia and Their Relationship to Sea Surface Temperature. *International Journal of Climatology* 23(12):1435–52.
- Anggraini, Yulia, and Eka Wardhani. (2021). Studi Mutu Air Sungai Cibaligo Kota Cimahi Provinsi Jawa Barat Dengan Metode Indeks Pencemar. *Jurnal Serambi Engineering* 6(1):1478–87.
- Bates, B. C., Z. C. Kundzewich, S. Wu, and P. Palutikof, J. (2008). *Climate and Water*. Geneva.
- Behboudian, Massoud, and Reza Kerachian. (2021). Evaluating the Resilience of Water Resources Management Scenarios Using the Evidential Reasoning Approach: The

- Zarrinehrud River Basin Experience. *Journal of Environmental Management* 284.
- Van den Berg, Harold, Gretta Lynch, Ingmar Janse, Ana Maria de Roda Husman, Bettina Rickert, Seada Ibrahim, Kasa Bekure, Hailu Gichile, Seble Girma, Altaseb Azezew, Tadesse Zegeye Belayneh, Solomon Tadesse, Zeleke Teferi, Firehiwot Abera, Samson Girma, Tesfaye Legesse, Daniel Truneh, and Ana Maria de Roda Husman. 2019. "Linking Water Quality Monitoring and Climate-Resilient Water Safety Planning in Two Urban Drinking Water Utilities in Ethiopia." *Journal of Water and Health* 17(6):989–1001.
- BMKG. (2021). Ekstrem Perubahan Iklim. Badan Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika 1981:Iklim.
- Caraka, Rezzy, and Muhammad Tahmid. 2019. *Statistika Klimatologi*. 1st ed. Jakarta: Mobius.
- Chan, N. W., M. L. Tan, A. A. Ghani, and N. A. Zakaria.(2019). Sustainable Urban Drainage as a Viable Measure of Coping with Heat and Floods Due to Climate Change. in Vol. 257, edited by K. A., P. J.K., and P. J.-H. School of Humanities, Universiti Sains Malaysia, Penang, 11800, Malaysia: Institute of Physics Publishing.
- Cole, Thomas M., and Scott A. Wells. (2006). CE-QUAL-W2: A Two-Dimensional , Laterally Averaged , Hydrodynamic and Water Quality Model , Version 3 . 71 User Manual By. Vicksburg.
- Dile, Yihun T., Prasad Daggupati, Chris George, Raghavan Srinivasan, and Jeff Arnold. (2016). Introducing a New Open Source GIS User Interface for the SWAT Model. *Environmental Modelling and Software* 85:129–38.
- Dwiputri, Marselly. 2017. Identifikasi Debit Limpasan Air Permukaan. *Faktor Exacta* 10(4):379–88.
- Faisal, Muhamad, and Dewa Made Atmaja. 2019. Kualitas Air Pada Sumber Mata Air Di Pura Taman Desa Sanggalangit Sebagai Sumber Air Minum Berbasis Metode Storet. *Jurnal Pendidikan Geografi Undiksha* 7(2):74–84.
- Ferijal, Teuku, Mustafiril Mustafiril, and Dewi Sri Jayanti. 2016. Dampak Perubahan Iklim Terhadap Debit Andalan Sungai Krueng Aceh. *Rona Teknik Pertanian* 9(1):50–61.
- Fisher-Jeffes, L., K. Carden, N. P. Armitage, and K. Winter. 2017. Stormwater Harvesting: Improving Water Security in South Africa's Urban Areas. *South African Journal of Science* 113(1–2).
- Folke, Carl. 2016. Resilience (Republished). *Ecology and Society* 21(4):44.
- Hosseini, Nasim, Jacinda Johnston, and Karl Erich Lindenschmidt. 2017. Impacts of Climate Change on the Water Quality of a Regulated Prairie River. *Water (Switzerland)* 9(3):1–15.
- IPCC. (2015). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Geneva.
- Jun-Ichi, Hamada, Shuichi Mori, Hisayuki Kubota, Manabu D. Yamanaka, Urip Haryoko, Sopia Lestari, Reni Sulistyowati, and Fadli Syamsudin. (2012). Interannual Rainfall Variability over Northwestern Jawa and Its Relation to the Indian Ocean Dipole and El Niño-Southern Oscillation Events." *Scientific Online Letters on the Atmosphere* 8(1):69–72.
- Karlina, Widya Rainnisa, and Abilio Silvino Viana. (2020). Pengaruh Naiknya Permukaan Air Laut Terhadap Perubahan Garis Pangkal Pantai Akibat Perubahan Iklim." *Jurnal Komunikasi Hukum (JKH) Universitas Pendidikan Ganesha* 6(2):575–86.
- Koesmaryono, Yonny, and Muhamad Askari. (2013). *Pengertian Dan Ruang Lingkup Klimatologi Pertanian, Dan Pengaruh Atmosfer Terhadap Kehidupan Dan Pertanian*. Jakarta: Universitas Terbuka.
- Krueger, E. H., D. Borchardt, J. W. Jawitz, and P. S. C. Rao. (2020). Balancing Security, Resilience, and Sustainability of Urban Water Supply Systems in a Desirable Operating Space. *Environmental Research Letters* 15(3).
- Laitinen, J., J. Kallio, T. S. Katko, J. J. Hukka, and P. Juuti. (2020). Resilient Urban Water

- Services for the 21th Century Society-Stakeholder Survey in Finland.” *Water (Switzerland)* 12(1).
- Lobell, David B., and Sharon M. Gourdj. (2012). The Influence of Climate Change on Global Crop Productivity. *Plant Physiology* 160(4):1686–97.
- Luo, Yuzhou, Darren L. Ficklin, Xiaomang Liu, and Minghua Zhang. (2013). Assessment of Climate Change Impacts on Hydrology and Water Quality with a Watershed Modeling Approach.” *Science of the Total Environment* 450–451:72–82.
- Machairiyah. 2019. “Analisis Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Kuantitas Dan Kualitas Air Sungai Percut.” Universitas Sumatera Utara.
- Mc Carthy, J. J., O. F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken, and K. S. White. (2002). *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability*. Vol. 39. Cambridge, United Kingdom.
- Mushfiroh, Arini, and Mariana Marselina. (2020). Analysis Of Pollution Load Capacity Based On Wet , Normal And Dry Year ' S Reservoir Operating Patterns In The Saguling Reservoir , Indonesia. *ASEAN Engineering Journal* 11(1):1–12.
- Nikakhtar, Morteza, Seyedeh Hoda Rahmati, and Ali Reza Massah Bavani. (2020). Impact of Climate Change on the Future Quality of Surface Waters: Case Study of the Ardak River, Northeast of Iran. *Journal of Water and Climate Change* 11(3):685–702.
- Nirmalasari, Ridha. (2018). Analisis Kualitas Sungai Sebganau Pelabuhan Kereng Bengkiray Berdasarkan Keanakearagaman Dan Komposisi Fitoplankton. *Ilmu Alam Dan Lingkungan* 9(17):48–58.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2009). Undang-Undang Republik Indonesia No. 31. 1–21.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2019). Undang - Undang Republik Indonesia No. 17.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2020). Undang - Undang Republik Indonesia No. 11.
- Pemerintah Republik Indonesia. (2021). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22. Sekretariat Negara Republik Indonesia 1(078487A):483.
- Ramirez-Rubio, O., C. Daher, G. Fanjul, M. Gascon, N. Mueller, L. Pajín, A. Plasencia, D. Rojas-Rueda, M. Thondoo, and M. J. Nieuwenhuijsen. (2019). Urban Health: An Example of a 'Health in All Policies' A Pproach in the Context of SDGs Implementation. *Globalization and Health* 15(1).
- Rogers, B. C., G. Dunn, K. Hammer, W. Novalia, F. J. de Haan, L. Brown, R. R. Brown, S. Lloyd, C. Urich, T. H. F. Wong, and C. Chesterfield. (2020). Water Sensitive Cities Index: A Diagnostic Tool to Assess Water Sensitivity and Guide Management Actions. *Water Research* 186.
- Rozemeijer, Joachim, Ruurd Noordhuis, Kevin Ouwerkerk, Miguel Dionisio Pires, Anouk Blauw, Arno Hooijboer, and Geert Jan van Oldenborgh. (2021). Climate Variability Effects on Eutrophication of Groundwater, Lakes, Rivers, and Coastal Waters in the Netherlands. *Science of the Total Environment* 771:145366.
- Sahu, Netrananda, Swadhin K. Behera, Yosuke Yamashiki, Kaoru Takara, and Toshio Yamagata. (2012). IOD and ENSO Impacts on the Extreme Stream-Flows of Citarum River in Indonesia. *Climate Dynamics* 39(7–8):1673–80.
- Sara, Potjut Siti, Widyo Astono, and Diana Irvindiaty Hendrawan. 2018. Kajian Kualitas Air Di Sungai Ciliwung Dengan Parameter BOD Dan COD. *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan* 0(0):591–97.
- Soh, Yeow Chong, Felicity Roddick, and John Van Leeuwen. (2008). The Future of Water in Australia: The Potential Effects of Climate Change and Ozone Depletion on Australian Water Quality, Quantity and Treatability.” *Environmentalist* 28(2):158–65.
- Tadić, Lidija, Ognjen Bonacci, and Tamara Brleković. (2019). An Example of Principal Component Analysis Application on Climate Change Assessment. *Theoretical and Applied Climatology* 138(1–2):1049–62.
- UNISDR. (2009). *UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction*. Geneva, Switzerland:

- United Nations International Strategy for Disaster Reduction (UNISDR).
United Nations. (2015). Resolution Adopted by the General Assembly on 25 September 2015.
- Utami, Ayu Widya. (2019). Kualitas Air Sungai Citarum. INA-Rxiv.
- Wang, Y., X. Gu, G. Yang, J. Yao, and N. Liao. (2021). Impacts of Climate Change and Human Activities on Water Resources in the Ebinur Lake Basin, Northwest China. *Journal of Arid Land* 13(6):581–98.
- Whitehead, P. G., L. Jin, G. Bussi, H. E. Voepel, S. E. Darby, G. Vasilopoulos, R. Manley, H. Rodda, C. Hutton, C. Hackney, Van Pham Dang Tri, and N. N. Hung. (2019). "Water Quality Modelling of the Mekong River Basin: Climate Change and Socioeconomics Drive Flow and Nutrient Flux Changes to the Mekong Delta." *Science of The Total Environment* 673:218–29.
- Whitehead, P. G., R. L. Wilby, R. W. Battarbee, M. Kernan, and A. J. Wade. (2009). A Review of the Potential Impacts of Climate Change on Surface Water Quality. *Hydrological Sciences Journal* 54(1):101–23.
- Winarno, Gunardi Djoko, Harianto, Sugeng Prayitno, and Trio Santoso. 2019. *Klimatologi Pertanian*. Bandar Lampung: Pusaka Media.
- Wu, Qiong, Jun Qi, and Xinghui Xia. (2017). Long-Term Variations in Sediment Heavy Metals of a Reservoir with Changing Trophic States: Implications for the Impact of Climate Change. *Science of the Total Environment* 609:242–50.
- Wuysang, E. .., R. .. Trieweko, and D. Yudianto. (2016). Pengembangan Konsep Ketahanan Air Kota Pontianak. P. 175 in *Pertemuan Ilmiah Tahunan PIT XXXIII dan Kongres HATHI XII*.
- Zhu, Demi, and Ya-Ju Chang. 2020. Urban Water Security Assessment in the Context of Sustainability and Urban Water Management Transitions: An Empirical Study in Shanghai. *Journal of Cleaner Production* 275:122968.