FORUM GURU BESAR
INSTITUT TEKNOLOGI BANDUNG

Orasi Ilmiah Guru Besar Institut Teknologi Bandung

PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR BERKELANJUTAN UNTUK KEHIDUPAN DAN PENGHIDUPAN

Profesor Sri Legowo Wignyodarsono
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung

Aula Barat ITB
18 Juni 2022

Orasi Ilmiah Guru Besar
Institut Teknologi Bandung
18 Juni 2022

Profesor Sri Legowo Wignyodarsono

PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR BERKELANJUTAN UNTUK KEHIDUPAN DAN PENGHIDUPAN

Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung

Hak cipta ada pada penulis

Judul: PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR
UNTUK KEHIDUPAN DAN PENGHIDUPAN
Disampaikan pada sidang terbuka Forum Guru Besar ITB,
tanggal 18 Juni 2022.

Hak Cipta dilindungi undang-undang.
Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apapun, baik secara elektronik maupun mekanik, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan menggunakan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari Penulis.

UNDANG-UNDANG NOMOR 19 TAHUN 2002 TENTANG HAK CIPTA

1. Barang siapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama **7 (tujuh) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 5.000.000.000,00 (lima miliar rupiah).**
2. Barang siapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud pada ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama **5 (lima) tahun** dan/atau denda paling banyak **Rp 500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).**

Hak Cipta ada pada penulis

Sri Legowo Wignyodarsono
PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR
UNTUK KEHIDUPAN DAN PENGHIDUPAN
Disunting oleh Sri Legowo Wignyodarsono

Bandung: Forum Guru Besar ITB, 2022
vi+92 h., 17,5 x 25 cm
ISBN 978-602-6624-54-3
1. Pengelolaan Sumber Daya Air 1. Sri Legowo Wignyodarsono

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang Maha Pengasih Lagi Maha Penyayang, salawat serta salam kita sampaikan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW. Atas berkat rahmat Allah penulis dapat menyelesaikan naskah orasi ilmiah ini. Penghormatan yang tinggi serta ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada pimpinan dan anggota Forum Guru Besar Institut Teknologi Bandung yang telah memperkenankan penyampaian orasi ilmiah pada Sidang Terbuka Forum Guru Besar ITB, tanggal 18 Juni 2022.

Orasi ilmiah saya berjudul "Pengelolaan Sumber Daya Air Berkelanjutan untuk Kehidupan dan Penghidupan". Dalam orasi ilmiah ini saya menyampaikan pentingnya pengelolaan sumber daya air yang berkelanjutan, terintegrasi, dan terpadu demi sebesar-besarnya manfaat untuk rakyat.

Penyampaian orasi ilmiah ini adalah sebagai salah satu bentuk pertanggungjawaban dan komitmen akademik atas jabatan Guru Besar dalam bidang Pengelolaan Sumber Daya Air.

Semoga tulisan ini dapat memberikan wawasan dan inspirasi yang bermanfaat bagi para generasi komunitas ITB pada umumnya dan khususnya Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan.

Bandung, 18 Juni 2022

Prof. Dr. Eng. Ir. S. Legowo Wignyodarsono

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR iii

DAFTAR ISI v

I. PENDAHULUAN 1

II. MENGENAL AIR DAN POTENSI SUMBER DAYA AIR (SDA) ... 8

2.1. Mengenal Air 8

2.2 Potensi SDA Indonesia 14

III. PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR 23

3.1 Siklus Hidrologi dan Proses Pengelolaan SDA 24

3.2. Proses Pengelolaan SDA 26

3.3. Pengelolaan SDA Berbasis Wilayah Sungai 28

3.3.1. Pola Pengelolaan SDA 29

3.3.2. Pendekatan Pembuatan Pola Sumber Daya Air 30

3.3.3. Penyelenggaraan Pengelolaan SDA 31

3.4. Kompleksitas SDA dan Wilayah Sungai 36

3.4.1. Lahan Kritis, Laju Erosi, dan Sedimentasi 43

3.4.2. Potensi Ketersedian Air dan Kelangkaan 47

3.4.3. FENOMENA BANJIR, PERKEMBANGAN KOTA DAN PERINGATAN DINI 52

IV. EKONOMI SDA 57

V. PROFIL KELOMPOK KEAHLIAN TEKNIK SUMBER DAYA AIR (KKTSA) DAN PENELITIAN BERJALAN 60

VI. PENUTUP 75

VII. UCAPAN TERIMA KASIH 77
DAFTAR PUSTAKA 80
BIODATA 85

PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR BERKELANJUTAN UNTUK KEHIDUPAN DAN PENGHIDUPAN

I. PENDAHULUAN

Pengelolaan Sumber Daya Air (SDA) bertujuan memanfaatkan air di udara maupun di daratan untuk sebaik-baiknya kepentingan manusia, makhluk hidup, dan tumbuh-tumbuhan (hutan, belukar, rumput) alami maupun budidaya pertanian secara luas yaitu tanaman, perikanan, peternakan serta kebutuhan sosial ekonomi dan lingkungan (wisata, transportasi, penggelontoran kebersihan lingkungan).

Sejarah menunjukkan bahwa manusia membentuk kelompok dan masyarakat yang hidupnya tidak bisa lepas dari keberadaan air misalnya untuk bertempat tinggal di pinggir sungai dan prasarana berpindah dari lokasi lain, dengan memanfaatkan aliran sungai. Hidup di tepi sungai memudahkan manusia dalam memenuhi kebutuhan, seperti air untuk minum, memasak, mandi, bersih-bersih, juga mata pencaharian sebagai nelayan dan lain sebagainya.

Pengelolaan SDA juga mengandung makna konservasi sekalipun air di bumi tidak berkurang (habis) secara massal, namun air yang siap menjadi sumber daya pada suatu lokasi bisa saja berkurang atau habis, karena air di permukaan maupun di bawah tanah mempunyai sifat mengalir menuju lokasi yang lebih rendah atau menguap dan bergantung

hujan yang bersifat acak dan dinamis juga bergantung waktu dan lokasi. Sifat dinamis air itu bisa secara besar maupun kecil.

Konservasi air sebagai air baku, selain secara kuantitas juga secara kualitas yaitu tidak Berwarna, tidak Berbau, dan tidak Berasa (3B) sehingga air tetap sebagai sumber daya yang langsung dapat dimanfaatkan oleh manusia. Adalah kewajiban bagi manusia (kita), melakukan konservasi sebagai tindakan balas budi atas perolehan manfaat dari pemakaian air selama ini yang tidak lepas dari awal kehidupan manusia, untuk tumbuh berkembang, dan bahkan sampai akhir hayat, bersambung secara estafet dari generasi ke generasi berikutnya.

Air di danau, sungai, dan di bawah tanah merupakan air baku *(raw water)* yang siap dimanfaatkan sebesar-besarnya untuk kesejahteraan manusia, namun tindakan pertama yang penting dilakukan adalah menyelamatkan air dari kerusakan dayanya (hilang, tercemar, tidak 3B), sehingga setelah langkah-langkah tindakan konservasi, baru bertindak ke pemanfaatan atau pendayagunaan. Air juga mempunyai daya rusak baik langsung (sifat *proper*) maupun reaksi dari perlakuan air yang tidak ramah oleh manusia sendiri seperti mengambil ruang milik air alami seperti tanggul alami *(levee)* sempadan sungai, bantaran banjir *(flood plain)*, parkir air rawa/*basin retension* sehingga menimbulkan banjir yang merusak lingkungan dan membawa bencana bagi manusia sendiri.

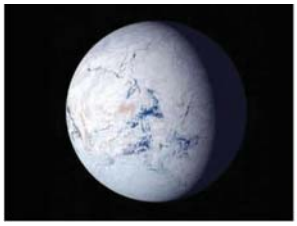
Oleh karena adanya konsep pengelolaan (manajemen) SDA adalah

mengatur air tetap mempunyai nilai manfaat atau sumber daya melalui upaya merencanakan, melaksanakan, memantau, dan mengevaluasi dari kegiatan konservasi, pendayagunaan dan pengendalian daya rusak air. Secara institusi kewenangan pengelolaan berada di kementerian PUPR (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air), namun keberhasilan tidak lepas dari partisipasi seluruh *stakeholder* baik institusi terkait seperti Kementerian Lingkungan Hidup, Kementerian Dalam Negeri, Pemda dan lainnya serta semua *stakeholder* pengguna SDA.

Air merupakan satu-satunya zat yang secara alami terdapat di permukaan bumi dalam ketiga wujudnya tersedia, yaitu cairan, padat, dan uap. Air adalah substansi kimia dengan rumus H_2O, satu atom oksigen dan dua atom hidrogen. Air bersifat tidak berwarna, tidak berasa, dan tidak berbau dalam kondisi standar.

Air mempunyai sifat fisis kepadatan 997 Kg/m^3, massa molar 18,01528 g/mol, titik beku 0°C dan titik didih 100°C. Nama alternatif adalah aqua, dihidrogen monoksida, hidrogen hidroksida, kalor jenis 418J/(KgK), cairan pada suhu 20°C.

Awal terbentuknya air, bermula bagian-bagian planet Bumi pun meleleh, memanaskan batuan hingga menguap dan menyebabkan atmosfer yang tersusun atas gas mulai terbentuk. Temperatur dan tekanan atmosfer memungkinkan atom O dan H untuk berikatan membentuk senyawa yang kita kenal sebagai AIR.



(a) Bumi berselimut es

(b) Bumi disirami hujan

(c) Sumberdaya air di Sungai mengalir

Gambar 1. Air: Asal Mula, Sumber di bumi dan Sumber daya

Air di permukaan bumi yang bersumber dari air hujan menjadi air di kolam untuk berenang, air di jalan untuk main anak-anak (keceh), air di rumah untuk mandi, cuci dan masak, yang mampu membuat kesenangan dan kebutuhan sehari-hari bagi seluruh orang dengan berbagai usia (balita, anak-anak, dewasa, dan orang tua). Air juga mampu memberikan pemandangan air yaitu laut, danau, waduk dan wahana permainan air *(water boom)* diantaranya seperti pada gambar di bawah ini.

(a) Balita

(b) Anak-anak

(c) Dewasa

Gambar 2. Air disenangi Segala Umur

Air adalah senyawa penting bagi semua makhluk, bentuk kehidupan yang diketahui sampai saat ini di bumi, tetapi tidak di planet lain. Air menutupi hampir 71% permukaan bumi. Terdapat 1,4 triliun kilometer kubik tersedia di bumi. Air mengisi tempat-tempat di bumi, di danau,

rawa, sungai, dan di dalam tanah, serta di laut. Dan banyak termanfaatkan untuk kehidupan, budidaya, dan penghidupan secara berkelanjutan, seperti gambar berikut.

(a) Air untuk Kehidupan

(b) Panen raya di Papua (Budidaya)

(c) Makan bersama (Penghidupan)

Gambar 3. Air untuk Kehidupan dan Penghidupan

Terkait dengan air dan sumber daya air, dapat didefinisikan sebagai berikut:

1. **Air:** semua air yang terdapat pada, di atas, ataupun di bawah permukaan tanah, seperti air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut yang berada di darat.
2. **Sumber air:** tempat atau wadah air alami dan atau buatan yang terdapat pada, di atas, ataupun di bawah permukaan tanah.
3. **Daya air:** potensi yang terkandung dalam air dan atau sumber daya air yang dapat memberi manfaat ataupun kerugian bagi kehidupan manusia dan lingkungannya.
4. **Sumber daya air:** air, sumber air, dan daya air yang dikandung di dalamnya.

Pengelolaan Sumber Daya Air (SDA) adalah upaya merencanakan, melaksanakan, memantau, dan mengevaluasi penyelenggaraan konservasi sumber daya air, pendayagunaan sumber daya air, dan pengendalian daya rusak air yang didukung oleh Sistem Informasi Sumber Daya Air dan Kelembagaan Pengelola Sumber Daya Air (UU No. 17 Tahun 2019 tentang SDA). Namun 3 (tiga) kegiatan tersebut merupakan siklus tertutup berkelanjutan yang dapat dijabarkan lebih rinci dari masing-masing kegiatan terutama menyangkut pembiayaan dan ketersediaan data.

Beberapa pengertian yang terkait dengan Pengelolaan SDA Terpadu adalah Daerah Aliran Sungai (DAS) yaitu suatu wilayah daratan yang merupakan satu-kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.

Keberadaan air di bumi meliputi yang terdapat di atmosfer, di atas permukaan, dan di bawah permukaan tanah diperkirakan jumlah air di bumi ini sekitar 1.400 x 104 m^3 yang terdiri dari air laut 97% dan 39% air tawar sebagai salju, es, gletser, air tanah, air danau, butir-butir daerah tidak jenuh, awan, kabut, embun, hujan, dan air sungai. Peredaran air secara alamiah diatur melalui siklus (daur) hidrologi.

Siklus (daur) hidrologi diatur oleh dua macam energi pokok yaitu:

1. Energi pancar matahari (penguapan, pindah, pemekatan/ kondensasi).
2. Energi gravitasi (turun hujan, aliran, perkolasi).

Effective Water Governance adalah tata cara penyelenggaraan pengelolaan sumber daya air yang efektif, efisien, adil, dan berkelanjutan baik dalam aspek sosial, lingkungan maupun ekonomi serta diselenggarakan dengan pendekatan partisipatif.

Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu (PSDAT) harus diselenggarakan secara: menyeluruh, terpadu, berwawasan lingkungan hidup serta berkelanjutan, maka pemanfaatan PSDAT tersebut harus mempertimbangkan hal-hal tersebut di bawah ini:

1. Dasar dari PSDAT adalah bahwa penggunaan sumber daya air yang berlain-lainan tujuan memiliki saling ketergantungan (interdependensi) dalam kontek DAS hulu-hilir.
2. Pengelolaan terpadu adalah suatu proses yang mempertimbangkan kepentingan semua pengguna secara bersama.
3. Setiap penggunaan harus memperhatikan dampaknya terhadap pengguna lainnya.
4. Mempertimbangkan aspek sosial dan ekonomi termasuk sasaran pengelolaan berkelanjutan.
5. Pengelolaan sumber daya air tidak hanya difokuskan pada pembangunan dalam sumber daya air tetapi harus menjamin tersedianya sumber daya air yang berkelanjutan.

II. MENGENAL AIR DAN POTENSI SUMBER DAYA AIR (SDA)

2.1. Mengenal Air

Pertumbuhan dan perkembangan manusia dan makhluk hidup lainnya (herbivora dan karnivora) bahkan yang bersel sangat kecil (mikroba/kuman/bakteri) tidak lepas dari kebutuhan air. Mayoritas tubuh malkhluk hidup terdiri dari air (60%-80%), manusia sendiri tersusun dari 60%-70% air.

Air membentuk kehidupan, sebagai contoh manusia terbentuk dari janin di dalam rahim ibu, merupakan pertemuan tetes air antara sel telur dari seorang ibu dengan sel sperma dari seorang ayah.

Janin tumbuh di dalam rahim wanita dan mendapat asupan nutrisi dari ibu yang dilindungi selama kurang lebih 9 bulan dan 10 hari. Janin berkembang menjadi besar dengan berat 2,5-3,5 Kg dan lahir ke dunia bersama air ketuban sebagai pelicin lalu menjadi bayi yang mungil, menangis dan diiringi tangis bahagia kedua orangtuanya, dengan cucuran air mata yang deras.

Setelah beberapa jam, bayi dibersihkan untuk kemudian diberikan kepada ibunya. Bayi ditaruh di dada agar terdengar ritmik detak jantung dan dikenal sumber air susu ibu (ASI) yang rasanya sudah dikenal sejak di dalam rahim.

Selanjutnya sang bayi harus berjuang melanjutkan kehidupan di dunia, tumbuh berkembang, menjadi balita, anak-anak, remaja, dewasa,

pemuda, produktif, dengan segala aktivitas dan kebutuhan hidup, seperti minum, makan, mandi, berkeringat (olah raga), tidak lepas dari air, termasuk penyediaan bahan makanan dihasilkan lewat budidaya pertanian, perikanan, peternakan, semuanya memerlukan banyak air. Proses kegiatan yang membutuhkan air sebagai sumber penghidupan.

Dengan demikian cukup jelas keberadaan air di bumi merupakan keniscayaan sebagai sumber hidup dan penghidupan. Mungkin tidak terbayangkan jika bumi tanpa air, menjadi kering dan tandus seperti bulan serta planet-planet terdekat bumi seperti Venus dan Mars yang belum terbukti adanya kehidupan seperti di bumi yaitu manusia, hewan, dan tumbuhan. Oleh karena itu kewajiban bagi kita mengelola air sebaik-baiknya yang merupakan anugerah Allah SWT, muka bumi di mana kita hidup, agar tetap berkelanjutan eksistensinya sejak dari janin, anak-anak, dewasa, manusia sudah mengenal air.

Sumber Daya Air adalah Sumber Air, dan Daya Air yang terkandung di dalamnya, sedangkan air merupakan semua bentuk air yang terdapat pada, di atas, ataupun di bawah permukaan tanah, termasuk dalam pengertian ini air permukaan, air tanah, air hujan, dan air laut yang berada di darat. Sumber Air merupakan tempat atau wadah air alami dan/atau buatan yang terdapat pada, di atas, ataupun di bawah permukaan tanah, sedangkan Daya Air adalah potensi yang terkandung dalam air dan/atau pada sumber air yang dapat memberikan manfaat ataupun kerugian bagi kehidupan dan penghidupan manusia serta lingkungannya.

Kapan kita mengenal air? Sebenarnya sejak kita terbentuk hidup (janin), mandi sendiri, dan dimandikan terakhir, seperti foto-foto gambar 3 terdahulu. Namun disadari bahwa kita hidup bersama air dalam setiap saat (detik, menit, jam, hari, bulan, dan tahun). Waktu kecil dimandikan dengan gembira dan bermain, juga bermain air seperti genangan air saat hujan baik di jalan maupun pelataran, di sungai maupun kolam renang, ataupun menguji nyali pada terjunan air.

Air juga dikenal sebagai prasarana transportasi sebagai pelayaran laut, renang, arung jeram, *diving*, selancar, permainan air *(water boom)*, wisata air *(water front)*, memancing, dan masih banyak lagi mengenal air lewat kegiatan bersenang-senang *(amusement)*. Nama air juga banyak dipergunakan sebagai pernyataan ekspresi seperti mata air, air mata, air muka, muka air, air zam-zam, air hujan, air seni, air mani, air ketuban, air minum, air baku (segala kebutuhan), air banjir, namun saat duduk di SMP kita mengenal air sebagai makhluk dengan rumus H2O (hidrogen dioksida) atau dalam keseimbangan ionik $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$.

Air bisa mempunyai multi bentuk/fase yaitu cairan, padat (membeku/es), dan gas *(vapour)* di mana perubahan fase ini tergantung dari lingkungan berada, temperatur, dan tekanan. Kuantitas air di permukaan bumi tergantung tingginya hujan, sedangkan kualitas air tergantung dari kondisi lingkungan alam dan faktor manusia.

(a) Bentuk padat es (b) Bentuk cair air (c) Bentuk uap

Gambar 4. Fase bentuk air es, cairan, uap

Air dikatakan berkualitas sebagai air baku/air bersih harus memenuhi tiga kriteria yang disebut 3B yaitu tidak Berwarna (terang/tembus sinar), tidak Berbau *(fresh)*, dan tidak Berasa (netral/pH +/-7). Air dibutuhkan manusia dan makhluk hidup lainnya. Kebutuhan langsung untuk manusia berupa minum, mandi, masak (domestik), fasilitas umum, munisipal, dan industri (ketiganya dikenal sebagai DMI), dan kebutuhan tidak langsung seperti budidaya pertanian, perikanan,peternakan, penggelontoran kebersihan kota, transportasi, pendingin mesin, dan lain-lain.

Air juga sebagai bahan baku produk, bahkan ada produk yang menggunakan bahan baku air 100% seperti es balok dan air minum kemasan. Jelas di sini air merupakan suatu keniscayaan sangat dibutuhkan manusia. Tidak ada artinya manusia hidup tanpa air, oleh karena itu kita wajib mengelola secara baik, konsevarsi, menjaga ketersediaan secara cukup dan berkelanjutan baik secara kualitas dan kuantitas.

Seperti sudah disebutkan di atas bahwa air secara zat menjadi elemen

penting dari tubuh dan prasarana kebutuhan sehari-hari kita yaitu kebutuhan dasar. Air sebagai sumber daya air dapat dipahami secara luas seperti pembangkit tenaga listrik (PLTA) yang bahkan sudah dikenalkan sejak di bangku Sekolah Menengah Pertama (SMP), akan tetapi banyak sekali daya air sebagai sumber seperti minum dan air rumah tangga, budidaya pertanian dan perikanan, peternakan, daya PLTA, daya untuk transportasi, daya untuk kesehatan, wisata. Khusus air zam-zam memiliki daya luar biasa, yaitu tiga daya sekaligus: menyegarkan, mengenyangkan, dan menyehatkan. (Firman Allah: minumlah air zam-zam bahwasanya air zam-zam menyegarkan (tidak haus) dan mengenyangkan karena sesungguhnya air zam-zam mengandung sari makanan).

Juga kita kenal di bidang kedokteran, air yang mengandung sari makanan adalah air infus yang merupakan replika air zam-zam.

Demikian juga air banjir mempunyai daya yaitu pembersihan lingkungan, penggelontoran kota, pembasmi tikus dan nyamuk, serangga pembawa penyakit, peminggiran lahan rendah *(colmatase)*, dan tanggul alami sungai *(levee)*. Oleh karena itu, boleh dikatakan bahwa hujan dan banjir adalah berkah Allah SWT yang sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia. Banjir dan kekeringan semata-mata karena kerusakan rumah/ruang air, seperti hutan, bantaran, sempadan sungai, rawa, situ, danau, yang merupakan tempat parkir air *(retension basin)*.

Secara kenyataan manusia tumbuh berkembang menjadi banyak (saat ini +/- 7 miliar jiwa) dan terutama Indonesia dengan jumlah penduduk

273,5 juta orang (2020) sangat membutuhkan ruang pemukiman/papan untuk berlindung dari cuaca/iklim, lahan pertanian untuk kebutuhan pangan, prasarana umum (sekolah, jalan, rumah sakit, kantor, dan lain-lain) kenyataan ini pasti mengambil ruang yang sebenarnya mempunyai fungsi hakiki mengontrol dan pengendalian air di lahan dan sungai. Akan tetapi tidak terkendali, tidak ramah lingkungan air yang menimbulkan bencana laten banjir, menggenang luas dan lama, bahkan sangat sering terjadi banjir bandang *(flash flood)* yang destruktif terhadap pemukiman, menghilangkan harta, dan merenggut korban jiwa yang tidak sedikit.

Dengan demikian banjir adalah sunnatullah bagi sungai, tugas fungsi sungai, sedangkan banjir bandang merupakan bentuk ekspresi protes sungai yang terdesak oleh kezaliman manusia. Daerah Aliran Sungai (DAS) juga terambah oleh kepentingan manusia sehingga hutan semakin sempit dan alih fungsi permukiman yang kedap yang menghalangi meresap ke dalam tanah. Hutan itu bagaimana sarang bagi burung yang tidak mungkin dirusak sendiri, sedang bagi manusia, bumi dan hutan serta air merupakan istana yang tentunya dipelihara dengan baik agar tetap nyaman, jangan salah kelola. Kesadaran ini penting bagi seluruh lapisan masyarakat dari akar rumput (rakyat) sampai pengusaha/pejabat harus peduli lingkungan, terutama hutan dan air.

2.2 Potensi SDA Indonesia

1. Kekayaan Air Tawar

Luas daratan Indonesia adalah 1,91 juta km^2, luas perairan 6,32 juta km2 (indonesiabaik, 13 Februari 2018), dengan jumlah 17.508 pulau, panjang pantai 81.000 km (Kementerian Kelautan Dan Perikanan, n.d.), dan luas hutan Indonesia 95,6 juta Ha (0,956 juta km^2) atau kurang lebih 50,9% luas daratan (Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan, 4 Maret 2021). Akan tetapi di Pulau Jawa, luas hutan berkurang dan kini hanya 24% (Mediaindonesia, 30 Maret 2021).

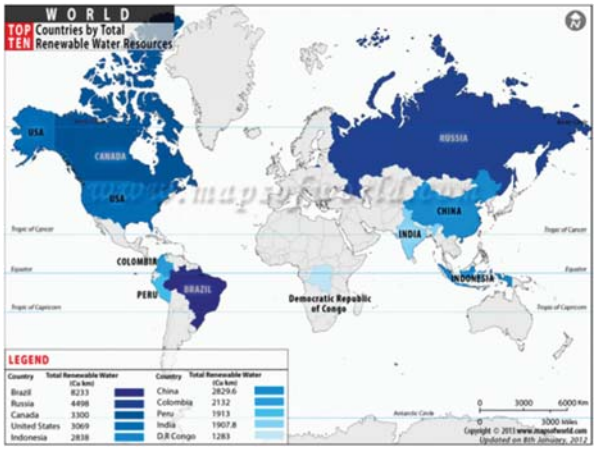
Pembangunan infrastruktur SDA harus sebanding dengan manfaat yang diterima masyarakat. Oleh karena itu, dalam rangka menunjang kesejahteraan masyarakat, manfaat keberadaan infrastruktur sumber daya air perlu dirasakan secara optimal dan keberlanjutan. Hal ini bisa terwujud dengan adanya kerja sama antara pemerintah dan masyarakat, berbasis perencanaan, pengelolaan, serta pemeliharaan secara terpadu. Minimnya jumlah infrastruktur SDA membuat penambahan ketersediaan air tidak dapat mengimbangi laju kebutuhan air masyarakat serta tidak mampu merilis potensi air yang melimpah secara optimal.

Indonesia terancam kekurangan air bersih akibat lemahnya sistem pengelolaan SDA, ditambah adanya variasi musim dan ketimpangan distribusi terhadap ruang ketersediaan air. Selain itu juga ancaman krisis air bersih juga disebabkan distribusi terhadap ruang oleh perusakan lingkungan yang menyebabkan penurunan kapasitas penyerapan air dan

peningkatan jumlah penduduk yang disertai peningkatan konsumsi air.

Hal tersebut menjadikan beberapa daerah mengalami kelimpahan air dan kemudahan mengakses air disertai risiko banjir yang tinggi, sedangkan beberapa daerah lainnya mengalami kekeringan yang menyebabkan kekeringan air dan kesulitan dalam mengakses air.

Infrastruktur SDA dengan segala manfaatnya menjadi masa depan bangsa untuk mewujudkan kesejahteraan masyarakat. Pengelolaan air terpadu oleh infrastruktur SDA memengaruhi kualitas kehidupan masyarakat, mengingat peran penting air di setiap sektor kehidupan makhluk hidup termasuk manusia, mulai dari kebutuhan sehari-hari hingga industri. Pemenuhan air bersih yang cukup untuk masyarakat menjadi salah satu indikator bagi negara dalam kemakmuran dan kesejahteraan atau kesehatan rakyatnya seperti target tujuan pembangunan berkelanjutan *Sustainability Development Goals* (SDGs).



Gambar 5. Kekayaan Air Tawar 10 Negara di Dunia

Indonesia yang termasuk ke dalam 10 negara (urutan ke-5) kaya air dengan cadangan air tawar terbesar di dunia sebesar 2.838 km^3 atau sekitar 2,84 trilyun m^3. Urutan terbesar yaitu Brazil 8.233 km^3; Rusia 4.498 km^3, Canada 3.300 km^3, Amerika Serikat 3.069 km^3; Cina 2.829,6 km^3, Colombia 2.132 km^3, Peru 1.913 km^3; India 1.907,8. km^3 dan D.R Congo 1.283 km^3.

2. Potensi Hujan

Hujan yang jatuh dipermukaan tanah daratan, dinyatakan tinggi hujan dalam satuan milimeter (mm). Tinggi curah hujan diukur di pos hujan atau dipasang di setiap tempat yang penting seperti kota, bandara, pelabuhan, Daerah Irigasi (DI), dan Daerah Aliran Sungai (DAS). Kerapatan pos hujan yang ideal adalah satu pos hujan untuk luas 5 km x 5 km.

Alat otomatis *(automatic raingauge)* yang menggambar grafik tinggi hujan dalam bentuk grafik menurut fungsi waktu. Kertas grafik bisa diganti per minggu. Grafik tersebut dapat dibaca tinggi hujan menitan, jam-jaman, dan harian (kumulatif 24 jam). Data hujan menitan sangat penting untuk analisis intensitas hujan untuk perencanaan drainase kota, jalan, dan kawasan pemukiman.

Data curah hujan dapat disajikan dalam catatan harian tiap bulan dalam setahun, tinggi hujan bulanan (Januari - Desember), dan hujan tahunan (jumlah 12 bulan).

Umumnya hujan tahunan di wilayah Indonesia berkisar 2000 mm-

3500 mm per tahun, dengan curah hujan bulanan berkisar 30 mm - 400 mm, dan curah hujan harian berkisar 10 mm - 60 mm (hujan normal), 60 mm - 120 mm (hujan sedang), 120 mm - 180 mm (hujan lebat), > 180 mm (badai). Dengan hari hujan 8 - 18 hari per bulan (Desember - Januari) atau 130 - 160 hari per tahun.

3. Potensi Kuantitas Aliran

Hubungan antara debit *(runoff)* dan hujan *(rainfall)* dihitung berdasarkan luas tangkapan hujan *(catchment area)*, daerah aliran sungai/DAS *(watershed)*, yaitu dikenal metode rasional.

$Q = C.I.A$

Dimana:

Q = Debit *runoff*/debit sungai (m^3/s)

C = Koefisien *runoff* (pengaliran)

$0 < C < 1$

I = Intensitas hujan mm/waktu

= R/T

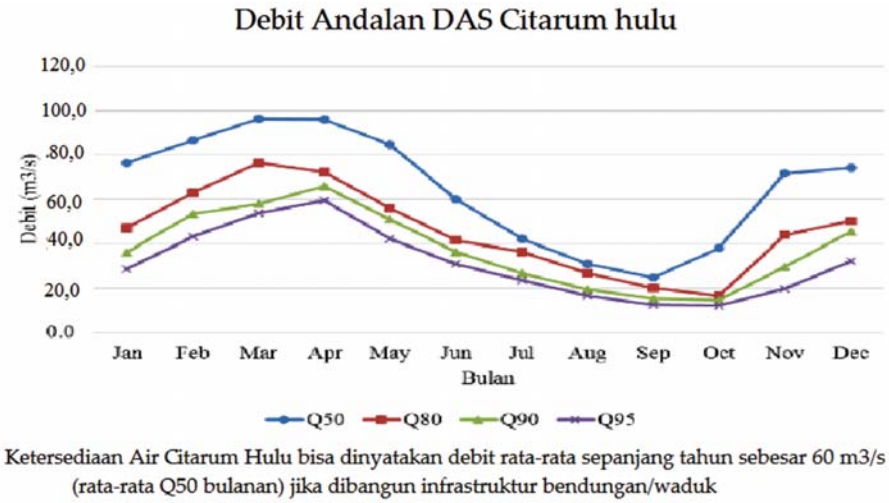
R = Hujan

T = Waktu dalam hari, bulan, tahun

A = Luas *catchment area* (m^2/km^2), di *outlet* (titik hujan)

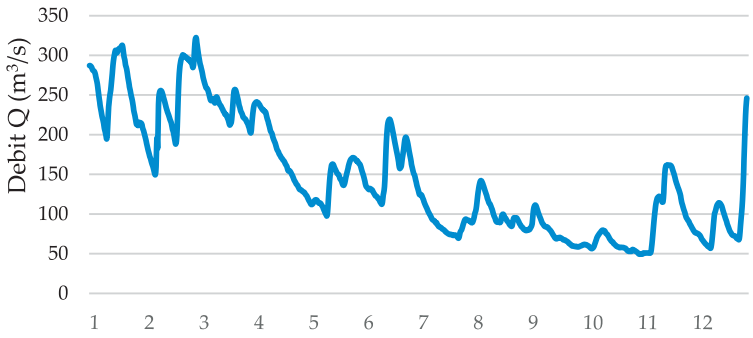
Nilai C bergantung dari kondisi fisik DAS seperti topografi, jenis tanah, tata guna lahan, dan lain-lain. Jika DAS dengan hutan masih baik >50% DAS, nilai C = 0,6 - 0,7, namun jika luas hutan menurun (alih fungsi

ke permukiman atau budidaya) nilai C akan cenderung kecil (C = 0,3 - 0,4). Perkiraan kasar, untuk mendapat perkiraan nilai C didapat langsung dari nilai prosentase (%) hutan di DAS, misal luas hutan dan setara hutan +/- 40%, maka contoh DAS, hulu Citarum, di titik tinjau *(outlet)*, Pos Duga Air (PDA) Nanjung di *inlet* Citarum ke Waduk Saguling. C = +/- 0,4.



Gambar 6. Debit Andalan dengan Probabilitas Tertentu

Namun demikian, jika terdapat data pengukuran debit dari pos duga air yang kontinyu *(time series)* 5 – 10 tahun seperti data hujan dapat dilakukan analisis debit andalan langsung dari data debit dan hasil analisis debit andalan lebih akurat dibanding debit yang dihitung dari hujan *(rainfall runoff)*. Berikut ini adalah grafik data hasil pengukuran DAS Citarum Hulu di Nanjung (data debit sesaat).

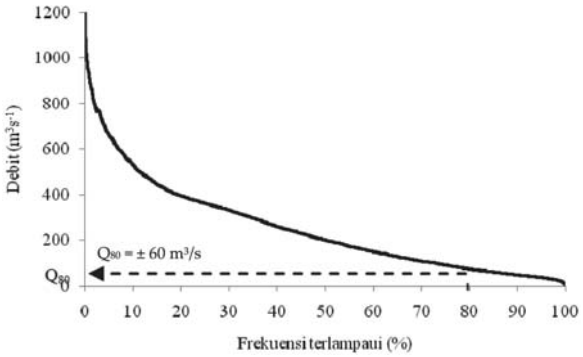


Gambar 7. Debit Nyata Natural Tanpa Regulasi Bendung Atau Waduk

DAS Citarum hulu yang memberikan debit andalan di atas baik secara hitungan maupun dari data debit riil terukur di Pos duga air nanjung di dalam Sub DAS Citarum Hulu (A = 1.756 km^3), yang ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.

Gambar 8. Peta DAS Citarum (± 7.406 km^2)

Penetapan debit andalan juga bisa dilakukan secara tahunan dengan kurva durasi debit, yang ditunjukkan seperti gambar berikut.



Gambar 9. Kurva Durasi Debit

Debit andalan untuk berbagai jenis kebutuhan seperti berikut:

- Debit probabilitas P 90%, Q_{90} : untuk air minum
- Debit probabilitas P 80%, Q_{80} : untuk air baku air bersih dan irigasi
- Debit probabilitas P 70%, Q_{70} : untuk perkebunan
- Debit probabilitas P 60%, Q_{60} : untuk palawija
- Debit probabilitas P 60-50%, $Q_{60\text{-}50}$: untuk pembangkit listrik (PLTA/PLTM)
- Debit probabilitas P 50-40%, $Q_{50\text{-}40}$: untuk penggelontoran

Contoh pembacaan Kurva Durasi Debit dari gambar di atas untuk Q80 diperoleh ± 60 m^3/s.

4. Potensi Pemafaatan SDA

Potensi pemanfaatan adalah sumber air baku yang siap pakai yaitu di dalam infrastruktur SDA seperti air di sungai, air di danau, air di waduk, dan air di bendung. Dari informasi statistik infrastruktur PUPR 2020, Indonesia memiliki 201 bendungan dan direncanakan akan terus bertambah dengan target 46 bendungan selesai pada tahun 2024. Jika jumlah bendungan tersebut dibandingkan dengan negara lain, misalnya: Jepang yang memiliki 3000 bendungan padahal luas wilayahnya bahkan tidak lebih dari seperempat wilayah Indonesia. Dengan demikian Indonesia sangat jauh tertinggal.

Dengan jumlah penduduk Indonesia 273,5 juta (2020), maka seharusnya volume tampungan air secara ideal diperlukan 520 miliar m^3/tahun, atau setara dengan jumlah bendungan 5200 unit dengan kapasitas rata-rata 100 juta m^3.

Sedangkan potensi pemanfaatan air di Indonesia menurut Eko Irianto, Direktur Bina Teknik Sumber Daya Air, sebesar 691 miliar m^3/tahun dan baru sekitar 222,6 miliar m^3/tahun yang dimanfaatkan saat ini.

Pemanfaat air terbesar atau sebanyak 79,6% digunakan untuk keperluan irigasi. Sekalipun pemanfaatan air bisa mencapai ideal, namun kelangkaan air masih terjadi di beberapa daerah Indonesia. Hal ini disebabkan infrastruktur SDA baik alami (danau, situ, sungai, rawa) dan buatan (bendung, bendungan, embung, dll) belum mampu merealisasi-

kan fungsi pemanfaatan air tersebut.

Di sisi lain, infrastruktur SDA alami mengalami degradasi kapasitas tampungan (sedimentasi, hilang/alih fungsi), sehingga yang harus dikejar adalah pembangunan infrastruktur SDA buatan seperti bendung dan bendungan serta pelaksanaan OP untuk dapat mempertahankan kapasitas tampung infrastruktur SDA ada. Adapun beberapa infrastruktur diberikan sebagai berikut:

a. Sungai Citarum Hulu b. Danau Toba c. Rawa Pening

Gambar 10. Infrastruktur Alami Potensi Pemanfaatan Air

a. Bendung Sei, Padang b. Bendung Gerak Manganti c. Waduk Jatiluhur

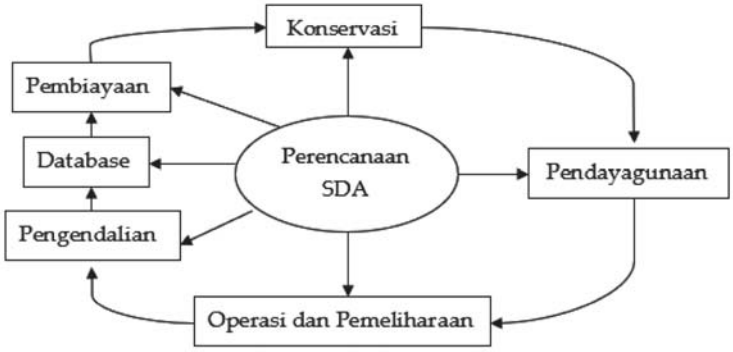
Gambar 11. Infrastruktur Buatan Potensi Pemanfaatan

III. PENGELOLAAN SUMBER DAYA AIR

Sumber air merupakan tempat atau wadah alami dan/atau buatan yang terdapat pada, di atas, atau di bawah permukaan tanah. Sedangkan sumber daya air adalah potensi yang terkandung dalam air dan/atau pada

sumber air yang dapat memberikan manfaat dan kerugian bagi kehidupan dan penghidupan manusia serta lingkungannya.

Pengelolaan sumber daya air adalah upaya merencanakan, melaksanakan, memantau, dan mengevaluasi penyelenggaraan KONSERVASI sumber daya air, PENDAYAGUNAAN sumber daya air, dan PENGENDALIAN daya rusak air. Hubungan antara kegiatan utama dan ikutan pengelolaan SDA diberikan pada gambar berikut.



Gambar 12. Siklus Kegiatan Pengelolaan SDA

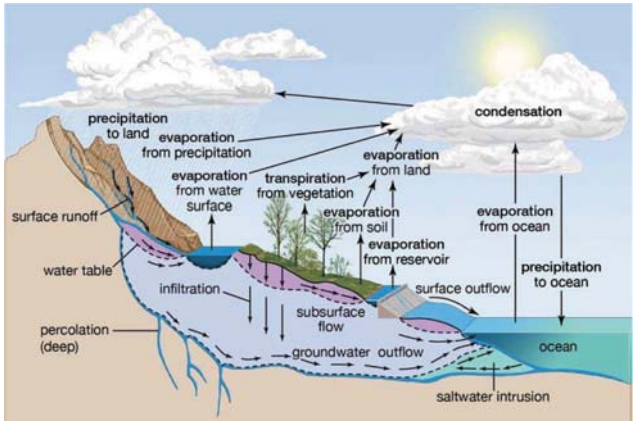
3.1 Siklus Hidrologi dan Proses Pengelolaan SDA

1. Siklus Hidrologi

Siklus hidrologi atau daur air yang dikenal juga dengan istilah siklus air adalah sirkulasi air yang menggambarkan pergerakan molekul air (H_2O) dari atmosfer ke bumi dan sebaliknya atau pergerakan air dari laut ke daratan dan kembali dari daratan ke laut sebagai tempat permanen

laut, yang tidak berhenti sehingga terbentuk rangkaian melingkar perjalanan molekul air di bumi yang disebut siklus.

Dalam siklus hidrologi air bermula dari laut yang menguap karena panas matahari, uap air mengumpul di udara membentuk awan oleh tiupan angin, uap air terbawa ke darat dan terkompresi oleh pohon, hutan, dan gunung, menjadi pekat (kondensasi) dan membentuk bintik air, dan karena gaya gravitasi jatuh ke permukaan disebut hujan, jatuh ke permukaan, membasahi tanah sebagian menguap dan sebagian kecil meresap ke lapisan tanah mengisi rongga atau pori-pori tanah dan menjadi air tanah *(ground water)* dan aliran langsung (*direct runoff*/DRO). Air yang menguap bisa menjadi hujan lagi, sedangkan DRO mengisi cekungan, danau, sungai, dan air tanah, mengisi lapisan tanah yang porous (aquifer). Kedua air permukaan tanah dan di dalam tanah mengalir membentuk debit aliran sungai menuju laut disebut aliran sungai atau *runoff* (RO). Gambaran siklus hidrologi diberikan pada gambar berikut.



Gambar 13. Siklus Hidrologi

Jumlah air dalam siklus hidrologi adalah kurang lebih jumlah curah hujan di satuan daratan. Untuk setahun memperkirakan besar debit aliran sungai (RO) adalah Daerah Aliran Sungai (DAS). Selanjutnya berdasarkan DAS, besar potensi SDA dan ketersediaan air (debit) di dasar perhitungan bergantung curah hujan, luas DAS, dan tata guna lahan/tutupan DAS.

Siklus hidrologi dapat dibagi menjadi 3 jenis, yaitu siklus hidrologi pendek, sedang, dan panjang.

1. Siklus Pendek

   Siklus air pendek diawali dari evaporasi air laut ke atmosfer. Pada ketinggian tertentu, uap air akan mengalami kondensasi yang akan membentuk awan. Awan yang tak mampu menahan beban air akan mengalami presipitasi dan terjadi hujan sehingga air jatuh kembali ke laut.

2. Siklus Sedang

Seperti yang terjadi pada siklus pendek, siklus sedang terjadi ketika air laut menguap. Yang membedakan adalah uap air akan seperti yang terjadi pada siklus pendek, siklus sedang terjadi ketika air laut menguap. Uap air akan terbawa oleh angin menuju daratan di ketinggian tertentu, uap air mengalami proses kondensasi menjadi awan.

Awan kemudian menjadi hujan yang jatuh di daratan, meresap ke dalam tanah, sebagian akan diserap oleh akar tumbuhan, sebagian lagi akan terbawa aliran air permukaan seperti sungai dan parit.

3. Siklus Panjang

Siklus panjang diawali dengan evaporasi dan kondensasi air laut. Awan yang terbentuk dibawa oleh angin ke tempat yang lebih tinggi di area daratan. Awan yang terbentuk tadi bergabung dengan uap air yang berasal dari evaporasi danau dan sungai, serta transpirasi tumbuhan. Karena dipengaruhi ketinggian tempat, uap air mengenai lapisan udara dingin dan berubah menjadi salju sehingga terjadilah hujan salju saat musim dingin dengan membentuk bongkahan es di pegunungan.

3.2. Proses Pengelolaan SDA

Pengelolaan SDA secara kewenangan berada di Kementerian PUPR, berdasarkan undang-undang Sumber Daya Air No. 17 Tahun 2019.

Adapun penyelenggaraan pengelolaan sumber daya air berada di Direktorat Jenderal Sumber Daya Air dengan berdasarkan undang-undang No. 23 Tahun 2019, tentang pengelolaan sumber daya air. Di dalam koordinasi ini juga dilibatkan *stakeholder* pengguna sumber daya air di wilayah sungai, baik instansi negara, BUMN, BUMD, dan swasta kalangan industri termasuk industri air kemasan. Perencanaan alokasi air harus diproyeksikan saat ini dan ke depan yang mencerminkan jenis dan jumlah kebutuhan, maupun peningkatan pelayanan dan mengakomodir pengembangan wilayah (PKN/PKW/PKSN/PKD).

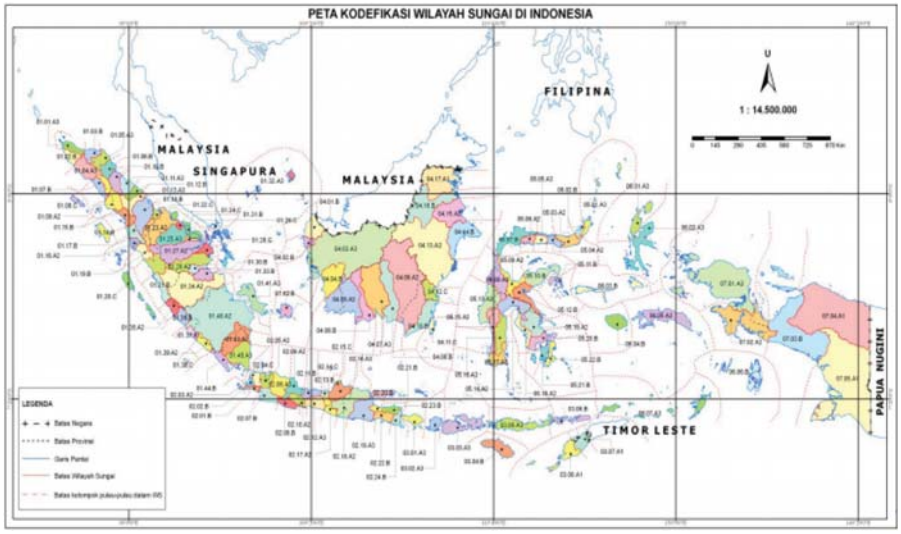
Proses pengelolaan SDA adalah suatu urut kegiatan untuk memanfaatkan potensi SDA sebesar-besarnya secara terpadu dan berkelanjutan. Pengelolaan SDA berdasarkan keterkaitan undang-undang lain/dilakukan pengembangan wilayah yang erat dengan undang-undang terkait sebagai berikut:

Gambar 14. Pengelolaan Sumber Daya Air Berbasis Wilayah Sungai

3.3. Pengelolaan SDA Berbasis Wilayah Sungai

Pengelolaan sumber daya air berbasis wilayah sungai (WS) yang merupakan gabungan dari beberapa Daerah Aliran Sungai (DAS) yang berdekatan dan dimungkinkan saling subsidi silang sumber air dan memudahkan koordinasi serta efisiensi manajemen SDA. Proses pengelolaan SDA harus sinergi dengan undang-undang.

Indonesia mempunyai sungai sedikitnya 5.590 sungai utama dan 65.017 anak sungai yang tersebar di Nusantara. Dari jumlah sungai utama, luas DAS mencapai 1.512.466 km^2. Jumlah wilayah di seluruh Indonesia ditetapkan berdasarkan Permen PUPR No. 04/PRT/M/2015, berjumlah 128 WS. Peta WS di Indonesia digambarkan di bawah ini.



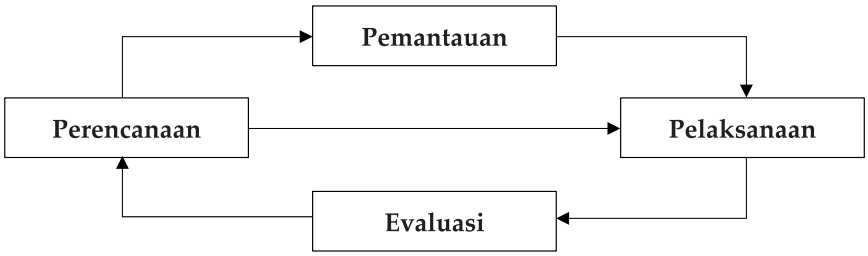
Gambar 15. Penetapan Wilayah Sungai di Indonesia (128 WS)
(Permen PUPR No. 04/PRT/M/2015)

Tujuan dibuat WS adalah pertama efisien koordinasi pengelolaan DAS dan strategi pengembangan SDA terpadu antar DAS *(outer basin development)*, karena kemungkinan suatu DAS sudah penuh pemanfaatan, sehingga memenuhi peningkatan kebutuhan baru *(new user)*, perlu subsidi silang antar DAS yang masih melimpah SDA-nya.

3.3.1. Pola Pengelolaan SDA

Pelaksanaan pengelolaan diawali dengan pembuatan pola pengelolaan SDA yang berisi gambaran umum kondisi SDA dalam WS/DAS, terutama potensi SDA, prasarana SDA, pemanfaatan yang ada, potensi pengembangan kebutuhan baik jenis dan besar, serta faktor fisik WS seperti tata guna lahan eksisting dan rencana pada kabupaten/kota yang ada di dalam WS, data sosial ekonomi. Pola pengelolaan lingkungan SDA dibuat pengembangan jangka pendek 1-5 tahun ke depan, jangka menengah 5-15 tahun ke depan, dan jangka panjang 15-25 tahun ke depan dengan batas-batas kemampuan daya dukung SDA di wilayah sungai.

Alur proses pengelolaan SDA yang saling berhubungan antar kegiatan tidak berdiri sendiri melainkan saling terkait dan selalu terkorelasi dari segi teknis, waktu, dan biaya. Alur proses pengelolaan SDA diberikan seperti berikut:



Gambar 16. Alur Proses Pengelolaan SDA

Kegiatan melaksanakan pengelolaan SDA memerlukan pemantauan sehingga jika terjadi ketidaksesuaian perlu dilakukan evaluasi baik terhadap perencanaan atau pelaksanaan yang dibuat, sesuai atau tidak dengan pola pengelolaan yang sudah disetujui oleh para pihak pengguna SDA, untuk mendapatkan hasil yang optimal.

3.3.2. Pendekatan Pembuatan Pola Sumber Daya Air

Pendekatan penyelenggaraan Pengelolaan Sumber Daya Air (PSDA)/*(Water Governance)* yang mutakhir adalah PSDA Terpadu (PSDAT) atau *Integrated Water Resources Management* (IWRM).

Pengelolaan SDA Terpadu (menurut wacana global) adalah proses pengelolaan SDA yang memadukan antara sumber daya air dengan sumber daya terkait lainnya antar sektor, antar wilayah, secara berkelanjutan tanpa harus mengorbankan lingkungan dan diselenggarakan dengan pendekatan partisipatif.

Pengelolaan Sumber Daya Air yang terpadu (UU No. 17 Tahun 2019) diselenggarakan secara **menyeluruh** (perencanaan, pelaksanaan, monitor

dan evaluasi, konstruksi, pendayagunaan, pengendalian), **terpadu** (*stakeholders*, antar sektor, wilayah) dan **berwawasan lingkungan hidup** (keseimbangan ekosistem dan daya dukung lingkungan) dengan tujuan mewujudkan kemanfaatan sumber daya air yang **berkelanjutan** (antar generasi) untuk sebesar-besarnya kemakmuran rakyat.

Dengan interpretasi sederhana, IWRM dapat dimaknai sebagai: "**Proses Membangun Persepsi dan Komitmen** untuk **Menyikapi Secara Kolektif** yang dilandasi kesamaan pemahaman dari mana datangnya air, bagaimana memanfaatkannya, dan ke mana perginya air."

Pelaksanaan PSDAT harus melalui pendekatan satu perencanaan, dan satu pengelolaan untuk satu sungai *(one river, one plan, one management)*.

3.3.3. Penyelenggaraan Pengelolaan SDA

Sesuai dengan urutan, penyelenggaran pengelolaan SDA terdiri dari konservasi sumber daya air, pendayagunaan sumber daya air, dan pengendalian daya rusak air.

Kegiatan Konservasi Sumber Daya Air

Tujuan konservasi pada intinya mengelola SDA untuk memenuhi kebutuhan air yang cukup kuantitas dan kualitasnya bagi seluruh umat manusia secara berkesinambungan dengan cara membuat program yang mampu:

- Memelihara dan melindungi sumber air yang ada (sungai, danau, akuifer).
- Memanfaatkan air secara tepat, tidak berlebihan.

- Mengatur siklus hidrologi agar air hujan dapat disimpan di dalam profil tanah sebanyak dan selama mungkin.
- Mengatur siklus hidrologi agar air tidak menimbulkan bencana.
- Memanen air hujan dengan membuat tampungan.
- Mencegah air dari pencemaran.
- Memperbaiki kualitas air tercemar.

Program pembangunan infrastruktur menunjang konservasi adalah sumur resapan, waduk tampungan, kanalisasi sungai/*long storage*, kolam retensi, dan lain-lain.

Namun demikian masyarakat luas juga dihimbau partisipatif di dalam membentuk upaya konservasi air di halaman rumah masing-masing seperti biopori, kolam resap dan sumur resapan, waduk resapan, contoh infrastruktur untuk konservasi air.

Contoh kegiatan konservasi air hujan, air permukaan, dan air tanah diantaranya seperti contoh gambar berikut.

(a) Halaman Parkir Konservasi Air Hujan dengan Grass Brick

(b) Sumur Resapan di Halaman Aula Barat ITB

(c) Kolam Retensi Banjir di DAS Citarum Hulu

(d) Konservasi Air Waduk/Situ Resapan di ITB Jatinangor

Gambar 17. Contoh Kegiatan Konservasi SDA

Kegiatan Pendayagunaan SDA

Pendayagunaan SDA adalah pengembangan SDA lebih lanjut untuk memenuhi kebutuhan air yang meningkat baik peningkatan kuantitas dan pelayanan maupun jenis kebutuhan baru yang sebelumnya belum ada, dan karena rencana pengembangan wilayah dan tata ruang maka kebutuhan akan sumber daya meningkat. Oleh karena itu, di program pendayagunaan identifikasi, pengguna SDA senior benar-benar dilakukan dengan baik cermat apakah ada rencana peningkatan kebutuhan, seperti kebutuhan air baku DMI (Domestik, Munisipal, Industri) biasanya meningkat signifikan karena perluasan kota, permukiman, dan pertumbuhan penduduk. Untuk pengguna junior, seperti untuk pembukaan lahan pertanian baru, diperlukan irigasi dengan pembangunan bendung atau bendungan.

Oleh karena itu, dalam perencanaan pendayagunaan SDA perlu dilakukan koordinasi sektoral BBWS, pemerintah daerah, dan *stakeholder*

yang terkait SDA di wilayah sungai/DAS. Perlu dilakukan PCM *(Public Consultation Meeting)* sesering mungkin selama proses perencanaan pola pengelolaan SDA agar memenuhi kepuasan semua pihak baik senior maupun *junior user*.

Contoh kegiatan pendayagunaan SDA diberikan seperti gambar berikut ini.

(a) Ragam Wisata Waduk Darma

(b) Teras Cikapundung

(c) Bendung Curug

Gambar 18. Kegiatan Pendayagunaan Waduk

Kegiatan Pengendalian Daya Rusak

Pengendalian Daya Rusak Air adalah upaya untuk mencegah, menanggulangi dan memulihkan kerusakan kualitas lingkungan yang disebabkan oleh daya rusak air. Hal utama pada upaya pencegahan yakni melalui perencanaan pengendalian daya rusak air yang disusun secara terpadu dan menyeluruh yang diselenggarakan dengan melibatkan masyarakat.

Potensi daya rusak air antara lain:

- Banjir
- Erosi dan sedimentasi
- Tanah longsor
- Banjir lahar dingin
- Tanah amblas
- Perubahan sifat dan kandungan kimiawi, biologi dan fisika air
- Terancam punahnya jenis tumbuhan dan/atau satwa
- Wabah penyakit
- Intrusi
- Perembesan

Contoh daya rusak air ditampilkan pada gambar berikut.

(a) Air Membanjiri Pemukiman

(b) Air Menjebol Tanggul

(c) Lahar Dingin Merusak Infrastruktur

(d) Air Loncat Menggerus Dasar Sungai di Kolam Olak

Gambar 19. Daya Rusak Air

3.4. Kompleksitas SDA dan Wilayah Sungai

Pengelolaan SDA sangat kompleks karena sangat berkaitan kewenangan sektoral baik secara administratif maupun secara fisik di lapangan. Kewenangan pengelolaan SDA tidak secara langsung berada di kementrian PUPR (UU SDA No. 7 Tahun 2019), namun SDA berada di DAS/WS yang mana kewenangan lain seperti Kementrian Kehutanan (Nomor 41 tahun 1999), Kementrian Dalam Negeri, Kementrian ESDM, Perda dan lain-lain.

Ada daerah tumpang tindih *(grey area)* dan kelemahan koordinasi antar instansi dalam mengambil kebijakan secara kritis sering menjadi

hambatan, berdampak bencana secara alami akibat hilangnya tanggul alami sungai *(levee)* maupun struktur pengendali banjir dengan tanggul yang tidak kuat dan runtuh/jebol.

Gambar 20. Skema Keterkaitan antara Kebijakan dan Kelembagaan dalam Penyediaan Sumber Daya Air yang Berkelanjutan

1. Kebijakan dan Strategi

Kompleksitas permasalahan SDA membutuhkan upaya pemecahan dan antisipasi yang tidak mungkin hanya dapat dilakukan oleh pemerintah saja tetapi harus mendapat respons semua pihak baik sebagai individu maupun kelompok ataupun badan hukum termasuk unsur legislatif. Cakupan permasalahan dan pemecahannya harus dilihat secara menyeluruh dan melibatkan peran sebanyak-banyaknya pihak terkait.

2. Sosial Kepedulian

Permasalahan sosial adalah kurangnya rasa memiliki sungai sebagai wadah SDA yang harus bersih mengalir airnya. Menjaga kesehatan sungai dengan 3B yaitu dengan menjaga air sungai tetap tidak Berwarna, tidak Berbau, dan tidak Berasa, serta tidak kering dan tidak banjir ($Qmax/Qmin \leq 40$).

Umumnya alur sungai di belakang rumah (halaman belakang), sehingga kondisi sungai yang seringkali digunakan sebagai tempat membuang sampah limbah domestik tidak terlihat oleh petugas atau masyarakat yang peduli lingkungan. Kadang-kadang masyarakat bersifat destruktif terhadap fasilitas pengaman sungai seperti mengembala ternak di tanggul, cocok tanam di bantaran, merusak papan peringatan, mengambil peralatan duga air, radar komunikasi, pintu air dan lain-lain.

3. *Budget* O-P

Pembiayaan operasi dan pemeliharaan sungai sangat minim (anak tiri). Sumber dari APBN Kementrian PUPR/Ditjen SDA/BBWS. Sekarang sudah ada direktorat OP (saya usulkan Ditjen OP), yang sebelumnya hanya seksi OP. Semoga *budget*-nya bisa setara dengan program lain, yaitu bukan anak tiri/anak angkat, melainkan anak kandung bahkan anak emas (sama rata).

Kegiatan operasi dan pemeliharaan sungai di negara-negara maju (sudah sedikit *new project*) sangat penting karena menjaga kinerja, fungsi,

manfaat, keawetan, keberlangsungan SDA dan infrastruktur SDA.

Berapa *budget* OP sungai yang seharusnya agar SDA dan ISDA berfungsi baik dan berkelanjutan. Ada 2 (dua) pendekatan yaitu berdasarkan volume potensi manfaat *(outcome)* atau prosentase dari nilai manfaat *(income)*.

Penelitian di Sungai Cimanuk tahun 2005 (Suardi Natasaputra, Disertasi S3-ITB, 2005) diperoleh nilai biaya OP SDA sebesar Rp. 230/m^3 *(raw water)*. Jika diestimasi dengan harga saat ini pada tahun 2022 kurang lebih dengan inflasi 4-5% meningkat sekitar lima kali yaitu sebesar Rp. 1150/m^3. Contoh Sungai Citarum yang debit rata-ratanya mencapai 400 m^3/s minimum mendapat *budget* OP +/- 15 triliun Rupiah/tahun.

Akan tetapi Sungai Citarum penuh dengan pemanfaatan *multipurpose*, irigasi, PLTA, air baku, perikanan (keramba jaring apung /KJA), dengan minimun 1.5% dan pendapatan *(income)* hanya dari produksi listrik yang mencapai 22,6 triliun Rupiah/tahun sangat cukup untuk pembiayaan OP sungai baik konservasi lahan, air, infrastruktur SDA (bendung, bendungan, kolam retensi, situ, pengendali banjir, peningkatan atau pengembangan ISDA dan SDM lapangan DAS Citarum, sehingga keberlanjutan SDA baik kuantitas dan kualitasnya terjaga sampai kapan pun *(forever)*.

Khusus untuk Citarum Hulu dengan luas Sub DAS 56 km^2 harus mendapat *budget* sebesar 30% dari *income* sebesar 5 triliun Rupiah/tahun. Hal inilah yang saat ini belum bisa direalisasikan yaitu komitmen dan nilai

pemanfaatan pengelolaan SDA terutama sungai selama ini.

Walaupun pada kenyataannya pendapatan tersebut juga dikaji oleh Jasa Tirta II Jatiluhur, PLTA, sektor pertanian (DI Teknis 230.000 Ha), perikanan, air baku, air bersih, PAM Jaya, PAM Kabupaten Purwakarta, Bekasi, Kerawang dan lain-lain.

Tentunya berharap BUMN Jasa Tirta II Jatiluhur (PP No. 7 tahun 2010) mestinya sudah dewasa dengan kewenangan yang diberikan negara mampu merealisasikan *budget* OP bahkan secara mandiri tanpa APBN (hanya untuk infrastruktur SDA baru).

4. Permasalahan dan Mengapa PSDAT Diperlukan

Terdapat 3 (tiga) permasalahan pokok yang dapat dirasakan sedemikian sehingga PSDAT diperlukan adalah:

a. Masalah Umum

Masalah umum ini mencakup:

1. Krisis Air
    a) Pertumbuhan penduduk, over eksploitasi
    b) Air terlalu banyak, terlalu sedikit, dan terlalu kotor
2. Krisis Perilaku
    c) Pencemaran
    d) Kerusakan ekosistem
3. Krisis Penyelenggaran Pengelolaan
    e) Sektoral, t*op down*, tidak terlegitimasi

f) Biaya pengelolaan ditanggung pemerintah

b. Masalah Aktual

1. Ketahanan Pangan

Pangan merupakan kebutuhan dasar utama bagi manusia yang harus dipenuhi setiap saat. Hak untuk memperoleh pangan merupakan salah satu hak asasi manusia, sebagaimana tersebut dalam pasal 27 UUD 1945.

2. Pelayanan Air Bersih

Mengacu pada penghitungan WHO, kebutuhan air adalah 20 liter per individu per hari. Dengan asumsi pada akhir tahun 2014 penduduk Indonesia 252 juta, maka per hari jumlah air yang dikonsumsi oleh penduduk Indonesia adalah 7,56 mililiter; bahkan dalam 10 tahun berikutnya di mana penduduk diprediksi sebesar 285 juta, maka jumlah air yang dikonsumsi per hari menjadi 8,55 mililiter.

3. Banjir

Banjir merupakan fenomena alam ketika sungai tersebut tidak dapat menampung limpahan air hujan karena proses infiltrasi mengalami penurunan. Gejala banjir yang terasa semakin sering frekuensinya serta membesar dimensinya disebabkan karena degradasi Daerah Aliran Sungai yang menurunkan kapasitas infiltrasi dan meningkatnya koefisien aliran permukaan.

4. Pencemaran

Berbagai pencemaran lingkungan saat ini melanda di muka bumi akibat dari bertambahnya industri di mana banyak pabrik yang dibangun dan menyebabkan berbagai jenis polusi. Pencemaran air adalah perubahan zat atau kandungan di dalam air baik itu air yang ada di sungai, danau, ataupun air di lautan luas bahkan saat ini juga sudah terdapat pencemaran pada air tanah. Dari pengamatan ternyata penyebab pencemaran air ini lebih banyak diakibatkan oleh ulah manusia.

5. Degradasi DAS

Dengan adanya pertambahan penduduk memerlukan lahan baik untuk kegiatan pertanian, perumahan, industri, dan lain-lain yang akan menyebabkan perubahan penggunaan lahan. Perubahan penggunaan lahan yang paling besar pengaruhnya terhadap kelestarian sumber daya air adalah perubahan dari kawasan hutan ke penggunaan lainnya seperti pertanian, perumahan, ataupun industri.

c. Masalah Pengelolaan Masa Lalu

Masalah ini mencakup:

1. UU No. 11 Tahun 1974 tentang pengairan, di mana Departemen PU sebagai pemeran utama dalam pengelolaan air yang harus mengkoordinasi departemen lainnya yang terkait tidak bisa terlaksana dengan baik.

2. Semua departemen beranggapan bahwa UU No. 11 Tahun 1974 itu kan undang-undangnya PU, sedangkan kalau sumber air itu urusan saya.
3. Suatu kenyataan bahwa Departemen PU sangat lemah dalam penyediaan dana O&M.
4. Hampir semua proyek dikendalikan oleh Pemerintah Pusat.

3.4.1. Lahan Kritis, Laju Erosi, dan Sedimentasi

Lahan DAS merupakan prasarana menopang kehidupan di bumi, manusia, tumbuh-tumbuhan, hewan, ikan, serangga, dan akuakultur lain. Manusia dalam memenuhi kebutuhan memerlukan ruang pemukiman, prasarana transportasi, budidaya, dan fasilitas umum.

Perencanaan tata guna lahan pada daerah untuk berbagai kebutuhan ruang merupakan alih fungsi dari lahan tertutup hutan ke lahan terbuka. Alih fungsi membawa dampak perubahan lingkungan dan air.

Dasar pengendalian lahan hutan (hijau) dan lahan terbangun/ permukiman dan budidaya adalah nilai BCR *(Building Coverage Ratio)*. Pada umumnya dengan perhitungan daya dukung lahan dan air berkelanjutan (tidak turun drastis), maka BCR <60%.

Luas kawasan hutan yang harus dipertahankan minimal 30%, peraturan ini ada pada Pasal 18 UU No. 41 Tahun 1999. Namun dengan adanya UU Cipta Kerja UU No. 11 Tahun 2020 dihapus sehingga akan memicu kerawanan daya dukung lahan dan air.

1. Lahan Kritis

Data Direktorat Jenderal PDASHL (Pengendalian DAS Hutan Lindung) menunjukkan luas lahan kritis di Indonesia pada tahun 2018 sebesar 14,01 juta hektar, turun dari tahun sebelumnya tercatat 30,1 juta hektar dan tahun 2014 seluas 27,2 hektar.

Penurunan lahan kritis merupakan hasil dari langkah-langkah korektif oleh kementerian KLH, termasuk lahan luasan rehabilitasi hutan dan lahan. Tahun 2021 luas hutan adalah 95,6 juta hektar atau 50,9% luas daratan. Jadi luas lahan kritis saat ini sekitar 14,65% luas hutan atau 27,89% daratan Indonesia. Dengan demikian lahan kritis di Indonesia sudah termasuk mengkhawatrikan dan membawa dampak kelangsungan kerusakan SDA.

2. Laju Erosi

Laju erosi lahan dipicu tinggi hujan (erosivitas), jenis tanah permukaan (erodibilitas), kemiringan lahan (faktor panjang), tata guna lahan, dan upaya pengendalian. Formula dirumuskan oleh Wischmier and Smith (1978) dikenal metode USLE *(Universal Soil Loss Equation)*.

$$E = R.K.Ls.C.P$$

E = Laju erosi ton/tahun/km^2

R = Erosivitas hujan

K = Erodibilitas tanah

Ls = Panjang faktor

C = Tata guna lahan

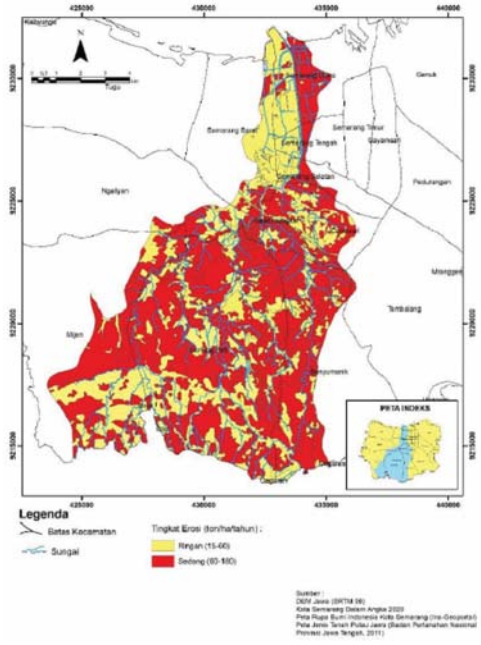
P = Upaya konservasi

Lahan dinyatakan kritis jika erosi mencapai >3mm/tahun atau 4000-5000 ton/km^2/tahun. Pada umumnya laju erosi lahan kritis sudah melampaui laju kriteria erosi berat >9mm/tahun.

Tabel 1. Tingkat Bahaya Erosi

Bahaya Erosi	Erosi Tanah (cm/tahun)
< 0,15	Sangat ringan
0,15 – 0,90	Ringan
0,90 – 1,80	Sedang
1,80 – 4,80	Berat
> 4,80	Sangat berat

Penelitian lajur erosi DAS disajikan dalam peta secara kuantitatif (ton/ha/tahun) maupun secara kualitatif.



Gambar 21. Peta Distribusi Tingkat Bahaya Erosi Daerah Aliran Sungai Garang

Peta erosi DAS Citarum menunjukkan bahwa laju erosi masuk kriteria sangat berbahaya atau sangat kritis (warna merah). Sedangkan sisanya sebagian kecil masuk kritis (warna kuning) dan terutama di perkotaan (Bandung, Majalaya, purwakarta, Kerawang) hal tersebut dikarenakan lahan sudah menjadi keras/kedap (rumah, jalan, fasilitas umum, parkir, dll). Laju erosi bisa dinyatakan dengan tinggi kehilangan lapisan tanah dalam milimeter per tahun atau dalam berat ton/hektar/tahun.

Lahan DAS dinyatakan kritis jika laju erosinya lebih besar 3 mm per tahun atau 40 - 60 ton/hektar/tahun (4000-6000ton/km^2/tahun). Sebagian besar DAS mengalami laju erosi kritis terutama di Pulau Jawa.

3. Sedimentasi

Besarnya laju erosi lahan DAS membawa dampak, diantaranya:

- Degradasi kesuburan lahan di mana tanah permukaan *(top soil)* semakin tipis. Budidaya pertanian harus mengadakan pupuk sedangkan biaya sarana produksi semakin mahal.
- Degradasi kapasitas drainase alami sungai dan anak sungai sehingga terjadi banjir.
- Angkutan sedimen debit sungai meningkat lebih dari 5% debit atau lebih dari 5000 ppm dan membawa dampak peningkatan endapan di waduk.
- Pengendapan intensif di muara sungai membentuk delta yang menyumbat keluar debit *(outlet)* terjadi banjir (rob).

Data laju sedimen tiga waduk seri di Sungai Citarum seperti berikut:

- Waduk Saguling (875 juta m^3)=4,26 jt m^3/tahun
- Waduk Cirata (1.900 juta m^3)=5,61 jt m^3/tahun
- Waduk Jatiluhur (2.448 juta m^3)=5,664 jt m^3/tahun

(Saat ini tampungan Waduk Jatiluhur 2,59 jt m^3)

Dapat disimpulkan bahwa laju pengendapan sangat mengkhawatirkan terhadap keberlangsungan daya tampung waduk yang berpengaruh terhadap pelayanan PLTA, irigasi, dan air baku lainnya.

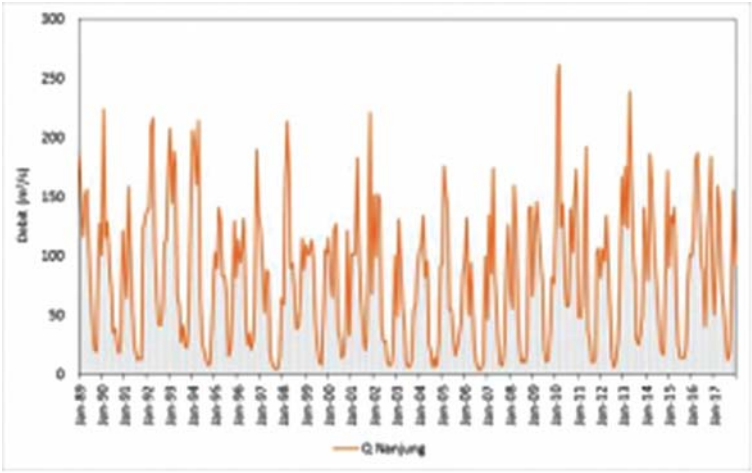
Waduk Jatiluhur mempunyai pola yang *multipurpose*, terbanyak untuk irigasi 230.000 ha di Jalur Pantura, Bekasi, Kerawang, Subang, dan Indramayu.

3.4.2. Potensi Ketersedian Air dan Kelangkaan

1. Ketersediaan Air

Ketersediaan air dihitung berbasis DAS/SWS (Satuan Wilayah Sungai) berdasarkan hujan rata-rata bulanan dan tahunan dari data hujan di pos-pos hujan di dalam DAS/SWS. Hujan bersifat random acak, maka metode yang dipakai analisis statistik dengan peluang kejadian dalam bentuk debit (m3/s) dengan peluang kejadian probabilitas P (%). Karena curah hujan bervariasi dari bulan ke bulan dan dari tahun ke tahun maka dalam hal mendapatkan nilai akurasi, jumlah data hujan ditetapkan minimum 10 tahun, lebih lama data seri tersedia hasil lebih baik menuju akurasi.

Debit rata-rata, mendekati debit andalan Q_{50}, sering dipakai untuk menyatakan ketersediaan secara umum, sebagai informasi dasar dari suatu DAS/SWS. Debit andalan juga dapat dihitung langsung dari data debit di Pos Nanjung Citarum Hulu sebagai berikut.



Variasi debit aktual di pos Nanjung Citarum Hulu (Luas DAS 1.756 km^2) berkisar <5 sampai >250. Sehingga didapat perbandingan rata-rata Qmaks dibanding rata-rata Qmin lebih besar 40 sehingga sungai Citarum Hulu dapat dikatakan dalam keadaan sakit, di mana sungai dalam keadaan sehat jika Qmaks/Qmin jauh lebih kecil dari 40.

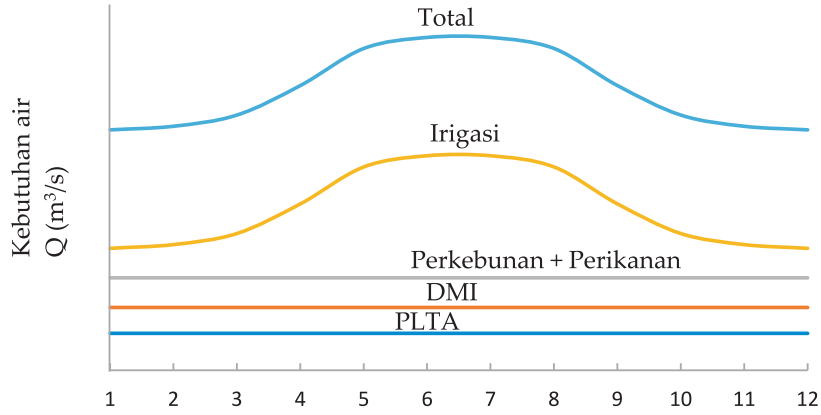
2. Kebutuhan Air

Perencanaan pengelolaan SDA dilakukan dalam rangka memenuhi kebutuhan air untuk berbagai jenis kebutuhan seperti domestik/rumah tangga, munisipal, industri (DMI), irigasi, perikanan, agrobisnis, energi/PLTA, dan lain-lain.

Perencanaan secara terpadu secara sektoral dan proyeksi pertumbuhan akan air, yang mengakomodasi tumbuhnya jenis kebutuhan baru seperti pusat permukiman baru, *apartement*, *real estate*, industri *estate*, pariwisata, dan lain-lain.

Pada umumnya dalam suatu DAS kebutuhan yang paling besar adalah irigasi. Apalagi untuk Daerah Irigasi (DI) teknis dengan 2 kali musim tanam, maka kebutuhan irigasi di musim tanam II, dimana jatuh pada bulan kemarau (Mei – Agustus) menjadi maksimum, karena sumber air utama hujan berkurang.

Tipikal kurva kebutuhan air secara menyeluruh seperti diberikan grafik di bawah.



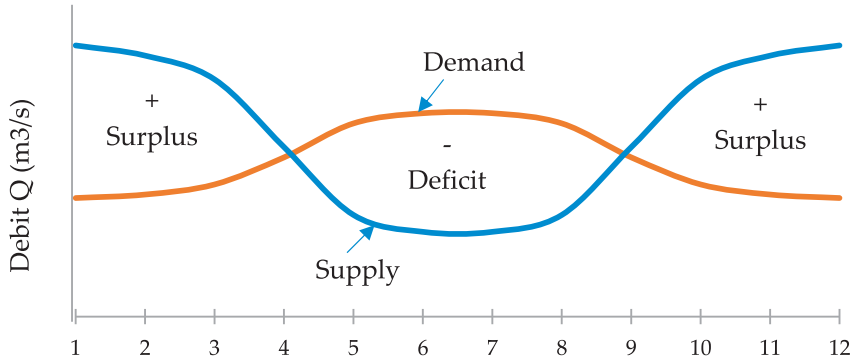
Gambar 22. Jenis – Jenis kebutuhan Air

Jadi tipikal kurva kebutuhan *(demand)* cenderung mencapai puncak di bulan kemarau ini menjadi tantangan dalam penyediaan air *(supply)*.

Neraca air dalam DAS adalah gambaran antara *supply* dan *demand* saat ini dan ke depan.

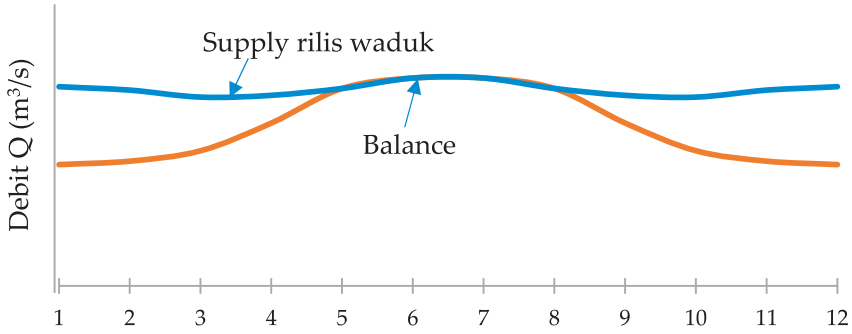
3. Neraca Air

Strategi dan skenario perencanaan pengelolaan SDA harus dapat menyelesaikan permasalahan pembagian air dan menekan resiko konflik antar pengguna SDA di lapangan. Pada umumnya neraca air *supply - demand* terjadi periode surplus dan periode defisit, yang dapat digambarkan neraca berikut.



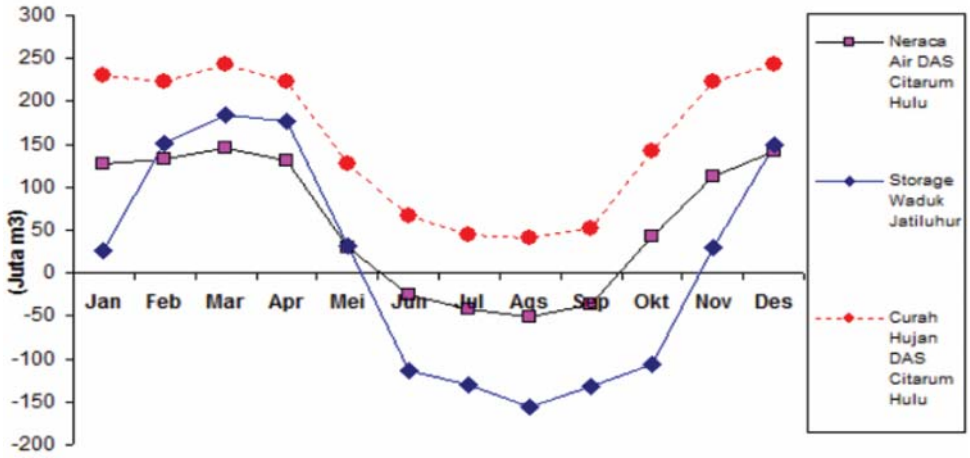
Gambar 23. Kurva Neraca Air *(Supply - Demand)*

Karena volume *supply* dalam 1 tahun rata-rata tetap (hujan tahunan tetap) maka volume *demand* maksimum defisit 60 – 80% dari ketersediaan air. Adanya defisit dan surplus yang periode berbeda dapat diatasi dengan membangun waduk, sehingga air surplus bisa disimpan di waduk dan dirilis saat periode defisit (kemarau). Kurva neraca air bisa *balance*.



Gambar 24. Kurva Neraca Balance

Contoh riil neraca air dengan adanya waduk adalah kasus neraca air di Citarum Hulu dengan suplai waduk Jatiluhur yng diberikan pada gambar berikut. Pada musim kemarau menunjukkan garis neraca di bawah nol. Namun demikian sudah berkurang karena adanya air cadangan waduk Jatiluhur.

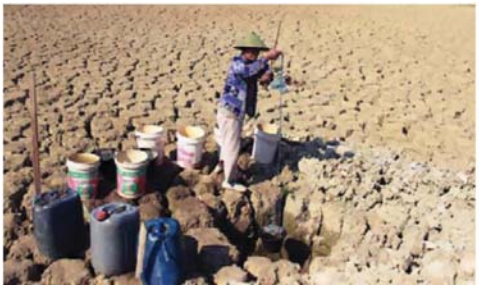


Gambar 25. Kurva Neraca Balance

Peran waduk sangat penting dalam rangka menyediakan air untuk semua jenis kebutuhan, baik musim penghujan dan khususnya musim kemarau.

4. Kelangkaan Air

Kondisi kelangkaan air Indonesia sudah masuk ke titik nadir. Dapat dilihat secara grafik ketersediaan yang fluktuatif terhadap waktu, banjir di musim hujan dan kekeringan yang tidak terkendali di musim kemarau. Dampak dari kelangkaan air sesaat karena pengelolaan DAS yang belum berhasil dan belum adanya infrastruktur SDA yang menangkap air di musim hujan tampak pada foto-foto berikut ini, berupa kekurangan air minum dan gagalnya pertanian sawah.



Gambar 26. Situ terdampak Kekeringan

Gambar 27. Sawah terdampak Kekeringan

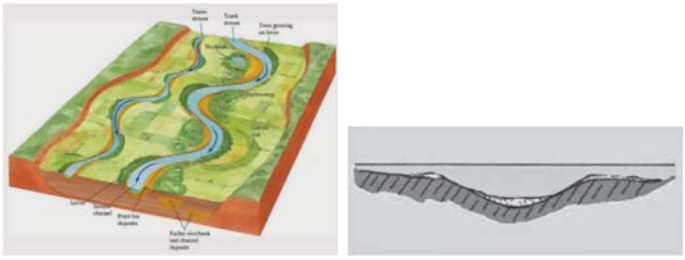
3.4.3. FENOMENA BANJIR, PERKEMBANGAN KOTA DAN PERINGATAN DINI

1. Fenomena Banjir dan Perkembangan Perkotaan

Banjir sungai sebenarnya kejadian biasa dari sungai karena akibat

curah hujan yang tinggi maka kapasitas sungai terlampaui dari puncak tebing sungai *(bank full)*. Debit *bank full* merupakan kejadian rutin hampir terjadi setiap tahun atau duga periode ulang 1,1-1,5 tahun.

Namun demikian karena variasi hujan yang tidak merata sehingga di Sub DAS intensitas hujan menjadi tinggi melampaui hujan normal dan melebihi kapasitas alur eksisting dan meluap. Fenomena sungai meluap mempunyai kinerja membentuk tinggi tanggul alami disebut levee dan material angkutan sedimen yang dibawa sungai sendiri.



(a) (b)

Gambar 28. (a) Levee Sungai, (b) Potongan Melintang Leeve

Perkembangan kota besar di Indonesia menuju *poorly drainage* karena tidak dilakukan upaya pengendalian dan pencegahan alih fungsi ruang air seperti sempadan sungai dan fasilitas terbentuknya *levee* (tanggul alami). Sungai yang melewati perkotaan tidak mampu membentuk *levee* dikarenakan bantaran sungai sudah tidak ada, menjadi pemukiman

padat. Oleh karenanya pengendalian banjir di perkotaan memerlukan infrastruktur keras seperti tanggul, contohnya di DKI Jakarta.

2. *Early Warning System* dan Mitigasi Bencana Banjir

Early Warning System

Sebagai langkah awal dalam upaya penanggulangan bencana adalah identifikasi karakteristik bencana. Salah satu penyebab timbulnya bencana di Indonesia adalah kurangnya pemahaman terhadap karakteristik ancaman bencana. Seringkali bencana seolah-olah terjadi secara tiba-tiba dan masyarakat kurang siap menghadapinya, sehingga timbul banyak kerugian bahkan korban jiwa. Padahal sebagian besar bencana dapat diprediksi waktu kejadiannya dengan tingkat ketepatan peramalan sangat tergantung dari ketersediaan dan kesiapan alat serta sumber daya manusia. Pemahaman tentang ancaman bencana meliputi pengetahuan secara menyeluruh mengenai ancaman bahaya yang mungkin timbul, tingkat kemungkinan terjadinya bencana, mekanisme perusakan, sektor dan kegiatan-kegiatan yang akan sangat terpengaruh dari dampak kerusakan.

Kejadian banjir yang telah terjadi dikaji sebagai data historis dan empiris yang dapat dipakai untuk menentukan tingkat kerawanan dan upaya antisipasi banjir suatu daerah. Kajian tersebut diantaranya mencakup rekaman atau catatan kejadian bencana yang memberikan indikasi awal akan datangnya banjir di masa yang akan datang, pemetaan topografi untuk estimasi kapasitas sistem hidrologi serta *plotting* berbagai

luas genangan yang pernah terjadi, data curah hujan untuk menghitung kemungkinan kelebihan beban atau terlampauinya kapasitas penyaluran sistem pengaliran.

Datangnya banjir diawali dengan gejala-gelaja yang dapat digunakan sebagai peringatan awal, seperti curah hujan yang tinggi pada waktu yang lama, atau tingginya pasang laut yang disertai badai. Evakuasi dapat dimulai dengan telah disamai atau dilampauinya ketinggian muka air tertentu yang disebut muka banjir/air "siaga".

Akhir-akhir ini studi mitigasi dan peringatan dini sangat intensif karena bencana banjir semakin sering dan meluas yang mendorong keterlibatan aktif para akademisi di kampus untuk menghasilkan penelitian-penelitian tentang banjir. Keluarannya berupa software yang memetakan kota-kota dengan kawasan rawan banjir dengan membuat indeks resiko dan kerawanan banjir yang memberikan suatu masukkan kepada institusi seperti BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana), BPBD (Badan Penanggulangan Bencana Daerah), dan masyarakat yang ada di daerah terdampak banjir.

Upaya evakuasi akan efektif jika dilengkapi dengan sistem monitoring dan peringatan yang memadai. Sistem peringatan dini dengan telemetri pada umumnya kurang berhasil, karena keterbatasan dana untuk pemeliharaan alat dan tidak mencukupinya jumlah tenaga dan kemampuannya. Namun peringatan dini dapat dilaksanakan dengan cara sederhana yaitu dengan pembacaan papan duga muka air secara manual

dan mengkomunikasikan perkembangan pembacaan peningkatan muka air melalui radio atau alat komunikasi yang ada. Kelemahan dari sistem peringatan dini saat ini adalah pada penyebarluasan berita peringatan dini kepada masyarakat yang dapat terkena banjir pada tingkat desa.

Mitigasi Bencana Banjir

Bencana banjir mengakibatkan kerugian berupa korban manusia dan harta benda, baik milik perorangan maupun milik umum yang dapat mengganggu dan bahkan melumpuhkan kegiatan sosial-ekonomi penduduk.

Menghadapi bencana tersebut, maka dilakukan upaya mitigasi dengan prinsip-prinsip:

- Bencana adalah titik awal upaya mitigasi bagi bencana serupa berikutnya.
- Upaya mitigasi sangat kompleks, saling ketergantungan dan melibatkan banyak pihak.
- Upaya mitigasi aktif lebih efektif dibanding upaya mitigasi pasif.
- Jika sumber daya terbatas maka prioritas harus diberikan kepada kelompok rentan.
- Upaya mitigasi memerlukan pemantauan dan evaluasi yang terus menerus untuk mengetahui perubahan situasi.

Sedangkan strategi mitigasi bencana dapat dilakukan antara lain dengan:

- Mengintegrasikan mitigasi bencana dalam program pemba-

ngunan yang lebih besar.

- Pemilihan upaya mitigasi harus didasarkan atas biaya dan manfaat.
- Agar dapat diterima masyarakat, mitigasi harus menunjukkan hasil yang segera tampak.
- Upaya mitigasi harus dimulai dari yang mudah dilaksanakan segera setelah bencana.
- Mitigasi dilakukan dengan cara meningkatkan kemampuan lokal dalam manajemen dan perencanaan.

Upaya mitigasi bencana banjir secara umum dapat dibagi menjadi tiga kegiatan yaitu upaya mitigasi non struktural, struktural serta peningkatan peran serta masyarakat.

IV. EKONOMI SDA

Pembangunan Infrastruktur SDA (ISDA) memerlukan biaya kapital maupun biaya O - P, sehingga perlu dilakukan analisis ekonomi yang memberikan nilai kelayakan ekonomi disamping kelayakan teknis, lingkungan maupun sosial.

Analisis ekonomi SDA menghitung parameter ekonomi seperti biaya konstruksi ISDA (kapital), biaya O - P dan biaya rehabilitasi, pendapatan *(benefit)* dan pajak pendapatan.

Jumlah biaya yang keluar disebut *out cashflow*, sedang jumlah uang masuk disebut *in cashflow*. Jika antara *out cashflow* dan *in cashflow*

dilakukan analisis arus uang, setiap tahun selama tahun perencanaan, umur guna infrastruktur SDA, umur 30 - 100 tahun, yang selanjutnya dipakai sebagai tahun pengembalian kapital, disebut *time pay back*.

Perhitungan nilai ekonomi seperti BCR awal (sesaat), *present value, net present value* (NPV), *Economic Internal Rate of Return* (IRR), dan *Financial Internal Rate of Return* (FIRR)/pendapatan kena pajak.

Suatu proyek ISDA (bendung, waduk, jaringan irigasi) dikatakan layak ekonomi jika BCR > 1. Namun proyek ISDA biasanya memberikan BCR 0,2 - 0,3, sehingga tidak layak. Untuk mendapatkan kelayakan ekonomi ditinjau jangka panjang *(duration of pay back)*. Adapun formula perhitungan EIRR seperti berikut:

$$NPV= \sum_{t=0}^{n} \frac{(Benefit\text{-}Costs)_t}{(1+r)^t}$$

Di mana:

r = *discount rate*

t = tahun

n = 1,2,3, … , T *(duration of pay back)*

IRR didapat jika pada tingkat bunga i tertentu dan tahun pengembalian T mencapai dimana NPV = 0 dan BCR = 1, seperti dirumuskan di bawah ini.

$$0=NPV= \sum_{t=1}^{T} \frac{C_t}{(1+IRR)^t} - C_0$$

Di mana:

C_t = *net cash inflow* selama periode t

C_0 = total biaya investasi awal

IRR = *Internal Rate of Return*

t = periode waktu

Proyek ISDA layak jika untuk T *duration of pay back* diperoleh:

- EIRR > bunga komersial bank, 10 - 12%
- FIRR > bunga lunak *(loan)*, 6 - 8%

EIRR dan FIRR dicapai pada tahun T, BCR = 1.

Contoh analisis kelayakan ekonomi SDA adalah perencanaan terpadu Waduk Keureuto di Kabupaten Aceh Utara Provinsi Nangroe Aceh Darusalam. Waduk ini direncanakan memiliki kapasitas air 167 juta kubik dengan genangan 900 hektar. Waduk Keureuto akan digunakan untuk irigasi Alue Bai dengan luas lahan pertanian 4.768 hektar, sebagai sumber air baku pada PDAM Tirta Mon Pose dengan debit 500 liter/detik dan sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan tegangan listrik sebesar 6,38 mega watt. Dengan biaya investasi Rp. 810,910,057,196.98 dan interest rate 10%, diperoleh NPV Rp. 131,894,993,009.88, IRR = 11.50%, BCR = 1,13, and nilai BEP = 27.7 tahun.

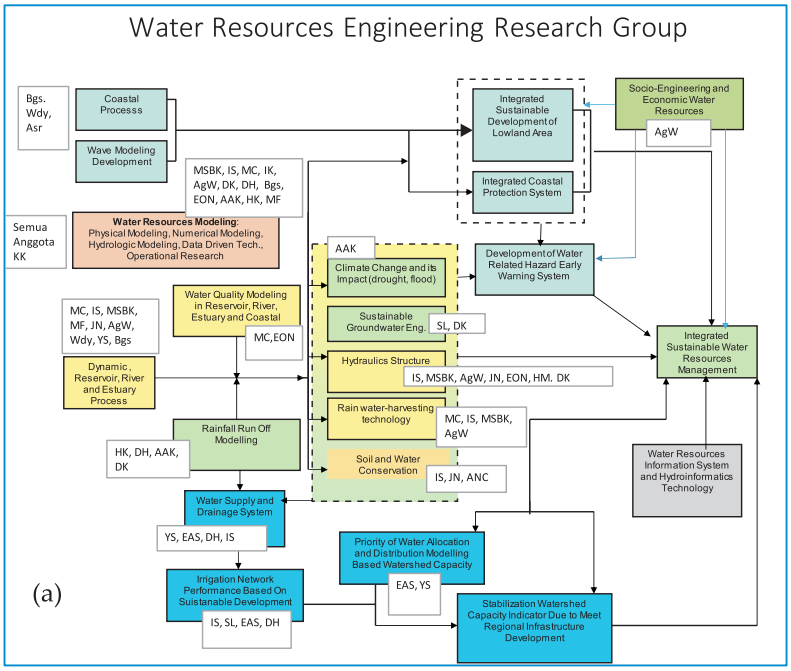
V. PROFIL KELOMPOK KEAHLIAN TEKNIK SUMBER DAYA AIR (KKTSA) DAN PENELITIAN BERJALAN

5.1. Profil Kelompok Keahlian Teknik Sumber Daya Air (KKTSA)

Kelompok Keahlian Teknik Sumber Daya Air (KKTSA) beranggotakan 19 dosen dan 3 asisten akademik, terdiri dari jabatan 3 Guru Besar, 4 Lektor Kepala, 6 Lektor, dan 5 Asisten Ahli. Anggota KKTSA terdiri dari 3 wanita dan 16 pria dengan tugas masing-masing disajikan pada gambar berikut.

KKTSA melayani proses belajar mengajar di 3 prodi yaitu prodi teknik sipil, TPSDA (teknik pengelolaan sumber daya air), dan MPSDA (magister pengelolaan Sumber Daya Air) mempunyai 3 laboratorium yaitu lab mekanika hidrolika, lab model fisik hidrolika, dan lab sungai dan angkutan sedimen di Kampus ITB Jatinangor.

Adapun *research group roadmap* TSA dan pembagian SDM KKTSA seperti gamber berikut.



(b)

		AE	DE	AE	BE	BE	DE	BE	AD	AD	AE
No	Dosen	Air Tanah	Bangunan Air	Drainase, Banjir	Fluida, Hidraulika	Hidrologi	Irigasi	Matematika, Numerik, Statistika	PSDA	Rawa Pantai	Sungai, Sedimen, Kualitas Air
1	Agung Wiyono						1		1		
2	Ana Nurganah C.		1								1
3	Arno Adi Kuntoro					1		1			
4	Asrini Chrysanti				1					1	
5	Dantje Kardana		1					1			
6	Dhemi Harlan				1			1			
7	Edy Anto Soentoro								1		1
8	Eka Oktariyanto N.				1					1	
9	Hadi Kardhana				1	1					
10	Hernawan Mahfudz			1	1						
11	Indratmo Soekarno				1		1				1
12	Joko Nugroho		1				1				1
13	M. Bagus Adityawan				1			1		1	
14	M. Cahyono				1			1			1
15	M. Farid			1	1	1					
16	M. Syahril B.K.			1	1	1					
17	Sri Legowo	1	1				1		1		
18	Widyaningtias						1	1		1	
19	Yadi Suryadi		1	1			1				

BE
DE, AD, AE
BE: basic engineering --> memberikan materi coding
DE: design engineering
AD: advanced design
AE: advanced engineering

Gambar 29. (a) *Road Map* Riset KKTSA, (b) Daftar Dosen dan Mata Kuliah

5.2. Penelitian Berjalan

Penelitian atau riset-riset bidang SDA untuk pengembangan ilmu keairan baik metode baru untuk mendapatkan nilai parameter dan variabel SDA yang lebih akurat, atau mendapatkan pembaruan *(novelty)* bidang rekayasa keairan seperti mengaplikasikan metode untuk mengungkap potensi SDA di wilayah sungai yang masih minim data hidrometeorologi seperti di DAS Papua dan daerah aliran sungai yang belum terjangkau pemasangan alat dan catatan cuaca, hujan, dan iklim di *remote area*.

Fokus penelitian adalah bidang perencanaan konservasi SDA, pendayagunaan SDA, dan pengendalian daya rusak, banjir dan operasi-pemeliharaan infrastruktur SDA yang sudah beroperasi, ada untuk menyelesaikan masalah atau hambatan *(solving-problem)*, sehingga dapat memberikan kontribusi ke pengelola infrastruktur SDA, seperti waduk, bendung, pengendali banjir, dan O-P sungai, dan menghasilkna daya guna *(outcome)* dan hasil guna *(income)* dari nilai manfaat SDA secara optimal.

Adapun pelaksanaan riset dikaitkab dengan kolaborasi mahasiswa yang sedang tugas akhir (TA), skripsi (tesis), dan desertasi (S3), mereka mendapat biaya (voucher), penelitian dari berbagai sumber dana seperti penelitian ITB, DIKTI, dan sponsor swasta.

Tabel berikut di antara mahasiswa yang sedang mengerjakan penelitian:

Tabel 2. Penelitian yang Sedang Berjalan

No.	Nama/NIM	Prodi	Judul: TA/Tesis/Desertasi	Tahun Masuk
1.	Christy Sunardi 158180014	S1 TPSDA	Pendayaan SDA Bendung Cikapundung untuk PLTM Sabuga	6 bulan
2.	Felix Joel 158180029	S1 TPSDA	Penanganan Banjir di Majalaya	6 bulan
3.	Lupita Lestari 25819006	S2 MPSDA	Tinjauan Kondisi Kualitas dan Kuantitas Air Perikanan Darat di Jawa Barat	Semester I 2019/2020
4.	Rivia Zatalini 25820012	S2 MPSDA	Studi Zero Runoff Sistem Drainase Pulau Reklamasi *(Golf Island)* Teluk Jakarta	Semester I 2020/2021
5.	Tera Melya Patrice Sihombing 25020367	S2 TSA/Sipil	Studi Banjir Rob di Semarang	Semester II 2020/2021
6.	Indi Reski Uli 25020309	S2 TSA/Sipil	Studi Kapasitas Sungai Deli, Kota Medan	Semester II 2020/2021
7.	Cecep Muhtaj Munajat	S3 Teknik Sipil	Studi Hidrograf Real Semi Empirik, Studi Kasus Sungai Citarum, Jawa Barat	Semester II 2018/2019
8.	Dina Paramitha Anggraeni Hidayat 35018301	S3 Teknik Sipil	Studi Penerapan Kawasan Resapan Daerah Aliran Sungai (DAS) Berbasis Permen PUPR No. 11/2015, Studi Kasus DAS Cisadane, Jawa Barat	Semester II 2018/2019

No.	Nama/NIM	Prodi	Judul: TA/Tesis/Desertasi	Tahun Masuk
9.	Angga Prawirakusuma 35018304	S3 Teknik Sipil	Model Debit Runoff Sungai Citarum Hilir serta Rambatan Limpasan Banjir sekitar Kabupaten Karawang dan Bekasi	Semester II 2018/2019
10.	Mardiani 35021004	S3 Teknik Sipil	Studi Efektivitas Teknologi Imbuhan Air Tanah (TIAT), Simulasi dan Eksperimen Lapangan	Semester II 2018/2019
11.	Jovan Putranda 25821027	S2 MPSS	Penelitian Gerusan Dasar Tikungan Sungai Citanduy dan Penanggulangannya	Semester I 2021/2022
12.	Hamam Aulia 25021032	S2 MPSS	Studi Sedimentasi Segara Anakan, Cilacap dan Pengendaliannya	Semester I 2021/2022

Hasil sementara sampai seminar progress 2-3 dan pemodelan matematik.

1. Angga Prawirakusuma (S3/TSA Sipil)

Meneliti banjir yang sering terjadi akhir-akhir ini di Karawang dan Bekasi, di mana banjir Sungai Citarum hilir ini sebenarnya sudah diredam 3 waduk yaitu Bendungan Saguling (kapasitas 875 jt m^3), Cirata (kapasitas 1900 jt m^3), dan Jatiluhur (kapasitas 2448 jt m^3). Mestinya banjir di

Karawang dan Bekasi tidak terjadi.

Hasil penelitian kapasitas penampang Sungai Citarum hilir dengan formula Chezy:

$Q = C R^{1/2} S^{1/2}$ $\quad n$ = Angka kekasaran manning

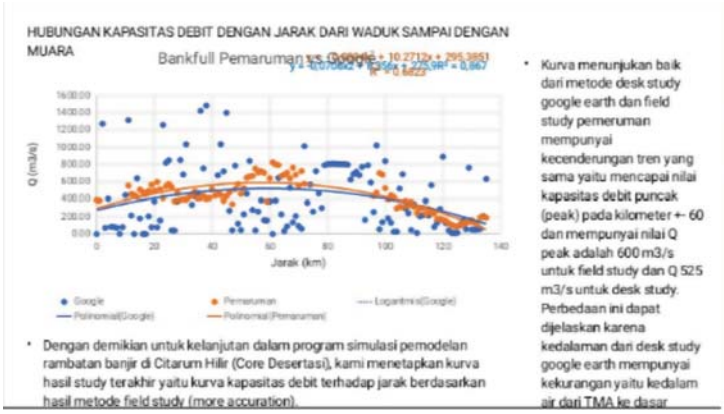
C = Koefisien Chezy = 0,025-0,035

$= 1/n\, R^{1/6}$ $\quad A$ = Luas basah penampang (m^2)

R = Jari-jari hidrolik $\quad P$ = Keliling basah (m)

$= A/P$

Variasi kapsitas sungai Citarum hilir diberikan kurva dibawah ini.



Gambar 30. Hubungan Kapasitas Debit dengan Jarak dari Waduk sampai dengan Muara

Kurva kapasitas debit Sungai Citarum Hilir di atas dapat didekati dengan persamaan sebagai berikut:

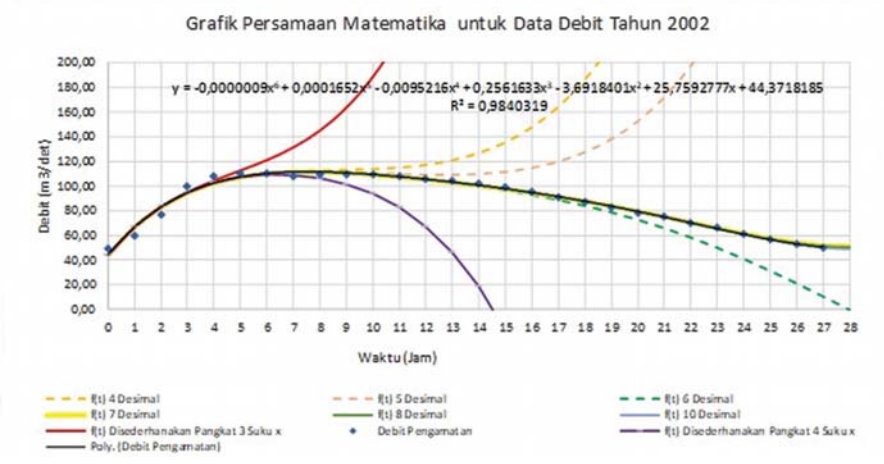
$Qc\ (m^3/s) = -0{,}0894L^2(km) + 10{,}2712L + 295{,}3851$

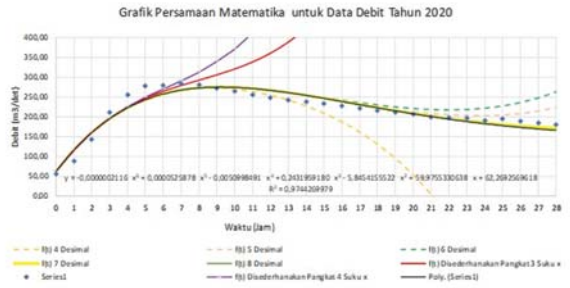
Dengan koefisien korelasi $R^2 = 0{,}6823$

Ternyata kurva membentuk parabol dan dengan debit pucak kapasitas Qmax = 800 - 900 m^3/s, sehinga terjadi banjir karena debit operasi waduk Jatiluhur 300 - 400 m^3/s, sedangkan debit banjir sungai Cibeet anak sungai Citarum hilir 600 - 800 m^3/s, karena belum ada waduk/ bendungan/ peredam regulator banjir.

2. Cecep Muhtaj Munajat (S3/TSA Sipil)

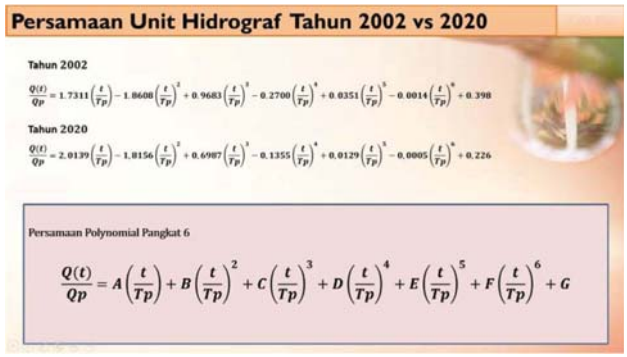
Penelitian hidrograf banjir di Sungai Citarum Hulu pada pos duga Air Nanjung memberikan satu solusi persamaan tunggal yang biasanya fungsi hidrograf yang ada terdiri multifungsi (3-4 sub fungsi) seperti Snyder (2 sub fungsi), Nakayatsu (3 sub fungsi), Gama (multifungsi), ITB (multifungsi).





Gambar 31. Grafik Persamaan Matematika untuk Data Debit Tahun 2020

Kurva penurunan matematika untuk data debit di atas dapat didekati dengan persamaan sebagai berikut:



Dengan didapat hidrograf 1 fungsi maka luas volume air banjir dapat diselesaikan dengan integral satu fungsi dengan batas waktu awal T0 dan batas waktu akhir banjir Ta.

Persamaan hidrograf real dengan fungsi tunggal berupa fungsi polinum dengan pangkat n=6, dengan koefisien korelasi R2=0,97=0,98, jadi persamaan dapat menyelesaikan perkiraan volume banjir dalam satu kejadian hidrograf banjir.

3. Dina Paramitha (S3/TSA Sipil)

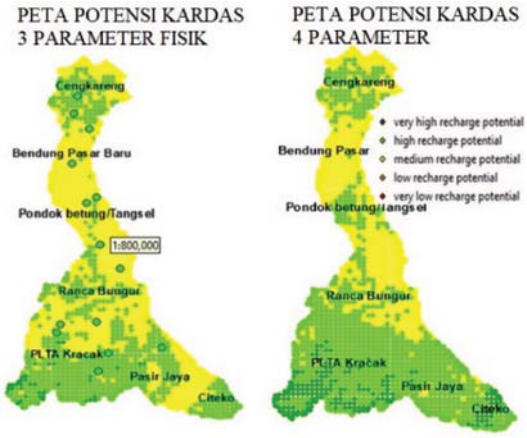
Peta potensi kawasan resapan DAS Cisadane dibuat berdasarkan kriteria Permen PUPR No.1 Tahun 2015, parameter penilai potensi resapan seperti geologi/resapan tanah, kemiringan lahan, tata guna lahan, dan curah hujan pada setiap grid (pengepingan) ukuran 1 km x 1 km dari luas DAS Cisadane +/- 1547 km^2 menjadi +/- 1547 grid.

Metode penilai/skor dengan pemberian skor/nilai (*Method Multi Indexing*/MMI) setiap parameter fisik (geologi, kemiringan, TTGL) dan parameter hidrologi (hujan), nilai skor berdasarkan jenis, tanah, kelandaian lahan, kerapatan tutupan, diberi skor 1-5 di mana 1 nilai kurang, 5 nilai besar.

Semua parameter fisik dilakukan pengukuran dengan beberapa titik grid ditentukan secara representatif lokasi hulu, tengah, hilir DAS. Hasil ground test mempunyai penyimpangan potensi dari desk study yaitu 1 dari 25 titik survey atau sebesar 4%. Nilai potensi KARDAS 3 parameter fisik (Permen PUPR) dan 4 parameter (fisik dan hujan) diberikan pada peta berikut.

Berdasarkan hasil analisis peta KARDAS, parameter hidrologi (curah

hujan tahunan) DAS Cisadane yang tinggi (>3000 mm/tahun) sangat mendukung terjadinya resapan, sehingga terjadi peningkatan potensi resapan yang cukup signifikan yaitu: potensi resapan sangat tinggi mengalami kenaikan sebesar 8% sedangkan potensi resapan tinggi mengalami kenaikan sebesar 12%. Kebaruan *(novelty)* pada penelitian ini adalah metode penentuan KARDAS, ketelitian dalam grid yang terukur dan analisis faktor KARDAS dengan 4 parameter (geologi, topografi, TTL+hidrologi).



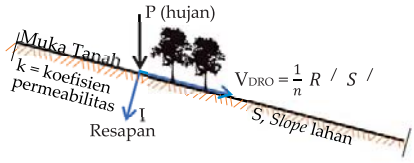
Gambar 32. Peta Potensi KARDAS Cisadane

4. Mardiani (S3/TSA Sipil)

Teknologi Imbuhan Air Tanah (TIAT) sangat penting untuk pemulihan Cadangan Air Tanah (CAT) di cekungan Bandung, yang merupakan akuifer di bawah Citarum hulu. Berbagai penelitian di

universitas telah mempublikasikan hasil TIAT seperti Biopori (IPB), Sumur Resapan (UGM), Waduk Resapan (ITB/RISTEK/BPPT). Namun aplikasi di lapangan oleh masyarakat masih terkendala biaya dan operasi pemeliharaan. Studi Penelitian ini mencari akar permasalahan yang komprehensif efektifitas TIAT serta model modifikasi agar mudah diaplikasikan dan biaya rendah.

Problem infiltrasi (resapan) air hujan secara alami sangat sulit, apalagi permukaan terbuka (gundul). Air hujan tidak lagi tertahan oleh daun, dahan, pohon, akar dan rerumputan, sehingga air hujan langsung menjadi aliran permukaan (*Direct Run Off*/DRO), seperti ditunjukkan gambar berikut:



Gambar 33. Air Hujan yang Menjadi *Direct Run Off* (DRO)

Infiltrasi/resapan dapat ditulis dalam bentuk persamaan:

$I = P - V_{DRO}$

$I = P - \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$

$I = k \, . \, i$

Di mana:

P = Presipitasi (hujan)

R = Jari-jari hidrolik = T = Tebal air hujan

S = *Slope* lahan

n = koefisien manning

= 0,020 (gundul) – 0,060 (hutan)

k = koefisien permeabilitas tanah

= 10-7 – 10-5 m/s

i = gradien hidrolik

Resapan I baru bisa terjadi jika hutan tidak gundul.

Syarat tebal air hujan T >> Et (evapotranspirasi = 5 - 7 mm/ hari).

Tebal air hujan > 10 mm/hari.

Dalam kondisi normal, luas hutan > 50% luas DAS).

Kondisi hutan normal, Infiltrasi/resapan I > V_{DRO}, I cukup besar, air hujan diam tertahan pohon dan rumput.

Kondisi hutan gundul, Infiltrasi/resapan I << V_{DRO}, I = sangat kecil, air hujan tidak tertahan oleh pohon hutan dan rerumputan.

Studi ini akan membuat lapisan tanah lebih *permeable*, agar air hujan banyak masuk ke lapisan tanah, atau $k_{TIAT} >> k_{mukatanahalami}$.

5. Tera Melya P.S (S2 TSA/Sipil)

Model matematik ROB (pasang naik perairan iregular) yang melanda Pantai Utara Jawa (Pantura), yang tadinya dikenal di teluk Semarang, dan semakin menjadi-jadi dan merambat ke Kendal, Pekalongan, Demak, dan

bahkan sudah sering juga terjadi di Jakarta (Teluk Jakarta).

Dari penelusuran di internet tentang ROB belum ada memodelkan matematik, yang ada hanya berita (deskripsi), penelitian luas dan kedalaman, lama surut dan dampak (ekonomi, sosial, kesehatan, dan lain-lain). Satu-satu info grafik pasang surut di teluk Semarang yang diukur oleh BMKG dan disandingkan ratus hasil ramalan pasang surut (olah proven/akurat) 100 tahun yang lalu. Grafik itu selalu berbeda, di mana hasil pengukuran manual dan digital recording *(real time)* terletak di atas. BMKG tidak mengkalibrasi persamaan pasutnya.

Gambar 34. Pasang Surut Tanjung Emas Semarang

Pembentuk model matematik berdasarkan fakta hidrologi di pantai.

- Hipotesa puncak gelombak +/- 4 m sebagai bendungan, menahan air ke laut
- Sumber tebal air
- Debit sungai di muara/outlet tertahan

  Q_{out}-Q_{in}=A dh/dt *(reservoir routing)*

- Debit arus pantai bertemu

  Q_{Lcest}-Q_{Lcwest}=A dh/dt

- Rumus gelombang pecah

  Dh=Ht tan$\propto$ /$\sqrt{2\eta Hs/gT}$

- Tinggi Tsunami

  H_{ts}=($\frac{C^2}{g}$-d)

  Ht,ROB=Z_0+$\sum_1^n AiCos\left(\frac{2\pi t}{T}-\theta i\right)+Ag\cos\omega t\left(\frac{Qi-Q0}{A}\right)t+\left(\frac{Qrv}{vxb}\right)t$ +Ht

  tan$\propto$ /$\sqrt{2\eta Hs/gT}$+($\frac{C^2}{g}$-d)

Catatan:

ROB = Istilah lokal air naik datang tiba-tiba iregular di pantai.

= *Run on Beach*

RU = *Run Up Wave,* rayapan gelombang pecah di pantai

Tsunami: Celerity

$\frac{C^2}{g}$-d d=*sea depth*

6. Lupita Lestari (S2/MPSDA)

Degradasi kualitas perairan sungai terutama perairan di Sungai Citarum Hulu sudah kurang mendukung kehidupan biota air seperti plankton dan ikan. Kualitas air di Sungai Citarum Hulu tidak bisa lagi mendukung biota air tumbuh dan berkembang biak dengan optimal. Perikanan darat di Jawa Barat amat terdampak produktivitasnya akibat rendahnya kualitas air dari hulu Sungai Citarum.

Rendahnya kualitas air bisa terlihat saat kemarau ketika debit hulu Sungai Citarum hanya 2,7 m^3/s. saat kemarau pH air hanya 4 yang mana buruk bagi kehidupan biota air. Ketika banjir terjadi di musim penghujan debit air bisa mencapai 578 m^3/s, pH air memang bisa meningkat hingga mencapai 7 di mana merupakan pH optimal. Namun jika kita melihat parameter lain yaitu TSS *(Total Suspended Solid)*, ketika banjir nilai TSS sangat tinggi maka air menjadi sangat keruh sehingga membuat biota air kesulitan mendapatkan oksigen.

Gambar 35. Kondisi Sungai Citarum Hulu

Sehingga yang dibutuhkan untuk memperbaiki kualitas air di Citarum Hulu ini adalah pengendapan yang membutuhkan waduk. Meski saat ini sudah ada upaya yaitu Citarum Harum dengan target *drinkable* pada 2024, program ini bisa menjadi semangat dan kesadaran baru akan pentingnya kualitas air di Sungai Citarum yang bermanfaat bagi seluruh makhluk hidup terutama biota air yang mendukung perikanan darat di Jawa Barat.

VI. PENUTUP

Bahwa air merupakan kebutuhan dasar manusia, hewan, serta tumbuhan lainnya di bumi merupakan keniscayaan, oleh karena itu wajib dipelihara, diawetkan, dan dikonservasi agar hidup (*be*/jadi) dan penghidupan (*become*/menjadi) berlangsung berkelanjutan sepanjang waktu *(sustainable be live forever)*.

Perubahan cuaca, waktu, hujan dan iklim adalah kehendak Allah yang apa pun wujudnya harus kita syukuri sebagai berkah *rahmatan lil 'alamiin* dari-Nya, di balik itu semua ada hikmah dan hidayah bahwa karena karuniaNya, manusia disadarkan bahwa segala apa pun yang dicurahkan dari langit di permukaan bumi khususnya hujan merupakan berkah yang harus dikelola demi kemaslahatan bagi semua kehidupan di bumi, di mana manusia sebagai hamba Allah sekaligus khalifah mempunyai kewenangan dan tanggung jawab pengelolaan air sebagai sumber daya untuk segala kebutuhan kehidupan di bumi.

Pengelolaan sumber daya air adalah upaya yang terus-menerus, merupakan siklus kegiatan merencanakan, melaksanakan, memantau, dan mengevaluasi penyelenggaraan KONSERVASI dan pengendalian daya rusak/kerusakan air. Sumber daya air bersumber dari hujan yang bersiklus terjadi berulang yang ditunjang keberuntungan letak geografis nusantara di garis khatulistiwa diapit dua samudera yaitu Pasifik dan Hindia dan dua benua yaitu Asia dan Australia yang berdampak terjadi dua musim di bumi Indonesia, banyak musim penghujanan kurang air

dari musim kemarau. Adanya kejadian dua musim ini justru memberikan kondisi segala aktivitas manusia, budidaya pertanian secara umum, menghasilkan produk secara optimal. Contoh semua produk pertanian secara normal di musim kemarau (Mei-Agustus) sedangkan musim penghujan, transportasi sungai, dan saluran/kanal cukup air dan mempunyai daya membersihkan kotoran/sampah.

Kejadian banjir kekeringan bahkan kelangkaan air dan pencemaran limbah industri dan sampah domestik, semata-mata belum berhasilnya pengelolaan SDA di samping kita terkendala teknis infrastruktur SDA yang minimal, finansial, dan sosial ekonomi, kewenangan dan kebijakan instansi yang belum terkoordinasi dengan baik serta kurangnya partisipatif masyarakat dan *stakeholder* lain pengguna air serta kepedulian masih jauh kadang-kadang justru kontra produktif, banyak pelanggaran sekalipun mereka tahu ada undang-undang dan peraturan (PP, Permen, Perda) tentang SDA.

Upaya sosialisasi dan edukasi masyarakat lewat kegiatan di sekolah-sekolah, kampus, instansi, mengenai konservasi air perlu digalakan lagi. Pendayagunaan dan kerusakan air (pencemaran yang bersifat destruktif) perlu digiatkan secara terus-menerus dari generasi ke generasi secara lebih dini, dengan metode pelatihan praktek yang membumi di lapangan, dengan motto lebih baik mencegah dengan menyelamatkan SDA (preventif) daripada merestorasi kerusakan SDA (kuratif) yang pasti memerlukan biaya besar *(costly)* dan jangan sampai terlambat, sehingga

sudah terlalu berat kerusakan SDA. Namun sekecil apapun upaya berbagai pihak, partisipatif dalam pengelolaan SDA yang berlangsung terus-menerus secara kumulatif pasti menuju keberhasilan, yaitu "SDA berkelanjutan untuk hidup dan penghidupan bagi kesejahteraan dan kemakmuran umat/rakyat." *Insya Allah … Aamiin*.

Bandung, 18 Juni 2022

Prof. Dr Ir. Sri Legowo Wignyo Darsono

FTSL - ITB

VII. UCAPAN TERIMA KASIH

PPertama-tama saya memanjatkan puji dan syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat-Nya yang sudah dilimpahkan hingga saat ini. Pada hari barakah ini izinkan saya menyampaikan kepada yang terhormat Ibu Rektor Prof. Reini Wirahadikusumah dan pimpinan ITB, pimpinan dan seluruh anggota Forum Guru Besar ITB, atas kesempatan yang diberikan kepada saya untuk menyampaikan orasi ilmiah di hadapan para hadirin sekalian pada forum yang terhormat.

Teriring ucapan terima kasih sebesar-besarnya kepada kedua orang tua saya Almh. Ibu Wiji dan Alm. Bapak Sukimin Wignyodarsono yang telah berpulang sejak saya masih awal kuliah di ITB yang telah mendorong kuat untuk sekolah dan kuliah lebih lanjut. Demikian juga ucapan terima kasih kepada Bapak/Ibu mertua Almh. Ibu Ginem dan Alm. Bapak

Supardi, BA. Terima kasih setinggi-tingginya kepada istri tercinta, Dra. Sri Lestari, M.Si, yang selalu bersabar mengasuh dan mendampingi. Anak-anak dan menantu Dr. Arianta/Tita., SE., Indri W., Apt/Bagus W., M.T, dr. Finantria/Dr. Aulia dan cucu-cucu Rayyanka, Raffasya, dan Jasmine yang selalu menghibur sehari-hari sebagai Eyang kakung/putri.

Terima kasih saya ucapkan sebesar-besarnya kepada guru-guru saya Alm. Prof. Martono M, Alm. Ir. R. Soeweko W, Alm. Prof. Sugandar S, Alm. Prof. Sosro Winarso, Dr. Soebagiyo, Prof. M Sahari B. Juga terima kasih atas dukungan ke saya dari teman/kolega di FTSL: Prof. Putri Farida, Prof. Rizal Z Tamim, Prof. Indrajati, Prof. Bambang Sugeng, Prof. Henri Damanhuri, Prof. Safrudin, dan Alm. Prof. Hang Tuah serta khususnya Prof. Alm. Bambang Budiono yang mengingatkan untuk mengajukan GB lagi setelah 12 tahun terhenti, semoga beliau Husnul Khotimah, diterima di sisi terbaik oleh Allah SWT.

Saya beserta istri mengucapkan banyak terima kasih kepada saudara sekandung kakak/adik Almh. Hj. Sri Rahayu, Alm. Prof. Sutopo GN, Drs. Djoko Santoso, Joko Marsudi S.P, Tinuk Sri Subekti, dan Kakak/Adik ipar Pakde Ir. Purwanto, Bude Dwi S, Bude Almh. Titin Supartini, Om Ir. Sartono, Om Agus Sutanto, Om Bambang M.,M.Sc, Tante drg. Nuning Setiawati dan juga teman berjuang di ITB yaitu Ir. Slamet Subagyo, Dr. Bambang Sunarwan.

Merci Beaucoup camarade seperjuangan kuliah di Perancis: Prof. Budisusilo (UI), Prof. Harry Soedibjo (UI), Prof. Martani Husain (UI), serta

tidak ketinggalan teman seangkatan Teknik Sipil 8174, yang diketuai pimpinan kami Ir. Iwan Darmawan dan terima kasih seluruh anggota angkatan sipil 74 (Siketupat).

Saya ucapkan terima kasih kepada kolega Kelompok Keahlian Teknik Sumber Daya Air (KKTSA) yaitu Dr. Cahyono (KaKK), Prof. Indratmo, Prof. Syahril Badri Kusuma, Dr. Agung, Dr. Edy Anto, Dr. Dance Kardhana, Hermawan M. MT, Dr. Joko N, Dr. Yadi, Dr. Arno K, Dr. M Farid, Dr. Bagus, Dr. M Bagus, Dr. Ana Nurganah, Dr. Eka Oktariyanto N, Dr. Widyaningtyas, Dr. Faizal, WR Asrini M.T, serta staf tendik MPSDA/TPSDA: Titin, Yuli, Faizal, Sumpena, Gama, Uum.

Selanjutnya terima kasih kepada para guru, dosen, dan pembimbing saya, baik dari SD, SMP, SMA, S1, S2, dan S3 atas semua ilmu pengetahuan yang telah diberikan selama proses belajar dan mengajar. Kemudian juga saya sampaikan *"Merci Beaucoup"* kepada Alm. Prof. J. Biarez (Promotor) dan Prof. M. J M. Fleureau (Co-Promotor) yang telah mengajarkan riset berbasis penemuan *(invention)* dan madam Odile yang mengajar berbahasa dan menulis bahasa Perancis, semua itu indah dikenang selamanya.

Akhirnya, sekali lagi, terima kasih tertinggi saya sampaikan kepada istri tercinta Dra. Sri Lestari, M.Si, yang telah menghadiahi atas ridho Allah SWT tiga orang anak dan tiga orang cucu (sementara) dan selalu sabar dan setia mendampingi ke Perancis dengan setia dalam suka maupun duka, mengasuh anak-anak, serta selalu berdoa dengan khusyuk

kehadiratNya agar suaminya diberi kesabaran menunggu penantian yang panjang yaitu selama 12 tahun SK GB-nya. Alhamdulillah, bersyukur 30 Oktober 2019, SK GB turun tepat 7 hari sebelum ulang tahun ke-65 (06 Nopember 1954).

Sekali lagi terima kasih anak-anakku dan cucu-cucuku, kamu adalah Mutiara penghibur kesabaran Ayah/Eyang, anugerah dari Allah SWT. Terima kasih sebesar-besarnya kepada Allah SWT yang telah memberikan berkah dan rahmat kepada kami sekeluarga. Aamiin ya Rabbal'alamiin.

Wassalamu'alaikum Wr Wb

DAFTAR PUSTAKA

Badan Koordinasi Nasional Penanganan Bencana. (2007). *Pengenalan Karakteristik Bencana dan Upaya Mitigasinya di Indonesia*. Jakarta: Direktorat Mitigasi.

Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia. (2017). *Modul Pengelolaan Sumber Daya Air*. Jakarta: Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Delinom, R. M., & Marganingrum, D. (2007). *Sumber Daya Air dan Lingkungan: Potensi, Degradasi, dan Masa Depan*. Jakarta: LIPI Press.

Hadihardaja, I. K., & Wignyodarsono, S. L. (2013). Determination of the Cascade Reservoir Operation for Optimal Firm-Energy Using Genetic Algorithms. *Aceh International Journal of Science and Technology*, 41(2), p 44-50.

Hidayat, D. P., Wignyodarsono, S. L., & Farid, M. (2021). Development model of watershed recharge zone based on Indonesia regulation in Cisadane Watershed-West Java, Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *737* (1).

Hidayat, D. P., Wignyodarsono, S. L., & Farid, M. (2021). Modelling of potential recharge zone using geographical information system based on Indonesia regulation and water balance model. *International Journal of GEOMATE*, 20(79), 147-154.

indonesiabaik. (13 Februari 2018). *Indonesia Kaya POTENSI Kelautan Dan Perikanan*. indonesiabaik. Diakses 217 Mei 2022, dari https://indonesiabaik.id/infografis/infografis-indonesia-kaya-potensi-kelautan-dan-perikanan

Kementerian Kelautan Dan Perikanan. (n.d.). *Kementerian Kelautan Dan Perikanan*. KKP. Diakses 17 Mei 2022, from https://kkp.go.id/djpt/ppsbelawan/page/3965-sejarah

Kementerian Lingkungan Hidup & Kehutanan. (4 Maret 2021). *Deforestasi Indonesia Turun, Terendah Dalam Sejarah*. Deforestasi Indonesia Turun, Terendah Dalam Sejarah - Kementerian LHK. Diakses 17 Mei 2022, dari https://www.menlhk.go.id/site/single_post/3640/deforestasi-indonesia-turun-terendah-dalam-sejarah

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 04/PRT/M/2015 Tahun 2015 tentang Kriteria dan Penetapan Wilayah Sungai*. Jakarta:

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 10/PRT/M/2015 Tentang Rencana dan Rencana Teknis Tata Pengaturan Air dan Tata Pengairan*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.

Kementerian Sekretariat Negara. (2019). *UU No. 17 Tahun 2019 tentang Sumber Daya Air*. Jakarta: Kementerian Sekretariat Negara.

Kuiper, E. (1971). *Water resources project Economics*. London: Butterworth & Co.

Mays, L. W. (1996). *Water Resources Handbook*. New York: McGraw-Hill.

Mediaindonesia. (30 Maret 2021). *Luas Hutan di pulau jawa tinggal 24%*. Media Indonesia. Diakses May 17, 2022, dari https://mediaindonesia.com/humaniora/394172/luas-hutan-di-pulau-jawa-tinggal-24

Munajat, C. M., Wignyodarsono, S. L., & Harlan, D. (2020). Efektivitas infrastruktur pengendalian banjir Sungai Citarum di Dayeuhkolot. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan HATHI ke -37*.

Natasaputra, S., Hang Tuah, Wignyodarsono, S. L., Soekarno, I. (2006). Model Hak Guna Air dan Insentif/Disinsentif Bagi Pemerintah Otonomi Kabupaten/Kota di Jawa Barat (Studi Kasus DAS Cimanuk–Jawa Barat. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 13(2).

Prawirakusuma, A., Wignyodarsono, S. L., & Kuntoro, A. A. (2022). Modeling of Flood Propagation in the Lower Citarum River Using a Coupled 1D-2D HEC-RAS Model. *Proceedings of the Second International Conference of Construction, Infrastructure, and Materials.*

Schwab, G. O., Fangmeier, D. D., Elliot, W. J., & Frevert, R. K. (1993). *Soil And Water Conservation Engineering*. New York: John Wiley & Sons, Inc.

Stephenson, D. (2003). *Water Resources Management.* Tokyo: A.A. Balkema Publisher.

Sunaryo, T. M., Waluyo, S. T., & Harnanto, A. (2005). *Pengelolaan Sumber Daya Air*. Malang: Bayumedia Publishing.

Suyanto, A., Sunaryo, T. M., & Syarief, R. (2003). *Ekonomi Teknik Proyek Sumberdaya Air*. Jakarta: Mediatama Saptakarya.

Trikomara, R. I., Fauzi, M., & Melati, R. (2013). *Analisis Kelayakan Ekonomi Pembangunan Waduk Keureuto di Kabupaten Aceh Utara Provinsi Nangroe Aceh Darusalam*. Pekanbaru: Universitas Riau.

Wignyodarsono, S. L. (2007). A mathematical model on water resources management based on regional planning and autonomous region (case study on Cimanuk River Basin-West Java). *Civil Engineering Dimension*, 9(2), 90-98.

Wignyodarsono, S. L., Hadihardaja, I. K., & Azmeri. (2009). Estimation of Bank Erosion Due to Reservoir Operation in Cascade (Case Study:

Citarum Cascade Reservoir). *Journal of Engineering and Technological Sciences*, 41(2), 142-160.

Wignyodarsono, S. L., Hadihardaja, I. K., Haji, T. S., & Enung. (2019). Application of Digital Elevation Method (DEM) for Flood Estimation on Upstream Ciliwung River, West Java, Indonesia. *International Journal of GEOMATE*, 17(59), 154-164.

Wignyodarsono, S. L., Hidayat, D. P., & Farid, M. (2020). Implementasi Permen PUPR No 10/2015 tentang penetapan Kawasan Resapan pada Daerah Aliran Sungai (KARDAS) studi kasus DAS Cisadane. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan HATHI ke -37.*

Wignyodarsono, S. L., Suhardi, I., & Sudinda, T. (2004). Waduk Resapan. *Seminar Nasional "Sistem Manajemen Air untuk Menata Kehidupan"*. Jakarta.

CURRICULUM VITAE

Nama : **SRI LEGOWO WIGNYODARSONO**
Tmpt./tgl lahir : Sukoharjo, 06 Nopember 1954
Kel. Keahlian : Teknik Sumber Daya Air
Alamat Kantor : Jalan Ganesha 10 Bandung

Hobi : Lari/jalan pagi setiap hari *(Sport medical)* sejak 1994-sekarang
Nama istri : Dra. Sri Lestari, M.Si
Nama Anak : 1. Arianta Legowo
2. Indri Widyastuti Legowo
3. Finantria Legowo

I. RIWAYAT PENDIDIKAN FORMAL

- Docteur d'Engineur, Ecole Centrale de Paris, France, 1985
- Deplom d'Etude Approfondie (DEA) Ecole Centrale de Paris, France, 1983
- Certificate d'Etude Superiore (CES), ENTPE, de Paris, France, 1982
- Sarjana Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung, 1979
- Insinyur Profesi (Ir) ITB, 2020

II. TANDA JASA

- 10 = Satya Lencana Karya Satya 10 Tahun
- 20 = Satya Lencana Karya Satya 20 Tahun
- 30 = Satya Lencana Karya Satya 30 Tahun
- 40 = Satya Lencana Karya Satya 40 Tahun.

III. PENGHARGAAN

- Riset Unggulan Terpadu (RUT) Terbaik Nasional, Penghargaan Presiden Megawati, 2005

IV.A PUBLICATIONS IN INTERNATIONAL JOURNAL

- Dina P A Hidayat, **Sri Legowo**, Mohammad Farid (2021), "Modelling of potential recharge zone using geographical information system based on Indonesia regulation and water balance model", International Journal of GEOMATE, Vol 20, Issue 79
- **Sri Legowo,** Iwan K. Hadihardaja, Tunggul Sutan Haji, Enung (2019)" Application of Digital Elevation Method (DEM) for Flood Estimation on Upstream Ciliwung River, West Java, Indonesia", International Journal of GEOMATE, Vol 17, Issue 59, pp. 154-164.
- Iwan K. Hadihardaja, **Sri Legowo** (2013), "Determination of the Cascade Reservoir Operation for Optimal Firm-Energy Using Genetic Algorithms", Aceh International Journal of Science and

Technology, Vol 2 No 2, pp 44-50.

- **Sri Legowo,** Iwan K. Hadihardaja, Azmeri (2009), "Estimation of Bank Erosion Due to Reservoir Operation in Cascade (Case Study: Citarum Cascade Reservoir)", Journal of Engineering and Technological Sciences Vol. 41 No. 2, pp. 142-160.
- **Sri Legowo**, Suardi Natasaputra, Indratmo Soekarno (2007), "A mathematical model on water resources management based on regional planning and autonomous region (case study on Cimanuk River Basin-West Java), Civil Engineering Dimension Vol 9 No.2, pp.90-98.

IV.B PUBLICATIONS IN NATIONAL JOURNAL

- Welstien Herma Tatipata, Indratmo Soekarno, Arwin Sabar, **Sri Legowo** (2015), "Analisis Volume Sedimen yang Mengendap Setelah Tahun Waduk Beroperasi (Studi Kasus: Waduk Cirata)", Jurnal Teknik Sipil ITB, Vol 22 No 3
- Yanti Kurniadiningsih, **Sri Legowo** (2012), "Evaluasi untung rugi penerapan metode SRI (system of rice intensification) di DI Cihea Kabupaten Cianjur Jawa Barat", Wartazoa Vol 18. No. 7 pp.97
- Agung Wiyono, **Sri Legowo**, Joko Nugroho, Christian Adi Nugroho (2012), "Kajian Peran Serta Petani Terhadap Penyesuaian Manajemen Irigasi untuk Usaha Tani Padi Metode SRI (System of Rice Intensification) di Petak Tersier Daerah Irigasi Cirasea, Kabupaten Bandung, Jawa Barat", Jurnal Teknik Sipil Vol

19 No.1

- **Sri Legowo**, Iwan Kridasantausa Hadihardaja, Susi Rabuanawati (2006), Pengoperasian dan Umur Guna Waduk (Studi Kasus: Waduk Cimeta Padalarang), Jurnal Teknik Sipil ITB Vol 13 No. 4
- Suardi Natasaputra, Hang Tuah, **Sri Legowo**, Indratmo Soekarno (2006), "Model Hak Guna Air dan Insentif/Disinsentif Bagi Pemerintah Otonomi Kabupaten/Kota di Jawa Barat (Studi Kasus DAS Cimanuk–Jawa Barat)", Jurnal Teknik Sipil ITB Vol 13 No.2
- Wanny K Adidarma, Iwan Kridasantausa Hadihardaja, **Sri Legowo** (2004), "Perbandingan Pemodelan Hujan-Limpasan Antara Artificial Neural Network (ANN) dan NRECA", Jurnal Teknik Sipil ITB Vol 11 No. 3
- **Sri Legowo** (2004), "Pendugaan erosi dan sedimentasi dengan menggunakan model GEOWEPP (Studi kasus DAS Limboto Provinsi Gorontalo)", Media Komunikasi Teknik Sipil Universitas Diponegoro
- Azmeri Azmeri, **Sri Legowo**, Iwan Kridasantausa (2004), "Analisis Ketersediaan Air dan Sistem Operasi dengan Metode Dinamik Deterministik (Studi Kasus Waduk Sukawana–Sungai Cimahi)", Jurnal Teknik Sipil ITB Vol 11 No. 3 pp.135-148
- Hobby Parhusip, **Sri Legowo**, Lambok M. Hutasoit (2001), "Ketersediaan air tanah untuk pengembangan irigasi di Nainggolan Pulau Samosir", Buletin Geologi Vol 33 No 3.

IV.C PUBLICATIONS IN INTERNATIONAL CONFERENCES

- Angga Prawirakusuma, **Sri Legowo** , Arno Adi Kuntoro (2022), "Modeling of Flood Propagation in the Lower Citarum River Using a Coupled 1D-2D HEC-RAS Model", Proceedings of the Second International Conference of Construction, Infrastructure, and Materials.
- Dina P A Hidayat, **Sri Legowo**, Mohammad Farid (2021), "Development model of watershed recharge zone based on Indonesia regulation in Cisadane Watershed-West Java, Indonesia", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Vol 737 No.1
- Fadel Khalifah Ibrahim, Yadi Suryadi, Indratmo Soekarno, **Sri Legowo**, Mohammad Bagus Adityawan (2019), "Water management system of peatlands for palawija plants on KHG Pulang Pisau, Central of Kalimantan", MATEC Web of Conferences Vol 270 No 04006
- **Sri Legowo**, Cahyo Handono, Iwan Kridasantausa Hadihardaja (2009), "Optimization of cultivating pattern to improving the benefit of irrigation water utilization in candilimo irrigation area, Mojokerto Regency East Java Province", The 1st International Conference on Sustainable Infrastructure & Built Environment in Developing Countries, Bandung-Indonesia.
- Azmeri, Iwan Kridasantausa Hadihardaja, Hang Tuah, **Sri**

Legowo (2007), "Cascade reservoir operation modelling using genetic algorithems (Case study: Saguling, Cirata, and Djuanda Reservoir in West Java Indonesia)", Proceeding International Conference on Soft Computing Inteligent System and Information Technology, ICSIIT

- Muhammad Syahril Badri Kusuma, M Martono, Hang Tuah, **Sri Legowo** (1995), "Experimental study of spectral behaviour on backward facing step flows- Rough wall boundary layer cases", Asian Congress of Fluid Mechanics, 6 th, Singapore, pp 1376-1379

IV.D PUBLICATIONS IN NATIONAL CONFERENCES

- **Sri Legowo**, Dina P.A Hidayat, Mohammad Farid (2020), "Implementasi Permen PUPR No 10/2015 tentang penetapan Kawasan Resapan pada Daerah Aliran Sungai (KARDAS) studi kasus DAS Cisadane", Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan HATHI ke -37.
- Cecep M. Munajat, **Sri Legowo**, Dhemi Harlan (2020), "Efektivitas infrastruktur pengendalian banjir Sungai Citarum di Dayeuhkolot", Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan HATHI ke - 37.
- Runi Asmaranto, Ria Asih Aryani Soemitro, **Sri Legowo**, Nadjadji Anwar (2012), "Studi eksperimental tentang erodibilitas tanah dan hubungannya terhadap erosi di Sub DAS Manting Mojokerto, Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan HATHI ke- 29.

- Ade Suprizal, **Sri Legowo** (2008), "Studi peran serta masyarakat pemanfaat pantai dalam pengelolaan wilayah Pantai Anyer-Ciwadan (Provinsi Banten)" 100 Tahun Kebangkitan Nasional dalam berbagai Perspektif, Proceding Simposium Nasional Mahasiswa Pascasarjana
- **Sri Legowo**, Noor Yosepth, Djudi, Imas Komariah, Mohammad Firman, Hendro Widodo (2005), "Efektivitas bangunan Sabo dalam rangka pengendilan sedimen di alur sungai", Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan HATHI XXII.

Forum Guru Besar
Institut Teknologi Bandung