

Kebutuhan Infrastruktur Air Minum, Drainase, dan Air Limbah sebagai Instrumen Perencanaan Pembangunan Wilayah (Studi Kasus: Kabupaten/Kota di Indonesia)

Needs for Drinking Water, Drainage, and Wastewater Infrastructure as an Instrument for Regional Development Planning (Case Study: Regencies/Cities in Indonesia)

Fahril Fanani^{1*}, Ayu Candra Kurniati¹, Andrea Sumarah Asih²

^{1*} Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

² Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Yogyakarta

*Email Korespondensi : fahril.fanani@itny.ac.id

Email : ayu.candra@itny.ac.id

Email : andrea.sa@itny.ac.id

ABSTRAK

Urbanisasi yang pesat di Indonesia menuntut penyediaan infrastruktur air (air minum, drainase, dan air limbah) yang memadai, namun perencanaan infrastruktur seringkali bersifat reaktif terhadap pertumbuhan. Penelitian ini bertujuan untuk memproyeksikan kebutuhan infrastruktur air minum, drainase, dan air limbah sebagai instrumen strategis untuk perencanaan pembangunan wilayah. Pendekatan kuantitatif deskriptif digunakan pada 10 sampel kabupaten/kota di Indonesia (termasuk DKI Jakarta, Surabaya, Balikpapan, dan Batam). Proyeksi kebutuhan dihitung untuk horizon waktu 5, 10, dan 20 tahun (2030, 2035, 2045) menggunakan metode proyeksi penduduk (geometrik) dan standar teknis (SNI, Metode Rasional). Hasil penelitian menunjukkan peningkatan kebutuhan infrastruktur yang substansial di semua lokasi studi. Laju pertumbuhan persentase tertinggi diproyeksikan terjadi di Batam dan Balikpapan, sementara volume kebutuhan absolut terbesar tetap berada di DKI Jakarta. Analisis mengidentifikasi tiga tantangan utama: (1) skala investasi finansial yang masif; (2) keterbatasan ketersediaan sumber daya (air baku dan lahan); dan (3) tekanan ganda dari alih fungsi lahan dan dampak perubahan iklim. Studi ini menyimpulkan bahwa proyeksi kebutuhan infrastruktur tidak boleh hanya menjadi output teknis. Proyeksi ini harus berfungsi sebagai instrumen input strategis dan pengendali dalam perencanaan tata ruang (RTRW), mendorong pergeseran paradigma dari reaktif menjadi proaktif (perencanaan berbasis kapasitas).

Kata kunci: Infrastruktur, Perencanaan Wilayah, Proyeksi Kebutuhan, Air Minum, Drainase, Air Limbah

ABSTRACT

Rapid urbanization in Indonesia demands adequate water infrastructure (drinking water, drainage, and wastewater), yet infrastructure planning is often reactive to growth. This study aims to project the needs for drinking water, drainage, and wastewater infrastructure as a strategic instrument for regional development planning. A descriptive quantitative approach was used in 10 sample regencies/cities in Indonesia (including DKI Jakarta, Surabaya, Balikpapan, and Batam). Demand projections were calculated for 5, 10, and 20-year horizons (2030, 2035, 2045) using population projection (geometric method) and technical standards (SNI, Rational Method). The results show a substantial increase in infrastructure demand across all study locations. The highest percentage growth rate is projected for Batam and Balikpapan, while the largest absolute volume of demand remains in DKI Jakarta. The analysis identifies three key challenges: (1) the massive scale of financial investment required; (2) limitations in resource availability (raw water and land); and (3) dual pressures from land-use change and climate change impacts. This study concludes that infrastructure demand projections should not be mere technical outputs. These projections must function as strategic input and control instruments in spatial planning (RTRW), fostering a paradigm shift from reactive to proactive (capacity-based planning).

Keyword : Infrastructure, Regional Planning, Demand Projection, Drinking Water, Drainage, Wastewater

PENDAHULUAN

Urbanisasi telah menjadi fenomena global yang mendefinisikan ulang lanskap planet [1]. Pertumbuhan populasi perkotaan yang pesat, khususnya di negara-negara berkembang, menciptakan tekanan signifikan

terhadap kapasitas infrastruktur dasar [2], [3]. Secara global, tantangan untuk menyediakan infrastruktur air minum dan air limbah yang memadai di wilayah urban merupakan isu krusial [4], [5]. Kegagalan dalam menyediakan layanan ini tidak hanya menghambat pertumbuhan ekonomi tetapi juga memperburuk masalah kesehatan masyarakat dan degradasi lingkungan [6]. Konsekuensinya, perencanaan infrastruktur yang efektif tidak lagi dipandang sebagai fungsi teknis semata, melainkan telah menjadi imperatif strategis dalam pembangunan wilayah [7], [8].

Di Indonesia, konstelasi permasalahan ini menjadi semakin relevan. Laju urbanisasi yang tinggi, sebagaimana tercatat oleh Badan Pusat Statistik (BPS), menunjukkan bahwa mayoritas penduduk Indonesia akan tinggal di perkotaan dalam dekade mendatang [9]. Tren ini diperparah oleh dampak perubahan iklim yang meningkatkan frekuensi dan intensitas kejadian hujan ekstrem [10], [11]. Kombinasi antara pertumbuhan penduduk [12] dan variabilitas iklim menempatkan infrastruktur pada tiga sektor kritis (air minum, drainase, dan air limbah) dalam kondisi rentan. Pemerintah Indonesia, melalui Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN), telah menetapkan target ambisius untuk mencapai 100% akses air minum aman dan 90% akses sanitasi layak pada tahun 2024 [13], namun pencapaian target ini menghadapi tantangan besar di tingkat kabupaten/kota.

Studi kasus di berbagai wilayah di Indonesia mengkonfirmasi adanya kesenjangan (*gap*) pelayanan yang signifikan. Di sektor air minum, banyak daerah masih berjuang dengan keterbatasan akses [14], [15], masalah kualitas air [16], dan keberlanjutan sistem penyediaan [17], [18], sehingga memaksa pengembangan solusi alternatif seperti pemanenan air hujan (PAH) [19], [20]. Pada sektor drainase, ketidaksiapan infrastruktur dalam mengelola limpasan air hujan berkontribusi langsung terhadap peningkatan risiko dan frekuensi banjir perkotaan [21], [22], [23]. Sementara itu, sektor air limbah domestik seringkali menjadi yang paling terabaikan. Data menunjukkan bahwa sebagian besar air limbah domestik di Indonesia dibuang langsung ke badan air tanpa pengolahan yang memadai [24], [25], [26], [27], meskipun berbagai program sanitasi berbasis masyarakat (Sanimas) telah diimplementasikan [28].

Kajian literatur *state of the art* menunjukkan bahwa penelitian infrastruktur di Indonesia cenderung bersifat parsial dan fokus pada satu sektor spesifik. Banyak studi berfokus pada evaluasi kinerja pelayanan [10], [29], analisis teknis sistem perpipaan [30], strategi penanganan banjir [23], kajian sistem pengolahan air limbah [14], [25], atau keterkaitan infrastruktur dengan pertumbuhan ekonomi [31]. Di tingkat internasional, meskipun penelitian telah mengarah pada optimalisasi biaya [32], resiliensi infrastruktur [33], dan dampak perubahan iklim pada desain drainase [11], [34], [35], analisis yang mengintegrasikan ketiga sektor vital ini secara simultan masih terbatas.

Kesenjangan riset (*research gap*) utama terletak pada kurangnya studi yang memposisikan kebutuhan infrastruktur air minum, drainase, dan air limbah secara holistik dan terpadu sebagai instrumen input strategis untuk perencanaan pembangunan wilayah. Penelitian sebelumnya cenderung memperlakukan infrastruktur sebagai komponen teknis yang reaktif terhadap pertumbuhan, bukan sebagai elemen proaktif yang membentuk arah pembangunan [3], [10].

Penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut. Kebaruan (*novelty*) yang ditawarkan adalah analisis integratif terhadap kebutuhan (*demand/need*) ketiga infrastruktur tersebut, yang dikaji sebagai satu kesatuan instrumen perencanaan. Kontribusi penelitian ini adalah menyediakan kerangka kerja bagi perencana dan pengambil kebijakan di tingkat kabupaten/kota untuk mengkalibrasi arah pembangunan wilayah berdasarkan kapasitas dan kebutuhan infrastruktur air yang saling terkait. Manfaat praktisnya adalah terciptanya pembangunan wilayah yang lebih sinkron, efisien dalam alokasi sumber daya, dan resilien terhadap guncangan hidrologis. Berdasarkan urgensi dan kesenjangan tersebut, maka dirumuskan pertanyaan penelitian: Bagaimana kebutuhan infrastruktur air minum, drainase, dan air limbah dapat diformulasikan sebagai instrumen terpadu dalam perencanaan pembangunan wilayah di kabupaten/kota Indonesia?

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif. Fokus penelitian adalah melakukan perhitungan (kuantifikasi) dan proyeksi kebutuhan (*demand*) infrastruktur air minum, drainase, dan air limbah di wilayah studi terpilih. Penelitian ini tidak melakukan analisis kesenjangan (*gap analysis*) antara kebutuhan (*demand*) dan ketersediaan (*supply*) eksisting, melainkan berfokus pada penetapan besaran kebutuhan sebagai input fundamental untuk perencanaan pembangunan wilayah di masa depan.

Lokasi studi dipilih menggunakan teknik purposive sampling [46], dengan kriteria yang dirancang untuk merepresentasikan keragaman tantangan infrastruktur perkotaan di Indonesia. Kriteria tersebut meliputi: (1) Kawasan Metropolitan Padat Penduduk (tingkat urbanisasi tinggi); (2) Kota Besar di luar Jawa; (3) Kota Sedang dengan Pertumbuhan Ekonomi Cepat (termasuk dampak IKN); (4) Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) atau Pariwisata; dan (5) Kawasan Peri-urban dengan alih fungsi lahan masif. Berdasarkan kriteria tersebut, terpilih 10 sampel kabupaten/kota berikut:

Tabel 1. Kota/Kabupaten Sampel Penelitian

No.	Kota/Kabupaten	Kriteria
1	DKI Jakarta	Metropolitan, Subsiden, Kepadatan Ekstrem
2	Kota Surabaya	Metropolitan, Pesisir, Banjir Rob
3	Kota Medan	Metropolitan, Tantangan Drainase Kronis
4	Kota Semarang	Kota Besar, Pesisir, Subsiden, Krisis Air Baku
5	Kota Makassar	Kota Besar, Pertumbuhan Cepat, Pesisir
6	Kota Balikpapan	Kota Sedang, Penyangga IKN, Topografi Curam
7	Kota Batam	KEK, Pertumbuhan Migrasi Tinggi, Keterbatasan Lahan
8	Kabupaten Bandung	Peri-urban, Alih Fungsi Lahan, Banjir Cekungan
9	Kabupaten Badung	Pariwisata Internasional, Tekanan Air Baku
10	Kabupaten Jayapura	Pusat Pertumbuhan Baru, Topografi

Sumber: Olah Data Peneliti, 2025



Gambar 1. Sebaran Titik Kota/Kabupaten Sampel Penelitian

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang dikumpulkan dari berbagai sumber institusional resmi. Jenis data yang digunakan mencakup:

- Data Kependudukan: Jumlah penduduk historis (2015-2024) dan proyeksi penduduk per kabupaten/kota (Sumber: Badan Pusat Statistik [BPS] [9], [48]).
- Data Fisik Wilayah: Peta Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) kabupaten/kota (untuk koefisien limpasan), data curah hujan historis (Sumber: BMKG [36]), dan data topografi.
- Standar Teknis: Standar kebutuhan air bersih per kapita, standar timbulan air limbah, dan kriteria desain drainase (Sumber: SNI [38], Literatur Teknis [30], [23]).
- Data Pendukung: Dokumen RPJMN [13], data capaian akses air dan sanitasi (WHO/UNICEF JMP [34], BPS [38], Bappenas [52]), dan data pendukung kebijakan (USAID [40], Ditjen Cipta Karya [49]).

Analisis data dilakukan secara kuantitatif untuk memproyeksikan kebutuhan pada rentang waktu 5 tahun (2030), 10 tahun (2035), dan 20 tahun (2045). Berikut ini adalah persamaan untuk menghitung kebutuhan:

- **Proyeksi Penduduk (1)**
 Proyeksi penduduk P_n menggunakan Metode Geometrik karena sampel merupakan wilayah dengan pertumbuhan cepat [46]:

$$P_n = P_o (1 + r)^n \tag{1}$$

Dimana:

P_o : Jumlah penduduk tahun awal (basis 2024)

r : Laju pertumbuhan penduduk geometrik (dihitung dari data BPS 2015-2024)

n : Rentang tahun proyeksi

- **Proyeksi Kebutuhan Air Minum (2)**

$$Q_{air} = P_n \times q \tag{2}$$

Dimana:

Q_{air} : Kebutuhan air minum (liter/hari)

P_n : Proyeksi jumlah penduduk pada tahun-n

q : Standar kebutuhan air bersih per kapita (liter/orang/hari), disesuaikan dengan kategori kota (100-150 L/o/h) [38]

- Proyeksi Kebutuhan Drainase (3)
Dihitung sebagai debit puncak limpasan (Q_p) menggunakan Metode Rasional [23]:

$$Q_p = 0,2778 \times C \times I \times A \quad (3)$$

Dimana:

Q_p : Debit puncak ($m^3/detik$)

C : Koefisien limpasan (ditetapkan berdasarkan rencana tata guna lahan dalam RTRW pada tahun proyeksi)

I : Intensitas curah hujan (mm/jam) untuk kala ulang tertentu (diasumsikan meningkat berdasarkan tren data BMKG [36])

A : Luas daerah tangkapan air (km^2)

- Proyeksi Kebutuhan Air Limbah

Dihitung sebagai persentase dari total konsumsi air bersih [38]:

$$Q_{limbah} = 80\% \times Q_{air} \quad (3)$$

Dimana:

Q_{limbah} : Volume timbulan air limbah domestik ($liter/hari$)

Q_{air} : Proyeksi kebutuhan air minum dari perhitungan (2)

Hasil dari keempat perhitungan kuantitatif ini kemudian dianalisis secara deskriptif untuk mengidentifikasi tantangan dan implikasinya terhadap perencanaan pembangunan wilayah.

HASIL DAN ANALISIS

Bagian ini menyajikan hasil proyeksi kuantitatif kebutuhan infrastruktur air minum, drainase, dan air limbah untuk 10 kabupaten/kota sampel di Indonesia. Proyeksi ini dirancang untuk horizon waktu 5, 10, dan 20 tahun mendatang (2030, 2035, 2045), yang berfungsi sebagai landasan strategis untuk perencanaan infrastruktur berkelanjutan. Analisis tidak hanya berfokus pada besaran kebutuhan, tetapi juga pada interpretasi implikasinya terhadap perencanaan pembangunan dan identifikasi tantangan krusial dalam pemenuhannya.

1. Hasil Proyeksi Kebutuhan Infrastruktur

Proyeksi kebutuhan ketiga sektor infrastruktur ini menunjukkan tren peningkatan yang signifikan, mengindikasikan tekanan yang semakin besar terhadap sumber daya dan kapasitas layanan di masa depan.

a. Proyeksi Kebutuhan Air Minum Domestik

Kebutuhan air minum domestik diproyeksikan berdasarkan pertumbuhan populasi yang dihitung menggunakan metode geometrik [48], dikombinasikan dengan standar kebutuhan air bersih per kapita yang bervariasi antara 100-150 liter/orang/hari sesuai kategori kota [13], [38]. Hasil proyeksi memperlihatkan peningkatan kebutuhan yang substansial di seluruh lokasi studi.

Tabel 2. Proyeksi Kebutuhan Air Minum Domestik 10 Lokasi Studi (Juta Liter/Hari)

Lokasi	Kategori	Kebutuhan		Proyeksi	
		2025	2030	2035	2045
DKI Jakarta	Metropolitan	1.605	1.678	1.755	1.921
Kota Surabaya	Metropolitan	443	466	490	540
Kota Medan	Metropolitan	382	408	435	495
Kota Semarang	Kota Besar	224	238	253	285
Kota Makassar	Kota Besar	201	215	231	265
Kota Balikpapan	Kota Sedang	87	101	117	155
Kota Batam	KEK	159	185	215	290
Kab. Bandung	Peri-Urban	412	445	480	555
Kab. Badung	Pariwisata	68	77	87	110
Kab. Jayapura	Pertumbuhan	31	34	38	47

Sumber: Hasil Analisis Data Sekunder, 2025 (diolah dari BPS [48] dan SNI [38])

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 2, terdapat beberapa temuan utama yang menunjukkan beberapa poin krusial:

- **Konsentrasi Kebutuhan di Metropolitan:** Secara absolut, kebutuhan terbesar hingga dua dekade mendatang terkonsentrasi di kawasan metropolitan padat seperti DKI Jakarta, Surabaya, dan Medan. DKI Jakarta diproyeksikan akan membutuhkan lebih dari 1,9 miliar liter air bersih per hari pada tahun 2045. Angka ini mengindikasikan tekanan kolosal terhadap sumber daya air baku dan sistem distribusi yang ada, sejalan dengan penelitian yang menyoroti tantangan megacity dalam pengelolaan sumber daya air [50].

- **Laju Pertumbuhan Tertinggi:** Laju pertumbuhan kebutuhan air minum tertinggi (secara persentase) diprediksi terjadi di Kota Batam, yang didorong oleh faktor migrasi ekonomi sebagai Kawasan Ekonomi Khusus (KEK), serta Kota Balikpapan yang merasakan dampak signifikan sebagai kota penyangga Ibu Kota Negara (IKN) baru. Kabupaten Badung juga menunjukkan pertumbuhan tinggi, didorong oleh sektor pariwisata. Pola ini konsisten dengan literatur yang mengaitkan pertumbuhan ekonomi dan urbanisasi dengan peningkatan permintaan air [15].
- **Ancaman Defisit Air Baku:** Proyeksi ini menegaskan tekanan besar terhadap ketersediaan air baku. Meskipun target Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) untuk akses air minum aman terus ditingkatkan [13], [34], kota-kota seperti Semarang dan Balikpapan telah dilaporkan menghadapi defisit air baku [40]. Situasi ini diperparah dengan degradasi kualitas dan kuantitas sumber daya air akibat pencemaran dan perubahan iklim, yang menuntut strategi pengelolaan sumber daya air terintegrasi [19].

b. Proyeksi Kebutuhan Infrastruktur Drainase

Kebutuhan infrastruktur drainase dihitung sebagai debit puncak (Q) yang harus mampu ditampung oleh sistem saluran untuk menghindari banjir. Perhitungan menggunakan Metode Rasional [23], dengan mempertimbangkan peningkatan koefisien limpasan (C) akibat proyeksi perubahan tata guna lahan (sesuai RTRW) dan intensitas hujan rencana (I) berdasarkan data historis dan proyeksi iklim [36].

Tabel 3. Proyeksi Kebutuhan Kapasitas Drainase (debit puncak, m³/detik) 10 Lokasi Studi

Lokasi	Isu Hidrologis	Debit 2025 (m ³ /detik)	Proyeksi 2035 (+10)	Proyeksi 2045 (+20)
DKI Jakarta	Banjir, Subsiden	1.550	1.720	1.880
Kota Surabaya	Banjir Rob	820	910	995
Kota Medan	Drainase Buruk	900	1.035	1.170
Kota Semarang	Banjir Rob	610	670	730
Kab. Bandung	Banjir Peri-Urban	1.150	1.380	1.610
Kota Makassar	Banjir Pesisir	550	620	700
Kota Balikpapan	Topografi	300	355	420
Kota Batam	Perubahan Lahan	410	490	580
Kab. Badung	Alih Fungsi	380	450	530
Kab. Jayapura	Topografi	190	225	265

Sumber: Hasil Analisis Data Sekunder, 2025 (diolah dari RTRW Kab/Kota, BMKG [36], dan BNPB [44])

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 3, terdapat beberapa temuan dari proyeksi kapasitas drainase menyoroti beberapa tantangan penting:

- **Dampak Tata Ruang dan Iklim:** Peningkatan debit puncak tidak hanya disebabkan oleh faktor perubahan iklim yang meningkatkan intensitas hujan [36], tetapi juga sangat dipengaruhi oleh perencanaan tata ruang dan alih fungsi lahan. Hal ini konsisten dengan penelitian yang menunjukkan bahwa urbanisasi dan peningkatan luasan permukaan kedap air secara drastis meningkatkan limpasan permukaan [21], [44].
- **Kabupaten Bandung sebagai Studi Kasus:** Kabupaten Bandung, sebagai kawasan peri-urban dengan alih fungsi lahan yang cepat, menunjukkan kenaikan koefisien limpasan (C) yang drastis. Ini berimplikasi pada peningkatan debit limpasan yang signifikan, mengindikasikan bahwa kapasitas drainase eksisting akan terlampaui secara substansial dalam 20 tahun mendatang. Penelitian sebelumnya telah mengidentifikasi kawasan peri-urban sebagai titik rawan banjir akibat pembangunan yang tidak terkendali [21].
- **Tantangan Ganda Kota Pesisir:** Kota-kota pesisir seperti DKI Jakarta, Surabaya, dan Semarang menghadapi tantangan ganda: peningkatan debit dari hulu akibat perubahan tata guna lahan dan intensitas hujan, serta berkurangnya kapasitas outfall akibat kenaikan muka air laut dan rob [44]. Proyeksi debit ini menunjukkan kapasitas minimal yang harus disiapkan untuk mencegah kolapsnya sistem drainase, yang sejalan dengan peningkatan kejadian bencana hidrometeorologi secara global [45].

c. Proyeksi Kebutuhan Pengelolaan Air Limbah

Kebutuhan pengelolaan air limbah dihitung sebagai volume timbulan air limbah domestik, dengan asumsi 80% dari total konsumsi air bersih (sesuai Tabel 2) [38].

Tabel 4. Proyeksi Volume Timbulan Air Limbah Domestik (Juta Liter/Hari)

Lokasi	Kebutuhan 2025	Proyeksi 2030 (+5)	Proyeksi 2035 (+10)	Proyeksi 2045 (+20)
DKI Jakarta	1.284	1.342	1.404	1.537
Kota Surabaya	354	373	392	432
Kota Medan	306	326	348	396
Kota Semarang	179	190	202	228
Kota Makassar	161	172	185	212
Kota Balikpapan	70	81	94	124
Kota Batam	127	148	172	232
Kab. Bandung	330	356	384	444
Kab. Badung	54	62	70	88
Kab. Jayapura	25	27	30	38

Sumber: Hasil Analisis Data Sekunder, 2025 (diolah dari Tabel 2)

Hasil proyeksi pada Tabel 3 menunjukkan volume air limbah yang sangat besar, menggarisbawahi urgensi pengelolaan yang lebih baik:

- **Potensi Pencemaran Lingkungan:** Volume air limbah yang diproyeksikan sangat besar, dan seringkali tidak terkelola secara memadai, menjadi sumber pencemaran utama bagi badan air dan lingkungan [24], [26]. DKI Jakarta, dengan proyeksi timbulan air limbah domestik lebih dari 1,5 miliar liter per hari pada 2045, menghadapi risiko pencemaran yang parah jika tidak ada intervensi signifikan.
- **Ancaman terhadap Sumber Air Baku dan Pesisir:** Kota Makassar dan Kabupaten Badung juga menunjukkan angka timbulan air limbah yang signifikan, berpotensi mencemari badan air (pesisir dan sumber air baku) jika tidak dikelola dengan baik. Ini menjadi ironis mengingat kota-kota ini juga menghadapi tantangan ketersediaan air baku dan pariwisata yang sangat bergantung pada kualitas lingkungan [52].
- **Gap Capaian Sanitasi Aman:** Proyeksi ini menggarisbawahi bahwa target sanitasi aman, sebagaimana diamanatkan dalam SDG 6 [37] dan target nasional [34], masih jauh dari capaian. Kurangnya infrastruktur pengelolaan air limbah yang memadai adalah hambatan utama dalam mencapai keberlanjutan lingkungan dan kesehatan masyarakat [52].

2. Analisis Tantangan dan Implikasi Perencanaan

Hasil proyeksi kuantitatif di atas bukanlah sekadar angka statistik, melainkan representasi dari tantangan multidimensional yang harus dihadapi oleh pemerintah kabupaten/kota, pemangku kepentingan, dan masyarakat. Analisis ini menggali lebih dalam tantangan tersebut dan implikasinya terhadap kerangka kerja perencanaan pembangunan wilayah. Analisis terhadap hasil proyeksi mengidentifikasi tiga tantangan utama yang saling terkait:

▪ Tantangan Skala dan Finansial:

Besaran proyeksi kebutuhan, khususnya di kawasan metropolitan seperti DKI Jakarta, Surabaya, dan Medan, mengindikasikan kebutuhan investasi modal (CAPEX) yang masif. Volume air minum yang harus diproduksi, kapasitas drainase yang harus dibangun, dan miliaran liter air limbah yang harus diolah setiap hari memerlukan skema pembiayaan yang melampaui kapasitas Anggaran Pendapatan dan Belanja Daerah (APBD) [41]. Hal ini sejalan dengan penelitian yang menyoroti keterbatasan anggaran daerah dalam pembiayaan infrastruktur skala besar di negara berkembang [42]. Oleh karena itu, diperlukan skema pembiayaan inovatif seperti Kerjasama Pemerintah dan Badan Usaha (KPBU) [42], obligasi daerah, atau mekanisme green bond yang didasarkan pada proyeksi kebutuhan jangka panjang. Selain itu, optimalisasi Dana Alokasi Khusus (DAK) Fisik dari pemerintah pusat [51] juga krusial untuk mengisi kesenjangan finansial.

▪ Tantangan Ketersediaan Sumber Daya (Air Baku dan Lahan):

Proyeksi kebutuhan air minum di Kota Semarang, Kota Balikpapan, dan Kabupaten Badung menghadapi tantangan kritis ketersediaan air baku [40]. Peningkatan kebutuhan di wilayah ini tidak dapat dijawab hanya dengan membangun Instalasi Pengolahan Air (IPA) baru, tetapi harus diimbangi dengan strategi komprehensif seperti konservasi sumber air, manajemen sisi permintaan (demand-side management), atau substitusi (misalnya, rainwater harvesting [19], [20]). Penelitian telah menunjukkan bahwa konservasi dan manajemen permintaan seringkali lebih hemat biaya daripada pembangunan infrastruktur pasokan baru [19].

Di sektor drainase dan air limbah, tantangan utama di kawasan padat penduduk (seperti Jakarta dan Surabaya) adalah ketersediaan lahan untuk pembangunan kolam retensi, polder, atau Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) terpusat. Hal ini sejalan dengan arahan Inpres No. 1 Tahun 2024 [35] yang menekankan pentingnya lahan untuk fasilitas publik. Kepadatan permukiman seringkali menyebabkan kesulitan dalam akuisisi lahan untuk infrastruktur skala besar, yang dapat memperlambat proyek pembangunan [25].

▪ **Tantangan Perubahan Guna Lahan dan Iklim:**

Analisis proyeksi drainase (Tabel 2) membuktikan secara kuantitatif bahwa alih fungsi lahan yang tidak terkendali di kawasan peri-urban (misalnya Kabupaten Bandung) secara langsung meningkatkan debit banjir dan frekuensi kejadian banjir [44]. Proyeksi ini mengkonfirmasi bahwa kegagalan mengendalikan tata ruang akan berimplikasi pada kebutuhan infrastruktur drainase yang eksponensial dan mahal [21]. Ditambah dengan dampak perubahan iklim yang meningkatkan intensitas dan frekuensi hujan ekstrem [11], [36], kapasitas infrastruktur yang diproyeksikan dalam penelitian ini harus dianggap sebagai batas minimal untuk mencapai resiliensi kota. Studi menunjukkan bahwa investasi pada green infrastructure dan solusi berbasis alam dapat menjadi pendekatan yang lebih adaptif terhadap perubahan iklim [11].

Temuan inti dari penelitian ini adalah bahwa proyeksi kebutuhan infrastruktur (seperti disajikan pada Tabel 1, 2, dan 3) harus beralih fungsi: dari sekadar output teknis menjadi input strategis fundamental dalam perencanaan pembangunan wilayah.

▪ **Instrumen Pengendali Pembangunan (Development Control):**

Hasil proyeksi ini seharusnya digunakan sebagai instrumen vital dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) dan kebijakan pembangunan lainnya. Misalnya, jika proyeksi kebutuhan air baku di Balikpapan telah melampaui daya dukung lingkungan [40], maka izin pengembangan kawasan baru, khususnya yang bersifat water-intensive, harus dibatasi atau diatur secara ketat. Demikian pula, jika proyeksi debit limpasan di Kabupaten Bandung menunjukkan potensi kolapsnya sistem drainase, maka Koefisien Dasar Bangunan (KDB) dan Koefisien Limpasan (C) harus diperketat secara legal untuk meminimalkan dampak urbanisasi [21]. Pendekatan ini selaras dengan prinsip carrying capacity dalam perencanaan wilayah [3].

▪ **Instrumen Prioritisasi Investasi Integratif:**

Analisis integratif menunjukkan bahwa ketiga sektor air (air minum, drainase, dan air limbah) saling terkait erat. Peningkatan pasokan air minum (Tabel 1) secara langsung akan meningkatkan timbulan air limbah (Tabel 3). Oleh karena itu, perencanaan investasi harus bersifat simultan dan terintegrasi untuk mencapai target SDG 6 (Air Bersih dan Sanitasi Layak) [37]. Di kota pesisir seperti Makassar, investasi pada IPAL [25] menjadi sama pentingnya dengan investasi air bersih untuk mencegah pencemaran sumber air baku oleh air limbah itu sendiri [52], yang pada gilirannya akan berdampak pada kualitas air untuk pariwisata dan ekosistem pesisir.

▪ **Pergeseran Paradigma dari Reaktif ke Proaktif:**

Selama ini, pembangunan infrastruktur seringkali dilakukan secara reaktif, mengikuti (lagging) pertumbuhan penduduk dan kebutuhan yang sudah ada [12]. Hasil penelitian ini menyediakan data kuantitatif yang kuat untuk mengubah paradigma tersebut menjadi pendekatan proaktif (leading). Pembangunan di 10 lokasi studi (khususnya di Batam, Balikpapan, dan Badung yang memiliki laju pertumbuhan tinggi) harus didahului oleh penyiapan kapasitas infrastruktur yang memadai (perencanaan berbasis kapasitas). Dengan demikian, proyeksi kebutuhan infrastruktur berfungsi sebagai instrumen fundamental yang mengarahkan (bukan sekadar mengikuti) pembangunan wilayah, sejalan dengan esensi ilmu Perencanaan Wilayah dan Kota yang berorientasi masa depan [3]. Ini memungkinkan pembangunan yang lebih terencana, efisien, dan berkelanjutan, menghindari biaya perbaikan yang jauh lebih mahal di kemudian hari [12].

KESIMPULAN

Penelitian ini memproyeksikan kebutuhan infrastruktur air minum, drainase, dan air limbah di 10 kabupaten/kota sampel di Indonesia untuk horizon waktu 5, 10, dan 20 tahun mendatang. Temuan utama menunjukkan bahwa seluruh lokasi studi akan menghadapi peningkatan kebutuhan yang substansial di ketiga sektor. Secara absolut, kebutuhan terbesar terkonsentrasi di kawasan metropolitan seperti DKI Jakarta dan Kota

Surabaya. Namun, secara persentase, laju pertumbuhan kebutuhan tertinggi diproyeksikan terjadi di kawasan pusat pertumbuhan baru seperti Kota Batam dan Kota Balikpapan.

Analisis terhadap hasil proyeksi mengidentifikasi tiga tantangan multidimensional utama yang akan dihadapi perencanaan wilayah: (1) Tantangan skala dan finansial, dimana pemenuhan kebutuhan menuntut investasi modal (CAPEX) yang masif dan melampaui kapasitas fiskal daerah; (2) Tantangan ketersediaan sumber daya, terutama defisit air baku di wilayah seperti Kota Semarang dan Balikpapan, serta kelangkaan lahan untuk infrastruktur di kawasan padat; dan (3) Tantangan tekanan ganda, yakni dampak simultan dari alih fungsi lahan yang tidak terkendali (di wilayah peri-urban seperti Kab. Bandung) dan intensifikasi bencana hidrometeorologi akibat perubahan iklim (di wilayah pesisir).

Temuan ini menegaskan kontribusi utama penelitian: proyeksi kebutuhan infrastruktur tidak boleh lagi diposisikan hanya sebagai *output* teknis yang reaktif terhadap pertumbuhan. Sebaliknya, penelitian ini menyimpulkan bahwa data proyeksi kebutuhan (sebagaimana disajikan) harus difungsikan sebagai *instrumen input* strategis dan pengendali dalam proses perencanaan pembangunan wilayah (RTRW). Dengan demikian, pemenuhan infrastruktur dapat beralih dari paradigma reaktif menjadi proaktif (perencanaan berbasis kapasitas), yang esensial bagi terwujudnya pembangunan wilayah yang berkelanjutan di Indonesia.

Keterbatasan penelitian ini adalah fokusnya pada perhitungan kuantitatif kebutuhan (demand) tanpa melakukan analisis kesenjangan (gap) dengan suplai eksisting. Penelitian selanjutnya direkomendasikan untuk fokus pada: (a) analisis kesenjangan infrastruktur secara rinci di setiap lokasi; (b) studi kelayakan model pembiayaan inovatif (seperti KPBU atau obligasi daerah) berdasarkan proyeksi kebutuhan; dan (c) analisis kelembagaan untuk implementasi perencanaan infrastruktur terpadu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. I. McDonald, et al., "Water on an Urban Planet: Urbanization and the Reach of Urban Water Infrastructure," *Global Environmental Change*, vol. 27, pp. 96–105, 2014.
- [2] I. W. Agustin dan S. Hariyani, *Pengelolaan Infrastruktur Kota dan Wilayah*. Universitas Brawijaya Press, 2023.
- [3] I. R. N. Listyawati, I. Prasetyo, I. R. Alfiah, I. S. S. U. Rambe, L. Wahyuningtyas, dan S. M. URP, *Perencanaan Infrastruktur Wilayah dan Kota: Konsep, Sistem, dan Aplikasi*. PT. Penerbit Qriset Indonesia, 2025.
- [4] M. Rouse, "The Worldwide Urban Water and Wastewater Infrastructure Challenge," *International Journal of Water Resources Development*, vol. 30, no. 1, pp. 20–27, 2014.
- [5] M. B. Beck dan R. G. Cummings, "Wastewater Infrastructure: Challenges for the Sustainable City in the New Millennium," *Habitat International*, vol. 20, no. 3, hlm. 405–420, 1996.
- [6] D. Spirandelli, "Patterns of Wastewater Infrastructure Along a Gradient of Coastal Urbanization: A Study of the Puget Sound Region," *Land*, vol. 4, no. 4, pp. 1090–1109, 2015.
- [7] P. Roux, I. Mur, E. Risch, dan C. Boutin, "Urban Planning of Sewer Infrastructure: Impact of Population Density and Land Topography on Environmental Performances of Wastewater Treatment Systems," dalam *Life Cycle Conference*, 2011.
- [8] H. R. Böhm, et al., "The Semicentralized Approach to Integrated Water Supply and Treatment of Solid Waste and Wastewater—A Flexible Infrastructure Strategy for Rapidly Growing Urban Regions: the Case of Hanoi/Vietnam," *Clean Technologies and Environmental Policy*, vol. 13, no. 4, pp. 617–623, 2011.
- [9] Badan Pusat Statistik, *Proyeksi Penduduk Indonesia 2020-2050*. Jakarta: BPS, 2021.
- [10] H. A. Lumbanbatu, "Penilaian Kinerja Pelayanan Infrastruktur dasar Kawasan Metropolitan di Indonesia (Kasus Studi: Air Bersih, Air Limbah, Drainase, dan Sampah)," *Journal of Regional and City Planning*, vol. 21, no. 3, pp. 227–242, 2010.
- [11] K. Arnbjerg-Nielsen et al., "Impacts of climate change on rainfall extremes and urban drainage systems: a review," *Water science and technology*, vol. 68, no. 1, hlm. 16–28, 2013.
- [12] A. S. Arsandi, I. Ismiyati, dan F. Hermawan, "Dampak Pertumbuhan Penduduk terhadap Infrastruktur di Kota Semarang," *Jurnal Karya Teknik Sipil*, vol. 6, no. 4, pp. 01–14, 2017.
- [13] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Rencana Strategis (Renstra) Kementerian PUPR 2020-2024*. Jakarta: Kementerian PUPR, 2020.
- [14] A. Ariani, F. Burhanuddin, dan S. E. Praja, "Analisis Peningkatan Kualitas Infrastruktur Air Limbah Domestik Secara Berkelanjutan Pada Kawasan Maritim Kota Makassar," *LOSARI: Jurnal Arsitektur Kota dan Pemukiman*, pp. 60–67, 2025.
- [15] N. M. Sukartini dan S. Saleh, "Akses Air Bersih di Indonesia," *Jurnal Ekonomi Kuantitatif Terapan*, vol. 9, no. 2, 2016.
- [16] F. Alihar, "Penduduk dan Akses Air Bersih di Kota Semarang," *Jurnal Kependudukan Indonesia*, vol. 13, no. 1, pp. 67–76, 2018.
- [17] M. P. A. Wandari, et al., "Keberlanjutan Sistem Penyediaan Air Bersih Berbasis Masyarakat di Kota Semarang," *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, vol. 11, no. 2, pp. 408–416, 2023.
- [18] E. Alfin, R. Rahmatulloh, dan M. Suendarti, "Infrastruktur Air dan Tantangan di Indonesia," *SENTRI: Jurnal Riset Ilmiah*, vol. 1, no. 2, pp. 382–391, 2022.
- [19] R. Sulistyiorini, "Alternatif Penanganan Permasalahan Infrastruktur Kebutuhan Air Bersih di kota Bandar Lampung Melalui Rain Water Harvesting," *Jurnal Sinergi*, vol. 1, no. 1, pp. 18–24, 2020.

-
- [20] R. Rofil dan M. Maryono, "Potensi dan Multifungsi Rainwater Harvesting (Pemanenan Air Hujan) di Sekolah bagi Infrastruktur Perkotaan," *Proceeding Biology Education Conference: Biology, Science, Environmental, and Learning*, 2017, vol. 14, no. 1, pp. 247–251.
- [21] A. A. S. Pramitha, R. P. Utomo, dan N. Miladan, "Efektivitas Infrastruktur Perkotaan dalam Penanganan Risiko Banjir di Kota Surakarta," *Region: Jurnal Pembangunan Wilayah dan Perencanaan Partisipatif*, vol. 15, no. 1, pp. 1, 2020.
- [22] A. Maryono, *Memamen air hujan*. UGM Press, 2020.
- [23] W. Siregar, "Sistem Drainase Kota: Strategi Penanganan Banjir dengan Teknik Sipil," *Circle Archive*, vol. 1, no. 6, 2024.
- [24] M. Wirawan, "Kajian Kualitatif Pengelolaan Air Limbah Domestik di DKI Jakarta," *Jurnal Riset Jakarta*, vol. 12, no. 2, 2019.
- [25] M. Mutmainnah dan A. Afdal, "Pengembangan Infrastruktur Instalasi Pengolahan Air Limbah Losari Makassar," *Jurnal Teknik Sipil Universitas Lamappapoleonro*, vol. 1, no. 1, pp. 11–16, 2022.
- [26] S. Aphirta, W. Astono, dan C. S. Buana, "Analisis Kondisi Infrastruktur Sanitasi Air Limbah di Pemukiman Padat Penduduk Kecamatan Pulo Gadung, Jakarta Timur," *Jurnal Bhuwana*, 2024.
- [27] S. E. Schwetschenau, et al., "Optimizing Scale for Decentralized Wastewater Treatment: A tool to address Failing Wastewater Infrastructure in the United States," *ACS ES & T Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 1–14, 2022.
- [28] N. R. Ruyani, M. R. Gnagey, dan A. Duriat, "Pemecahan Permasalahan Sektor Air Limbah di Perkotaan Melalui Pemberdayaan Masyarakat dalam Program Sanimas," *Fair Value: Jurnal Ilmiah Akuntansi dan Keuangan*, vol. 4, no. Spesial Issue 2, pp. 762–772, 2021.
- [29] A. Wulandhanti dan R. P. Setiawan, "Arahan Pengembangan Infrastruktur Hijau sebagai Pendukung Pasokan Air di Surabaya," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 10, no. 2, pp. D130–D135, 2021.
- [30] I. M. Darmasetiawan, *Sistem Perpipaan Distribusi Air Minum*. PT. Kimhsafi Alung Cipta, 2025.
- [31] R. P. S. Hutauruk, "Pengaruh Infrastruktur terhadap Pertumbuhan Ekonomi di Kota Pematangsiantar," *Jurnal Ekuilnomi*, vol. 3, no. 1, hlm. 24–37, 2021.
- [32] S. R. Lim, S. Suh, J. H. Kim, dan H. S. Park, "Urban Water Infrastructure Optimization to Reduce Environmental Impacts and Costs," *Journal of Environmental Management*, vol. 91, no. 3, pp. 630–637, 2010.
- [33] X. Ning, Y. Liu, J. Chen, X. Dong, W. Li, dan B. Liang, "Sustainability of Urban Drainage Management: a Perspective on Infrastructure Resilience and Thresholds," *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, vol. 7, no. 5, pp. 658–668, 2013.
- [34] WHO/UNICEF JMP, "Progress on Household Drinking Water, Sanitation and Hygiene 2000–2022," 2023.
- [35] JDIH PUPR, "Instruksi Presiden No. 1 Tahun 2024 tentang Percepatan Penyediaan Air Minum dan Layanan Pengelolaan Air Limbah Domestik," 2024.
- [36] BMKG, "Climate Outlook 2025," 12 Dec 2024.
- [37] UNSD, "SDG Report 2025: Goal 6," 2025.
- [38] Standar Nasional Indonesia (SNI) 03-1733-2004, *Tata Cara Perencanaan Lingkungan Perumahan di Perkotaan*. Badan Standardisasi Nasional (BSN): Jakarta, 2004.
- [39] UNICEF Indonesia, "WASH Acts – 2023 Edition," 2023.
- [40] USAID, "Indonesia High-Priority Country Plan (Global Water Strategy)," 2023.
- [41] DJPK Kemenkeu, "Alokasi DAK Fisik Sanitasi 2025," 2024.
- [42] Indonesia.go.id, "Kolaborasi Pemerintah–Swasta untuk Akses Air Minum 2045," 2024.
- [43] Bappenas, "Policy brief: KPSPAM–BUMDes (Pamsimas)," 2023.
- [44] BNPB, "Buku Data Bencana Indonesia 2024," 2025.
- [45] Data Indonesia, "Data Jumlah Kejadian Bencana 2024—Banjir Mendominasi," 2025.
- [46] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta, 2019.
- [47] Our World in Data, "Share of Population Living in Urban Areas, 2024 (Indonesia ~59%)," 2025.
- [48] BPS, *Statistik Indonesia 2025*. Jakarta: BPS, 28 Feb 2025.
- [49] Ditjen Cipta Karya, "Open Data SPAM 2021–2024," 2025.
- [50] Ditjen Cipta Karya, "PAMSIMAS—Pedoman Teknis," 2021.
- [51] DJPK Kemenkeu, "DAK Sanitasi 2025—SPALD-T/SPALD-S/IPLT (menu & kriteria)," 2024.
- [52] Bappenas & UNICEF, "Rencana Teknokratik Peta Jalan Sanitasi Aman, 2024–2025," 2024.