

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Teori Penunjang

1. Sistem Penyediaan dan Distribusi Air Bersih Bandara

Sistem penyediaan dan distribusi air bersih merupakan salah satu fasilitas penunjang yang sangat vital dalam operasional bandara. Sistem ini berfungsi untuk menyediakan air bersih yang memenuhi persyaratan kuantitas, kualitas, tekanan, dan kontinuitas guna mendukung seluruh aktivitas bandara, baik operasional penerbangan maupun pelayanan kepada pengguna jasa (Arsana dkk., 2024). Ketersediaan air bersih yang cukup, berkualitas, dan berkesinambungan menjadi salah satu syarat mutlak dalam menjamin kelancaran operasional bandara yang beroperasi dengan tingkat aktivitas tinggi.

Dalam sistem mekanikal bandara, penyediaan air bersih memegang peranan penting karena air digunakan untuk berbagai kebutuhan, seperti kebutuhan domestik, operasional bangunan, perawatan fasilitas, serta sistem keselamatan, termasuk pemadam kebakaran. Oleh karena itu, sistem penyediaan air bersih harus dirancang dan dioperasikan secara andal agar mampu memenuhi kebutuhan air pada seluruh fasilitas bandara secara berkelanjutan (Amin dkk., 2023).

Kebutuhan air bersih di bandara memiliki karakteristik yang berbeda dengan kawasan permukiman. Beban air bersifat heterogen dan fluktuatif, tergantung pada jumlah penumpang, jadwal penerbangan, jenis fasilitas, serta aktivitas operasional (Rosidin & Permana, 2024). Sehingga pada kawasan bandara, pemilihan sumber air harus mempertimbangkan aspek keandalan suplai, kualitas air, serta keberlanjutan sumber daya (Jusuf dkk., 2024). Pemilihan sumber air yang andal sangat penting karena gangguan pasokan air dapat berdampak langsung terhadap keselamatan dan operasional bandara. Secara umum, sumber air bersih tersebut dapat berasal

dari jaringan penyedia air minum PDAM, air tanah, air permukaan, atau kombinasi dari beberapa sumber. Selain itu, untuk mengatasi beban air yang bersifat heterogen dan fluktuatif maka diperlukan rancangan sistem distribusi air bersih dengan fleksibilitas dan kapasitas yang memadai untuk menghadapi perubahan yang terjadi pada beban tersebut.

Secara umum, sistem penyediaan dan distribusi air bersih terdiri atas beberapa komponen utama yang saling terintegrasi, yaitu sumber air, *reservoir* atau bak penampungan, sistem pemompaan, dan jaringan pipa distribusi (Noor dkk., 2022). Sistem distribusi air bersih merupakan rangkaian infrastruktur yang berfungsi menyalurkan air dari sumber atau *reservoir* ke titik-titik pemakaian dengan kuantitas, kualitas, dan tekanan yang memenuhi standar. Dalam perencanaan jaringan distribusi harus memperhatikan diameter pipa, material pipa, panjang jaringan, perbedaan elevasi, serta kehilangan tekanan (*head loss*). Pada kawasan bandara, sistem distribusi air bersih harus memiliki tingkat keandalan yang tinggi karena menunjang operasional fasilitas-fasilitas kritis, seperti terminal penumpang, menara kontrol, hanggar, serta fasilitas pemadam kebakaran, dengan karakteristik beban air yang bersifat fluktuatif dan heterogen tergantung pada aktivitas operasional dan jumlah pengguna. Selain itu, jaringan distribusi harus dirancang agar mampu menyediakan tekanan air yang relatif merata di setiap titik pelayanan. Hal ini penting untuk menjamin kenyamanan pengguna serta kelancaran operasional, terutama pada bangunan-bangunan dengan fungsi kritis.

2. Perhitungan Kebutuhan air

Secara teoritis perhitungan kebutuhan air dapat dilakukan dengan tiga metode, yaitu:

a. Berdasarkan jumlah pemakai / penghuni

Metode berdasarkan jumlah pemakai atau penghuni merupakan cara perhitungan kebutuhan air yang didasarkan pada jumlah orang yang menggunakan suatu bangunan dengan mengacu pada tabel standar

kebutuhan air rata-rata per orang per hari, berikut ini gambar tabel pemakaian air rata-rata per orang setiap hari.

Tabel II. 1 Pemakaian Air Rata-rata Per Orang Hari

Jenis gedung	Pemakaian air sehari (liter)	Waktu pemakaian air sehari (jam)	Perbandingan luas lantai efektif/total (%)	Keterangan
Perumahan mewah	250	8-10	42-45	Setiap penghuni
Rumah biasa	160-250	8-10	50-53	Setiap penghuni
Apartemen	200-250	8-10	45-50	Mewah 250 liter
				Menengah 180 liter
				Bujangan 120 liter
Asrama	120	8		Bujangan
Rumah sakit	Mewah > 1000	8-10	45-48	(setiap tempat tidur pasien)
	Menengah 500-1000			Pasien luar: 8 liter
	Umum 350-500			Staf/pegawai: 120 liter Keluarga pasien: 160 liter
Sekolah dasar	40	5	58-60	Guru: 100 liter
SLTP	50	6	58-60	Guru: 100 liter
SLTA dan lebih tinggi	80	6		Guru/dosen: 100 liter
Rumah-toko	100-200	8		Penghuninya: 160 liter
Gedung kantor	100	8	60-70	Setiap pegawai
Toserba (toko serba ada, <i>department store</i>)	3	7	55-60	Pemakaian air hanya untuk kakus, belum termasuk untuk bagian restorannya.
Pabrik/industri	Buruh pria: 60	8		Per orang, setiap giliran (kalau kerja lebih dari 8 jam sehari)
	Wanita: 100			
Stasiun/terminal	3	15		Setiap penumpang (yang tiba maupun berangkat)
Restoran	30	5		Untuk penghuni: 160 liter
Restoran umum	15	7		Untuk penghuni: 160 liter
				Pelayan: 100 liter
				70% dari jumlah tamu perlu 15 liter/orang untuk kakus, cuci tangan dsb.
Gedung pertunjukan	30	5	53-55	Kalau digunakan siang dan malam, pemakaian air dihitung per penonton. Jam pemakaian air dalam tabel Adalah untuk satu kali pertunjukan.
Gedung bioskop	10	3		
Toko pengecer	40	6		Pedagang besar: 30 liter/tamu 150 liter/staf atau 5 liter perhari setiap m ² luas lantai.

Hotel/penginapan	250-300	10	Untuk setiap tamu, untuk staf 120-150 liter penginapan 200 liter.
Gedung peribadatan	10	2	Didasarkan jumlah jamaah per hari
Perpustakaan	25	6	Untuk setiap pembaca yang tinggal
Bar	30	6	Setiap tamu
Perkumpulan sosial	30		Setiap tamu
Kelab malam	120-350		Setiap tempat duduk
Gedung perkumpulan	150-200		Setiap tamu
Laboratorium	100-200	8	Setiap staf

(Sumber : Morimura & Noerbambang, 2005)

Dalam metode ini, langkah awal yang dilakukan adalah menentukan jumlah penghuni atau pengguna fasilitas, seperti pegawai, penumpang, atau penghuni gedung. Jika jumlah penghuni tidak diketahui, maka dilakukan perhitungan berdasarkan jenis gedung yang dirancang yaitu luas pemakaian efektif berkisar antara 60–70% dengan kepadatan hunian 5–10 m²/orang (Morimura & Noerbambang, 2005). Rumus perhitungan pemakaian air bersih dalam satu hari berdasarkan jumlah penghuni, sebagai berikut:

$$Q_h = \frac{Q_d}{T}$$

Keterangan :

Q_h : Pemakaian air rata-rata (m³/jam)

Q_d : Pemakaian air rata-rata sehari (m³)

T : Jangka waktu pemakaian (jam)

Kemudian kebutuhan air perhari (Q_d) perlu ditambahkan 20% untuk mengatasi kebocoran, sehingga:

$$Q_d = 1,2 \times Q_d$$

Selanjutnya menentukan pemakaian air pada jam puncak dalam satu hari dan menit puncak dalam satu hari, sebagai berikut:

$$Q_{h_{\max}} = C_1 \times Q_h$$

$$Q_{m_{\max}} = C_2 \times Q_h$$

Keterangan :

Q_h : Pemakaian air rata - rata (m³/jam)

- Q_m : Pemakaian air rata - rata (m^3/jam)
 $Q_{h_{max}}$: Debit jam puncak (m^3/jam)
 $Q_{m_{max}}$: Debit menit puncak ($m^3/menit$)
 C_1 : Konstanta berkisar 1,5 untuk bangunan rumah tinggal, 1,75 untuk bangunan perkantoran, dan 2,0 untuk bangunan hotel / apartemen.
 C_2 : Konstanta berkisar 3,0 untuk bangunan rumah tinggal, 3,5 untuk bangunan perkantoran, dan 4,0 untuk bangunan hotel / apartemen.

Hasil perhitungan ini akan menghasilkan total kebutuhan air harian yang diperlukan untuk menunjang seluruh aktivitas pengguna. Metode ini umumnya digunakan pada tahap awal perencanaan karena lebih sederhana dan tidak memerlukan data detail mengenai jenis maupun jumlah alat plambing, namun tetap mampu memberikan gambaran umum mengenai kebutuhan air suatu bangunan.

b. Berdasarkan jenis dan jumlah alat plambing

Metode berdasarkan jenis dan jumlah alat plambing merupakan cara perhitungan kebutuhan air dengan mengacu pada banyaknya serta jenis peralatan yang menggunakan air dalam suatu bangunan, seperti toilet, pancuran mandi, dan keran. Dalam metode ini, setiap alat plambing memiliki nilai kebutuhan air tertentu yang biasanya diperoleh dari standar atau tabel pada buku Morimura yang memuat besaran kebutuhan air untuk berbagai jenis alat plambing berdasarkan frekuensi dan karakteristik penggunaannya.

Tabel II. 2 Besaran Kebutuhan Air Berdasarkan Alat Plambing

Nama alat plambing	Pemakaian air satu kali (liter)	Penggunaan per jam	Debit (liter/min)	Waktu pengisian (detik)	Pipa sambungan (mm)	Pipa cabang ke alat plambing (mm)	
						Pipa baja	Tembaga ⁴⁾
Kloset (dengan katup gelontor)	13,5-16,5 ¹⁾	6-12	110-180	8,2-10	24	32 ²⁾	25
Kloset (dengan tangki gelontor)	13-15	6-12	15	60	13	20	13
Peturasan (dengan katup gelontor)	5	12-20	30	10	13	20 ³⁾	13

Peturasan, 2-4 orang (dengan tangki gelontor)	9-18 (@ 4,5)	12	1,8-3,6	300	13	20	13
Peturasan, 5-7 orang (dengan tangki gelontor)	22,5-31,5 (@ 4,5)	12	4,5-6,3	300	13	20	13
Bak cuci tangan kecil	3	12-20	10	18	13	20	13
Bak cuci tangan biasa (<i>lavatory</i>)	10	6-12	15	40	13	20	13
Bak cuci dapur (<i>sink</i>) dengan keran 13 mm	15	6-12	15	60	13	20	13
Bak cuci dapur (<i>sink</i>) dengan keran 20 mm	25	6-12	25	60	20	20	20
Bak mandi rendam (<i>bath tub</i>)	125	3	30	250	20	20	20
Pancuran mandi (<i>shower</i>)	24-60	3	12	120-300	13-20	20	13-20
Bak mandi gaya Jepang	Tergantung ukurannya		30		20	20	20
Catatan :							
1) Standar pemakaian air untuk kloset dengan katup gelontor untuk satu kali penggunaan Adalah 15 liter selama 10 detik.							
2) Pipa sambungan ke katup gelontor untuk kloset biasanya adalah 25 mm, tetapi untuk mengurangi kerugian akibat gesekan dianjurkan memasang pipa ukuran 32 mm.							
3) Pipa sambungan ke katup gelontor untuk peturasan biasanya adalah 13 mm, tetapi untuk mengurangi kerugian akibat gesekan dianjurkan memasang pipa ukuran 20 mm.							
4) Karena pipa tembaga kurang cenderung berkerak dibandingkan dengan pipa baja, maka ukurannya bisa lebih kecil.							
Pipa PVC bisa juga dipasang dengan ukuran yang sama dengan pipa tembaga.							

(Sumber : Morimura & Noerbambang, 2005)

Sehingga, langkah pertama adalah mengidentifikasi seluruh jenis alat yang digunakan beserta jumlahnya, kemudian mencari pemakaian air untuk penggunaan satu kali (liter) pada tabel Morimura, menentukan penggunaan per jam, kemudian mengalikan jumlah masing-masing alat dengan kebutuhan airnya dan penggunaan per jam. Seluruh hasil tersebut dijumlahkan untuk mendapatkan total kebutuhan air per jam. Hasil tersebut kemudian dikalikan dengan faktor pemakaian yang ada pada gambar Morimura berikut.

Tabel II. 3 Faktor Pemakaian dan Jumlah Alat Plambing

Faktor pemakaian (%) dan jumlah alat plambing												
Jenis alat plambing \ Jenis alat plambing	1	2	4	8	12	16	24	32	40	50	70	100
Kloset, dengan katup gelontor	1	50 satu	50 2	40 3	30 4	27 5	23 6	19 7	17 7	15 8	12 9	10 10

Alat plambing biasa	1	100	75	55	48	45	42	40	39	38	35	33
	dua	3	5	6	7	10	13	16	19	25	33	

(Sumber : Morimura & Noerbambang, 2005)

Hasil yang didapat yaitu jumlah pemakaian air perjam. Hasil ini digunakan untuk mencari total pemakaian perhari dengan mempertimbangkan pemakaian efektif (asumsi persentase efektif x jumlah pemakaian air perjam x jam perhari digunakan) dan pemakaian tidak efektif (asumsi persentase tidak efektif x jumlah pemakaian air perjam x jam perhari tidak digunakan). Kemudian hasil tersebut dijumlahkan. Sehingga, metode ini lebih akurat dibandingkan metode jumlah penghuni karena mempertimbangkan pola penggunaan air secara langsung berdasarkan peralatan yang tersedia, dimana perhitungan ini sangat sesuai digunakan apabila data mengenai jenis dan jumlah alat plambing telah diketahui secara lengkap.

c. Berdasarkan unit beban alat plambing

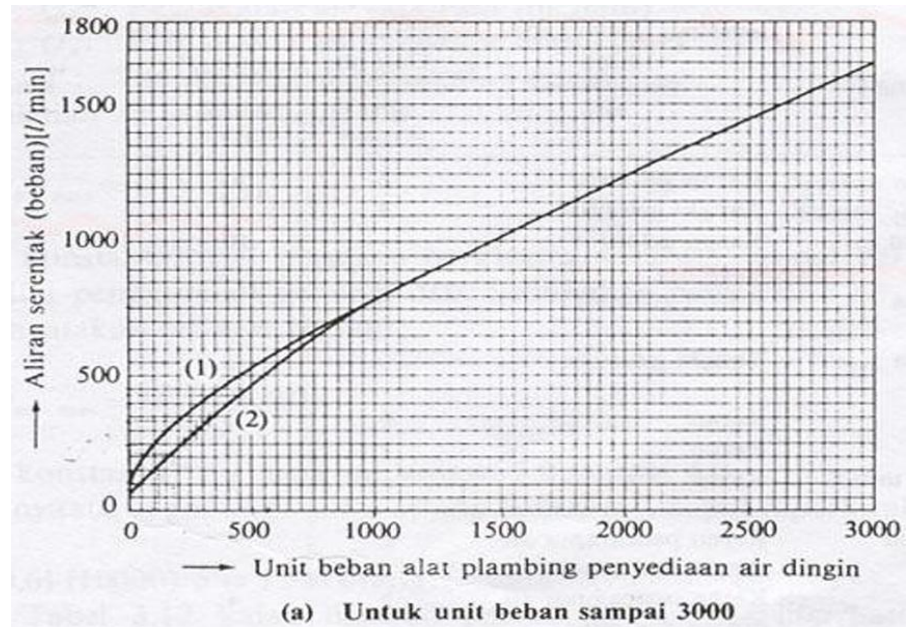
Metode berdasarkan unit beban alat plambing merupakan cara perhitungan kebutuhan air dengan menggunakan nilai beban tertentu yang dimiliki setiap alat plambing sesuai dengan tingkat pemakaian dan kontribusinya terhadap sistem distribusi air. Setiap jenis alat seperti toilet, pancuran mandi, dan keran memiliki nilai unit beban yang berbeda, di mana alat dengan penggunaan air lebih besar atau frekuensi pemakaian tinggi memiliki nilai beban yang lebih besar. Dalam metoda ini, untuk setiap alat plambing ditetapkan suatu unit beban (*fixture unit*; 1 fu = 7,5 galon/menit). Untuk setiap bagian pipa dijumlahkan besarnya unit beban dari semua alat plambing yang dilayaninya, dan kemudian dicari besarnya laju aliran air. Sehingga, langkah pertama adalah mengidentifikasi jenis dan jumlah seluruh alat plambing yang digunakan, kemudian mengonversinya ke dalam nilai unit beban berdasarkan standar pada tabel berikut.

Tabel II. 4 Nilai Unit Beban Alat Plambing

Jenis alat plambing	Jenis penyediaan air	Unit alat plambing		Keterangan
		pribadi	umum	
Kloset	Katup gelontor	6	10	
Kloset	Tangki gelontor	3	5	
Peturasan dengan tiang	Katup gelontor		10	
Peturasan terbuka (<i>urinal stall</i>)	Katup gelontor		5	
Peturasan terbuka (<i>urinal stall</i>)	Tangki gelontor		3	
Bak cuci (kecil)	Keran	0,5	1	
Bak cuci tangan	Keran	1	2	
Bak mandi rendam (<i>bath tub</i>)	Keran pencampuran air dingin dan panas	2	4	
Pancuran mandi (<i>shower</i>)	Keran pencampuran air dingin dan panas	2	4	
Pancuran mandi tunggal	Keran pencampuran air dingin dan panas	2		
Bak cuci bersama	(untuk tiap keran)		2	
Bak cuci pel	Keran	3	4	Gedung kantor, dsb.
Bak cuci dapur	Keran	2	4	Untuk umum : hotel atau restoran, dll
Bak cuci piring	Keran		5	
Bak cuci pakaian (satu sampai tiga)	Keran	3		
Pancuran minum	Keran air minum		2	
Pemanas air	Katup bola		2	

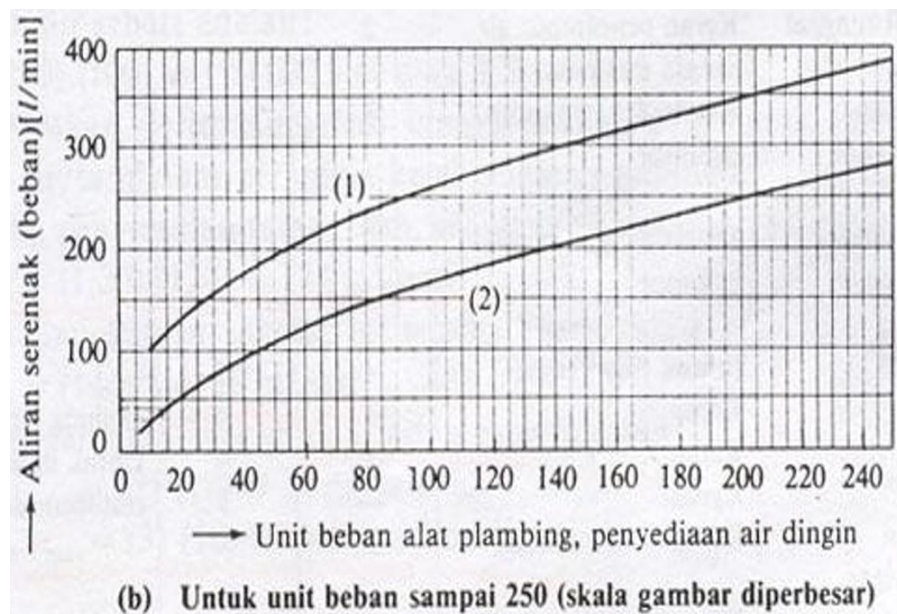
(Sumber : Morimura & Noerbambang, 2005)

Selanjutnya seluruh nilai beban dijumlahkan untuk mendapatkan total unit beban. Total tersebut kemudian digunakan untuk menentukan kebutuhan debit air puncak melalui pembacaan kurva grafik yang telah ditetapkan, sehingga diperoleh besaran aliran air yang dibutuhkan. Berikut ini gambar grafik hubungan unit beban (*fixture unit*) dengan debit aliran.



Gambar II. 1 Grafik Hubungan Unit Beban (a)
(Sumber : Morimura & Noerbambang, 2005)

Kurva (a) ini digunakan untuk menentukan kebutuhan debit air puncak dengan jumlah unit beban sampai 3000 pada sistem yang sebagian besar dengan katup gelontor, sedangkan untuk perhitungan lebih kecil dan hasil lebih detail maka menggunakan kurva dengan jumlah unit beban lebih kecil, yaitu pada kurva (b) dengan sistem yang sebagian besar dengan tangki gelontor. Berikut ini merupakan gambar dari kurva (b).



Gambar II. 2 Grafik Hubungan Unit Beban (b)
(Sumber : Morimura & Noerbambang, 2005)

Pada grafik diatas terdapat kurva (1) dan kurva (2), di mana kurva (1) digunakan untuk sistem yang sebagian besar menggunakan katup gelontor yaitu kebutuhan air terjadi secara langsung saat pengoperasian. Sementara itu, Kurva (2) digunakan untuk sistem yang sebagian besar menggunakan tangki gelontor, di mana air ditampung terlebih dahulu dalam tangki sebelum digunakan. Oleh karena itu, pemilihan kurva harus disesuaikan dengan jenis perlengkapan sanitasi yang dominan pada bangunan agar debit rencana yang diperoleh lebih akurat dan sesuai dengan kondisi operasional sebenarnya.

Setelah memperoleh besaran aliran air yang dibutuhkan pada jam puncak dengan satuan liter/menit, maka ubahlah menjadi satuan m^3 /menit dan m^3 /jam. Kemudian mencari bebit air per jam dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Q_{m_{\max}} = \frac{C_2 \times Q_h}{60}$$

$$Q_h = \frac{Q_{m_{\max}} \times 60}{C_2}$$

Keterangan :

Q_h : Pemakaian air rata - rata (m^3 /jam)

$Q_{m_{\max}}$: Debit menit puncak (m^3 /menit)

C_2 : Konstanta berkisar 3,0 untuk bangunan rumah tinggal, 3,5 untuk bangunan perkantoran, dan 4,0 untuk bangunan hotel / apartemen.

Selanjutnya tentukan debit air pada jam puncak, dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$Q_{h_{\max}} = C_1 \times Q_h$$

Keterangan :

Q_h : Pemakaian air rata - rata (m^3 /jam)

$Q_{h_{\max}}$: Debit jam puncak (m^3 /jam)

C_1 : Konstanta berkisar 1,5 untuk bangunan rumah tinggal, 1,75 untuk bangunan perkantoran, dan 2,0 untuk bangunan hotel / apartemen.

Kemudian perhitungan pemakaian air bersih dalam satu hari berdasarkan unit beban alat plambing, dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_d = Q_h \times T$$

Keterangan :

Q_h : Pemakaian air rata-rata (m^3/jam)

Q_d : Pemakaian air rata-rata sehari (m^3)

T : Jangka waktu pemakaian (jam)

Hasil perhitungan ini akan menghasilkan total kebutuhan air harian yang diperlukan untuk menunjang seluruh aktivitas pengguna. Metode beban unit alat plambing lebih akurat karena mempertimbangkan variasi penggunaan tiap alat, mampu menggambarkan beban puncak, serta mendukung perencanaan sistem yang lebih efisien.

3. Sistem Penampungan (*Reservoir*) Air Bersih

Reservoir air bersih merupakan salah satu komponen utama dalam sistem penyediaan dan distribusi air bersih, khususnya pada kawasan dengan tingkat kebutuhan dan keandalan tinggi seperti bandara. *Reservoir* adalah bangunan atau struktur yang dirancang untuk menampung air bersih dalam volume tertentu sebagai tempat penyimpanan sementara sebelum air didistribusikan ke seluruh bangunan dan fasilitas. Keberadaan *reservoir* sangat penting karena sistem distribusi air tidak selalu dapat mengandalkan suplai langsung dari sumber air secara kontinu dan stabil.

Reservoir berfungsi untuk menjamin kontinuitas pasokan air bersih, mengantisipasi fluktuasi kebutuhan air, serta menyediakan cadangan air dalam kondisi darurat, seperti gangguan pasokan dari sumber utama atau meningkatnya kebutuhan pada beban puncak. Oleh karena itu, kapasitas *reservoir* harus direncanakan berdasarkan kebutuhan air harian, pola pemakaian, tingkat fluktuasi konsumsi, serta kebutuhan cadangan untuk kondisi darurat. Pada sistem distribusi terpusat, *reservoir* umumnya dirancang dengan kapasitas yang lebih besar dan berfungsi sebagai pusat

distribusi utama bagi beberapa fasilitas sekaligus. Menurut (Zai dkk., 2025) fungsi utama *reservoir* air bersih antara lain:

- a. Menjaga keseimbangan antara debit air yang masuk dari sumber dengan kebutuhan pemakaian yang berfluktuasi.
- b. Menyediakan cadangan air bersih untuk kondisi darurat, seperti gangguan pasokan dari sumber utama, pemeliharaan sistem, atau kondisi beban puncak.
- c. Menstabilkan tekanan dalam jaringan distribusi air bersih.
- d. Menjamin keandalan pasokan air untuk fasilitas-fasilitas kritis di bandara, seperti terminal, gedung operasional, dan fasilitas keselamatan.

Dalam sistem distribusi air bersih, *reservoir* dapat diklasifikasikan menjadi bak penampungan bawah / negatif (*ground reservoir*) dan bak penampungan atas / positif (*elevated reservoir*). Penentuan jenis *reservoir* yang digunakan harus disesuaikan dengan kondisi lapangan, total kebutuhan air, pola distribusi, serta tingkat keandalan sistem yang diharapkan. Pemilihan dan perencanaan *reservoir* yang tepat berperan penting dalam mendukung kinerja sistem distribusi air bersih secara efisien dan andal. Penentuan kapasitas *reservoir* merupakan tahap penting dalam perencanaan sistem air bersih. Kapasitas *reservoir* umumnya dapat ditentukan berdasarkan:

- a. Kebutuhan air harian rata-rata.
- b. Kebutuhan air pada jam puncak.
- c. Kebutuhan cadangan air saat kondisi darurat dan gangguan sistem.

Pada kawasan bandara, kapasitas *reservoir* harus dirancang lebih besar dibandingkan kawasan permukiman umum karena kebutuhan air bersih bersifat fluktuatif, heterogen, dan melayani fasilitas-fasilitas yang bersifat kritis dan tidak boleh mengalami gangguan pasokan.

Adapun rumus perhitungan untuk menentukan volume dan dimensi *ground reservoir* berdasarkan rumus menurut (Morimura & Noerbambang, 2005) yaitu:

- a. Hitung kapasitas pipa dinas (Q_s)

$$Q_s = \frac{2}{3} Q_h$$

Keterangan :

Qs : Kapasitas pipa dinas (m^3/jam)

Qh : Pemakaian air rata-rata (m^3/jam)

b. Hitung volume *ground reservoir* (VR)

$$\text{VR} = [\text{Qd} - (\text{Qs} \times \text{T})]$$

Keterangan :

VR : Volume *ground reservoir* (m^3)

Qd : Pemakaian air rata-rata sehari (m^3/hari)

Qs : Kapasitas pipa dinas (m^3/jam)

T : Rata-rata jangka waktu pemakaian (jam/hari)

c. Menentukan dimensi *ground reservoir*

Setelah menghitung volume *ground reservoir*, selanjutnya tentukan dimensi untuk *ground reservoir* yang mencakup :

1) Panjang (m)

2) Lebar (m)

3) Tinggi efektif (m)

4) Batas aman (m) = 20 % x tinggi (m)

5) Tinggi air minimum (m)

6) Tinggi total (m) = (tinggi + batas aman + tinggi air minimum)

Setelah mendapatkan tinggi total, maka lakukan perhitungan ulang volume dengan rumus berikut :

$$V = P \times L \times T$$

Keterangan :

V : Volume *ground reservoir*

P : Panjang (m)

L : Lebar (m)

T : Tinggi (m)

Hasil tersebut kemudian digunakan untuk mengevaluasi kapasitas *reservoir* eksisting dengan melakukan perbandingan antara hasil perhitungan volume *reservoir* dan kondisi volume *reservoir* saat ini.

4. Sistem Perpipaan Jaringan Air Bersih

Sistem perpipaan jaringan air bersih merupakan sistem yang digunakan untuk mendistribusikan air dari sumber (PDAM atau *reservoir*) ke seluruh titik pelayanan melalui jaringan pipa. Sistem ini terdiri dari pipa induk, dan pipa distribusi yang dirancang untuk menjaga kontinuitas aliran, tekanan yang stabil, serta efisiensi distribusi agar kebutuhan air dapat terpenuhi secara merata di setiap fasilitas. Berikut rumus yang digunakan untuk menghitung dimensi pipa induk:

Dari Persamaan :

$$Q = V \times A$$

$$A = \frac{1}{4} \times D^2 \times \pi \Rightarrow Q = V \cdot \frac{1}{4} \times D^2 \times \pi$$

Sehingga :

$$\frac{1}{4} \times D^2 \times \pi = \frac{Q}{V}$$

Keterangan :

D : Diameter pipa (m)

π : 3,14

A : Luas penampang pipa (m²)

Q : Debit rata-rata (m³/detik)

V : Rentang Kecepatan 1,5 – 3 m/detik

Setelah menghitung dimensi pipa induk, maka dilanjutkan menghitung pipa distribusi atau pipa penyuplai dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_{\text{pompa}} = \frac{24}{\text{Waktu Operasional}} \times Q_{\text{max}}$$

Keterangan :

Q pompa : Debit pada pompa rencana (m³/jam)

Q_{max} : Debit pada jam puncak

Setelah mendapat debit rencana pada pompa, maka selanjutnya menghitung dimensi pipa distribusi seperti rumus pada perhitungan dimensi pipa induk yaitu sebagai berikut:

Dari Persamaan :

$$Q \text{ pompa} = V \times A$$

$$A = \frac{1}{4} \times D^2 \times \pi \Rightarrow Q \text{ pompa} = V \cdot \frac{1}{4} \times D^2 \times \pi$$

Sehingga :

$$\frac{1}{4} \times D^2 \times \pi = \frac{Q \text{ pompa}}{V}$$

Keterangan :

D : Diameter pipa (m)

π : 3,14

A : Luas penampang pipa (m²)

Q pompa : Debit rata-rata pompa (m³/detik)

V : Rentang Kecepatan 1,5 – 3 m/detik

Hasil perhitungan tersebut kemudian digunakan untuk mengetahui kecepatan aliran air dalam pipa dengan rumus sebagai berikut:

$$V = \frac{Q \text{ pompa}}{\frac{1}{4} \times \pi \times D^2}$$

Keterangan :

V : Kecepatan aliran air dalam pipa (m/detik)

Q pompa : Debit rata-rata pompa (m³/detik)

D : Diameter pipa (m)

5. Sistem Pemompaan Air Bersih

Sistem pemompaan air bersih merupakan salah satu komponen utama dalam sistem penyediaan dan distribusi air bersih yang berfungsi untuk mengalirkan air dari sistem penampungan (*reservoir*) menuju jaringan distribusi dengan tekanan dan debit yang sesuai. Selain itu, menurut (Ridwan dkk., 2022) fungsi sistem pemompaan air bersih antara lain:

- Menaikkan tekanan air agar mampu mencapai seluruh jaringan distribusi dan bangunan dengan elevasi berbeda.
- Mengatasi kehilangan tekanan (*head loss*) akibat gesekan pada pipa, sambungan, dan perlengkapan jaringan.

- c. Menjamin debit aliran air sesuai kebutuhan pada kondisi normal maupun beban puncak.

Pada kawasan bandara, sistem pemompaan memiliki peran yang sangat krusial karena harus menjamin kontinuitas suplai air bersih selama 24 jam serta melayani kebutuhan air yang bersifat fluktuatif dan heterogen, mulai dari kebutuhan domestik, operasional bangunan, hingga kebutuhan keselamatan seperti pemadam kebakaran. Menurut (Rumaherang dkk., 2023) beberapa parameter teknis yang harus diperhatikan dalam pemilihan dan perencanaan pompa plambing meliputi:

- Debit Pompa, yang ditentukan berdasarkan kebutuhan air maksimum sistem.
- Head* Pompa atau tinggi tekan total (*total head*), yang mencakup *head* statis, *head* gesek, dan *head* minor.
- Putaran dan Daya Motor (konfigurasi pompa), yang harus disesuaikan dengan karakteristik pompa dan sistem kelistrikan.
- Efisiensi Pompa, yang memengaruhi konsumsi energi dan biaya operasional.

Berikut merupakan langkah-langkah dalam menghitung *head* total pompa yang akan digunakan.

- a. *Head* statis (H_s) selisih ketinggian antara sumber air dan titik tujuan

$$H_s = H_{\text{tujuan}} - H_{\text{sumber}}$$

Keterangan :

H_{tujuan} : Elevasi *roof tank* / beban

H_{sumber} : Elevasi *ground tank*

- b. *Head* gesek (H_f) kehilangan energi akibat gesekan air dengan pipa

$$H_f = \lambda \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

H_f : *Head* kerugian gesek pipa (m)

λ : koefisien kerugian gesek

Untuk laminar :

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}$$

Untuk turbulen :

$$\lambda = 0,020 + \frac{0,005}{D}$$

- g : Gravitasi (9,81 m/s²)
 L : Panjang pipa (m)
 V : Kecepatan aliran (m/s)
 D : Diameter pipa (m)
 Re : Bilangan raynolds

c. *Head* minor (Hm) kerugian tambahan akibat komponen pipa

Nilai koefisien *minor loss* sudah ditentukan untuk masing-masing komponen. Berikut daftar beberapa *minor loss* yang sering digunakan:

Tabel II. 5 Nilai Koefisien Minor Loss

Jenis Komponen atau <i>Fitting</i>	Koefisien <i>Minor Loss</i>
<i>Tee, Flanged, Line Flow</i>	0,2
<i>Tee, Threaded, Line Flow</i>	0,9
<i>Tee, Flanged, Branched Flow</i>	1,0
<i>Tee, Threaded, Branch Flow</i>	2,0
<i>Union, Threaded</i>	0,8
<i>Elbow, Flanged Regular 90°</i>	0,3
<i>Elbow, Threaded Regular 90°</i>	1,5
<i>Elbow, Threaded Regular 45°</i>	0,4
<i>Elbow, Flanged Long Radius 90°</i>	0,2
<i>Elbow, Threaded Long Radius 90°</i>	0,7
<i>Elbow, Flanged Long Radius 45°</i>	0,2
<i>Return Bend, Flanged 180°</i>	0,2
<i>Return Bend, Threaded 180°</i>	1,5
<i>Globe Valve, Fully Open</i>	10
<i>Angel Valve, Fully Open</i>	2
<i>Gate Valve, Fully Open</i>	0,15
<i>Gate Valve, 1/4 Closed</i>	0,26
<i>Gate Valve, 1/2 Closed</i>	2,1
<i>Gate Valve, 3/4 Closed</i>	17
<i>Swing Check Valve, Forward Flow</i>	2

<i>Ball Valve, Fully Open</i>	0,05
<i>Ball Valve, 1/3 Closed</i>	5,5
<i>Ball Valve, 2/3 Closed</i>	200
<i>Diaphragm Valve, Open</i>	2,3
<i>Diaphragm Valve, Half Open</i>	4,3
<i>Diaphragm Valve, 1/4 Open</i>	21
<i>Water Meter</i>	7

(Sumber : *Practical Hydrolics For The Public Work Engineer*, 1968)

Perhitungan *head* minor dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$H_m = K \frac{V^2}{2g}$$

Keterangan :

K : Koefisien gesek

V : Kecepatan aliran (m/s)

g : Gravitasi (9,81 m/s²)

- d. *Head* total (*total head*) total energi yang harus diberikan pompa agar air dapat mengalir dari sumber ke titik tujuan

$$H_{\text{total}} = H_s + H_f + H_m$$

Keterangan :

H_s : *Head* statis (m)

H_f : *Head* gesek (m)

H_m : *Head* minor (m)

- e. Perhitungan Daya Hidrolik

$$N_h = 0,163 \times Q \times H \times \gamma$$

Keterangan :

N_h : Daya hidrolik (kW)

Q : Debit aliran pompa (m³/menit)

H : Total head pompa (m)

f. Perhitungan Daya Pompa

$$N_p = \frac{N_h}{\eta_p}$$

Keterangan :

N_p : Daya Pompa (kW)

N_h : Daya hidrolik (kW)

η_p : Efisiensi pompa (desimal)

Perencanaan parameter ini harus dilakukan secara cermat agar pompa bekerja pada titik operasi yang optimal. Selain perencanaan parameter, terdapat juga pemilihan konfigurasi pompa. Pemilihan tersebut dapat berupa pompa tunggal, pompa paralel, maupun sistem *duty-standby*, yang disesuaikan dengan tingkat kebutuhan dan keandalan sistem. Untuk fasilitas kritis seperti bandara, sistem pemompaan umumnya dirancang dengan prinsip keandalan tinggi (*high reliability*) dan dilengkapi dengan redundansi guna menjamin kontinuitas pelayanan apabila terjadi gangguan pada salah satu unit pompa. Redundansi dapat berupa pompa cadangan, sumber listrik cadangan, serta sistem pengamanan terhadap kegagalan mekanis dan elektrik. Sistem pemompaan air bersih bandara umumnya menggunakan konfigurasi pompa *duty-standby*, di mana satu pompa beroperasi sebagai pompa utama dan pompa lainnya berfungsi sebagai cadangan. Selain itu, pada kebutuhan debit besar, pompa dapat dioperasikan secara paralel untuk melayani beban puncak. Konfigurasi ini memungkinkan:

- a. Operasi berkelanjutan saat salah satu pompa mengalami gangguan.
- b. Pembagian beban kerja pompa sehingga umur peralatan lebih panjang.
- c. Fleksibilitas pengaturan debit sesuai kebutuhan aktual.

Pemilihan pompa harus mempertimbangkan parameter teknis utama, seperti debit, tinggi tekan total, serta efisiensi energi, guna mendukung operasional sistem yang efektif dan ekonomis. Selain itu, kinerja sistem pemompaan sangat berkaitan dengan desain jaringan pipa distribusi yang harus dirancang untuk meminimalkan kehilangan tekanan (*head loss*), sehingga tekanan air di setiap titik pemakaian tetap memenuhi standar operasional bandara. Kegagalan sistem pemompaan dapat berdampak langsung

terhadap operasional bandara, mulai dari terganggunya pelayanan penumpang hingga meningkatnya risiko terhadap sistem keselamatan.

6. Sistem Desentralisasi dan Sentralisasi Distribusi Air

Sistem desentralisasi dan sentralisasi distribusi air bersih merupakan dua pendekatan utama dalam perencanaan dan pengelolaan jaringan air bersih. Pemilihan sistem yang tepat sangat dipengaruhi oleh skala kawasan, karakteristik kebutuhan air, tingkat keandalan yang diharapkan, serta kemudahan operasional dan pemeliharaan. Pada kawasan dengan kompleksitas tinggi seperti bandar udara, pemahaman mendalam terhadap kedua sistem ini menjadi sangat penting sebagai dasar pengambilan keputusan teknis.

a. Sistem Desentralisasi Distribusi Air Bersih

Sistem desentralisasi distribusi air bersih merupakan sistem di mana penyediaan, penampungan, dan pendistribusian air bersih dilakukan secara terpisah pada masing-masing bangunan (Irfanto dkk., 2024). Dalam sistem ini, setiap bangunan umumnya memiliki *reservoir* dan sistem pemompaan tersendiri yang melayani jaringan distribusi internal secara independen. Pendekatan desentralisasi relatif mudah diterapkan pada tahap awal pembangunan gedung karena memberikan fleksibilitas dalam perancangan dan memungkinkan setiap bangunan disesuaikan dengan kebutuhan spesifiknya.

Sistem desentralisasi banyak diterapkan pada kawasan yang berkembang secara bertahap, bangunan tunggal, atau area dengan kebutuhan air yang relatif kecil dan homogen. Namun, dalam penerapannya pada kawasan berskala besar dan terus berkembang seperti bandara, sistem ini cenderung menimbulkan berbagai keterbatasan. Keterbatasan tersebut meliputi tidak efisiensinya kapasitas penampungan akibat perancangan *reservoir* berdasarkan kebutuhan maksimum masing-masing bangunan, terjadinya duplikasi infrastruktur berupa banyaknya *reservoir* dan pompa, serta meningkatnya

kompleksitas operasional dan pemeliharaan karena pengelolaan sistem dilakukan di banyak titik yang terpisah.

Selain itu, pengoperasian banyak unit pompa secara bersamaan juga berdampak pada konsumsi energi yang lebih tinggi. Pada kondisi tertentu, sistem ini menyulitkan pengendalian kebocoran serta pemantauan konsumsi air secara menyeluruh, sehingga kurang optimal dalam mendukung efisiensi operasional dan pengelolaan infrastruktur pada kawasan bandara.

b. Sistem Sentralisasi Distribusi Air Bersih

Sentralisasi distribusi air bersih merupakan suatu pendekatan perencanaan dengan mengintegrasikan beberapa sistem distribusi air yang sebelumnya terpisah menjadi satu sistem induk yang terpusat (Putra dkk., 2020). Dalam sistem ini, seluruh proses penyediaan, penampungan, dan pendistribusian air bersih dilakukan melalui satu atau beberapa *reservoir* induk yang dilengkapi dengan sistem pemompaan terpusat dan jaringan distribusi utama yang terintegrasi. Konsep sentralisasi bertujuan untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan infrastruktur, mengurangi duplikasi penggunaan *reservoir*, mengurangi duplikasi penggunaan pompa, dan mempermudah pengendalian serta pemeliharaan sistem.

Pada kawasan bandara, penerapan sistem sentralisasi distribusi air bersih dinilai lebih efektif karena mampu melayani berbagai fasilitas dengan karakteristik dan pola kebutuhan air yang berbeda dalam satu sistem terintegrasi. Dalam sistem sentralisasi, kebutuhan air seluruh kawasan dihitung secara total sehingga kapasitas *reservoir* dan sistem pemompaan dapat dioptimalkan. Air dari *reservoir* induk kemudian didistribusikan melalui jaringan pipa utama menuju bangunan dan fasilitas sesuai dengan kebutuhan debit dan tekanan yang telah direncanakan. Pendekatan ini memberikan sejumlah keunggulan, antara

lain optimalisasi kapasitas *reservoir*, pengurangan duplikasi peralatan, kemudahan pengendalian dan pemeliharaan, distribusi tekanan air yang lebih stabil dan merata, serta peningkatan efisiensi energi melalui pengaturan operasi pompa secara terkoordinasi.

Meskipun memiliki banyak keunggulan, sistem sentralisasi distribusi air bersih memerlukan perencanaan yang matang agar dapat beroperasi secara andal. Aspek-aspek penting yang perlu diperhatikan meliputi perencanaan kapasitas *reservoir* induk dan sistem pompa dengan mempertimbangkan pertumbuhan kebutuhan yang akan datang, perancangan jaringan pipa utama yang andal dan memiliki tingkat redundansi yang memadai, pengaturan zonasi tekanan untuk melayani bangunan dengan perbedaan elevasi, serta penyediaan sistem cadangan dan pengamanan guna menjamin kontinuitas pelayanan. Selain itu, sistem sentralisasi relatif lebih mudah dikembangkan dan diintegrasikan dengan sistem monitoring modern, sehingga sejalan dengan prinsip efisiensi energi, konservasi air, dan penerapan konsep *Green Airport*.

Secara konseptual, sistem desentralisasi lebih sesuai untuk kawasan berskala kecil dengan kebutuhan air yang relatif sederhana. Sebaliknya, sistem sentralisasi lebih tepat diterapkan pada kawasan berskala besar, beroperasi terus-menerus, dan membutuhkan tingkat keandalan tinggi seperti bandara. Dalam konteks Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali, sistem desentralisasi yang berkembang seiring penambahan fasilitas menyebabkan terjadinya duplikasi infrastruktur dan peningkatan beban operasional. Oleh karena itu, pendekatan sentralisasi dinilai lebih efektif untuk meningkatkan efisiensi, keandalan, dan kemudahan pengelolaan sistem distribusi air bersih.

7. Konsep *Green Airport* pada Sistem Utilitas

Konsep *Green Airport* merupakan konsep pengelolaan bandara yang menekankan prinsip keberlanjutan (*sustainability*), efisiensi penggunaan

sumber daya, serta pengurangan dampak lingkungan tanpa mengurangi aspek keselamatan dan kualitas pelayanan operasional. Penerapan konsep ini dilakukan secara menyeluruh pada tahap perencanaan, pembangunan, dan pengoperasian fasilitas bandara, termasuk pada sistem fasilitas penunjang. *Green Airport* tidak hanya berfokus pada pengurangan emisi karbon dari aktivitas penerbangan, tetapi juga mencakup pengelolaan energi, air, limbah, serta optimalisasi infrastruktur pendukung yang ada di bandar udara (Suryan dkk., 2024).

Penerapan konsep *Green Airport* pada sistem fasilitas penunjang didasarkan pada beberapa prinsip utama, yaitu efisiensi penggunaan energi dan air, optimalisasi infrastruktur dengan mengurangi duplikasi sistem dan peralatan, keandalan serta keselamatan operasional, pengendalian dan pemantauan berkelanjutan, serta keberlanjutan jangka panjang dengan mempertimbangkan kebutuhan masa depan dan dampak lingkungan. Prinsip-prinsip tersebut menjadi landasan dalam perencanaan dan pengoperasian seluruh sistem pendukung bandara agar tetap efisien dan ramah lingkungan.

Pada sistem penyediaan dan distribusi air bersih, konsep *Green Airport* diterapkan melalui perencanaan sistem yang terintegrasi, penggunaan peralatan yang efisien, serta pengendalian operasional yang optimal. Salah satu bentuk penerapan yang relevan adalah sentralisasi sistem distribusi air bersih, yang memungkinkan optimalisasi kapasitas *reservoir* dan sistem pemompaan. Dengan sistem terpusat, jumlah pompa dan tangki dapat dikurangi sehingga konsumsi energi, kebutuhan perawatan, serta potensi kehilangan air dapat ditekan. Selain itu, pengaturan tekanan dan debit yang lebih stabil pada sistem sentralisasi berkontribusi langsung terhadap konservasi sumber daya air melalui pengurangan kebocoran jaringan.

Sistem pemompaan merupakan salah satu komponen dengan konsumsi energi terbesar dalam fasilitas penunjang bandara, sehingga optimalisasi

sistem pompa menjadi langkah penting dalam penerapan *Green Airport*. Efisiensi energi dapat dicapai melalui pemilihan pompa dengan efisiensi tinggi, konfigurasi operasi yang tepat, serta penerapan sistem pengendalian otomatis berbasis kebutuhan aktual. Penggunaan sistem pemompaan terpusat memungkinkan pengaturan operasi pompa secara terkoordinasi, sehingga pengoperasian pompa yang tidak diperlukan dapat dihindari dan konsumsi energi listrik serta biaya operasional dapat ditekan.

Selain aspek energi, konsep *Green Airport* juga menekankan pentingnya pengelolaan air secara berkelanjutan melalui pengendalian kebocoran jaringan, pemantauan konsumsi air, dan evaluasi kinerja sistem distribusi. Sistem terpusat memudahkan proses pemantauan dan pengendalian tersebut secara lebih akurat dan terukur. Pengelolaan air yang baik tidak hanya mengurangi pemborosan sumber daya, tetapi juga meningkatkan keandalan sistem dan memperpanjang umur infrastruktur distribusi air bersih.

Penerapan konsep *Green Airport* pada sistem fasilitas penunjang harus terintegrasi dengan operasional bandara secara keseluruhan. Sistem penyediaan dan distribusi air bersih yang efisien dan andal akan mendukung kelancaran pelayanan penumpang serta operasional penerbangan. Dengan demikian, penerapan konsep *Green Airport* pada sistem air bersih tidak hanya memberikan manfaat lingkungan, tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional, menurunkan biaya jangka panjang, dan mendukung keberlanjutan pengelolaan bandara.

8. Regulasi dan Standar yang Berlaku

Perencanaan serta pengoperasian sistem penyediaan dan distribusi air bersih mengacu pada SNI 8153:2025 tentang Sistem Plambing pada Bangunan Gedung, dan (DPU Dirjen Cipta Karya, 2000) tentang Petunjuk Teknis Air Bersih, standar tersebut menjadi landasan teknis dalam mengatur perencanaan dan pemasangan sistem distribusi air bersih pada bangunan. Dalam penelitian mengenai analisis sentralisasi sistem distribusi air bersih

pada fasilitas sisi selatan Bandara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali, standar ini digunakan sebagai acuan untuk menilai kesesuaian sistem eksisting yang masih bersifat desentralisasi, di mana setiap bangunan dilayani oleh sistem pemompaan dan penampungan tersendiri.

Dengan penerapan sistem penyediaan dan distribusi air bersih yang terencana dan terintegrasi, bandara dapat menjamin ketersediaan air bersih secara andal, efisien, dan berkelanjutan guna mendukung keselamatan, kelancaran operasional, serta penerapan konsep *Green Airport*.

B. Penelitian Yang Relevan

Dalam proses perencanaan dan penyusunan penelitian, penulis melakukan kajian literatur terhadap penelitian-penelitian sebelumnya yang relevan sebagai bahan pertimbangan dan pembanding. Kajian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kesenjangan antara kondisi eksisting sistem distribusi air bersih pada fasilitas sisi selatan Bandar Udara Internasional I Gusti Ngurah Rai Bali dengan konsep sistem distribusi air bersih yang ideal, sehingga dapat menjadi dasar dalam merumuskan permasalahan dan arah penelitian yang dilakukan, penelitian tersebut antara lain:

Tabel II. 6 Penelitian yang Relevan

No	Judul, Peneliti, Tahun	Persamaan	Perbedaan
1.	Perencanaan Jaringan Distribusi Air Bersih di Kecamatan Munjungan Kabupaten Trenggalek Provinsi Jawa Timur (Putri dkk., 2025)	Membahas perencanaan sistem distribusi air bersih dan menggunakan analisis hidrolika sebagai dasar perhitungan	Penelitian ini tidak membahas efisiensi operasional dan tidak mengkaji sistem sentralisasi

2.	Kajian Sistem Penyediaan Air Bersih Pada Masyarakat Halong Atas Kecamatan Baguala Kota Ambon (Jusuf dkk., 2024)	Menganalisis kebutuhan, ketersediaan, dan kinerja sistem distribusi air bersih	Berfokus pada kapasitas distribusi dan proyeksi mendatang tanpa membahas efisiensi operasional dan sistem sentralisasi
3.	Pembuatan Saluran Distribusi Air Bersih di Desa Wangunjaya, Cugenang (Irfanto dkk., 2024)	Membahas pembuatan sistem saluran distribusi air bersih dengan sistem penyaluran kolektif	Penelitian ini berfokus pada pembangunan dan penyediaan sistem distribusi air bersih skala permukiman
4.	Analisis Efisiensi Jaringan Distribusi Air Bersih PDAM Kota Malang serta Perencanaan Jaringan Distribusi Baru (Ramadhani dkk., 2024)	Membahas efisiensi jaringan distribusi air bersih PDAM serta perencanaan jaringan distribusi	Penelitian ini belum membahas integrasi sistem air bersih dengan konsep keberlanjutan
5.	Perencanaan Distribusi Air Sumur Bor Kecamatan Cibatuh (Rosidin & Permana, 2024)	Menggunakan analisis hidrolika dan membahas sistem distribusi air bersih	Penelitian ini berfokus pada aspek teknis perencanaan dan evaluasi jaringan distribusi
6.	Perencanaan Jaringan Pipa Transmisi dan Distribusi Air Bersih Kecamatan Gedangan Kabupaten Sidoarjo Jawa Timur (Amin dkk., 2023)	Membahas perencanaan jaringan pipa transmisi dan distribusi air bersih	Penelitian ini tidak mengkaji efisiensi operasional dan tidak membahas sistem sentralisasi

7.	Perencanaan Sistem Penampungan Mata Air dan Sistem Pemompaan Transmisi Air Bersih di Komplek Pesantren Bayt Al-Quds Soreang (Ridwan dkk., 2022)	Membahas perencanaan sistem pemompaan dan kapasitas <i>reservoir</i> dalam distribusi air bersih	Penelitian ini fokus pada aspek perencanaan sistem pemompaan dan transmisi air bersih dari sumber ke <i>reservoir</i>
8.	Perencanaan Sistem Jaringan Distribusi Air Bersih (Studi Kasus Desa Panca Agung Kabupaten Bulungan) (Singal & Jamal, 2022)	Melakukan penelitian terkait kebutuhan air serta perencanaan sistem jaringan distribusi air bersih	Menitikberatkan pada analisis kapasitas layanan distribusi tanpa membahas efisiensi energi dan integrasi sistem secara terpusat
9.	Perencanaan Jaringan Pipa Transmisi Dan Distribusi Air Bersih Kecamatan Tugu Kabupaten Trenggalek (Noor dkk., 2022)	Membahas kebutuhan air dan perencanaan jaringan pipa transmisi serta distribusi air bersih	Penelitian ini hanya berfokus pada jaringan perpipaan serta perhitungan ulang kebutuhan air
10.	Penyediaan Air Bersih Sistem Kolektif: Analisis Kebutuhan Air Bersih Domestik pada Perumahan Klaster (Putra dkk., 2020)	Menganalisis kebutuhan air bersih dan kinerja sistem penyediaan air bersih kolektif	Penelitian ini tidak membahas sistem sentralisasi secara terintegrasi dan hanya pada skala perumahan

(Sumber : Penulis, 2026)