

Desain dan Spesifikasi Pompa untuk Distribusi Air di Pelabuhan Teluk Bayur

Ir. Benny Dwika Leonanda, ST.,MT., IPM. ASEAN Eng.

Program Studi Program Profesi Insinyur, Sekolah Pascasarjanas, Universitas Andalas,
Kampus Unand Limau Manis, Padang, 25163, Indonesia
Email: benny@eng.unand.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini membahas perancangan sistem pemipaan untuk distribusi air di Pelabuhan Teluk Bayur Padang, dengan fokus pada pemilihan dan perhitungan daya pompa yang diperlukan. Analisis melibatkan faktor-faktor seperti rugi-rugi aliran, keandalan sistem, keamanan, dan efisiensi operasional. Faktor keamanan diterapkan dalam perencanaan untuk memastikan kontinuitas operasional, dengan pemilihan tiga pompa di rumah pompa, di mana dua pompa dioperasikan secara bersamaan dan satu sebagai cadangan. Pemilihan pompa dilakukan dengan mempertimbangkan perhitungan daya dan faktor keamanan, namun harus disesuaikan dengan ketersediaan pompa yang sesuai. Hasil akhir, sistem ini memerlukan pompa dengan daya sekitar 1 kW, dengan tiga pompa dipasang untuk setiap instalasi untuk memastikan ketahanan dan kontinuitas operasional.

Kata kunci: *Multi Outlet*, Rugi Aliran, Faktor Keamanan, Pemilihan Pompa

1. Pendahuluan

1.1 Pelabuhan Teluk Bayur

Pelabuhan Teluk Bayur dibangun pada tahun 1890 setelah ditemukannya ladang batubara sekitar 40 mil dari pantai Sumatera Barat. Lokasi pelabuhan dipilih di timur laut Teluk Bungus, yang berjarak 8 km dari Kota Padang, dan diberi nama "Emma-haven" untuk menghormati nenek Ratu yang bernama Emma dari Belanda. Pada masanya, pelabuhan ini merupakan satu-satunya pelabuhan terlindung di pantai barat Sumatera sepanjang seribu mil laut, sehingga memberikan kehidupan baru bagi kota kuno Padang. Emmahaven memiliki kepentingan komersial dan industri yang signifikan dan segera menjalankan pelayaran reguler. Selain Perusahaan Pelayaran Antar Pulau (KPM), kapal dari Belanda, Jerman, Inggris, dan Jepang juga beroperasi di Emmahaven. Hingga tahun 1924, ketika Pelabuhan Belawan-Deli di Sumatera Timur mengambil alih peran utama karena perkembangan perkebunan tembakau dan karet, Emmahaven adalah salah satu dari lima pelabuhan terbesar di Hindia Belanda yang melakukan ekspor selain semen, produk-produk asli yang dikemas ulang menjadi karet, kopi, kopra, kayu manis, cengkeh, dan teh. Setahun sebelum pendudukan Jepang, sebanyak 450 kapal dengan volume satu juta ton beroperasi di Emmahaven. Pada tahun 1949, 150 kapal dengan volume 300.000 ton tiba di pelabuhan ini (CIA, 1951).

Saat ini pelabuhan Teluk Bayur dikelola oleh PT Pelabuhan Indonesia Persero. Pelabuhan Teluk Bayur merupakan pelabuhan kelas I yang memberikan pelayanan pandu dan tunda, pelayanan petikemas, pelayanan curah cair, pelayanan curah kering, dan pelayanan berbagai keperluan lainnya (*multipurpose*). Sebagai sebuah pelabuhan, pelabuhan Teluk Bayur memiliki fasilitas yang memadai sebagai pelabuhan umum antara lain kolam pelabuhan 30,89 Ha, dan area darat 544 Ha. Lahan tersebut diisi dengan dermaga 1.565 m, gudang Penumpukan 18.401 m², fasilitas batu bara 10,77 Ha, fasilitas semen 11 unit (88.000 ton), fasilitas Pupuk 9.500 ton, fasilitas Minyak Sawit 15 unit (22.600 ton), dan Area Terminal Penumpang untuk 2000 orang (Wikipedia, 2024).



Gambar 1. Pelabuhan Teluk Bayur

Fasilitas persediaan air pada saat awal dibangun tersedia dengan kecepatan 25 ton per jam (416 liter per menit). Mengingat lokasi pelabuhan teluk bayur jauh dari sungai tentu air diperoleh dari mata air disekitar kaki bukit di sekeliling Teluk Bayur. Namun kondisi demikian tidak dimungkinkan lagi, karena berbagai fasilitas alam tidak lagi tersedia, dan lingkungan sudah dipenuhi oleh penduduk. Sehingga untuk persediaan air pelabuhan di suplai oleh PDAM. Air yang diperoleh dari PDAM disimpan melalui tangki tandon yang berjumlah 6 buah dengan kapasitas 1500 liter per unit dan saat sekarang disuplai 166 liter per menit di kali dua dengan menggunakan pompa air.

1.2 Pompa Air dan Sistem Pemipaan

Pompa adalah alat yang memindahkan cairan dengan aksi mekanis, dari satu tempat ke tempat lain. (M Volk, 2013). Penggunaan pompa biasanya digunakan untuk mendistribusikan dan mengumpulkan cairan dan memiliki aplikasi di berbagai bidang teknik, terutama untuk kebutuhan penyediaan air. (B. Coelho, 2014). Ketika air mengalir di dalam pipa sering kali terdapat variasi debit dari saluran keluar pipa akibat dari kerugian yang terjadi sepanjang pipa. (A. Freire. 2014). Hal tersebut mungkin saja akibat gesekan pipa, adanya percabangan, belokan, katup, dan instrumen lain yang dipasang di sepanjang saluran. Kondisi saluran pipa tersebut menentukan variasi kecepatan dan debit yang mengalir di dalam pipa (Wissam, 2019).

Variasi aliran di dalam pipa dapat ditentukan melalui prosedur analisis yang mempertimbangkan aliran keluar dari pipa, menggunakan analisis hidrolis dan desain pipa dengan banyak muara (Huan, 2015). Persamaan Bernoulli yang dimodifikasi digunakan dengan mempertimbangkan penurunan gesekan rata-rata untuk memperkirakan konsep aliran keluar yang diasumsikan sama. Untuk menentukan kerugian *head* gesekan, digunakan rumus Darcy-Weisbach dan juga mempertimbangkan kerugian *head* minor (John, 2005). Pipa yang panjang dengan banyak belokan dan berbagai instrumen yang dipasang akan meningkatkan kerugian gesekan (R. A. Ibrahim, 2011). Teknik analitis sederhana dalam menghitung gesekan pipa mudah diadaptasi untuk desain sistem pemipaan dengan berbagai jenis pipa berdiameter berbeda, dan rezim aliran seragam. (Gürol, 2007). Teknik ini lebih praktis dan tidak

memerlukan waktu lama dalam perhitungan. Artikel ini mengungkapkan prosedur perhitungan rugi-rugi sepanjang saluran, debit atau laju aliran untuk setiap percabangan, dan penentuan jenis pompa yang akan digunakan untuk sistem pemipaan ini.

1.3 Tujuan dan pembatasan penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membahas distribusi air ke dalam tandon di Pelabuhan Teluk Bayur Padang khususnya pemilihan pompa yang akan digunakan untuk fasilitas penyediaan air bersih di lingkungan Pelabuhan Teluk Bayur. Kebutuhan ini tidak hanya diperlukan untuk menyuplai kebutuhan air di perkantoran yang ada di Teluk Bayur tetapi juga untuk pengisian ulang air ke kapal-kapal yang bersandar di pelabuhan, kebutuhan kru kapal, pembersihan kapal, dan pemeliharaan peralatan Pelabuhan. Mengingat volume air yang besar dan fluktuasi permintaan, tandon dengan kapasitas besar menjadi esensial untuk memastikan kelancaran operasi Pelabuhan. Keberadaan tandon di pelabuhan berperan penting dalam menjaga efisiensi dan kontinuitas pelayanan dengan ditempatkan di lokasi strategis untuk memudahkan distribusi air ke berbagai titik, hal ini mengurangi waktu pengisian ulang air di kapal dan meminimalkan gangguan dalam operasi pelabuhan; selain itu, tandon berfungsi sebagai cadangan air dalam situasi darurat, seperti pertolongan pertama saat terjadi kebakaran atau kerusakan sistem distribusi air utama, sehingga memastikan pelabuhan selalu memiliki akses ke air bersih yang cukup untuk kebutuhan kritis.

Sebelumnya, sistem pemipaan dan distribusi air merupakan fasilitas lama yang perlu diperbarui sebagian, oleh karena itu, enam tandon telah dibangun baru, yang harus dilengkapi dengan pompa baru, namun tanpa mengubah sistem pemipaan yang lama. Namun perancangan dan pembuatan tandon dan instalasi pemipaan bukan bagian dari penelitian ini.

2. Metode Perhitungan

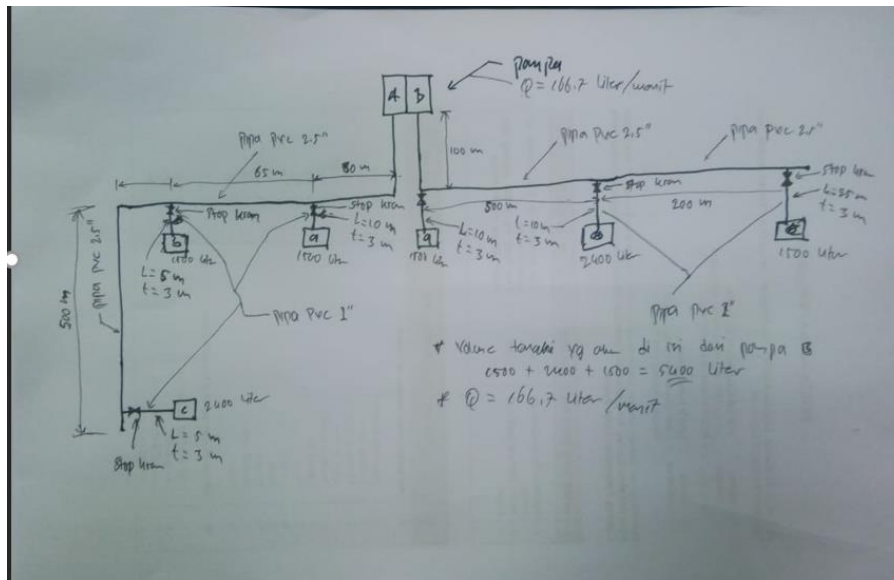
Sistem pemipaan pada instalasi suplai air di Teluk Bayur dilengkapi dengan tiga buah tangki penyimpanan, atau tandon. Terdapat dua unit instalasi dengan spesifikasi yang hampir sama, masing-masing memiliki tiga tandon. Dalam kalkulasi, kedua instalasi dihitung untuk memastikan kinerja yang optimal. Perbedaan antara keduanya, jika ada, kemungkinan terletak pada panjang pipa, yang dapat menghasilkan tekanan tambahan pada saluran air. Tandon berperan sebagai tempat penyimpanan air bersih dan biasanya ditempatkan di hampir setiap rumah atau bangunan di seluruh daerah. Air yang tersimpan dalam tandon digunakan kembali untuk berbagai keperluan. Ukuran tandon umumnya cukup besar, dan sering kali diletakkan di luar bangunan untuk memenuhi kebutuhan penyimpanan yang memadai.

2.1 Sketsa Sistem dan Data Desain

Daya pompa ditentukan oleh data desain yang merujuk pada informasi terkait proses perancangan produk atau proyek desain, meliputi gambar teknis, model 3D, sketsa, spesifikasi material, dan informasi lainnya. Informasi ini digunakan oleh desainer, insinyur, dan tim pengembangan untuk menciptakan atau memperbaiki desain serta berkomunikasi dengan pihak lain yang terlibat dalam produksi.

Dalam perancangan pompa untuk tandon air di Teluk Bayur, data desain yang diperlukan mencakup gambar sketsa instalasi pemipaan. Meskipun sebaiknya gambar tersebut dipindahkan ke gambar teknis untuk dokumentasi lebih lanjut, sketsa tersebut sudah cukup mewakili informasi yang dibutuhkan, termasuk dimensi dan instrumen dalam sistem pemipaan. Meskipun demikian, hal ini diperlukan untuk memastikan efisiensi pelaksanaan pekerjaan di lapangan.

Selain itu, tandon di pelabuhan memiliki peran penting dalam menjaga efisiensi dan kontinuitas pelayanan. Penempatan tandon di lokasi strategis di sekitar pelabuhan memudahkan distribusi air ke berbagai titik yang membutuhkan, mengurangi waktu yang dibutuhkan untuk pengisian ulang air di kapal, dan meminimalkan gangguan dalam operasi pelabuhan. Tandon juga berfungsi sebagai cadangan air dalam situasi darurat, seperti kebakaran atau kerusakan pada sistem distribusi air utama, untuk memastikan bahwa pelabuhan selalu memiliki akses ke air bersih yang cukup untuk segala kebutuhan kritis.



Gambar 2. Sketsa sistem pemipaan (dibuat dengan tangan)

Data sistem pemipaan instalasi tandon air di Pelabuhan Teluk Bayur dapat dilihat pada Tabel 1. Dalam data tersebut tercatat tentang debit, head isap, head tekan atau tinggi reservoir, densitas air (asumsi), dan viskositas air. Data ini mencukupi untuk perhitungan awal untuk penentuan daya pompa.

Tabel 1. Data sistem pemipaan instalasi tandon air di Pelabuhan Teluk Bayur

Besaran	Ukuran	Satuan
Debit	166,7	ltr/min
Head Isap (PDAM)	2	m
Head Tekan (Dischard), tinggi reservoir	2,74	m
Densitas air	1000	kg/m ³
Viskositas air	0,00089	Pa.s

2.2 Kondisi Pemipaan Sesi

Pembagian sesi dalam sistem pemipaan dapat bervariasi tergantung pada jenis sistem yang digunakan. Sesi pipa dalam sistem pemipaan merujuk pada segmen atau bagian-bagian tertentu dari jaringan pipa yang membentuk sistem tersebut, yang masing-masing memiliki fungsi atau peran tertentu dalam mengalirkan fluida seperti air. Dalam sistem pemipaan air, pembagian sesi umumnya mencakup bagian inlet atau sumber, yang merupakan titik awal atau sumber masukan dalam sistem. Dalam desain tertentu, sesi inlet terdiri dari pipa PDAM. Selanjutnya, sesi distribusi bertanggung jawab untuk membagikan air ke berbagai titik penggunaan. Dalam

desain ini, air didistribusikan ke tiga tandon dengan menggunakan jaringan utama yang menghubungkan sumber air ke tempat penampungan akhir. Jarak sistem pipa pada masing-masing tandon dapat dilihat pada Tabel 2.

Tidak ada sistem penyaringan dalam sistem pemipaan ini karena air yang didistribusikan telah melewati perawatan dan pemeliharaan di instalasi PDAM sehingga layak dikonsumsi dan digunakan untuk berbagai keperluan. Pemompaan menjadi bagian krusial dalam sistem ini, di mana pompa digunakan untuk menciptakan tekanan yang diperlukan agar air dapat mengalir ke tempat penyimpanan akhir. Uraian dalam tulisan ini mencakup perhitungan yang diperlukan untuk menentukan *head* dan spesifikasi pompa yang dibutuhkan. Pada akhirnya, sistem pemipaan ini mencakup tandon air sebagai tempat penyimpanan akhir, yang memiliki spesifikasi khusus untuk memenuhi kebutuhan akhir penggunaan air.

Tabel 2. Kondisi pemipaan sesi

Sesi	Panjang (m)		Diameter (m)
Sesi 1	180	100	0,05
Sesi 2	65	500	0,05
Sesi 3	500	200	0,05

Pembagian sesi pipa dalam sistem pemipaan berperan penting dalam perencanaan, perancangan, dan instalasi yang efisien serta sesuai dengan kebutuhan penggunaan fluida di suatu bangunan atau wilayah. Setiap sesi pipa memiliki karakteristik dan persyaratan teknis yang berbeda, bergantung pada fungsinya dalam sistem pemipaan.

2.3 Berbagai Perhitungan yang Digunakan di Dalam Perancangan

2.3.1 Data desain sistem pemipaan

Hal pertama yang ditetapkan dalam desain adalah menentukan daya berdasarkan debit yang diasumsikan, *head* isap, dan *head* tekan sesuai dengan kondisi lapangan, serta data densitas dan viskositas air. Tabel 3 memuat pengukuran dan asumsi yang digunakan untuk menentukan daya yang dibutuhkan dalam sistem, mencakup parameter-parameter kunci tersebut.

Tabel 3. Data desain sistem pemipaan

Besaran	Instalasi A	Instalasi B	Satuan
Debit	166,7	166,7	ltr/min
Head Isap (PDAM)	2	2	m
Head Tekan (Dischard), tinggi reservoir	2,74	2,74	m
Densitas air	1000	1000	kg/m ³
Viskositas air	0,00089	0,00089	Pa. s

2.3.2 Kondisi sistem pemipaan

Tabel 4 menjelaskan kondisi pipa yang terkait dengan panjang dan diameter pipa yang ditentukan menuju tiga reservoir. Informasi ini mencakup detail spesifik mengenai parameter pipa yang digunakan dalam desain sistem distribusi air, yang penting untuk memastikan efisiensi dan kinerja optimal.

Tabel 4. Kondisi aliran pipa sebelum percabangan

Besaran	Instalasi A		Instalasi B		Satuan
	Panjang pipa	Diameter pipa	Panjang Pipa	Diameter Pipa	
Sesi I	180	0,05	100	0,05	m
Sesi II	65	0,05	500	0,05	m
Sesi III	500	0,05	200	0,05	m

Dalam penentuan debit dan kecepatan aliran yang masuk ke dalam tandon, asumsi dasar yang digunakan adalah bahwa total debit aliran (Q_{total}) dapat dihitung sebagai jumlah dari tiga debit aliran individu (Q_1 , Q_2 , dan Q_3), yaitu:

$$Q_{total} = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (1)$$

Selain itu, Q_{total} dapat dihitung dengan menggunakan prinsip bahwa kecepatan aliran (V_1) pada area penampang saluran (A_1) adalah faktor penting dalam menentukan debit aliran (Q_1) pada saluran tersebut. Oleh karena itu, hubungan antara debit (Q_1) dan kecepatan aliran (V_1) dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$Q_1 = A_1 \times V_1 \quad (2)$$

Pada sesi 1 sebelum percabangan pertama, kecepatan aliran Q_{total} merupakan hasil penjumlahan dari seperti pernyataan pada pers. 1. Dan kecepatan aliran pada sesi 1 (sebelum percabangan pertama), kecepatan pada sesi I, V_1

$$V_1 = \frac{Q_{total}}{A_{total}} = 1,4517 \text{ m/s} \quad (3)$$

Kecepatan aliran untuk masing-masing cabang dengan menggunakan pipa setengah dari pipa pertama, $D_{cabang} = 0,025$ m, maka luas penampang pipa cabang adalah:

$$A_1 = \pi \times \frac{D^2}{4} = 0,000491 \text{ m}^2 \quad (4)$$

Dan kecepatan pada pipa cabang dengan diameter 1 inci atau 25,4 mm:

Tabel 5. Aliran pada pipa setelah percabangan

Pipa	Instalasi A		Instalasi B	
	Kecepatan	Satuan	Kecepatan	Satuan
Sesi 1	1,887615	m/s	1,887615	m/s
Sesi 2	1,887615	m/s	1,887615	m/s
Sesi 3	1,887615	m/s	1,887615	m/s

Dalam hal ini diasumsikan bahwa setiap cabang menerima pasokan dari pipa utama pada posisi dan tekanan yang sama. Sesuai dengan persamaan kontinuitas, setiap cabang pipa paralel menerima aliran yang sama. Seperti sebelumnya disebutkan, debit aliran pada Sesi 1 sebelum percabangan pertama adalah $Q_1=Q_{total}=0,002778 \text{ m}^3/\text{s}$, dan kecepatan $V_1= 1,415711 \text{ m/s}$, sehingga bilangan Reynold pada cabang instalasi A dapat dihitung dengan rumus:

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} = 79.534,34 \quad (5)$$

Dan faktor gesek pipa dapat diperoleh pada diagram Moody dengan menyatakan bahwa pipa adalah pipa baja dengan rasio kekasaran permukaan dengan diameter untuk pipa baja komersial dan diameter 2" (5 cm), ϵ/d sebesar 0,00157, maka faktor gesek $f= 0,017$. Dengan menggunakan percamaan Darcy-Weisbach (Gürol, 2007)

$$h_{loss} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

Secara umum, rugi-rugi aliran untuk pipa utama sebelum percabangan dari masing-masing cabang dapat diperoleh melalui perhitungan dan disimpulkan dalam tabel berikut:

Tabel 6. Rugi-rugi aliran pada pipa utama

Besaran	Instalasi 1	Instalasi 2	Satuan
Bilangan Reynold	79534,34	79534,34	
Faktor Gesek	0,017	0,017	
H_{loss}	6,251753	3,473196	m

Sementara rugi-rugi aliran hingga percabangan termasuk rugi-rugi minor di percabangan dihitung dengan asumsi satu elbow, $K=0,03$, dengan total rugi sebesar 0,030646 m. Asumsinya adalah bahwa rugi-rugi antara pipa instalasi A dan B dianggap sama.

Tabel 7. Rugi-rugi lairan setelah cabang, dengan masing-masing tiga keluaran sebelum menuju tandon.

Besaran	Instalasi 1			Instalasi 2			Satuan
	Cabang 1	Cabang 2	Cabang 3	Cabang 1	Cabang 2	Cabang 3	
Bilangan Reynold	53022,89	53022,89	26511,45	79534,34	53022,89	26511,45	
Faktor Gesek	0,018	0,018	0,024	0,017	0,018	0,024	
H_{loss}	6,251753	1,062389	2,724075	3,473196	8,172226	1,08963	m
H minor	0,030646	0,036321	0,005675	0,030646	0,036321	0,005675	m
H loss total	6,282399	1,062389	2,72975	3,503842	8,172226	1,095305	m

2.3.3 Rugi-rugi aliran di setiap percabangan untuk setiap tandon.

Rugi-rugi aliran di setiap percabangan untuk setiap tandon dapat dilihat pada Tabel 8. Perhitungan dilakukan untuk setiap percabangan.

Tabel 8. Rugi-rugi aliran di setiap percabangan untuk setiap tandon.

Pipa	Panjang Pipa Instalasi A	Panjang Pipa Instalasi B	Satuan
Tandon 1	10	10	m
Tandon 2	5	5	m
Tandon 3	5	5	m

Dan kecepatan aliran untuk setiap cabang adalah sebesar 1,887615 m/s, dengan asumsi tekanan awal sama untuk setiap percabangan. Meskipun tekanan terdistribusi sama sepanjang pipa

utama. Dengan menggunakan data densitas 1000 kg/m^3 , viskositas $0,00089 \text{ Pa.s}$, dan diameter $0,0254 \text{ m}$, rugi aliran untuk setiap cabang dapat dilihat dalam Tabel 9.

Tabel 9. Rugi-rugi aliran untuk masing-masing cabang

Besaran	Instalasi A			Instalasi B			Satuan
	Tandon 1	Tandon 2	Tandon 3	Tandon 1	Tandon 2	Tandon 3	
Reynolds	53022,89	53022,89	53022,89	53022,89	53022,89	53022,89	
Faktor gesek	0,017	0,018	0,02	0,02	0,02	0,025	
H _{loss}	1,45284	0,72642	0,908025	1,45284	0,72642	0,908025	m
K _{total}	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	
H _{minor}	0,208846	0,208846	0,208846	0,208846	0,208846	0,208846	m
H _{totloss}	1,661686	0,935266	1,116871	1,661686	0,935266	1,116871	m

2.4 Rugi-rugi Aliran Keseluruhan Sistem Pemipaan

Head total ditentukan dengan menjumlahkan keseluruhan head yang ada, dari head isap (suction), head tekan (dischard), dan head rugi aliran (head losses). Sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$H_{\text{total}} = H_{\text{suciton}} + H_{\text{losses}} \quad (7)$$

Sementara daya pompa dihitung dengan menghitung dengan memasukan faktor gravitasi, g , dan densitas, ρ , dan kapasitas, Q , terhadap head total, H_{total} . Jadi dapat dinyatakan dalam bentuk:

$$\text{Daya} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_{\text{total}} \quad (8)$$

Dengan tinggi discharge, tinggi tandon, $H_d = 3 \text{ m}$, dan tinggi isap pada PDAM, $H_{\text{suction}}=2 \text{ m}$, hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Perhitungan daya pompa pompa

Besaran	Instalasi A	Instalasi B	Satuan
H total	18,78836	21,4852	m
Debit total	0,002778	0,002778	m^3/s
Densitas (rho)	1000	1000	Kg/m^3
Gravitasi	9,81	9,81	m/s^2
Daya Pompa=	512,0852	585,5887	Watt

Terdapat dua pilihan daya pompa yaitu $512,08 \text{ Watt}$ dan $585,58 \text{ Watt}$. Untuk pilihan selanjutnya dilakukan dengan mempertimbangkan faktor pengali atau faktor keamanan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Faktor Keamanan (*Factor of Safety*)

Faktor keamanan (*Factor of Safety*/FoS) penting dalam rekayasa teknik untuk menjamin kekuatan struktur dan keandalan sistem teknik. Awalnya, FoS diberikan nilai 5 untuk kode bejana tekan ASME sebelum Perang Dunia II, kemudian dikurangi menjadi 4 pada tahun 1944 karena kekurangan baja saat perang, dan kembali ke nilai 5 setelah tahun 1951. Angka tersebut kemudian ditetapkan menjadi 4 hingga akhir tahun 1990, dan kemudian diubah menjadi 3.5 untuk ASME B31.1 dan ASME VIII Division I. (George, 2003).

Faktor keamanan tidak lepas dari hampir seluruh aplikasi teknik untuk berbagai kebutuhan. Bangunan menggunakan faktor keamanan 2,0 untuk setiap anggota struktur. Nilai untuk bangunan relatif rendah karena bebannya dipahami dengan baik dan sebagian besar struktur bersifat mubazir. Bejana tekan menggunakan 3,5 hingga 4,0, mobil menggunakan 3,0, dan pesawat terbang serta pesawat ruang angkasa menggunakan 1,2 hingga 4,0 tergantung pada aplikasi dan materialnya. Bahan logam yang ulet cenderung menggunakan nilai yang lebih rendah sedangkan bahan yang rapuh menggunakan nilai yang lebih tinggi bahkan mencapai 8 s/d 10. (Wikipedia,2024). Bidang teknik yang menggunakan faktor keamanan rendah pada umumnya membutuhkan perhatian yang serius terhadap kontrol kualitas yang ketat, dan jadwal pemeliharaan preventif.

3.2 Faktor Pengali Untuk Keandalan Sistem Pompa

Dalam penyediaan suplai air untuk berbagai keperluan faktor pengali atau faktor keamanan di dalam struktur dapat diterapkan untuk menjamin keandalan sistem pemompaan. Namun, faktor pengali yang digunakan dalam perancangan sistem pompa air tidak selalu sama seperti yang digunakan dalam rekayasa struktural. Faktor pengali dalam desain sistem pompa biasanya mempertimbangkan beberapa hal:

- Variasi Permintaan Air: Sistem pompa harus mampu menangani fluktuasi permintaan air berdasarkan waktu dan hari.
- Pertumbuhan Masa Depan: Desain sistem harus mempertimbangkan pertumbuhan populasi dan peningkatan penggunaan air di masa depan.
- Efisiensi Pompa dan Sistem: Sistem harus memiliki cadangan kapasitas untuk mengakomodasi variasi dalam efisiensi operasional pompa.
- Keandalan dan Redundansi: Sistem pompa harus memiliki redundansi untuk memastikan suplai air tidak terganggu.
- Keadaan Darurat dan Pemeliharaan: Sistem harus mampu menangani situasi darurat dan pemeliharaan tanpa gangguan signifikan.

Biasanya, faktor pengali atau faktor pengali yang digunakan dalam sistem pompa air berkisar antara 1.5 hingga 2.5 kali dari kapasitas desain, tergantung pada konteks dan kondisi spesifik. Berikut beberapa contoh penerapan faktor pengali untuk industri dan fasilitas penting biasanya menggunakan faktor pengali 1.5 s.d. 3 untuk memastikan keberlanjutan operasional dan mengatasi kebutuhan proses yang sangat variatif.

Dengan demikian pompa yang harus dipasang pada rumah pompa dipasang sebanyak 3 buah, dan dioperasikan sebanyak dua buah, dan satu lagi untuk kebutuhan perawatan sistem dan keperluan darurat. Dengan sendirinya untuk daya pompa yang harus dipasang:

Tabel 11. Daya terpasang pada pompa dan kelipatan daya pompa

Pompa	Daya desain	Faktor Pengali		
		1.5	2	3
Instalasi A	512,0852	768,1278	1024,17	1536,2556
Instalasi B	585,5887	878,3831	1171,177	1756,7661

Hal ini dicocokkan dengan desain rumah pompa dengan jumlah tiga pompa di pasang untuk masing-masing instalasi dengan menggunakan faktor pengali 1.5, maka diperoleh daya pompa untuk masing-masing jumlah pompa (kumulatif):

Tabel 12. Daya pompa dan daya terpasang keseluruhan pompa

Pompa	Daya desain	Jumlah Pompa		
		1	2	3
Instalasi A (Wat)	512,0852	768,1278	1.536,2556	2.304,3834
Instalasi B (Watt)	585,5887	878,3831	1.756,7661	2.635,1492

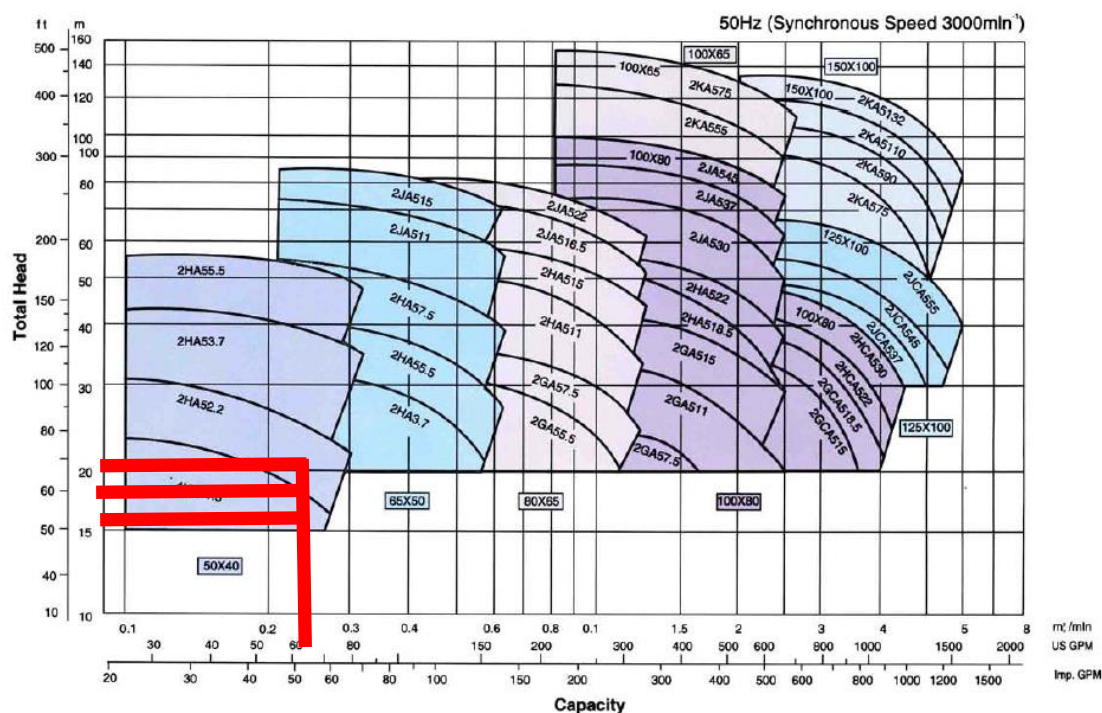
Sebagai akibatnya tentu saja jumlah debit masing-masing pompa akan mengubah debit total keseluruhan pompa, dengan *head* konstan untuk semua pompa sama dengan *head design*, $H=21,4852$ m.

Tabel 12. Debit aliran pada pompa

Satuan	Debit desain	Debit Jumlah Pompa		
		1	2	3
m ³ /s	0,00277833	0,004167	0,00555667	0,008335
Lt/min	166,699973	250.0227	333,399946	500,09992
GPM (US)	44,0374653	66,0562	88,0749306	132,1124

3.3 Pemilihan Pompa

Pemilihan pompa didasarkan perhitungan daya untuk pompa yang dipasang pada rumah pompa. Pilihan yang dilakukan adalah memilih satu pompa dengan skala faktor pengali 1,5 kali dari data desain, dan kemudian dipasang sebanyak tiga pompa pada rumah pompa dan di beroperasi dua pompa, dan satu pompa sebagai cadangan untuk perbaikan dan keadaan darurat. Hasil pemilihan tersebut dicocokkan ke kurva H-Q yang disediakan dari Gambar karakteristik pompa yang disediakan pabrik pompa. Pada gambar dapat dilihat Grafik Pompa.



Gambar 3. Kurva H-Q dari berbagai pompa produksi Erbara (Erbara)

Namun Ketika kita melakukan plot pada Grafik H-Q yang disediakan oleh pabrik (Gambar 3), tidak tersedia dengan *Head* yang dibutuhkan. Pada umumnya kita harus mengikuti ketersediaan untuk spesifikasi pompa yang ada di pabrik pompa. Pada Grafik tersebut kita bisa melihat pompa yang tersedia adalah pompa 2HA52.2. Dengan sendirinya *Head*, H menjadi berubah menjadi 80 kaki, atau 24 m, dan daya menjadi 981,196042 Watt, atau 1 kW untuk satu pompa atau 1,95 kali untuk pompa instalasi A dan 1,70 kali untuk pompa instalasi B

Jika dihitung debit yang diperoleh dari daya pompa 1 kw, diperoleh debit sebesar 0,0042645 m³/s, atau 15, 35 ton per jam. Jika dipakai 2 dan 3 pompa di rumah pompa maka perolehan air menjadi 30,70 dan 46,05 ton per jam. Dengan demikian jika ditilik dari desain awal pelabuhan Teluk Bayur pada zaman Belanda tahun 1890, di mana mereka memeriksa ketersediaan air untuk kebutuhan Pelabuhan Teluk Bayur yang pada saat itu adalah 25 ton per jam yang menjadi penunjang keputusan untuk membangun pelabuhan, maka ketersediaan air saat ini bisa mencapai 15, 35 s/d 46,05 ton per jam di kali dua rumah pompa sehingga ketersediaan air mencapai 30,7 s/d 90,1 ton per jam. Tentunya hal ini telah memenuhi syarat sesuai dengan kebutuhan saat ini, dan ini merupakan debit untuk satu rumah pompa.

4. Penutup

4.1 Kesimpulan

Faktor keamanan digunakan di hampir seluruh aplikasi teknik untuk menjamin kekuatan dan keandalan, dengan nilai yang bervariasi tergantung pada jenis struktur dan material, di mana bahan yang lebih rapuh membutuhkan faktor yang lebih tinggi dan aplikasi dengan faktor rendah memerlukan kontrol kualitas dan pemeliharaan yang ketat.

Dalam penyediaan suplai air, faktor pengali diterapkan untuk menjamin keandalan sistem pompa air dengan mempertimbangkan variasi permintaan, pertumbuhan masa depan, efisiensi, keandalan, dan keadaan darurat, umumnya berkisar antara 1,5 hingga 2,5 kali kapasitas desain. Untuk instalasi, biasanya digunakan tiga pompa, dengan dua beroperasi dan satu sebagai cadangan, untuk memastikan kontinuitas operasional dan pemeliharaan tanpa gangguan untuk satu rumah pompa.

Pemilihan pompa didasarkan pada perhitungan daya dengan faktor pengali 1,5 kali dari data desain, dan tiga pompa dipasang di rumah pompa, dioperasikan dua pompa, dan satu sebagai cadangan. Namun, ketika melakukan plot pada kurva H-Q dari pabrik Pompa, ditemukan bahwa pompa yang tersedia memiliki spesifikasi berbeda, sehingga *head* berubah menjadi 24 m dan daya menjadi 1 kW per pompa, dengan faktor pengali 1,95 untuk instalasi A dan 1,70 untuk instalasi B.

Jika ditilik dari desain awal pelabuhan Teluk Bayur pada zaman Belanda tahun 1890, di mana mereka memeriksa ketersediaan air untuk kebutuhan Pelabuhan Teluk Bayur yang pada saat itu adalah 25 ton per jam yang menjadi penunjang keputusan untuk membangun pelabuhan, maka ketersediaan air saat ini bisa mencapai 15, 35 s/d 46,05 ton per jam di kali satu rumah pompa sehingga ketersediaan air mencapai 30,7 s/d 92,1 ton per jam. Tentunya hal ini telah memenuhi syarat sesuai dengan kebutuhan saat ini, dan ini merupakan debit untuk satu rumah pompa.

4.2 Saran

Sehubungan dengan analisis yang tidak termasuk dalam perhitungan diameter pipa, terjadi peningkatan daya pompa sehingga instalasi pemipaan yang direncanakan sebelumnya tidak memadai untuk desain dan aplikasinya. Oleh karena itu, diameter pipa instalasi sistem pemipaan digandakan menjadi 4" (10 cm). Dengan demikian, saluran air meningkat menjadi 4 kali lipat

dari semula, dan sistem ini dijamin aman untuk pendistribusian air dengan daya pompa maksimum.

Ucapan Terima Kasih

Dengan segala hormat, saya menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Direktur Sekolah Pascasarjana Universitas Andalas atas dukungan finansial yang telah diberikan dalam proses publikasi penelitian ini. Bantuan tersebut sangat berarti bagi kelancaran dan kesuksesan penelitian ini. Terima kasih atas komitmen dan kontribusi yang luar biasa dalam mendukung kemajuan ilmu pengetahuan dan penelitian di Universitas Andalas.

Daftar Pustaka

- Central Intelligence Agency (CIA) America, Port Data: Emma-haven (Port of Padang), 1951, <https://www.cia.gov/readingroom/docs/CIA-RDP80-00926A003200040004-0.pdf>, 18-07-2024.
- Erbara, Centrifugal End Suction Volute Pump Model FSA, P T . Ebara Indonesia
- Freire Diogo, Fábila A. Vilela, 2014, Head losses and friction factors of steady turbulent flows in plastic pipes, *Urban Water Journal*, Volume 11, - Issue 5.
- Coelho, A. Andrade-Campos, 2014, Efficiency achievement in water supply systems—A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 30, Pages 59-84
- Factor of safety, ini https://en.wikipedia.org/wiki/Factor_of_safety, diakses 12 Mei 2024.
- George A. Antaki, 2003, *Piping and Pipeline Engineering Design, Construction, Maintenance, Integrity, and Repair*, by Marcel Dekker, Inc. All Rights Reserved
- Gürol Yıldırım, M.ASCE Author Affil, 2007, Analytical Relationships for Designing Multiple Outlets Pipelines, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering Archive* Vol. 133, No. 2
- Huan-Feng Duan, 2015, Uncertainty Analysis of Transient Flow Modeling and Transient-Based Leak Detection in Elastic Water Pipeline Systems, *Water Resources Management*, Volume 29, pages 5413–5427,
- John D. Valiantzas , 2005, Modified Hazen–Williams and Darcy–Weisbach Equations for Friction and Local Head Losses along Irrigation Laterals, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering Archive* Vol. 131, No. 4
- Michael Volk, 2014, *Pump Characteristics and Applications*, 3rd, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- R. A. Ibrahim, 2011, *Mechanics of Pipes Conveying Fluids—Part II: Applications and Fluidelastic Problems* , *J. Pressure Vessel Technol.* Apr 2011, 133(2): 024001 (30 pages)
- Wikipedia, *Pelabuhan Teluk Bayur*, 2024, https://id.wikipedia.org/wiki/Pelabuhan_Teluk_Bayur, 18-07-2024.
- Wissam H. Alawee, Yousef A. Almolhem, Badronnisa Yusuf, Thamer A. Mohammad, Hayder A. Dhahad, 2020, Variation of Coefficient of Friction and Friction Head Losses Along a Pipe with Multiple rOutlets, *Journals Water*, Volume 12. Issue 3, 10.3390/w12030844