

Analisis Kinerja Hidraulik Pompa Sentrifugal Tipe CDX/I 120/20 IE3 pada Sistem Distribusi Air Bersih Gedung BUMN di Surabaya

Ali Akbar¹⁾, Rachmat Firdaus²⁾, Metatia Intan Mauliana³⁾ Muhammad Zainal Abidin⁴⁾

^{1,2,3,4)} Program Studi Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

E-mail: aliakbar@umsida.ac.id ¹⁾

Abstrak

Keandalan sistem distribusi air bersih pada bangunan bertingkat sangat bergantung pada pemilihan pompa dan karakteristik hidraulik jaringan perpipaan untuk menjamin kontinuitas suplai serta kestabilan tekanan pada seluruh titik pelayanan. Penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja hidraulik pompa sentrifugal tipe CDX/I 120/20 IE3 pada sistem distribusi air bersih Gedung BUMN di Surabaya melalui evaluasi kapasitas aliran, tekanan operasi, dan kehilangan energi pada jaringan perpipaan. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif melalui observasi lapangan dan analisis hidraulik berdasarkan perhitungan debit aliran, bilangan Reynolds, faktor gesek menggunakan persamaan Colebrook–White, major head loss, minor head loss, serta total dynamic head. Hasil analisis menunjukkan bahwa konfigurasi tiga pompa sentrifugal yang dioperasikan secara paralel mampu menyediakan debit total sebesar 480 L/menit dengan head maksimum 40,5 m, sehingga memenuhi kebutuhan distribusi air bersih pada gedung setinggi 9 m. Analisis juga menunjukkan bahwa panjang pipa, diameter pipa, dan jumlah aksesoris perpipaan merupakan faktor utama yang memengaruhi kehilangan tekanan pada sistem distribusi. Sistem kontrol berbasis Programmable Logic Controller (PLC) dan pressure switch mampu mempertahankan tekanan operasi secara otomatis sesuai kebutuhan beban pemakaian. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa konfigurasi pompa paralel dengan sistem kontrol berbasis PLC dan pressure switch merupakan alternatif yang efektif untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi air bersih pada bangunan bertingkat melalui penyediaan debit yang memadai dan kestabilan tekanan operasi.

Kata kunci: distribusi air bersih; head loss; kinerja hidraulik; pompa sentrifugal; sistem perpipaan.

The reliability of clean water distribution systems in multistory buildings largely depends on appropriate pump selection and the hydraulic characteristics of the piping network to ensure continuous water supply and stable operating pressure at all service points. This study aims to analyze the hydraulic performance of a CDX/I 120/20 IE3 centrifugal pump in the clean water distribution system of a state-owned enterprise (BUMN) building in Surabaya, Indonesia, by evaluating flow capacity, operating pressure, and energy losses within the piping network. The research employed a quantitative approach through field observations and hydraulic analysis based on flow rate calculations, Reynolds number, friction factor using the Colebrook–White equation, major head loss, minor head loss, and total dynamic head. The results indicate that the configuration of three centrifugal pumps operating in parallel is capable of delivering a total flow rate of 480 L/min with a maximum head of 40.5 m, which is sufficient to meet the clean water demand of a 9 m-high building. The analysis also reveals that pipe length, pipe diameter, and the number of pipe fittings are the primary factors affecting pressure losses within the distribution system. Furthermore, the Programmable Logic

Controller (PLC) and pressure switch-based control system effectively maintain the operating pressure according to varying water demand. These findings demonstrate that a parallel pump configuration integrated with a PLC and pressure switch control system provides an effective solution for improving the reliability of clean water distribution systems in multistory buildings by ensuring adequate flow capacity and stable operating pressure.

Keywords: *centrifugal pump; clean water distribution; head loss; hydraulic performance; piping system.*

1. PENDAHULUAN

Sistem distribusi air bersih merupakan salah satu infrastruktur utama pada bangunan bertingkat yang berfungsi menjamin kontinuitas pasokan air dengan tekanan yang memadai pada seluruh titik pelayanan. Kinerja sistem distribusi air sangat dipengaruhi oleh pemilihan pompa, konfigurasi jaringan perpipaan, serta karakteristik hidraulik instalasi. Pemilihan pompa yang tidak sesuai dapat menyebabkan penurunan tekanan pada titik pelayanan, meningkatnya kehilangan energi (*head loss*), tingginya konsumsi energi listrik, hingga menurunkan keandalan sistem distribusi air bersih[1]–[4]. Oleh karena itu, evaluasi kinerja pompa menjadi salah satu aspek penting dalam perencanaan maupun pengoperasian sistem distribusi air bersih pada bangunan bertingkat.

Berbagai penelitian telah membahas analisis kinerja pompa sentrifugal pada sistem distribusi air bersih. Sebagian besar penelitian berfokus pada evaluasi kapasitas pompa, efisiensi energi, karakteristik aliran, dan kehilangan tekanan akibat gesekan pada jaringan perpipaan [5], [6]. Selain itu, analisis *major head loss* dan *minor head loss* menggunakan persamaan *Darcy–Weisbach* dan *Colebrook–White* telah banyak digunakan untuk mengevaluasi performa sistem perpipaan pada instalasi air bersih maupun sistem industri[7]. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa diameter pipa, panjang saluran, jumlah aksesoris perpipaan, serta karakteristik pompa merupakan faktor dominan yang mempengaruhi penurunan tekanan pada sistem distribusi[8].

Meskipun berbagai penelitian mengenai analisis hidraulik pompa sentrifugal telah banyak dilakukan, sebagian besar penelitian masih berfokus pada pengujian laboratorium atau simulasi sederhana. Kajian mengenai evaluasi kinerja pompa pada sistem distribusi air bersih bangunan bertingkat yang beroperasi menggunakan konfigurasi beberapa pompa paralel dengan sistem kontrol otomatis berbasis *Programmable Logic Controller (PLC)* dan *pressure switch* masih relatif terbatas[7]. Selain itu, hubungan antara karakteristik hidraulik jaringan perpipaan dengan kemampuan pompa dalam mempertahankan tekanan operasi pada kondisi beban aktual masih memerlukan kajian lebih lanjut.

Penelitian ini menawarkan evaluasi kinerja hidraulik sistem distribusi air bersih pada gedung BUMN di Surabaya dengan menganalisis konfigurasi tiga pompa sentrifugal tipe CDX/I 120/20 IE3 yang dioperasikan secara paralel menggunakan sistem kontrol otomatis berbasis PLC dan *pressure switch*. Analisis dilakukan melalui perhitungan debit aliran, bilangan *Reynolds*, faktor gesek menggunakan persamaan *Colebrook–White*, *major head loss*, *minor head loss*, serta evaluasi *total dynamic head* untuk menilai kesesuaian kapasitas pompa terhadap kebutuhan distribusi air bersih pada bangunan bertingkat.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja hidraulik pompa sentrifugal tipe CDX/I 120/20 IE3 pada sistem distribusi air bersih Gedung BUMN di Surabaya melalui evaluasi kapasitas aliran, kehilangan tekanan pada jaringan perpipaan, serta kemampuan sistem pompa dalam mempertahankan tekanan operasi sesuai kebutuhan distribusi air bersih.

2. METODE PENELITIAN

a. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode analisis kuantitatif dengan pendekatan studi kasus pada sistem distribusi air bersih Gedung BUMN di Surabaya. Analisis dilakukan untuk mengevaluasi kinerja hidraulik pompa sentrifugal tipe CDX/I 120/20 IE3 yang dioperasikan secara paralel dalam memenuhi kebutuhan distribusi air bersih bangunan. Evaluasi dilakukan berdasarkan karakteristik pompa, konfigurasi jaringan perpipaan, debit aliran, kehilangan tekanan (*head loss*), serta kemampuan pompa menghasilkan total dynamic head sesuai kebutuhan sistem.

b. Lokasi dan Objek Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada instalasi distribusi air bersih Gedung BUMN di Surabaya. Sistem distribusi menggunakan tiga unit pompa sentrifugal tipe CDX/I 120/20 IE3 yang dioperasikan secara otomatis menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) dan *pressure switch*.

Objek penelitian meliputi:

- spesifikasi pompa;
- konfigurasi instalasi perpipaan;
- panjang pipa;
- diameter pipa;
- jumlah aksesoris perpipaan;
- tekanan operasi;
- debit aliran.

Data spesifikasi pompa diperoleh melalui *nameplate* pompa, sedangkan data instalasi diperoleh melalui observasi lapangan dan gambar kerja sistem perpipaan.

c. Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui beberapa tahapan sebagai berikut.

- 1) Observasi sistem distribusi air bersih.
- 2) Identifikasi spesifikasi pompa.
- 3) Pengukuran jaringan perpipaan.
- 4) Inventarisasi aksesoris perpipaan.
- 5) Perhitungan debit aliran.
- 6) Perhitungan kecepatan aliran.
- 7) Perhitungan bilangan Reynolds.
- 8) Perhitungan faktor gesek menggunakan persamaan Colebrook–White.
- 9) Perhitungan *major head loss*.
- 10) Perhitungan *minor head loss*.
- 11) Perhitungan *total dynamic head*.
- 12) Evaluasi kemampuan pompa terhadap kebutuhan distribusi air bersih.

d. Parameter Penelitian

Parameter yang dianalisis pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter penelitian

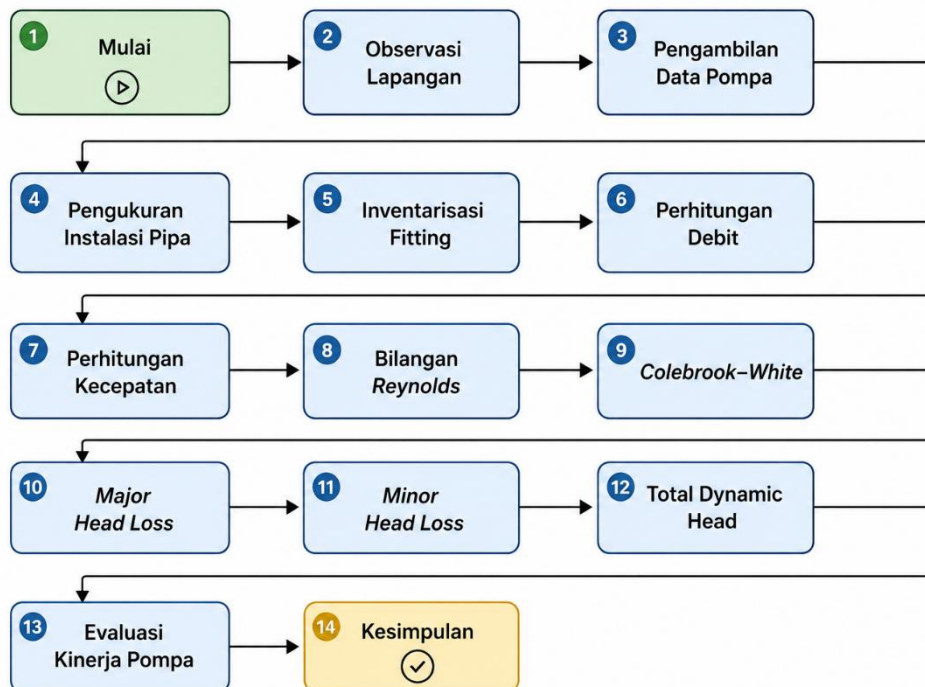
Parameter	Satuan	Metode
Debit aliran	L/min	Perhitungan hidraulik
Kecepatan aliran	m/s	Persamaan kontinuitas
Reynolds Number	-	Persamaan Reynolds
Faktor gesek	-	Colebrook–White
Major head loss	m	Darcy–Weisbach
Minor head loss	m	Koefisien kerugian fitting
Total Dynamic Head	m	Perhitungan total head
Head pompa	m	Data nameplate
Tekanan operasi	bar	Data lapangan

e. Analisis Hidraulik

Analisis hidraulik dilakukan untuk menentukan kehilangan energi sepanjang sistem perpipaan yang terdiri atas *major head loss* akibat gesekan sepanjang pipa dan *minor head loss* akibat komponen perpipaan seperti *elbow*, *tee*, *gate valve*, dan *reducer*. Nilai *major head loss* dihitung menggunakan persamaan Darcy–Weisbach, sedangkan faktor gesek diperoleh melalui persamaan Colebrook–White berdasarkan nilai bilangan Reynolds dan kekasaran relatif pipa.

Selanjutnya, *major head loss* dan *minor head loss* dijumlahkan untuk memperoleh nilai *total head loss*. Nilai tersebut kemudian digunakan untuk menghitung *total dynamic head* sistem yang dibandingkan dengan karakteristik pompa sehingga dapat dievaluasi apakah pompa mampu memenuhi kebutuhan distribusi air bersih pada kondisi operasi[9], [10].

f. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Karakteristik Sistem Distribusi Air Bersih

Sistem distribusi air bersih pada Gedung BUMN di Surabaya menggunakan tiga unit pompa sentrifugal tipe CDX/I 120/20 IE3 yang dioperasikan secara paralel menggunakan sistem kontrol berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) dan *pressure switch*. Sistem ini dirancang untuk menjaga kontinuitas suplai air bersih pada seluruh titik pelayanan dengan mempertahankan tekanan operasi dalam rentang 1,5–2 bar. Konfigurasi paralel dipilih untuk meningkatkan kapasitas debit sekaligus memberikan keandalan sistem apabila terjadi peningkatan kebutuhan air pada waktu tertentu.

Berdasarkan data *nameplate*, setiap pompa memiliki kapasitas aliran sebesar 160 L/min dengan *maximum head* sebesar 40,5 m. Dengan konfigurasi tiga pompa paralel, kapasitas total sistem mencapai 480 L/min sehingga secara teoritis mampu memenuhi kebutuhan distribusi air bersih gedung.

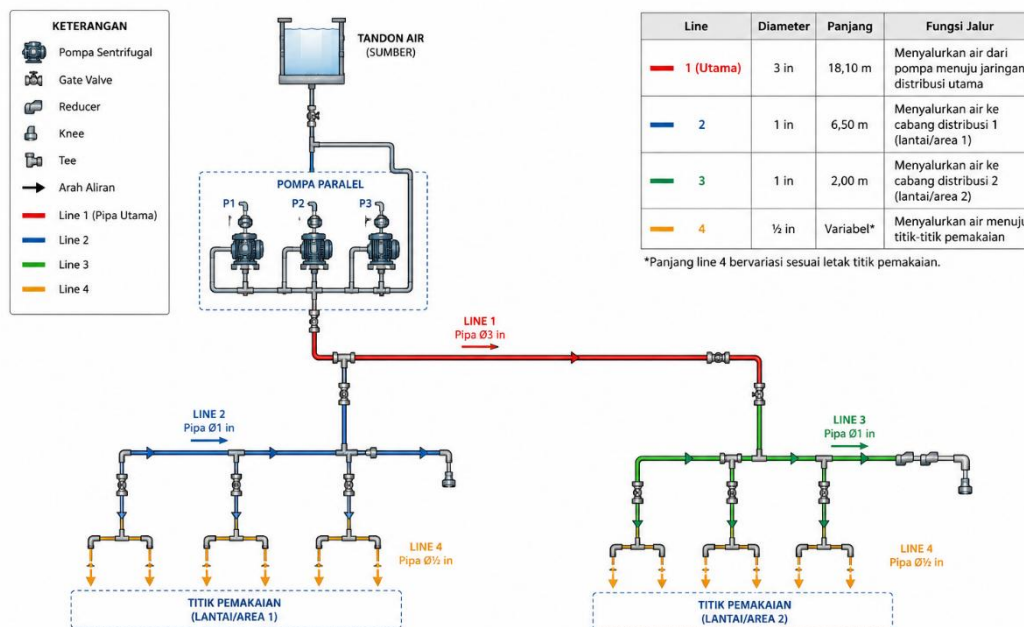
Tabel 2 Karakteristik Jaringan Perpipaan

Komponen	Ukuran Nominal	Jumlah/Panjang	Fungsi dalam Sistem
Pipa utama	3 in	18.100,5 cm	Menyalurkan air dari pompa menuju jaringan distribusi utama
Pipa distribusi	1 in	6.500 cm	Menyalurkan air ke cabang distribusi
Pipa pelayanan	½ in	2.000 cm	Menyalurkan air ke titik pemakaian
Gate Valve	3 in	1 unit	Mengisolasi aliran pada pipa utama
Gate Valve	½ in	5 unit	Mengatur atau menutup aliran pada cabang distribusi
Reducer	3 × 1 in	1 unit	Menghubungkan pipa utama ke pipa distribusi dengan diameter berbeda
Reducer	1 × ½ in	5 unit	Menyesuaikan diameter menuju pipa pelayanan
Knee Reducer	½ × ¾ in	24 unit	Mengubah arah aliran sekaligus menyesuaikan diameter pipa
Knee	3 in	1 unit	Mengubah arah aliran pada pipa utama
Knee	1 in	3 unit	Mengubah arah aliran pada pipa distribusi
Tee	1 in	4 unit	Membagi aliran menuju beberapa cabang distribusi
Tee	½ in	27 unit	Membagi aliran menuju titik-titik pemakaian

Tabel 3. Spesifikasi Pompa Sentrifugal CDX/I 120/20 IE3

Parameter	Nilai	Satuan	Sumber
Tipe pompa	CDX/I 120/20 IE3	-	Nameplate
Jumlah pompa	3	unit	Observasi
Konfigurasi pompa	Paralel	-	Observasi
Kapasitas pompa	160	L/min	Nameplate
Kapasitas total	480	L/min	Hasil perhitungan
Head maksimum	40,5	m	Nameplate
Daya motor	1,5	kW	Nameplate
Total daya	4,5	kW	Hasil perhitungan
Sistem kontrol	PLC dan Pressure Switch	-	Observasi
Tinggi gedung	9	m	Observasi
Material pipa	PPR	-	Observasi
Diameter nominal pipa	3"; 1"; ½"	in	Pengukuran
Panjang total pipa	266,005	m	Pengukuran
Jumlah fitting	67	unit	Inventarisasi

Berdasarkan Tabel 2 dan Tabel 3 dapat diketahui bahwa sistem distribusi air bersih terdiri atas jaringan pipa PPR dengan tiga variasi diameter, yaitu 3 in, 1 in, dan ½ in, yang dihubungkan menggunakan berbagai komponen perpipaian seperti gate valve, tee, reducer, dan knee. Variasi diameter pipa, panjang jaringan, serta jumlah aksesoris tersebut menjadi parameter utama yang memengaruhi karakteristik aliran dan kehilangan tekanan (*head loss*) pada sistem distribusi air bersih.



Gambar 2. Skematik jalur distribusi air bersih dan pembagian Line 1–4

Gambar 2 menunjukkan bahwa Line 1 merupakan jalur utama yang menghubungkan pompa dengan jaringan distribusi. Selanjutnya aliran dibagi menuju Line 2 dan Line 3 sebelum diteruskan ke Line 4 yang melayani titik-titik

pemakaian. Oleh karena itu, Line 4 memiliki panjang jaringan dan jumlah *fitting* yang lebih besar sehingga berpotensi menghasilkan kehilangan tekanan paling tinggi dibandingkan jalur distribusi lainnya.

Tabel 4. Karakteristik Masing-masing Jalur Distribusi

Line	Diameter Dominan	Panjang	Jumlah Fitting	Fungsi
Line 1	3 in	18,1 m	2	Jalur utama
Line 2	1 in	65,0 m	9	Distribusi lantai
Line 3	1 in	80,0 m	20	Distribusi cabang
Line 4	½ in	103,0 m	36	Titik pelayanan

b. Analisis Kapasitas Distribusi Air

Berdasarkan spesifikasi pompa, setiap unit pompa sentrifugal memiliki kapasitas distribusi sebesar 160 L/min. Dengan konfigurasi tiga pompa paralel, kapasitas total distribusi mencapai 480 L/min. Konfigurasi ini memungkinkan sistem meningkatkan kapasitas suplai air tanpa meningkatkan tekanan secara signifikan, sehingga lebih sesuai diterapkan pada sistem distribusi air bersih bangunan bertingkat.

Debit total sebesar 480 L/min menunjukkan bahwa konfigurasi tiga pompa paralel mampu meningkatkan kapasitas distribusi dibandingkan satu pompa tunggal. Pada sistem distribusi air bersih bangunan bertingkat, konfigurasi ini memberikan fleksibilitas operasi karena pompa dapat bekerja sesuai kebutuhan konsumsi air tanpa harus mengoperasikan seluruh unit secara bersamaan. Selain menjaga kontinuitas suplai, strategi ini juga berpotensi meningkatkan efisiensi energi dan memperpanjang umur operasi pompa akibat berkurangnya frekuensi kerja setiap unit[11].

Pengoperasian pompa secara paralel juga meningkatkan keandalan sistem. Pada kondisi kebutuhan air rendah, satu pompa dapat beroperasi untuk memenuhi kebutuhan distribusi. Ketika kebutuhan air meningkat dan tekanan jaringan menurun hingga batas yang ditentukan, pompa berikutnya akan aktif secara otomatis melalui pengendalian PLC dan *pressure switch*. Strategi ini mampu menjaga kontinuitas suplai air sekaligus mengurangi konsumsi energi dibandingkan apabila seluruh pompa dioperasikan secara bersamaan.

c. Analisis Karakteristik Aliran

Karakteristik aliran pada sistem distribusi air bersih dianalisis menggunakan bilangan Reynolds untuk mengetahui jenis aliran yang terjadi di dalam jaringan perpipaan. Berdasarkan hasil analisis, aliran pada seluruh diameter pipa berada pada kondisi turbulen ($Re > 4000$) sehingga perhitungan kehilangan tekanan menggunakan persamaan Darcy–Weisbach dan faktor gesek Colebrook–White dapat diterapkan.

Kondisi aliran turbulen merupakan karakteristik yang umum dijumpai pada sistem distribusi air bersih bangunan bertingkat karena debit aliran relatif tinggi serta diameter pipa yang bervariasi. Pada kondisi tersebut, kehilangan tekanan akibat gesekan sepanjang pipa menjadi faktor dominan yang memengaruhi performa sistem distribusi.

d. Analisis Head Loss

Analisis kehilangan tekanan dilakukan untuk mengetahui besarnya energi yang hilang selama proses distribusi air melalui jaringan perpipaan. Kehilangan tekanan

terdiri atas major head loss akibat gesekan sepanjang pipa dan minor head loss akibat komponen perpipaan seperti tee, gate valve, knee, dan reducer.

Berdasarkan hasil analisis, nilai kehilangan tekanan terbesar terjadi pada Line 4, sedangkan nilai terkecil terjadi pada Line 1. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh panjang jaringan perpipaan, diameter pipa yang lebih kecil, serta jumlah fitting yang lebih banyak dibandingkan jalur lainnya. Semakin panjang lintasan aliran dan semakin banyak komponen perpipaan yang dilalui, maka kehilangan energi yang terjadi juga semakin besar.

Semakin panjang lintasan aliran maka kehilangan tekanan akibat gesekan sepanjang pipa akan meningkat. Selain itu, keberadaan fitting seperti tee, knee, reducer, dan gate valve menyebabkan terjadinya kehilangan energi lokal (minor head loss). Oleh karena itu, jalur distribusi dengan panjang perpipaan dan jumlah fitting terbesar memiliki kecenderungan menghasilkan total head loss yang lebih tinggi dibandingkan jalur lainnya[12][13].

Temuan ini sejalan dengan teori Darcy–Weisbach yang menyatakan bahwa kehilangan tekanan meningkat seiring bertambahnya panjang pipa, meningkatnya kecepatan aliran, dan bertambahnya jumlah komponen perpipaan yang menyebabkan perubahan arah maupun perubahan luas penampang aliran[14].

e. Evaluasi Kinerja Pompa

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan kapasitas pompa terhadap kebutuhan distribusi air bersih pada gedung penelitian. Berdasarkan spesifikasi pompa, setiap unit mampu menghasilkan head maksimum 40,5 m dengan kapasitas aliran 160 L/min. Dengan konfigurasi tiga pompa paralel, sistem memiliki kapasitas distribusi sebesar 480 L/min sehingga mampu mengakomodasi peningkatan kebutuhan air pada jam-jam puncak.

Pengoperasian pompa dikendalikan secara otomatis menggunakan PLC dan pressure switch. Ketika tekanan jaringan turun hingga 1,5 bar, pompa akan aktif secara otomatis untuk mengembalikan tekanan ke kondisi operasi. Sebaliknya, ketika tekanan mencapai 2 bar, pompa akan berhenti beroperasi. Mekanisme tersebut menjaga kestabilan tekanan sekaligus meningkatkan efisiensi operasi sistem[15].

Secara keseluruhan, konfigurasi pompa paralel yang diterapkan pada penelitian ini mampu menjaga kontinuitas distribusi air bersih serta meningkatkan keandalan sistem dibandingkan penggunaan satu pompa tunggal[16].

f. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik jaringan perpipaan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja distribusi air bersih. Variasi diameter pipa, panjang jaringan, serta jumlah aksesoris perpipaan menyebabkan distribusi kehilangan tekanan yang berbeda pada setiap jalur distribusi. Meskipun demikian, kapasitas pompa yang digunakan masih mampu mempertahankan tekanan operasi sesuai kebutuhan sistem.

Penggunaan tiga pompa yang dioperasikan secara paralel memberikan fleksibilitas dalam memenuhi perubahan kebutuhan air selama operasi gedung. Sistem kontrol berbasis PLC dan pressure switch memungkinkan pompa bekerja sesuai kebutuhan aktual sehingga meningkatkan efisiensi operasi sekaligus memperpanjang umur kerja pompa karena tidak seluruh unit bekerja secara bersamaan.

Dari sudut pandang operasional, penggunaan tiga pompa paralel juga memberikan keuntungan dalam aspek keandalan sistem (*system reliability*). Apabila salah satu pompa mengalami gangguan, pompa lainnya masih dapat mempertahankan distribusi air sehingga kontinuitas pelayanan tidak langsung terhenti. Karakteristik ini menjadi salah satu alasan konfigurasi paralel banyak diterapkan pada sistem distribusi air bersih bangunan komersial maupun gedung bertingkat.

Temuan ini menunjukkan bahwa kombinasi konfigurasi pompa paralel dan sistem kontrol otomatis merupakan solusi yang efektif untuk menjaga kontinuitas distribusi air bersih pada bangunan bertingkat dengan pola konsumsi air yang berubah-ubah.

4. SIMPULAN

Penelitian ini telah mengevaluasi kinerja hidraulik pompa sentrifugal tipe CDX/I 120/20 IE3 pada sistem distribusi air bersih Gedung BUMN di Surabaya melalui analisis karakteristik pompa dan jaringan perpipaan. Berdasarkan hasil analisis, konfigurasi tiga pompa yang dioperasikan secara paralel mampu menyediakan kapasitas distribusi air sebesar 480 L/menit dengan head maksimum 40,5 m, sehingga memenuhi kebutuhan distribusi air bersih pada gedung dengan tinggi 9 m. Analisis hidraulik menunjukkan bahwa kehilangan tekanan pada sistem dipengaruhi oleh panjang pipa, diameter pipa, serta jumlah aksesoris perpipaan, dengan kontribusi terbesar berasal dari *major head loss* akibat gesekan sepanjang pipa[1].

Selain karakteristik hidraulik jaringan perpipaan, penerapan sistem kontrol otomatis berbasis *Programmable Logic Controller* (PLC) dan *pressure switch* berperan dalam menjaga kestabilan tekanan operasi sesuai perubahan kebutuhan air. Kombinasi konfigurasi pompa paralel dan sistem kontrol otomatis menghasilkan sistem distribusi yang lebih andal, menjaga kontinuitas suplai air, serta meningkatkan efisiensi operasional dibandingkan pengoperasian pompa tunggal.

Penelitian ini masih terbatas pada evaluasi berdasarkan hasil analisis hidraulik dan data operasional pada satu objek penelitian. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan mengintegrasikan pengujian eksperimental secara langsung, analisis konsumsi energi, evaluasi efisiensi pompa terhadap variasi debit, serta simulasi menggunakan perangkat lunak hidraulik untuk memperoleh gambaran kinerja sistem yang lebih komprehensif[17].

Berdasarkan hasil penelitian, pengembangan penelitian selanjutnya disarankan untuk mengevaluasi kinerja sistem distribusi air bersih melalui pengukuran eksperimental terhadap debit, tekanan, dan konsumsi energi pompa pada berbagai kondisi beban pemakaian. Pengujian tersebut diperlukan untuk memvalidasi hasil analisis hidraulik sehingga diperoleh gambaran kinerja sistem yang lebih akurat.

Selain itu, penelitian selanjutnya dapat mengembangkan analisis dengan membandingkan konfigurasi pompa tunggal, seri, dan paralel, serta mengintegrasikan simulasi hidraulik menggunakan perangkat lunak seperti EPANET, Pipe Flow Expert, atau ANSYS Fluent. Pendekatan tersebut diharapkan dapat memberikan rekomendasi desain sistem distribusi air bersih yang lebih efisien dari sisi hidraulik maupun konsumsi energi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Martin-candlejo, D. Santill, A. Iglesias, and L. Garrote, "Optimization of the Design of Water Distribution Systems Based on Hydraulic and Energy Criteria," 2020.
- [2] R. C. Putra, "Perancangan Pompa Sentrifugal dan Diameter Luar Impeller Untuk Kebutuhan Air Kapasitas 60 Lpm di Gedung F Dan D Universitas Muhammadiyah Tangerang," *J. Tek. Univ. Muhammadiyah Tangerang*, vol. 7, no. 1, pp. 15–25, 2018.
- [3] J. Artikel, M. T. Farezi, and T. Mesin, "Perancangan pompa sentrifugal untuk pengolahan air bersih kompleks perumahan," vol. 1, 2025.
- [4] D. C. Rada, U. Maritim, and R. Ali, "Analisis Kebutuhan Air Bersih dan Kapasitas Jaringan Distribusi Wilayah Pengaliran Bambang Utoyo Dwi Cahya Rada Corresponding Author : dwicahyarada@umrah.ac.id penyediaan air bersih , terutama karena keterbatasan sumber daya air dan tidak meratanya".
- [5] Y. Hou and R. Xue, "Hydraulic Performance and Flow Characteristics of a High-Speed Centrifugal Pump Based on Multi-Objective Optimization," pp. 1–15, 2025.
- [6] R. D. Jayanto, E. Widodo, R. Firdaus, and A. Akbar, "Perencanaan Manufaktur Instalasi Pompa Sentrifugal Laboratorium Teknik Mesin Dengan Kombinasi Rangkaian Seri dan Paralel," *J. Rekayasa Energi Manufaktur*, vol. 6, no. 1, 2021, doi: 10.21070/r.e.m.v6i1.1547.
- [7] H. Ahyadi, D. Suprijatmono, I. Alcholili, J. Moh, and K. Ii, "ANALISIS KINERJA SISTEM DISTRIBUSI AIR BERSIH DI ANJUNGAN LEPAS PANTAI PT . X," vol. 23, no. 2, pp. 73–84, 2021.
- [8] A. Aliuly, T. Amanzholov, A. Seitov, and N. Momysh, "Hydraulic Design and CFD-Based Parametric Study for Optimizing Centrifugal Pump Impeller Performance," 2024.
- [9] D. G. Rachmadani, A. Akbar, and P. H. Tjahjanti, "Pengaruh Aspek Ratio Luasan Sudden enlargement Terhadap Head Loss es Aliran Laminar," *J. Mesin Nusanatara*, vol. 8, no. 1, pp. 22–30, 2025.
- [10] S. Waluyo, A. Akbar, P. H. Tjahjanti, and R. Firdaus, "Pengaruh Aspek Ratio Luasan Sudden Contraction Terhadap Head Loss Aliran Laminar," *J. Mesin Nusanatara*, vol. 7, no. 2, pp. 269–277, 2024, doi: 10.29407/jmn.v7i2.22530.
- [11] A. Head, L. Dua, P. Sentrifugal, P. Laboratorium, and U. Fluida, "Comparative Analysis of the Head Loss of Two Centrifugal Pumps in a Fluid Test Laboratory," vol. 5, no. 1, doi: 10.21070/r.e.m.v5i1.409.
- [12] A. Kinerja, P. Air, and D. Untuk, "(1) , 2)," vol. 2, pp. 113–126, 2024.
- [13] T. Mayor, D. Minor, P. Variasi, and S. Perpipa, "Analisis Performa Pompa Sentrifugal Untuk Meninjau Kerugian," vol. 5, no. 3, pp. 25626–25638, 2025.
- [14] D. Oktavitasari and M. Meidasari, "Kajian Hubungan Debit Aliran , Head Loss dan Efisiensi dalam Menentukan Kinerja Pompa Sentrifugal," vol. 1, pp. 188–195, 2026, doi: 10.37859/jst.v13i1.11535.
- [15] P. Rpk, I. I. Di, P. Migas, M. Salmon, E. B. Pattykayhattu, and H. Pattiasina, "Journal Mechanical Engineering (JME). Evaluasi Kinerja Pompa Sentrifugal NO . 3," vol. 2, no. 1, pp. 88–94, 2024.
- [16] S. Nassiri, A. Abbou, and M. Cherkaoui, "Improving Energy Efficiency and Reliability of Parallel Pump Systems Using Hybrid PSO – ADMM – LQR," 2026.
- [17] A. W. Murti, R. Wahyudi, A. Apriyanto, F. Ibrahim, and A. Sembiring, "Analyzing the decline of cooling water pump efficiency due to sedimentation in an Open-Loop Hydropower System : A Case Study at PLTA Besai," vol. 6, no. 2, pp. 219–233, 2025.

