JPII
Jurnal Profesi Insinyur Indonesia
http://ejournal.undip.ac.id/index.php/jpii
E-ISSN: 2985-8100

Analisis Pemilihan Pompa Menggunakan *Computational Fluid Dynamic* dan *Multi-Criteria Rating Index*

Deka Setyawan[1*], Agus Suprihanto[1,2]
[1]*Program Studi Program Profesi Insinyur Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,*
[2]*Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,*
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

[*)]Corresponding author: dekasetyawan5@gmail.com

(Received: March 12, 2026; Accepted: April 15, 2026)

Abstract

Pump Selection Analysis Using Computational Fluid Dynamics and Multi-Criteria Rating Index. *The reliability and efficiency of pumps in fuel supply systems are crucial for mining operations. Downtime that disrupts fuel flow will result in significant operational losses. One strategy to address this issue is the provision of reliable, efficient pumps that meet the required operating conditions. Incorrect pump selection will result in low flow rates, cavitation, overheating, system failure, pollution, and workplace accidents. In addition to technical performance and reliability, price, parts availability, and environmental aspects are equally important. This study was conducted by analyzing pump selection on three pump products using computational fluid dynamics and the multi-criteria rating index. The highest head value in the CFD results was 21.752 m, a discharge of 0.435 m^3/minute, and an efficiency of 77% occurred in pump A. Meanwhile, the results of the multi-criteria rating index analysis process stated that pump A had the highest rating value with a value of 0.96 compared to the other two pump products.*

Keywords*: fuel, pump, downtime, computational fluid dynamic, multi-criteria rating index*

Abstrak

Keandalan dan efisiensi pompa pada sistem penyediaan bahan bakar merupakan hal yang sangat krusial bagi operasional pertambangan. *Downtime* yang mengakibatkan terhambatnya aliran bahan bakar akan menyebabkan kerugian operasional yang sangat besar. Salah satu strategi dalam mengatasi permasalahan tersebut adalah penyediaan pompa yang andal, efisien dan sesuai dengan kondisi kerja yang dibutuhkan. Pemilihan pompa yang salah akan menyebabkan rendahnya laju aliran, kavitasi, *overheating*, kegagalan sistem, pencemaran dan kecelakaan kerja. Selain dari performa teknis dan keandalan, aspek harga, ketersediaan *part*, serta aspek lingkungan merupakan hal yang tidak kalah penting. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan analisis pemilihan pompa pada tiga produk pompa menggunakan *computational fluid dynamic* dan *multi-criteria rating index*. Nilai *head* terbesar pada hasil CFD adalah 21,752 m, debit sebesar 0,435 m^3/minutes dan efisiensi sebesar 77% terjadi pada pompa A. Sedangkan hasil dari proses analisis *multi-criteria rating index* menyatakan bahwa pompa A memiliki nilai *rating* terbesar dengan nilai 0,96 dibandingkan dua produk pompa lainnya.

Kata kunci*: bahan bakar, pompa, downtime, computational fluid dynamic, multi-criteria rating index*

How to Cite This Article*:* Setyawan, D., & Suprihanto, A. (2026). Analisis Pemilihan Pompa Menggunakan Computational Fluid Dynamic dan Multi-Criteria Rating Index. *JPII*, 4(2), 108-117. DOI: https://doi.org/10.14710/jpii.2026.32341

PENDAHULUAN

Keandalan dan efisiensi dalam sistem penyediaan bahan bakar merupakan aspek krusial dalam operasi pertambangan. Aktivitas di area tambang umumnya melibatkan penggunaan alat berat dengan konsumsi bahan bakar yang tinggi dan kontinuitas operasional yang panjang. Oleh karena itu, tempat penyimpanan bahan bakar harus dirancang untuk mampu melayani kebutuhan distribusi bahan bakar secara cepat, aman dan konsisten. Salah satu komponen utama yang menentukan keberhasilan sistem ini adalah pemilihan pompa yang tepat serta kemampuan dalam memprediksi kinerja pompa terhadap kondisi hidrolik di lapangan (Qasem, 2025). Pemilihan pompa yang tidak sesuai dapat menyebabkan berbagai permasalahan seperti rendahnya laju aliran, peningkatan konsumsi energi, *overheating*, kavitasi, hingga kegagalan sistem yang mengakibatkan *downtime* pada kegiatan produksi tambang (Liu et al., 2022).

Pada saat ini, metode *computational fluid dynamic* banyak digunakan dalam proses analisis pompa seperti analisis performa pada pompa (Al-Obaidi, 2024), optimasi geometri *volute* & *impeller* (Shah et al., 2022), penelitian mengenai kavitasi (Ge et al., 2023), metode *fluid structure interaction* dalam analisis getaran (Wang et al., 2021) dan lain-lain. Secara keseluruhan, CFD menjadi sebuah metode yang digunakan untuk menganalisis, memvisualisasikan dan memprediksi sebuah fenomena mekanika fluida ataupun perpindahan panas (Daneshparvar & Beigzadeh, 2022).

Selain CFD, *multi-criteria rating index* (MCRI) merupakan metode yang cocok digunakan dalam menentukan suatu keputusan dengan berbagai pertimbangan seperti faktor teknis, faktor keandalan, harga, K3LH dan lain-lain (Anqi & Mohammed, 2021). Beberapa penelitian telah dilakukan dengan menggunakan metode MCRI terkhusus pada pemilihan pompa seperti proses desain stasiun pompa (Sánchez-Ferrer et al., 2021), optimalisasi efisiensi & keberlanjutan stasiun pompa (Koprivica et al., 2025) dan pemilihan pompa air tanah (Alvaro Rubio-Aliaga et al., 2021). Dengan menggabungkan kedua metode tersebut, maka pemilihan pompa yang dilakukan tidak hanya mempertimbangkan faktor teknis dasar, tetapi juga faktor ekonomi, lingkungan dan operasional sehingga proses pengambilan keputusan menjadi lebih rasional & komprehensif (Osipov et al., 2019).

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini disusun untuk menganalisis pemilihan pompa dan memprediksi performa pada sistem penyimpanan bahan bakar. Proses penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan yang saling berkaitan.

Studi Literatur & Lapangan

Tahap pertama dilakukan untuk memperoleh pemahaman mendalam mengenai karakteristik pompa, prinsip kerja, standar perancangan, serta metode analisis performa pompa. Studi literatur meliputi penelusuran jurnal internasional, standar desain pompa (ISO/ANSI/HI), serta referensi teknis dari produsen pompa. Selain itu, dilakukan studi lapangan untuk memperoleh data aktual sistem pompa, meliputi: panjang dan konfigurasi pipa, elevasi antar titik, jenis & jumlah *fitting,* spesifikasi filter dan *loss coefficient*. Setelah mendapatkan gambaran sistem, langkah berikutnya adalah menyusun kriteria pemilihan pompa menggunakan metode *multi-criteria rating index* (MCRI) yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria pemilihan pompa

No	Kriteria	Bobot	Dasar
1	Debit (Q)	0,2	Desain
2	*Head Total* (H)	0,2	Desain
3	Efisiensi	0,2	Desain
4	Keandalan	0,1	*Lifetime*
5	Harga	0,05	*Budget*
6	Suku cadang	0,05	*After market*
7	K3L	0,2	*Safety*

Perhitungan *Total Head* Desain

Head pompa merupakan parameter penting yang digunakan untuk mengukur kemampuan sebuah pompa dalam mendorong cairan ke ketinggian tertentu (Lyu et al., 2021). Perhitungan *head* pada pompa didasarkan pada persamaan bernoulli yang dapat dilihat pada Persamaan 1 (bentuk tekanan) dan 2 (bentuk *head*).

$$P_1 + \frac{1}{2}(\rho v_1^2) + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2}(\rho v_2^2) + \rho g h_2 \quad (1)$$

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + h_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v_2^2}{2g} + h_2 \quad (2)$$

Perhitungan *total head* pompa terdiri dari beberapa komponen seperti *pressure head, velocity head*, *static head*, & *head losses*. Persamaan *pressure head, velocity head*, & *static head* yang dapat dilihat pada Persamaan 3, 4 dan 5.

$$h_p = \frac{P_1 - P_2}{\rho g} \quad (3)$$

$$h_v = \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (4)$$

$$h_s = h_2 - h_2 \quad (5)$$

Head loss yang merupakan rugi-rugi aliran terdiri dari 2 jenis yaitu *major head loss* dan *minor head loss. Major head loss* merupakan rugi-rugi aliran yang dipengaruhi oleh gaya gesek pada pipa, sedangkan *minor head loss* dipengaruhi oleh beberapa hal seperti perubahan luas penampang, *fittings, valves, bends, filters* dan lain-lain. Pada umumnya, persamaan *major head loss (darcy-weisbach)* & *minor head loss* dapat dilihat pada 6 dan 7.

$$h_{major} = F_D \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (6)$$

$$h_{minor} = K\frac{v^2}{2g} \quad (7)$$

Sehingga, *total head* pada keseluruhan sistem pompa dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 8.

$$h_{total} = h_p + h_v + h_s + h_{loss} \quad (8)$$

Pembuatan Desain Pompa (*Reverse Engineering*)

Reverse engineering merupakan metode yang digunakan dalam melakukan analisis lebih lanjut mengenai produk yang sudah ada. Pada tahapan ini, proses tersebut dilakukan dengan cara melakukan pengukuran fisik dan validasi spesifikasi terhadap pompa yang sudah ada sehingga dapat dilakukan proses *re-design* pada produk tersebut (He et al., 2021). Proses pengukuran dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Pengukuran *impeller* pompa

Pengukuran yang dilakukan pada ketiga pompa menghasilkan parameter yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter geometri pompa

No	Parameter	Pompa		
		A	B	C
1	Diameter *impeller* (mm)	267,4	153,3	211,2
2	*Outlet width* (mm)	12,03	14,26	12,04
3	Hub. diameter (mm)	19,39	12,21	15,42
4	*Suction diameter* (mm)	87,2	82,6	83,3
5	*Discharge diameter* (mm)	50,8	50,8	50,8
6	Jumlah *blade*	4	4	4
7	Sudut *blade* β_1	11,4°	17,6°	13,9°
8	Sudut *blade* β_2	28,3°	33,6°	29,5°

Berdasarkan parameter tersebut dapat dilakukan proses desain yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. *Output* desain pompa

Proses Simulasi *Computational Fluid Dynamic*

Computational Fluid Dynamic (CFD) merupakan metode komputasi numerik yang digunakan untuk melakukan proses analisis fluida berdasarkan persamaan kontinuitas, *navier-stokes* dan persamaan energi (Tominaga, 2024). Proses simulasi CFD terdiri dari 3 tahap yaitu, *pre-process, solver, & post-process* (Mao et al., 2025). Tahapan awal dalam proses simulasi CFD adalah membuat domain fluida berdasarkan desain geometri pompa yang telah dibuat. Domain fluida tersebut dilakukan proses *meshing* dengan hasil *meshing* seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. *Meshing* geometri

Sedangkan *setup* pada keseluruhan proses simulasi dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. *Setup* simulasi CFD

Meshing	
Body sizing	0,003 mm
Body sizing impeller	0,002 mm
Edge sizing impeller	0,0015 mm
Method	*Tetrahedrons*
Quality	*Skewness*
Average	0,23516
Max value	0,7841
Setup	
General models	*SST k-omega*
Fluid	*Water*
Impeller	*Rotating zone*
Pipe in	*Stationary*
Volute	*Stationary*
Boundary Conditions	
Inlet	*Pressure inlet*
Outlet	*Massflow variations*
	Velocity & pressure
Output parameter	*Outlet*
Kriteria Konvergensi	
Residual parameter	10^{-5}
Output parameter	10^{-3} (100 iterasi)
Mass Imbalance	10^{-3}

Simulasi tersebut dilakukan pada 10 variasi *massflow* untuk tiap jenis pompa untuk menghasilkan kurva pompa yang dapat dijadikan acuan dalam proses pemilihan pompa.

Uji *Grid* & Validasi

Uji *grid* merupakan tahapan awal proses simulasi sebelum melakukan variasi lebih lanjut. Proses ini bertujuan untuk menguji kestabilan hasil simulasi terhadap jumlah elemen sehingga proses simulasi menjadi lebih cepat dan akurat (Yi et al., 2022). Sedangkan proses validasi bertujuan untuk memastikan bahwa hasil simulasi yang dilakukan sesuai dengan kondisi aktual (Hassan Aly Hassan et al., 2025). Proses validasi dilakukan dengan membandingkan kurva pompa hasil simulasi terhadap kurva pompa pada spesifikasi produk.

Distribusi Kecepatan dan Tekanan

Kontur kecepatan dan tekanan merupakan paramater hasil simulasi CFD yang memberikan hasil visualisasi terhadap distribusi kecepatan dan tekanan pada domain fluida. Kontur tersebut digunakan sebagai dasar dalam menentukan perhitungan lanjutan seperti *head*, debit dan efisiensi.

Kurva Pompa

Kurva pompa merupakan hasil interpretasi grafis dari simulasi CFD yang menunjukkan hubungan antara debit terhadap beberapa paramater seperti *total head*, daya dan efisiensi. Fungsi dari interpretasi dalam kurva pompa adalah mengetahui kondisi kerja yang optimal dalam pengoperasian pompa sehingga dapat dilakukan pemilihan pompa dengan kondisi kerja yang sesuai.

Analisis *Multi-Criteria Rating Index*

Multi-criteria rating index merupakan metode yang digunakan untuk menentukan suatu keputusan dalam pemilihan pompa berdasarkan beberapa parameter (teknis dan nonteknis). Metode tersebut dilakukan dengan memberikan bobot dan skor pada masing-masing paramater berdasarkan kriteria yang telah ditentukan dari studi literatur dan lapangan. Sehingga proses pemilihan pompa dilakukan dengan mempertimbangkan nilai tertinggi dari proses penilaian tersebut.

Penilaian Performa Teknis

Penilaian performa teknis dilakukan dengan cara mencari nilai debit & efisiensi pada masing-masing kurva pompa dengan kondisi kerja *total head* sebesar 21,752 m dan debit 400 L/m atau 0,4 m^3/min. Hasil tersebut dilakukan penilaian berdasarkan kriteria yang telah ditentukan.

Penilaian Keandalan

Penilaian keandalan dilakukan dengan cara mempertimbangkan getaran, struktur dan material pada masing-masing pompa dengan *output* penilaian umur pakai pompa berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan.

Penilaian Harga Beli

Penilaian harga merupakan salah satu parameter penting karena berpengaruh pada beban investasi yang dikeluarkan. Metode penilaian yang dilakukan adalah membandingkan harga pompa dari berbagai vendor sehingga evaluasi aspek ekonomi dapat dilakukan.

Penilaian Ketersediaan Suku Cadang

Penilaian suku cadang dilakukan untuk mengetahui sejauh mana kemudahan perawatan dan keberlanjutan operasional dari setiap pompa. Kriteria ini sangat penting karena ketersediaan suku cadang akan memengaruhi waktu *downtime*, biaya operasional, serta umur pakai secara keseluruhan (Tusar & Sarker, 2022).

Penilaian Aspek K3LH

Penilaian aspek Kesehatan, Keselamatan, Kerja, dan Lingkungan Hidup (K3LH) dilakukan untuk memastikan bahwa pompa yang digunakan pada distribusi bahan bakar aman dari potensi kebakaran, kebocoran, paparan operator, polusi dan dampak lingkungan. Kriteria dinilai berdasarkan potensi risiko operasional, kesesuaian material, perlindungan keselamatan dan kepatuhan terhadap standar K3 dan lingkungan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses hasil dan pembahasan dilakukan dengan proses analisis secara komprehensif dari hasil keseluruhan proses analisis dari perhitungan *head*, *computational fluid dynamic* dan *multi-criteria rating index*.

Proses Perhitungan *Total Head*

Perhitungan *total head* dilakukan dengan mempertimbangkan berbagai faktor seperti kecepatan berdasarkan kondisi kerja, parameter geometri dan faktor-faktor lainnya. Spesifikasi kebutuhan pompa yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. *Conditions & specifications*

Parameter	*Value*
Flow design	400 L/m
Pipe diameter	0,058 m
Pipe roughness	0,0015 mm
Relative roughness coef	0,00003
Friction factor	0,0228
Spesific gravity	0,840
Head static discharge	5 m
Head static suction	5 m
Pipe length discharge	5 m
Pipe length suction	5 m

Berdasarkan parameter pada tabel tersebut dapat dihitung *head loss major* dengan persamaan sebagai berikut.

$$h_{major} = F_D \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (9)$$

$$h_{major} = 0{,}0228 \frac{(5+5)}{0{,}058} \frac{3{,}29^2}{2\times 9{,}81} \quad (10)$$

$$h_{major} = 2{,}478\ m \quad (11)$$

Sedangkan untuk perhitungan *minor head loss* dilakukan dengan mempertimbangkan parameter jumlah *fitting, valves, & attachment* lainnya pada sistem *fuel storage* yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. *Attachment Fuel Storage*

No	*Attachment*	K	n	K.n
1	*Elbows* 90°	0,28	8	2,245
2	*Tee Branch*	1,08	4	4,305
3	*Ball Valve*	0,21	*6*	1,251
4	*Coarse Filter*	3	1	3
5	*Fine Filter*	6	1	6
	Total			16.802

Berdasarkan jumlah *attachment* tersebut, *minor head loss* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$h_{minor} = K \frac{v^2}{2g} \quad (12)$$

$$h_{minor} = 16{,}802 \frac{3{,}29^2}{2\times 9{,}81} \quad (13)$$

$$h_{minor} = 9{,}274\ m \quad (14)$$

Sehingga, *total head* yang dibutuhkan pada sistem *fuel storage* adalah sebagai berikut.

$$h_{total} = h_s + h_{loss} \quad (15)$$

$$h_{total} = 5 + 5 + 2{,}478 + 9{,}274 \quad (16)$$

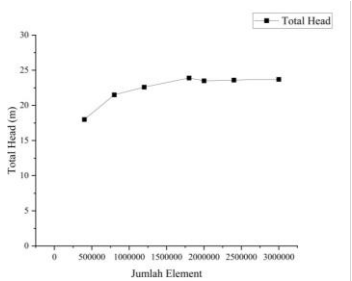
$$h_{total} = 21{,}752\ m \quad (17)$$

Simulasi CFD

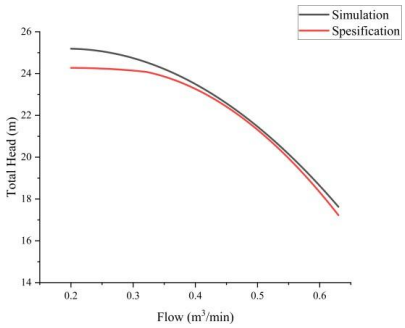
Hasil simulasi CFD yang dilakukan pada ketiga variasi pompa berupa hasil uji *grid* & validasi, kontur pada parameter kecepatan dan tekanan, serta interpretasi grafis dari hasil simulasi dalam kurva pompa.

Hasil Uji *Grid* dan Validasi

Hasil uji *grid* dapat dilihat pada grafik Gambar 4. Pada hasil grafik tersebut dapat dilihat bahwa proses simulasi stabil dengan jumlah *element* diatas 2.000.000, sehingga konfigurasi tersebut yang digunakan dalam proses simulasi.



Gambar 4. Uji *grid*

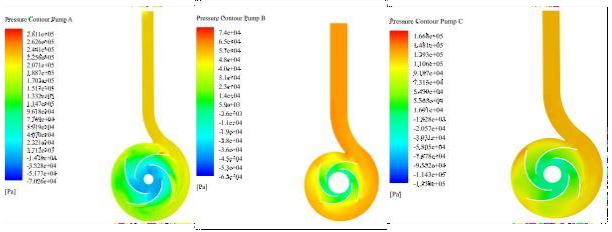


Gambar 5. Validasi pompa A

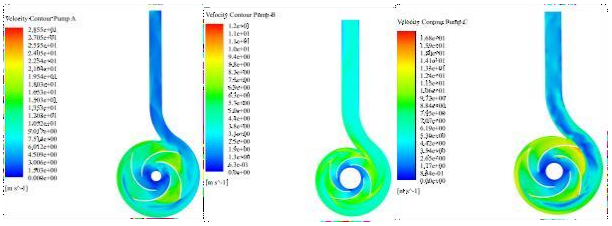
Hasil simulasi pada Gambar 5 menunjukkan kesesuaian antara hasil simulasi terhadap spesifikasi dengan deviasi maksimum sebesar 5% pada parameter *total head*.

Distribusi Tekanan & Kecepatan

Output paramater dari proses simulasi ketiga pompa berupa tekanan dan kecepatan pada area saluran keluar. Selain itu, distribusi tekanan dan kecepatan dari saluran masuk hingga saluran keluar juga dapat dilihat melalui kontur dari hasil simulasi. Berikut merupakan contoh distribusi tekanan dan kecepatan yang dapat dilihat pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6. *Pressure contour*

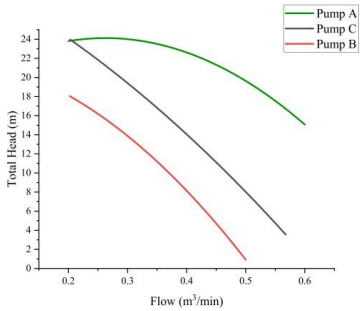


Gambar 7. *Velocity contour*

Impeller yang berputar menyebabkan tekanan pada *impeller eye* lebih rendah dari tekanan saluran masuk sehingga memungkinkan fluida mengalir. Ketika fluida berada pada area *impeller*, tekanan dan kecepatan fluida berangsur-angsur meningkat akibat adanya gaya sentrifugal dan perubahan momentum (Li et al., 2022). Pada saat memasuki area *volute*, fluida mengalami proses peningkatan tekanan hingga pada area saluran keluar. Kecepatan fluida perlahan turun akibat perluasan luas penampang dan berangsur-angsur stabil hingga pada saluran keluar (Wang & Li, 2021).

Kurva Pompa

Kurva menunjukkan hubungan antara debit (Q) dan *head total* (H) yang dihasilkan oleh pompa. Seiring meningkatnya debit, nilai *head* yang dihasilkan pompa cenderung menurun secara bertahap (Aliuly et al., 2024). Hal ini dipengaruhi oleh perubahan energi potensial akibat peningkatan debit fluida. Hasil kurva pompa dari proses simulasi dapat dilihat pada Gambar 8.



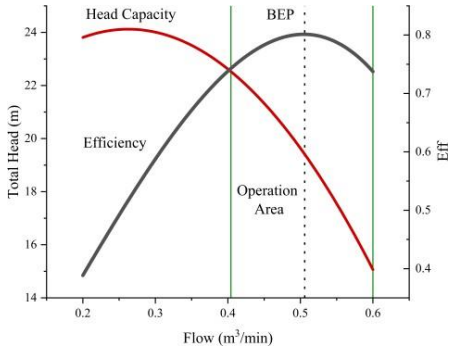
Gambar 8. Kurva pompa Q-H

Pada grafik tersebut telihat bahwa pompa A memiliki posisi kurva paling tinggi dibandingkan dengan kurva pada pompa B dan C. Hal ini dipengaruhi oleh dimensi pompa tersebut. Pompa A memiliki ukuran atau kapasitas volumetrik aliran yang lebih besar dibandingkan dengan pompa lainnya (Q. Li et al., 2021). Tabel volume domain dapat dilihat pada Tabel 6.

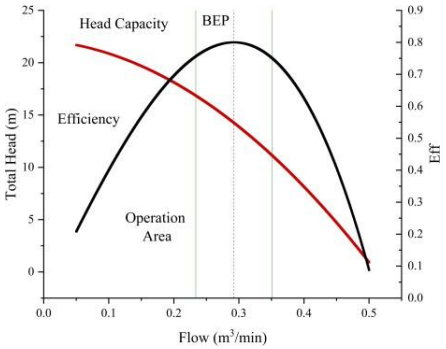
Tabel 6. Volume domain fluida pompa

Tipe	Volume Domain Fluida (m^3)
Pompa A	$7{,}5453\times10^{-4}$
Pompa B	$3{,}6095\times10^{-4}$
Pompa C	$5{,}1378\times10^{-4}$

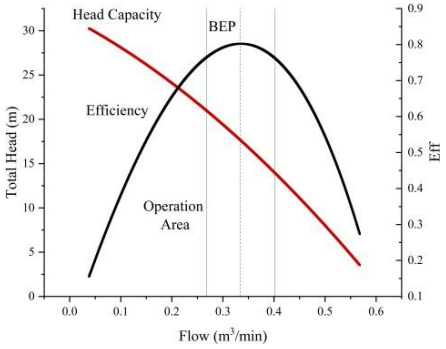
Sedangkan untuk melihat kondisi operasi dan efisiensi pada masing-masing pompa dapat dilihat pada Gambar 9, Gambar 10 dan Gambar 11. *Best Efficiency Point* (BEP) merupakan titik yang menggambarkan kondisi efisiensi maksimal dari performa pompa (Lipej, 2022). Pada titik tersebut, daya yang dihasilkan dari pompa mencapai titik tertinggi. Berdasarkan API 610 mengenai *pump selection & curve evaluation* menyatakan bahwa kondisi operasi pompa disarankan pada kondisi *flow* dalam rentang 70%–120% dari BEP.



Gambar 9. Kurva pompa A



Gambar 10. Kurva pompa B



Gambar 11. Kurva pompa C

Ketiga pompa tersebut memiliki titik BEP pada kondisi operasi debit yang berbeda-beda. Interpretasi dari ketiga kurva pompa tersebut dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Rentang kondisi operasional

Tipe	Rentang Kondisi Operasional		
	Debit (m^3/min)	*Head* (m)	Efisiensi
Pompa A	0,404–0,6	22,5–15,1	0,7–0,8
Pompa B	0,233–0,350	16,9–11,1	0,7–0,8
Pompa C	0,267–0,402	21,1–13,9	0,7–0,8

Multi-Criteria Rating Index

Metode *multi-criteria rating index (MRCI)* melakukan penilaian terhadap beberapa kriteria yang telah ditentukan seperti performa teknis, keandalan, harga, suku cadang dan K3LH.

Penilaian Performa Teknis

Hasil dari proses simulasi CFD pada ketiga pompa yang berupa performa teknis dilakukan penilaian berdasarkan kriteria-kriteria yang telah ditentukan. Kriteria performa teknis dapat dilihat pada Tabel 8 dan 9.

Tabel 8. Tabel penilaian efisiensi

Rating	Kriteria
1	Eff <30%
2	Eff <45%
3	Eff <60%
4	Eff <75%
5	Eff ≥75%

Tabel 9. Tabel penilaian *flow* & *total head*

Rating	Kriteria
1	Tidak memenuhi kebutuhan (>50%)
2	Tidak memenuhi kebutuhan (>30%)
3	Tidak memenuhi kebutuhan (>20%)
4	Tidak memenuhi kebutuhan (>10%)
5	Tidak memenuhi kebutuhan (±5%)

Flow dan efisiensi pada masing-masing kurva pompa dilakukan penilaian berdasarkan Tabel 8 dan Tabel 9. Hasil dari proses penilaian dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Tabel penilaian performa teknis

Tipe	Pompa A		Pompa B		Pompa C	
	n	*Rate*	n	*Rate*	n	*Rate*
Head	21,752	5	21,752	5	21,752	5
Flow	0,435	5	0,05	1	0,2527	2
Eff.	0,77	5	0,21	1	0,74	4

Penilaian Keandalan

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan, diketahui bahwa pompa A menggunakan motor listrik sebagai penggerak, sedangkan pompa b dan c berturut-turut menggunakan mesin diesel dan *gasoline*.



Gambar 12. Kegagalan struktur pompa

Penggerak dengan mesin diesel dan *gasoline* cenderung menghasilkan getaran yang lebih tinggi dibandingkan motor listrik, apalagi tidak disertai dengan struktur yang kokoh (Omar et al., 2024). Contoh kasus tersebut dapat dilihat pada Gambar 12.

Selain itu, *seal* pada pompa *portable* seperti pompa B dan C memiliki umur yang relatif lebih singkat jika beroperasi dengan fluida hidrokarbon seperti *fuel*. Kandungan sulfur dan pengotor lainnya dalam *fuel* akan mempercepat tingkat keausan dari *seal* tersebut (Anuar et al., 2021). Contoh kasus tersebut dapat dilihat pada Gambar 13. Sedangkan untuk pompa dengan motor penggerak listrik seperti pompa tipe A memiliki struktur dan material *seal* yang lebih baik namun perlu metode instalasi yang lebih rumit.



Gambar 13. Kebocoran *seal* pompa

Frekuensi kerusakan yang timbul akibat permasalahan-permasalahan tersebut cukup tinggi, sehingga menyebabkan *downtime* operasional dan umur pakai pompa menjadi lebih singkat. Tabel kriteria umur pakai dalam penilaian keandalan dapat dilihat pada Tabel 11. Kategori kerusakan *major* yang ada pada tabel kriteria adalah kerusakan yang menyebabkan *downtime* lebih dari 24 jam.

Tabel 11. Kriteria penilaian keandalan

Rating	Kriteria
1	Terjadi kerusakan *major* ≤1 bulan
2	Terjadi kerusakan *major* ≤3 bulan
3	Terjadi kerusakan *major* ≤6 bulan
4	Terjadi kerusakan *major* ≤1 tahun
5	Kerusakan *minor* atau tanpa kerusakan ≥1 tahun

Berdasarkan kondisi di lapangan, didapatkan penilaian keandalan berdasarkan analisis-analisis tersebut sehingga hasil penilaian keandalan dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Tabel penilaian keandalan

Tipe	Value	*Rate*
Pompa A	1–2 tahun (pergantian *seal*)	5
Pompa B	Umur *seal* dan rangka ±6 bulan	3
Pompa C	Umur *seal* dan rangka ±6 bulan	3

Penilaian Harga Beli

Penilaian harga beli (investasi) dilakukan untuk melihat besaran dana yang dikeluarkan pada awal pembelian dari ketiga produk pompa tersebut. Tabel kriteria penilaian harga beli pada ketiga produk pompa dapat dilihat pada Tabel 13. Harga tersebut diperoleh dari rata-rata harga pasar berbagai vendor. Penilaian

berdasarkan harga dari ketiga produk pompa dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 13. Kriteria penilaian *cost*

Rating	Kriteria
1	Harga ≥Rp15.000.000
2	Rp15.000.000 ≥ Harga ≥ Rp10.000.000
3	Rp10.000.000 ≥ Harga ≥ Rp7.500.000
4	Rp7.500.000 ≥ Harga ≥ Rp5.000.000
5	Harga <Rp5.000.000

Tabel 14. Tabel penilaian *cost*

Tipe	Value	Rate
Pompa A	±Rp18.000.000,-	1
Pompa B	±Rp4.900.000,-	5
Pompa C	±Rp7.000.000,-	4

Penilaian Suku Cadang

Ketersediaan suku cadang pada pompa A dan pompa B sangat luas dikarenakan telah lama digunakan di sektor industri seperti pabrik, gedung komersial, pertanian dan sektor air bersih sehingga ketersediaan *spare part* selalu dijaga stabil. Sedangkan untuk pompa C ketersediaan cukup melimpah, namun untuk suku cadang original tidak sebanyak pada pompa A dan pompa B dikarenakan beberapa suku cadang perlu dilakukan pemesanan atau fabrikasi. Tabel kriteria penilaian suku cadang dapat dilihat pada Tabel 15. Keseluruhan proses analisis ketersediaan *part* pada ketiga pompa dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 15. Kriteria penilaian suku cadang

Rating	Kriteria
1	Tidak ada distributor resmi, *Leadtime* >30 hari
2	Distributor terbatas, *Leadtime* >14 hari
3	Tersedia di beberapa kota besar, *Leadtime* >7 hari
4	Mudah ditemukan di pasar lokal, *Leadtime* >3 hari
5	Tersebar luas di seluruh Indonesia, *Leadtime* 1–3 hari

Tabel 16. Penilaian ketersediaan suku cadang

Tipe	*Value*	*Rate*
Pompa A	Distributor nasional, *spare part* industri selalu tersedia	5
Pompa B	Beberapa *part* tertentu perlu dilakukan fabrikasi	4
Pompa C	*Spare part* sangat melimpah, banyak alternatif, OEM dan *aftermarket*	5

Penilaian Aspek K3LH

Terdapat beberapa tabel kriteria penilaian dalam aspek K3LH untuk memastikan bahwa pompa aman seperti aspek risiko kebakaran dan ledakan, aspek kebocoran pencemaran lingkungan, aspek emisi gas buang, aspek getaran dan kebisingan, serta aspek risiko paparan manusia. Tabel tersebut dapat dilihat pada tabel 17, 18, 19, 20 dan 21.

Tabel 17. Kriteria aspek kebakaran dan ledakan

Rating	Kriteria
1	Tidak ada perlindungan atau terdapat percikan api.
2	Perlindungan minim, tidak ada sertifikasi, potensi *flash fire* tinggi.
3	Material cukup aman, ada *grounding*, namun belum memiliki perlindungan *antispark*.
4	Material cukup aman, ada *grounding*, namun belum memiliki perlindungan *antispark*.
5	*Fully compliant*: material *anti-spark*, motor *explosion-proof*/*intrinsically safe*, sistem *grounding* lengkap.

Tabel 18. Kriteria aspek kebocoran dan pencemaran

Rating	Kriteria
1	Kebocoran sering terjadi, *seal* tidak kompatibel dengan *fuel*.
2	Kebocoran berpotensi terjadi, *seal* kurang tahan bahan bakar.
3	*Seal* kompatibel namun tidak didukung *secondary containment*.
4	*Seal* tahan *fuel*, kebocoran kecil, ada sistem penahan tumpahan.
5	Desain anti-bocor, *secondary containment* lengkap, minim tumpahan.

Tabel 19. Kriteria aspek emisi gas buang

Rating	Kriteria
1	Asap hitam terlihat (nonstandar)
2	Pre-EURO/EPA lama
3	EURO 1
4	EURO 2–EURO 3
5	EURO 4/Elektrik

Tabel 20. Kriteria aspek getaran (ISO 10816) dan kebisingan (OSHA & Permenaker 5/2018)

Rating	Getaran (mm/s)	Kebisingan (dB)
1	>7,1	>90
2	4,5–7,1	85–90
3	2,8–4,5	75–85
4	1,8–2,8	65–75
5	<1,8	<65

Tabel 21. Kriteria aspek paparan manusia

Rating	Kriteria
1	Tidak ada proteksi, operator mudah terpapar asap dan percikan *fuel*.
2	Proteksi minim, operator perlu APD lengkap
3	Paparan moderat, APD standar cukup.

4	Paparan rendah, terdapat ruang isolasi.
5	Sangat aman, paparan sangat minim, proteksi menyeluruh.

Berdasarkan kriteria-kriteria tersebut dapat dilakukan penilaian mengenai aspek K3LH pada ketiga pompa yang dapat dilihat pada Tabel 22.

Tabel 22. Penilaian aspek K3LH

No	Parameter	Pompa		
		A	B	C
1	Kebakaran & ledakan	5	4	3
2	Kebocoran & pencemaran	5	3	3
3	Emisi gas buang	5	2	3
4	Getaran & kebisingan	5	2	3
5	Paparan manusia	5	2	3

Dari tabel tersebut pompa A relatif aman terhadap kelima aspek K3LH. Pompa B yang menggunakan mesin diesel memiliki kelebihan pada aspek kebakaran & ledakan lebih sulit terbakar dibandingan dengan pompa C yang menggunakan mesin *gasoline*. Akan tetapi, mesin diesel menghasilkan emisi gas buang *nitrogen oxides* (NO_x) & *particulate matter* (PM) serta getaran yang lebih tinggi dibandingkan mesin *gasoline* (Cao et al., 2024).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi CFD dan analisis *multi-criteria rating index*, dapat disimpulkan bahwa pemilihan pompa harus mempertimbangkan berbagai faktor seperti performa, efisiensi, keandalan, ketersediaan suku cadang, harga dan aspek lingkungan. Hasil keseluruhan penilaian proses tersebut dapat dilihat pada Tabel 23.

Tabel 23. Hasil penilaian *multi-criteria rating index*

Deskripsi	Bobot	Nilai			Total		
		A	B	C	A	B	C
Debit (Q)	0,2	5	1	2	0,2	0,04	0,08
Head (H)	0,2	5	5	5	0,2	0,2	0,2
Efisiensi	0,2	5	1	4	0,2	0,04	0,16
Keandalan	0,1	5	3	3	0,1	0,06	0,06
Harga	0,05	1	5	4	0,01	0,05	0,04
Spare part	0,05	5	5	4	0,05	0,05	0,04
K3L	0,2	5	2,6	3	0,2	0,104	0,12
	Total				0,96	0,544	0,7

Hasil simulasi CFD menunjukkan bahwa pompa A memiliki debit dan *total head* lebih tinggi dibandingkan pompa B dan C. Pompa ini menghasilkan rugi-rugi minor yang rendah serta kinerja hidrolis yang mendekati kondisi *Best Efficiency Point* (BEP). Sedangkan untuk pompa B dan pompa C, performa yang dihasilkan masih di bawah kondisi kerja yang dibutuhkan.

Sementara itu melalui evaluasi *multi-criteria rating index* pompa A memiliki nilai tertinggi pada aspek keandalan, ketersediaan suku cadang dan aspek K3LH sedangkan pompa B dan C memiliki kelebihan pada aspek harga yang lebih murah.

Sehingga berdasarkan analisis tersebut pompa A merupakan opsi terbaik yang sesuai dengan kondisi kerja, sedangkan pompa B dan pompa C dapat dijadikan opsi dengan untuk kondisi kerja yang lebih rendah dan perlu adanya mitigasi risiko pada aspek K3LH.

DAFTAR PUSTAKA

Aliuly, A., Amanzholov, T., Seitov, A., Momysh, N., Jaichibekov, N., & Kaltayev, A. (2024). Hydraulic design and CFD-Based parametric study for optimizing centrifugal pump impeller performance. *Applied Sciences*, *14*(22), 10161. https://doi.org/10.3390/app142210161

Al-Obaidi, A. R. (2024). Evaluation and investigation of hydraulic performance characteristics in an axial pump based on CFD and acoustic analysis. *Processes*, *12*(1), 129. https://doi.org/10.3390/pr12010129

Anqi, A. E., & Mohammed, A. A. (2021). Evaluating critical influencing factors of desalination by membrane distillation process—using multi-criteria decision-making. *Membranes*, *11*(3), 164. https://doi.org/10.3390/membranes11030164

Anuar, A., Undavalli, V. K., Khandelwal, B., & Blakey, S. J. T. A. J. (2021). Effect of fuels, aromatics and preparation methods on seal swell. *The Aeronautical Journal*, *125*(1291), 1542-1565. https://doi.org/10.1017/aer.2021.25

Cao, D. N., Hoang, A. T., Luu, H. Q., Bui, V. G., & Tran, T. T. H. (2024). Effects of injection pressure on the NOx and PM emission control of diesel engine: A review under the aspect of PCCI combustion condition. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, *46*(1), 7414-7431. https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1754531

Daneshparvar, M. R., & Beigzadeh, R. (2022). Multi-objective optimization of helical baffles in the shell-and-tube heat exchanger by computational fluid dynamics and genetic algorithm. *Energy Reports*, *8*, 11064-11077. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.08.249

Ge, T., Hu, L., Su, R., & Ruan, X. (2023). Analysis of cavitation and shear in bellows pump: transient CFD modelling and high-speed visualization. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, *17*(1), 2247474. https://doi.org/10.1080/19942060.2023.2247474

Hassan Aly Hassan, M., Ahmed ElSherif, I., A. El-latif, M., M. Shaheen, M., S. Elmesalamy, A., & Mahmoud, H. (2025). A comprehensive review of numerical simulation techniques for wind turbines: from computational fluid dynamics and

finite element analysis to advanced turbulence modeling. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences*, *14*(1), 92. https://doi.org/10.1186/s43088-025-00680-4

He, G., Zhang, J., Shah, A., Berk, Z. B., Han, L., Dong, H., ... & Wu, Z. J. (2021). Flow characteristics and hemolytic performance of the new Breethe centrifugal blood pump in comparison with the CentriMag and Rotaflow pumps. *The International journal of artificial organs*, *44*(11), 829-837. https://doi.org/10.1177/03913988211041635

Koprivica, S., Ivanišević, A., Stefanović, D., Jovin, M., & Petrović, M. (2025). Balancing Efficiency and Sustainability: Multicriteria Decision-Making for Pumping Station Upgrades. *Sustainability*, *17*(7), 2818. https://doi.org/10.3390/su17072818

Li, Q., Shen, X., Guo, S., Li, M., & Zou, Z. (2021). Computational investigation on effect of impeller dimension on fluid flow and interface behavior for kanbara reactor hot metal treatment. *steel research international*, *92*(11), 2100239. https://doi.org/10.1002/srin.202100239

Li, Y., Liu, D., Cui, B., Lin, Z., Zheng, Y., & Ishnazarov, O. (2024). Studying particle transport characteristics in centrifugal pumps under external vibration using CFD-DEM simulation. *Ocean Engineering*, *301*, 117538.

Lipej, A. (2022). Challenges in the numerical analysis of centrifugal pumps: energetic, cavitation and dynamic characteristics. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, *12*(1), 8217-8222.

Liu, M., Tan, L., & Cao, S. (2022). Performance prediction and geometry optimization for application of pump as turbine: a review. *Frontiers in Energy Research*, *9*, 818118. https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.818118

Lyu, H. M., Shen, S. L., Wu, Y. X., & Zhou, A. N. (2021). Calculation of groundwater head distribution with a close barrier during excavation dewatering in confined aquifer. *Geoscience Frontiers*, *12*(2), 791-803. https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.08.002

Mao, R., Lan, Y., Liang, L., Yu, T., Mu, M., Leng, W., & Long, Z. (2025). Rapid CFD prediction based on machine learning surrogate model in built environment: A review. *Fluids*, *10*(8), 193. https://doi.org/10.3390/fluids10080193

Omar, A. B. M., Ayman, O. M., Nabil, T., & Mansour, T. M. (2024). Torsional vibration control in diesel engine-driven centrifugal pump: Validation through experimental results. *Results in Engineering*, *24*, 103549. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103549

Osipov, V., Posadskii, A., & Sivakova, T. (2019, November). Methods of rational decision making in multi-agent systems for evaluating the effectiveness of innovations. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2181, No. 1, p. 020031). AIP Publishing LLC. https://doi.org/10.1063/1.5135691

Qasem, A. (2025). Performance Assessment Model for Petrol Stations Using a Multi-Criteria Condition Rating Index. *Sustainability*, *17*(6), 2355. https://doi.org/10.3390/su17062355

Rubio-Aliaga, A., García-Cascales, M. S., Sánchez-Lozano, J. M., & Molina-Garcia, A. (2021). MCDM-based multidimensional approach for selection of optimal groundwater pumping systems: Design and case example. *Renewable Energy*, *163*, 213-224. https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.079

Sánchez-Ferrer, D. S., Briceño-León, C. X., Iglesias-Rey, P. L., Martínez-Solano, F. J., & Fuertes-Miquel, V. S. (2021). Design of pumping stations using a multicriteria analysis and the application of the AHP method. *Sustainability*, *13*(11), 5876. https://doi.org/10.3390/su13115876

Shah, M., Baloni, B., & Channiwala, S. (2022). Optimization of centrifugal pump based on impeller-volute interactions. *Advances in Technology Innovation*, *7*(3), 216. https://doi.org/10.46604/aiti.2022.8509

Tominaga, Y. (2024). CFD simulations of turbulent flow and dispersion in built environment: A perspective review. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, *249*, 105741. https://doi.org/10.1016/j.jweia.2024.105741

Tusar, M. I. H., & Sarker, B. R. (2022). Spare parts control strategies for offshore wind farms: A critical review and comparative study. *Wind Engineering*, *46*(5), 1629-1656. https://doi.org/10.1177/0309524X221095258

Wang, S., Zhang, L., Yin, G., Chen, J., & Wang, L. (2021). Vibration analysis of the steel shell flow tube in a vertical axial pumping station based on fluid-structure interaction (FSI) method. *Sādhanā*, *46*(1), 30.https://doi.org/10.1007/s12046-021-

Wang, W., & Li, Z. (2021). Influence of different types of volutes on centrifugal aviation fuel pump. *Advances in Mechanical Engineering*, *13*(3), 16878140211005202. https://doi.org/10.1177/16878140211005202

Yi, H., Kim, M., Lee, D., & Park, J. (2022). Applications of computational fluid dynamics for mine ventilation in mineral development. *Energies*, *15*(22), 8405. https://doi.org/10.3390/en15228405