

EVALUASI KINERJA POMPA SENTRIFUGAL PADA SISTEM THERMAL OIL DI INDUSTRI PENGOLAHAN MAKANAN MENGGUNAKAN SOFTWARE PSAT

Nur Fatowil Aulia*¹

¹Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang
Jl. Jl. Prof. Sudarto, Tembalang, Kec. Tembalang, Kota Semarang, Jawa Tengah 50275
E-mail: nurfatowil.aulia@polines.ac.id

Abstract

Pompa merupakan mesin yang digunakan untuk memindahkan fluida. Penelitian ini dilakukan pada unit pompa yang ada di salah satu industri makanan, digunakan untuk memindahkan fluida berjenis thermal oil yang temperaturnya mencapai 300°C. Penelitian dilakukan untuk mengetahui kinerja dari pompa sentrifugal dengan menggunakan data operasi yang ditinjau dari daya pompa, Head Pompa, Headloss mayor, minor, dan daya fluida yang dikorelasikan dengan software PSAT. Hasil menunjukkan bahwa perhitungan manual didapatkan Head total sebesar 65,43 m dengan head loss total sebesar 11,86 m dan efisiensi sebesar 82%. Hasil perhitungan PSAT menunjukkan efisiensi optimal pompa sebesar 87,5% dan efisiensi existing sebesar 85,6% yang artinya memiliki perbedaan sebesar 4% - 7% dari perhitungan manual. Hal ini bisa disebabkan karena software tidak memperhitungkan beberapa faktor seperti head loss

Kata Kunci: Pompa, Sentrifugal, PSAT, Head Loss

PENDAHULUAN

Energi menjadi salah satu faktor yang sangat penting bagi kehidupan manusia sekarang ini. Konsumsi energi final di Indonesia tahun 2017 mencapai 756 Juta SBM (Setara Barel Minyak) dan meningkat sebesar 1,27% dari tahun sebelumnya. Dan peningkatan energi ini sejalan dengan pertumbuhan ekonomi penduduk di Indonesia. Sehingga energi harus dikelola dengan baik seperti sumber daya yang lain untuk menghemat cadangan yang ada dan dapat digunakan dalam jangka waktu yang lebih lama. Salah satu cara untuk penghematan energi adalah melalui konservasi energi [1].

Menurut British Pump Manufacturers Assosiation (BPMA), 20% energi dunia digunakan oleh pompa dan 95% terpasang over size mengakibatkan pompa mengalami pemborosan energi yang sangat besar [2]. Bukan hanya boros energi tapi juga memiliki efisiensi operasi

yang rendah padahal biaya yang dikeluarkan cukup besar. Dalam industri maupun rumah tangga, pompa sudah menjadi peralatan yang sangat penting dan krusial terutama dalam pendistribusian fluida, Salah satu jenis pompa yang banyak penggunaannya adalah pompa sentrifugal. Dimana pompa ini memiliki prinsip kerja yang sederhana, konstruksi yang kuat, mempunyai banyak jenis, tidak butuh banyak ruang, pemeliharaan yang mudah dan kelebihan lainnya. Tetapi kurangnya perawatan pada pompa dapat menyebabkan daya, kecepatan, efisiensi performa kerja yang berkurang. Kerja pompa yang tidak maksimal tentu dapat menimbulkan terganggunya suatu proses.

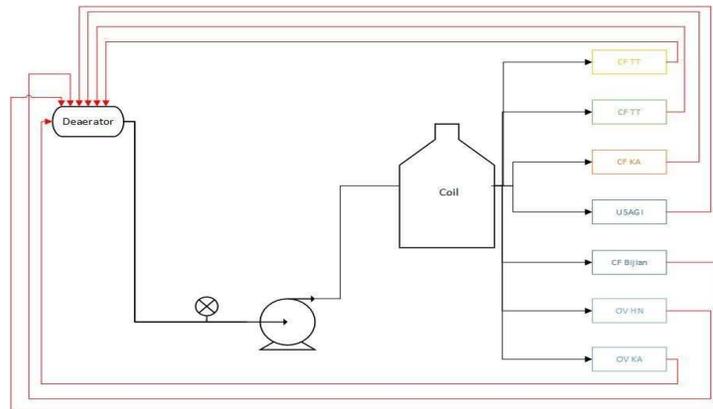
Di beberapa industri termasuk di Industri pengolahan makanan mulai mengubah penggunaan boiler sebagai pemanas untuk sistem produksi beralih ke penggunaan Thermal Oil Heater yang lebih efisien dan mudah dalam perawatannya. Fluida yang berupa Thermal Oil menjadi kelebihan utama penggunaan Thermal Oil Heater dimana tidak perlu mengkhawatirkan adanya perubahan fase fluida meskipun di suhu yang tinggi tidak seperti yang terjadi pada fluida yang berupa air. Penggunaan pompa sebagai pendistribusian fluida dalam sistem Thermal Oil Heater ini menjadi bagian yang sangat krusial karena apabila pompa mengalami masalah dalam pendistribusian fluidanya, maka akan menghambat produksi dan menyebabkan kerugian yang besar bagi industry. Meskipun memiliki banyak kelebihan, penggunaan Oil dengan suhu tinggi juga menjadi salah satu masalah tersendiri. Sulitnya mencari alat ukur yang sesuai untuk suhu mencapai 300°C yang didistribusikan mengakibatkan pihak operasional kesulitan dalam memastikan kondisi pompa dan peralatan yang lain.

METODE PENELITIAN

Pengambilan Data

Proses pengambilan data pada sistem perpipaan pompa dilakukan di Unit TO4 di salah satu industry makanan menggunakan peralatan pendukung yang tersedia di sana. Kegiatan ini bertujuan untuk mendapatkan data dan spesifikasi alat pada instalasi sistem pompa yang ada sebagai acuan dalam menganalisis.

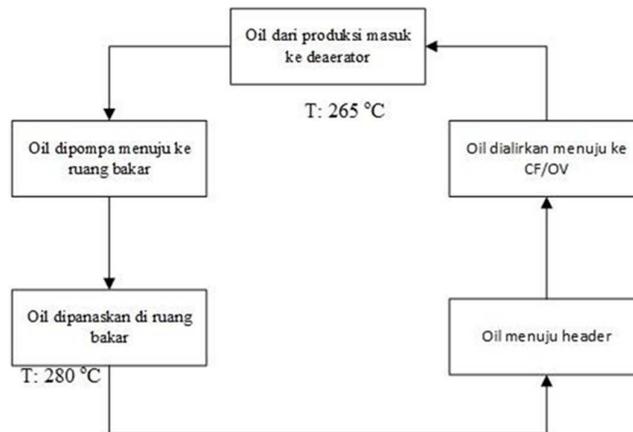
Blok Diagram Pompa



Gambar 1. Blok Diagram Instalasi Pompa

Pada gambar 1. di atas menunjukkan gambaran dari aliran fluida yang dipompakan oleh pompa. Terlihat pada gambar bahwa fluida terus bersirkulasi dari produksi kembali ke produksi dan tidak pernah berhenti kecuali mengalami overstock. Saat mengalami overstock, sistem thermal oil heater akan berhenti termasuk pompa. Saat sistem berhenti fluida yang semula panas lama kelamaan suhunya akan turun dan mengalami penyusutan. Sehingga saat sistem akan mulai beroperasi lagi maka akan diinjeksikan fluida baru sekitar 1000L. untuk mencapai suhu diatas 260oC membutuhkan waktu sekitar 2 jam.

Skema Flow Kerja Pompa



Gambar 2. Flow Diagram Kerja Pompa

Thermal oil heater adalah salah satu jenis pemanas yang menggunakan fluida berupa minyak sebagai media penghantar panasnya. Di PT XX terdapat 4 unit Thermal Oil Heater dimana masing-masing unit memiliki perannya masing- masing. Salah satunya adalah unit TO4 atau Unit Thermal Oil 4 yang dimanfaatkan untuk pemanasan oven dan penggorengan pada beberapa produksi yang ada disana. Fluida minyak dari produksi akan mengalir menuju ke deaerator untuk menghilangkan oksigen di dalamnya, kemudian dialirkan melalui pompa untuk selanjutnya dipompakan menuju ke coil untuk dipanaskan dengan bantuan burner. Minyak dipanaskan hingga mencapai suhu kisaran 275°C – 280°C. Suhu minyak selalu dijaga konstan untuk menghindari terjadinya pengendapan yang dapat memunculkan jelaga yang dapat mengganggu produktifitas. Minyak yang sudah panas akan dialirkan keluar menuju header untuk kemudian diarahkan Kembali menuju produksi untuk digunakan kembali pada produksi.

Pompa



Gambar 3. Pompa Etanorm SYT

Pompa yang digunakan adalah pompa produksi dari KSB tipe Etanorm SYT yang memiliki aplikasi utama untuk Heat Transfer Systems atau Hot Water Circulation sehingga pompa ini khusus untuk digunakan pada fluida jenis Thermal Oil atau High Temperature Hot Water. Untuk fluida jenis thermal oil dengan basis mineral oil, pompa ini memiliki batasan penggunaan pada suhu maksimum adalah 350°C dan tekanan maksimum 16 bar.

Pompa ini memiliki material casing pompa berupa nodular cast iron dan material impeller berupa grey cast iron. Dengan diameter inlet impeller sebesar 159 mm dan lebar



outlet impeller sebesar 40,7 mm. Untuk memastikan tidak adanya benda lain yang terbawa di dalam fluida maka di dalam pompa dipasang strainer untuk mencegah impuritas atau benda asing terbawa oleh fluida. Ukuran mesh pada strainer sebesar 5mm, dimana setiap 1 inchnya terdapat sekitar 3 sampai 5 lubang. Tabel 3.2 berikut menunjukkan spesifikasi pompa.

Tabel 1. Spesifikasi Pompa Etanorm SYT

Model	150-125-200 SG
S/N	049-R1905065-001
Q	512,84 m ³ /h
N	2975 rpm
H	53,62 m
Year	2019

Motor



Gambar 4. Motor CMG

Pompa sirkulasi di Unit TO4 digerakkan oleh motor listrik. Motor penggerak ini bekerja dengan cara mengubah energi listrik menjadi energi gerak untuk menggerakkan pompa sehingga dapat mengalirkan oil dari deaerator menuju ke coil. Motor penggerak ini dipilih

menyesuaikan dengan kapasitas pompanya. Putaran yang tinggi biasanya dipilih untuk menggerakkan pompa dengan kapasitas kecil. Dan sebaliknya, motor dengan putaran rendah biasanya dipilih untuk menggerakkan pompa kapasitas tinggi

Spesifikasi Fluida

Fluida yang digunakan dalam sistem ini adalah Shell Heat Transfer Oil S2 atau yang lebih dikenal dengan Shell Thermia B yang berbasis pada minyak mineral (mineral oil based). Fluida ini diklasifikasikan pada ISO 6743-12 Family Q (Heat Transfer Fluids) yang bersifat non korosif serta memiliki daya larut tinggi. Shell Heat Transfer Oil S2 ini memiliki viskositas rendah yang memungkinkan fluiditas yang sangat baik dan perpindahan panas pada rentang suhu yang luas. Menjadikan Shell Heat Transfer Oil S2 dapat digunakan pada suhu yang tinggi secara terus menerus dengan batasan suhu maksimal 320oC.

Tabel 2. Spesifikasi Fluida

Nama produk	Shell Heat Transfer Oil S2
Titik Tuang	-12°C/10°F
Titik didih awal	>280°C/406°F
Tekanan Uap	<0.5 Pa (20°C/68°F)
Densitas relatif	0.857 (20°C/68°F)
Densitas	857 kg/m ³ (20°C/68°F)
Viskositas, kinematis	270 mm ² /s (0°C/32°F)
	1.4 mm ² /s (200°C/392°F)
	5.1 mm ² /s (100°C/212°F)
	29 mm ² /s (40°C/104°F)
Coefficient of Thermal Expansion	0.0008 (setiap kenaikan 1°C)

Software PSAT (Pumping System Assesment Tool)

Perangkat lunak (software) Pumping System Assesment Tool adalah sebuah program yang dirancang oleh Department of Energy’s (DOE’s) Industrial Technologies Program

(ITP) Amerika Serikat untuk membantu dalam mengidentifikasi dan menganalisis efisiensi energy sistem pompa dengan pendekatan yang netral. Salah satu kelebihan dari PSAT adalah mampu mengidentifikasi performa pompa yang kurang baik.

Langkah-langkah Simulasi dengan Software PSAT (Pumping System Assesment Tool)

Software PSAT digunakan untuk perbandingan nilai eksisting efisiensi pompa dan untuk mengetahui nilai efisiensi optimal pompa. berikut langkah-langkahnya:

- a. Menentukan pump style sesuai dengan kondisi pompa di lapangan. Pump style yang digunakan pada penelitian ini adalah end suction standard ANSI/API.
- b. Memasukkan nilai properties pompa dan fluida pada pump and fluid section.
- c. Memasukkan nilai properties motor penggerak pada motor section.
- d. Memasukkan nilai spesifikasi pompa dan motor penggerak pada field data section.
- e. Setelah semua data terinput, hasilnya akan terlihat pada kolom PSAT result section.

Pada kolom kondisi optimal software PSAT ini berdasarkan pada Hydraulic Institute (HI) standard ANSI/HI 1.3-2000, American National Standard for Centrifugal Pumps for Design and Application.

Tahap Analisis Data

Untuk penyelesaian pengerjaan laporan tugas akhir ini, dilakukan beberapa perhitungan diantaranya adalah kecepatan aliran (V), head instalasi pompa (headloss mayor (hf) dan headloss minor (hL)), dan daya pompa yang dibutuhkan menggunakan data yang diperoleh dari perusahaan dan referensi pendukung. Perhitungan pada tugas akhir ini dilakukan dengan dua metode yaitu dengan perhitungan manual dan perhitungan menggunakan software Pumping System Assesment Tool (PSAT 2008) untuk dilakukan komparasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Head Pompa

Untuk mengetahui besarnya nilai head pompa yang dibutuhkan untuk mengalirkan heat oil dari deaerator ke coil digunakan persamaan berikut:

$$H_p = (Z_2 - Z_1) + \left(\frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \right) + \frac{P_2 - P_1}{\gamma} + \sum h_L$$

Dimana :

H_p = Total head yang dihasilkan pompa (m)

$P_{2,1}$ = Tekanan sisi tekan dan sisi isap dari instalasi (Pa)

$V_{2,1}$ = Kecepatan aliran fluida pada sisi tekan dan sisi isap (m/s)

$Z_{2,1}$ = Ketinggian saluran tekan dan isap (m)

$\sum hl$ = Total head loss pada sistem (m)

g = Gravitasi (m/s²)

Sebelum menghitung *head* pompa yang dibutuhkan, terlebih dahulu menghitung *head loss* sistem perpipaan.

Kecepatan Aliran

Untuk mengetahui kecepatan aliran diperlukan nilai debit aktual dan luas penampang pipa. Perhitungan kecepatan aliran dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$Q = \frac{V}{A}$$

Dimana:

V = Kecepatan aliran (m/s)

Q = Kapasitas atau Debit fluida (m³/s)

A = Luas penampang pipa (m)

Dengan nilai kapasitas sebesar 512,84 m³/h dan diameter pipa diketahui sebesar 8 Inch, besar kecepatan alira fluida dapat dicari. Didapatkanlah nilai v kecepatan aliran sebesar 4.4 m/s.

Head Loss Mayor

Head loss adalah rugi-rugi yang diakibatkan oleh gesekan yang terjadi di dalam instalasi perpipaan termasuk pada belokan, sambungan, dll. Perhitungan untuk head losses dirumuskan sebagai berikut:

$$h_f = f \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

Dimana:

h_f = head losses pada pipa lurus (m) f = faktor gesekan pipa

L = Panjang pipa (m)

D = diameter dalam pipa (m)

g = percepatan gravitasi (9,806 m/s²)

V = kecepatan aliran pipa (m/s)

Dalam perhitungan *head loss* sangat dipengaruhi oleh jenis aliran. Nilai koefisien yang dihasilkan dari jenis aliran laminar dan turbulen akan berbeda. Maka perlu mencari nilai Re atau bilangan Reynold terlebih dulu untuk menentukan tipe aliran dalam pipa.

Pipa yang digunakan adalah jenis pipa seamless sch 40 yang terbuat dari baja karbon. Dengan nilai bilangan Reynold sebesar 745.066,667 dan kondisi pipa masih dalam keadaan baik sehingga nilai kekasaran pipa baja karbon (ϵ) = 0,25 mm = 0,00025 m. dengan diameter pipa 8 inch atau 0,2032 m, sehingga darcy friction factor dapat kita tentukan melalui moody diagram. Didapatkan nilai friction factor (f) sebesar 0,0138. Sehingga didapatkanlah nilai headloss mayor sebesar 1.655 m.

Head Loss Minor

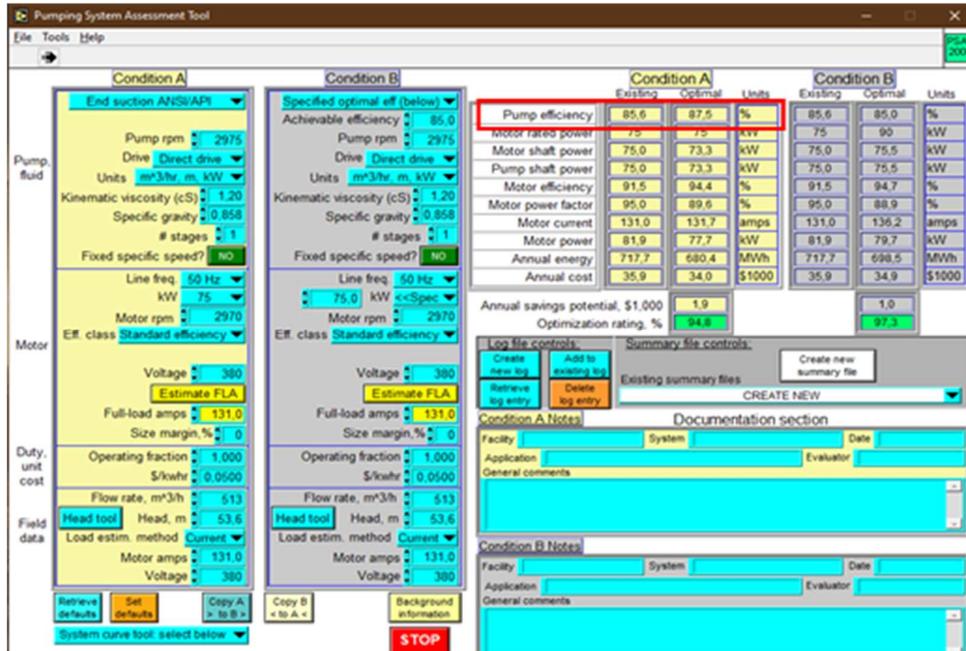
Head loss minor adalah rugi-rugi akibat gesekan yang terjadi karena adanya lengkapan di sepanjang instalasi pipa. Hasil ditunjukkan oleh table berikut :

Tabel 3. *Head loss minor*

Nama	Jumlah	Koefisien (k)	V (m/s)	G (m/s ²)	Perhitungan
Gate Valve	1	0,09	4,4	9,806	$\frac{nk}{2g} V^z = 1 \times 0,09 \times \frac{(4,4)^z}{2(9,806)}$ 0,089 m
Sambungan	30	0,19			$\frac{nk}{2g} V^z = 30 \times 0,19 \times \frac{(4,4)^z}{2(9,806)}$ 5,63 m
Belokan	5	0,9			$\frac{nk}{2g} V^z = 5 \times 0,9 \times \frac{(4,4)^z}{2(9,806)} = 4,44$ m
Total					10,16 m

Dari tabel 3. di atas dapat dilihat bahwa rugi-rugi pada gate valve yang berjumlah satu dengan koefisien gesek 0,09 adalah 0,089 m. Rugi-rugi pada sambungan sepanjang pipa dengan koefisien gesek 0,19 adalah 5,63 m. Rugi- rugi pada belokan pipa siku standar sebanyak 5 buah dengan koefisiensi 0,9 adalah 4,44 m. Sehingga total head loss minor pada instalasi pipa ini sebesar 10,16 m.

Perhitungan Software PSAT (Pumping System Assesment Tool)



Gambar 5. Hasil Perhitungan Software PSAT

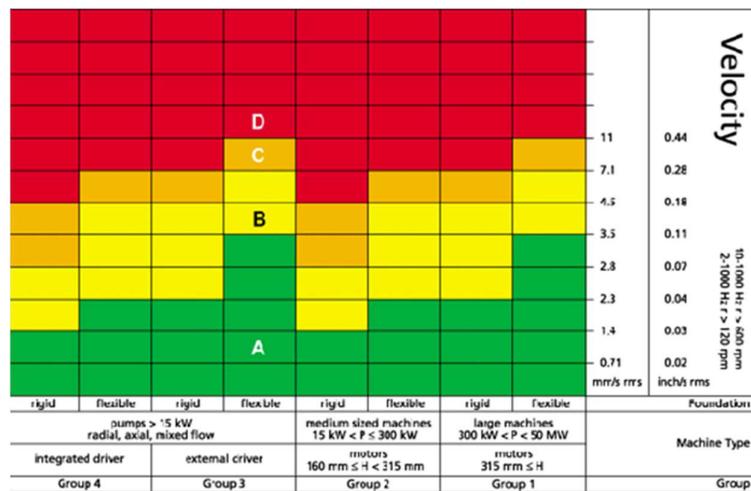
Pada gambar di atas terlihat pada kondisi A dengan tipe pompa end suction menunjukkan bahwa pada kondisi existing nilai efisiensi pompa sebesar 85,6% dan kondisi optimalnya sebesar 87,5% yang artinya memiliki rentang perbedaan sebesar 4% - 7% dari perhitungan manual yang hanya menunjukkan nilai efisiensi sebesar 82% .

Begitu juga pada daya poros pompa dimana pada perhitungan software daya poros pompa kondisi optimal sebesar 73,3 kW dan kondisi existing nya sebesar 75 kW. Sedangkan pada perhitungan manual nilai yang didapat sebesar 78,75 kW untuk daya poros pompa. untuk menurunkan daya poros ini dapat dilakukan dengan mengurangi head loss terutama rugi-rugi pada

sambungan. Pipa yang memiliki banyak sambungan dapat diganti dengan pipa tanpa sambungan untuk mengurangi adanya rugi-rugi sepanjang instalasi.

Untuk menaikkan efisiensi pompa dapat dilakukan dengan mengatur debit fluida. Pengaturan debit fluida dilakukan dengan mengatur katup yang ada. Sebelum itu dapat dilakukan pemasangan alat ukur flowmeter untuk memudahkan dalam pembacaan debit.

Indikasi Getaran Motor Penggerak



Gambar 6. Standard ISO 10816-3

Gambar 6. di atas adalah ISO 10816-3 tentang evaluasi getaran mesin dengan mengukur pada bagian tidak bergerak (non rotating part) untuk mesin-mesin yang didesain dengan jam operasi yang panjang yang memberikan batasan getaran optimal. Area hijau atau area A adalah untuk kondisi mesin yang masih baru. Area kuning atau area B adalah untuk operasi jangka panjang yang diperbolehkan. Area oranye atau area C adalah untuk operasi jangka pendek yang diperbolehkan. Dan yang terakhir adalah area merah atau area D menunjukkan getaran dapat menyebabkan kerusakan.

Dari data yang tertera pada lampiran, getaran dari motor berdaya output 75 kW dan berpondasi rigid pada bulan Januari, Februari, dan Maret adalah 1,04 mm/s; 1,11 mm/s; dan 1,2 mm/s. Sehingga jika mengacu pada standard ISO 10816-3 kondisi motor masih dalam kondisi bagus karena berada pada area A atau area hijau.



Kondisi getaran pompa tipe radial yang memiliki daya lebih dari 15 kW dan berpondasi rigid pada bulan Januari, Februari, dan Maret adalah 1,3 mm/s; 1,2 mm/s; dan 1,3 mm/s. Sehingga jika mengacu pada standard ISO 10816-3 kondisi pompa masih dalam kondisi bagus karena berada pada area A atau area hijau.

Indikasi Temperature Motor

Motor yang digunakan pada sistem pompa ini adalah motor asinkron 3 phasa merk CMG yang memiliki kelas insulasi F. Yang artinya apabila pada suhu lingkungan 40°C dan peningkatan suhu sebesar 105°C maka maksimum suhu operasi adalah 145°C mengacu pada Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment. Dari data yang tertera pada lampiran menunjukkan bahwa suhu lingkungan rata-rata selama tiga minggu adalah 33°C dan suhu motor selama 3 minggu adalah 40°C. Maka suhu maksimum yang diperbolehkan adalah 138°C yang artinya kondisi motor masih dalam keadaan baik.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kapasitas oil yang dipompakan oleh pompa sentrifugal untuk memenuhi proses produksi di industry makanan tersebut sebesar 0,1425 m³/s.
2. Hasil dari perhitungan manual didapatkan Head total sebesar 65,43 m dengan head loss total sebesar 11,86 m dan efisiensi sebesar 82%.
3. Hasil perhitungan PSAT menunjukan efisiensi optimal pompa sebesar 87,5% dan efisiensi existing sebesar 85,6% yang artinya memiliki perbedaan sebesar 4% - 7% dari perhitungan manual. Hal ini bisa disebabkan karena software tidak memperhitungkan beberapa faktor seperti head loss.
4. Nilai getaran dan suhu motor penggerak berada dalam kondisi aman mengacu pada ISO 10816-3 dan Standard for Infrared Inspection of Electrical Systems & Rotating Equipment.
5. Dari hasil yang ada menunjukkan bahwa baik kondisi pompa maupun motor dalam keadaan baik

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bade, Mukund H., Bandyopadhyay, Santanu, 2015, Energy Procedia: Energy Modelling of Thermal Oil Heater Based Cooking System, Elsevier, New York.
- [2] BACHAROUDIS, E., FILIOS, A., MENTZOS, M., MARGARIS, D., “Parametric Study of a Centrifugal Pump Impeller by Varying the Outlet Blade Angle”, The Open Mechanical Engineering Journal, 2(1), pp. 75-83, 2008.
- [3] KELDER, J., DIJKERS, R., ESCH, B. V., KNYT, N., “Experimental and theoretical study of the flow in the volute of a low specific-speed pump”, Journal of Fluid Dynamic Research, pp. 267-280, 2001..
- [4] MEAKHAIL, T. A., SALEM, M., DAN SHAFIE, I., “Steady and unsteady flow inside a centrifugal pump for two different impellers”, International Journal of Energy and Power Engineering, pp. 65-76, 2014.
- [5] Sahdev, M., Centrifugal Pumps: Basic concepts of operation, maintenance and trouble shooting, Part I. Presented at The Chemical Engineers’ Resource Page..
- [6] HUANG. R., ZHANG, Z., ZHANG, W., MOU, J., ZHOU, P., WANG, Y., “Energy performance prediction of the centrifugal pumps by using hybrid neural network”, Energy, 213, 2020.