

MONITORING PENYEBARAN PANAS MENGGUNAKAN TERMOGRAFI PADA POMPA SENTRIFUGAL BERTINGKAT SEMBILAN

Ali Mahmudi¹, Parno Raharjo², Ibrahim Azhari³

^{1,2,3}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung
Email: alimahmudi@polban.ac.id

Abstrak

Termografi merupakan salah satu teknik pemeliharaan prediktif yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi kerusakan mesin. Termografi telah banyak diterapkan, terutama untuk keperluan monitoring mesin fluida termal dan penukar panas. Dalam tulisan ini dibahas mengenai monitoring penyebaran panas yang terjadi pada sistem pompa sentrifugal bertingkat dengan sirkulasi aliran tertutup. Panas berlebih pada sistem pompa sentrifugal dapat menjadi indikator adanya kerusakan pada sistem pompa. Pengujian dilakukan pada pompa sentrifugal sembilan tingkat dengan sirkulasi aliran tertutup, yang memiliki tenaga tenaga 7,5 HP, head 170 m, putaran 1450 rpm dan debit 8 m³/jam. Pengujian dilakukan pada katup tekan terbuka penuh yang dilakukan mulai dari menit 30 hingga menit 120 dengan rentang 15 menit. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kenaikan temperatur yang terjadi pada setiap komponen jelas dan signifikan. Temperatur tertinggi terjadi pada bantalan pompa sisi non penggerak, kemudian diikuti oleh bantalan pompa sisi penggerak, badan pompa, kopling, bantalan motor sisi penggerak, dan badan motor. Kenaikan paling cepat terjadi pada badan pompa.

Kata Kunci: termografi, pemeliharaan prediktif, pompa sentrifugal bertingkat, pemindaian

Abstract

Thermography is a predictive maintenance technique that can be used to identify machine breakdowns. Thermography has been widely applied, especially for monitoring purposes of thermal fluid engines and heat exchangers. This paper discusses the monitoring of heat distribution that occurs in a multistage centrifugal pump system with closed flow circulation. Excessive heat in a centrifugal pump system can be an indicator of damage to the pump system. The test was carried out on a nine-stage centrifugal pump with closed flow circulation, which has a power of 7.5 HP, a head of 170 m, a speed of 1450 rpm and a flow rate of 8 m³/hour. The test was carried out on a fully open discharge pressure valve which was carried out starting from 30 minutes to 120 minutes with a range of 15 minutes. The test results show that the temperature increase that occurs in each component is clear and significant. The highest temperature occurs in the pump bearing non drive end, then followed by the pump bearing drive end, pump body, coupling, motor bearing drive end, and motor body. The fastest increase occurs in the pump body.

Keywords: thermography, predictive maintenance, multistage centrifugal pump, scanning

I. PENDAHULUAN

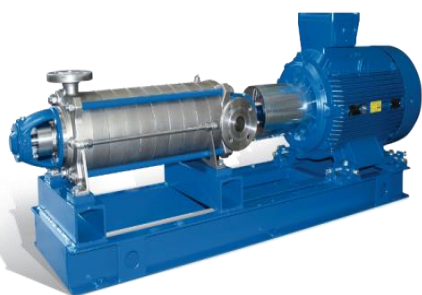
Pompa sentrifugal banyak digunakan di industri manufaktur, industri proses dan industri pembangkitan energi. Pompa sentrifugal di industri merupakan mesin yang memiliki tingkat kritis tinggi, yaitu apabila mesin tersebut mengalami kerusakan akan menimbulkan kerugian yang besar akibat berhentinya produksi. Agar mesin tersebut tidak terjadi kerusakan tiba-tiba, maka diperlukan penerapan pemeliharaan prediktif disamping pemeliharaan berkala. Dengan penerapan pemeliharaan prediktif gejala kerusakan mesin dapat diketahui

sedini mungkin dan kerusakan yang lebih jauh dapat dicegah dan kerugian yang lebih besar yang berupa berhentinya produksi dapat dicegah.

Salah satu teknik pemeliharaan prediktif yang dapat diterapkan untuk memonitor pompa sentrifugal adalah inspeksi penyebaran panas atau termografi disamping inspeksi kinerja, inspeksi getaran, inspeksi pelumas dan inspeksi geometri (Raharjo, 2014). Pada prinsipnya suatu komponen mesin yang memiliki temperatur tinggi menunjukkan ada masalah pada komponen mesin tersebut. Informasi penerapan termografi untuk keperluan

monitoring kondisi mesin khususnya untuk pompa sentrifugal tingkat sembilan masih minim dan belum mapan seperti teknik monitoring yang lain sehingga diperlukan kajian, pengujian dan penelitian lebih lanjut.

Pompa adalah mesin fluida yang digunakan untuk mengalirkan fluida inkompresibel (tidak termampatkan) dari suatu tempat ke tempat yang lain, dari suatu tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi atau dari tekanan yang rendah ke tekanan yang lebih tinggi. Pompa bertingkat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1 menggunakan beberapa impeler yang dipasang secara berderet (seri) pada satu poros. Zat cair yang keluar dari impeler pertama dimasukkan ke impeler berikutnya dan seterusnya hingga impeler terakhir. Total head pompa ini merupakan penjumlahan dari head yang ditimbulkan oleh masing-masing impeler sehingga headnya relatif tinggi (Sepdyanuri, 2016).



Gambar 1. Pompa sentrifugal bertingkat (Aturia, 2015)

Pompa yang mengalami panas berlebih dapat menyebabkan kerusakan pada pompa. Akibatnya dapat berpengaruh pada keselamatan, biaya perbaikan, umur pompa, dan lain-lain. Panas yang terjadi pada pompa memiliki beberapa penyebab, diantaranya, beban berlebih, putaran berlebih, *misalignment* pada kopling, pelumasan yang kurang dan gesekan berlebih pada bantalan (*bearing*), katup hisap terisumbat atau tertutup dan kerusakan bantalan.

Inspeksi penyebaran panas atau termografi merupakan teknik pemeliharaan prediktif yang bertujuan untuk menentukan kondisi mesin atau peralatan dengan cara memeriksa atau memonitor kondisi penyebaran panas yang terjadi pada mesin tersebut. Inspeksi penyebaran panas telah banyak diterapkan untuk mesin termal dan penukar panas, tetapi

untuk keperluan inspeksi kondisi mesin rotasi khususnya pompa sentrifugal masih sedikit dan terbatas. Setiap mesin memiliki batas temperturnya masing-masing, apakah temperatur tersebut masih batas wajar dan aman atau sudah melewati batas temperatur yang telah ditentukan.

Bila temperatur yang dihasilkan mesin melebihi batas standar temperatur yang telah ditetapkan maka mesin tidak diperbolehkan beroperasi dan harus diperbaiki. Teknik monitoring menggunakan termografi yang diterapkan pada mesin kalor dan fluida masih sangat minim diterapkan sehingga belum memiliki data karakteristik penyebaran panas yang lengkap sebagai panduan menentukan kondisi mesin. Oleh karena itu studi penyebaran panas pada mesin fluida dengan menggunakan termografi terus dilanjutkan. Standar batas temperatur yang digunakan adalah standar yang telah dikeluarkan EPRI (*Electric Power Research Institute*) dan *Syscon Power* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Standard termografi (EPRI, 2003)*

Standard of Thermography Inspection					
Differential Temp	< 5°C	5°C - 10°C	11°C - 20°C	21°C - 40°C	>40°C
Max Temp					
< 75°C	Normal	Low	Medium	High	Critical
75°C - 100°C	Information of overloading	Medium	High	Critical	Critical
>100°C	Information of high overloading	Critical	Critical	Critical	Critical

Veratti dan Guevara (2017) menyatakan bahwa *infrared thermography* dapat digunakan untuk berbagai aplikasi misalnya dalam bidang *maintenance, production process, medicine, safety* dan *army*.

Ari Satmoko (2008) melakukan pengujian termografi pada pompa. Di dalam analisisnya dilakukan inspeksi termografi untuk mendeteksi panas yang berlebihan atau mengakibatkan kegagalan suatu komponen pompa sehingga diperlukan inspeksi termografi dengan model pemeliharaan prediktif yang mengarah kepada pemeliharaan proaktif yang dapat memperpanjang umur operasi suatu peralatan

Penerapan termografi dilakukan oleh Teguh Sunyoto (2011) pada kompresor sekrup. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bantalan mengalami panas yang abnormal dengan kemungkinan bahwa terjadi kontaminasi pada pelumas, atau mengalami kesalahan pelumasan.

Imran Maulana (2016) melakukan analisis kematangan kopi sangrai menggunakan pemrosesan citra termografi dalam rangka pengontrolan mutu kopi secara otomatis yang bertujuan untuk mengefektifkan pengontrolan suhu pada biji kopi.

Moussa (2017) melakukan pengujian penyebaran panas pada *rolling bearing* dengan *thermography* pada *test rig* yang digerakkan oleh motor listrik melalui poros. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan kondisi *bearing* mulai dari *bearing* yang baik dan *bearing* yang mengalami kerusakan lintasan luarnya, kerusakan lintasan dalamnya, masalah pelumas dan kerusakan *seal*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengukuran penyebaran panas dengan *thermography* dapat digunakan untuk monitoring kondisi *bearing*. Percobaan menunjukkan bahwa dengan lima kondisi *bearing* yang diteliti hasilnya bahwa metode tersebut potensial untuk digunakan untuk mendeteksi kerusakan fisik *bearing* dan mendeteksi umur pelumas.

Mahmudi dkk. (2020) melakukan pengujian penyebaran panas dengan termografi pada sistem transmisi roda gigi helix HD 58. Dari hasil penelitian tersebut telah dianalisis dan dihasilkan bahwa inspeksi termografi menunjukkan terjadi korelasi antara waktu operasi dengan kenaikan temperatur pada instalasi sistem transmisi roda gigi. Temperatur tinggi terjadi pada badan motor listrik, diikuti pada bantalan motor listrik sisi penggerak, kopling, bantalan kotak roda gigi sisi penggerak, bantalan pada kotak roda gigi sisi non penggerak dan badan kotak roda gigi. Penyebaran panasnya tertinggi terjadi pada bodi motor kemudian, bantalan motor sisi penggerak, kopling, bantalan kotak roda gigi sisi penggerak, badan kotak roda gigi dan bantalan kotak roda gigi sisi non penggerak.

Talai dkk. (2021) membahas tentang penggunaan *infrared thermography* untuk memonitor kondisi struktur, menyampaikan bahwa diperlukan mengkuantifikasikan emisi panas dari struktur yang bergetar untuk melengkapi *on line condition monitoring* dengan dua indikator *vibration and thermal signature*.

Venegas dkk. (2022) dalam artikel yang berjudul *Towards the Automation of Infrared Thermography Inspections for Industrial Maintenance Applications* membahas tentang penerapan kombinasi antara ML (*Machine Learning*) dan IRT (*Infrared Thermography*) pada masa yang akan datang untuk keperluan pemeliharaan peralatan industri.

Prasetyo dkk. (2022) melakukan penelitian penyebaran panas pada pompa tingkat tunggal dengan menggunakan termografi. Pengujian dilakukan selama 120 menit, dengan sirkulasi tertutup. Hasil penelitiannya bahwa temperatur tertinggi terjadi pada badan pompa, perubahannya dari 36.8°C sampai 52.4°C.

Walaupun sudah ada beberapa penelitian yang berkenaan dengan penyebaran panas pada komponen mesin, namun informasi mengenai karakteristik penyebaran panas menggunakan termografi masih terbatas. Oleh karena itu penelitian mengenai karakteristik penyebaran panas pada mesin fluida khususnya sistem pompa sentrifugal bertingkat perlu dilakukan. Hasil yang didapat dapat digunakan sebagai referensi untuk menentukan kondisi sistem pompa sentrifugal bertingkat yang digunakan di industri melalui monitoring penyebaran panas dengan menggunakan termografi.

II. METODE

Obyek yang dilakukan untuk pengujian adalah pompa sentrifugal sembilan tingkat dengan sirkulasi aliran tertutup, dengan daya 7,5 HP, head 170 m, putaran 1450 rpm dan debit 8 m³/jam.

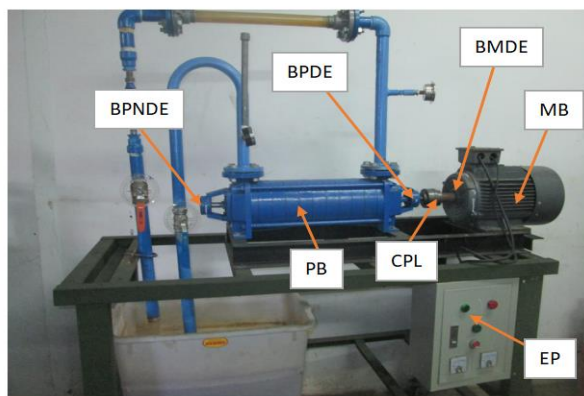
Alat yang digunakan untuk pengukur distribusi panas adalah FLIR i5 *Thermal Imaging Camera* seperti ditunjukkan pada Gambar 2 dengan spesifikasi *temperature range: -4°F to 482°F (-20°C to 250°C)*, *thermal sensitivity: <0.1°C at 25°C*, *minimum focus distance: 0.6 m* (Flir i5, 2011).



Gambar 2. *Thermal Imaging Camera*

Pengujian dilakukan pada bukaan katup tekan penuh, pada putaran tetap 1450 rpm, selama 120 menit, mulai dari menit 30 hingga menit 120 dengan rentang 15 menit. Selain dari pada itu pengujian juga dilakukan pada tekanan kerja 0.8 bar, 1.2 bar dan 1.4 bar.

Pengambilan data termografi dengan cara memindai (*scanning*) sebaran panas pada badan motor (*Motor Body, MB*), bantalan motor sisi penggerak (*Bearing Motor Drive End, BMDE*), kopling (*Coupling, CPL*), bantalan pompa sisi penggerak (*Bearing Pump Drive End, BPDE*), bantalan pompa sisi non penggerak, *Bearing Pump Non Drive End, BPNDE*) dan badan pompa (*Pump Body, PB*) seperti ditunjukkan pada Gambar 3. Analisis data dilakukan dengan analisis deskriptif dan kecenderungan.



Gambar 3. Titik pengukuran termografi pada pompa sentrifugal bertingkat

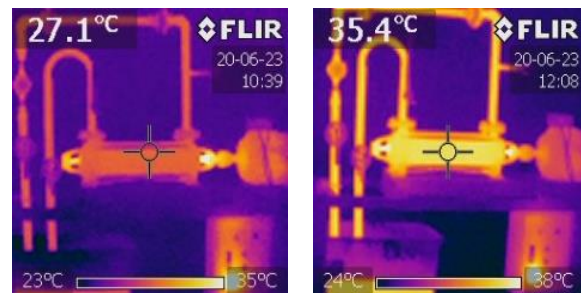
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian termografi pada pompa sentrifugal bertingkat dilakukan pada beban tetap, putaran tetap dengan variasi jam operasi pompa. Pengujian dilakukan pada katup tekan terbuka penuh, pada putaran 1450 rpm, lama operasi 120 menit dengan pemindaian pertama dilakukan pada waktu operasi 30 menit, selanjutnya dilakukan pemindaian setiap interval waktu 15 menit, yaitu pada operasi 45 menit, 60 menit, 75 menit, 90 menit, 105 menit dan terakhir 120 menit.

Titik pemindaianya yaitu sistem pompa keseluruhan, badan motor (MB), bantalan motor sisi penggerak (BMDE), kopling (CPL), bantalan pompa sisi penggerak (BPDE), bantalan pompa sisi non penggerak (BPNDE) dan badan pompa (PB).

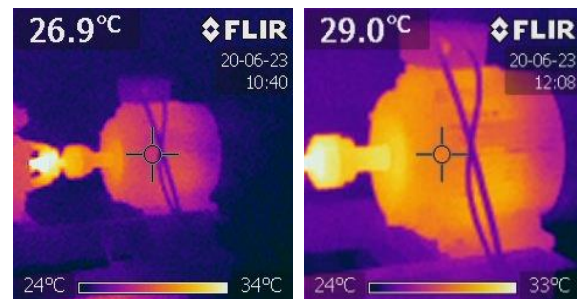
Hasil pemindaian pada sistem pompa keseluruhan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, yang menunjukkan bahwa rentang

temperatur pada sistem pompa keseluruhan pada operasi 30 dan 120 menit adalah 27,1 °C dan 35,4 °C terjadi kenaikan temperatur sebesar 8,3°C.



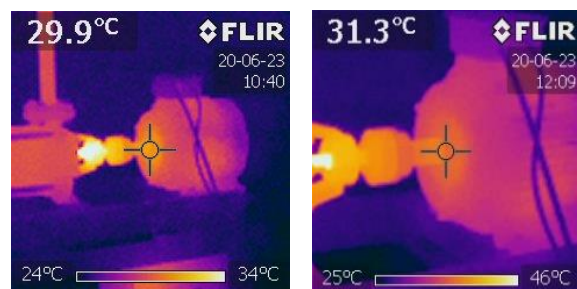
Gambar 4. Hasil pemindaian pada sistem pompa keseluruhan pada 30 dan 120 menit

Hasil pemindaian pada badan motor (MB) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5, yang menunjukkan bahwa pada badan motor temperatur pada operasi 30 dan 120 menit adalah 26,9 °C dan 29 °C terjadi kenaikan temperatur sebesar 2,1 °C.



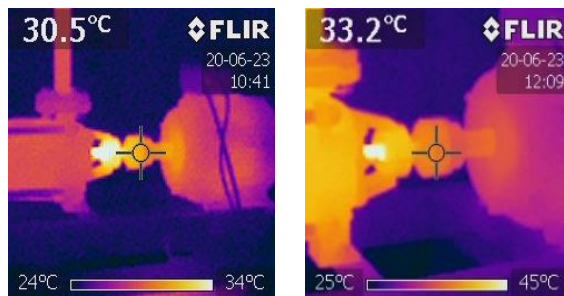
Gambar 5. Hasil pemindaian pada MB dalam 30 dan 120 menit

Hasil pemindaian pada bantalan motor sisi penggerak (BMDE) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6, yang menunjukkan bahwa temperatur pada operasi 30 dan 120 menit adalah 29,9°C dan 31,3°C terjadi kenaikan temperatur sebesar 1,4 °C.



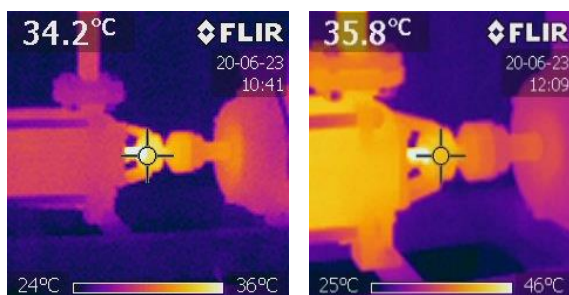
Gambar 6. Hasil pemindaian pada BMDE dalam 30 dan 120 menit

Hasil pemindaian pada kopling (CPL) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7, yang menunjukkan bahwa temperatur pada operasi 30 dan 120 menit adalah 30,5 °C dan 33,2 °C, terjadi kenaikan temperatur sebesar 2,7 °C.



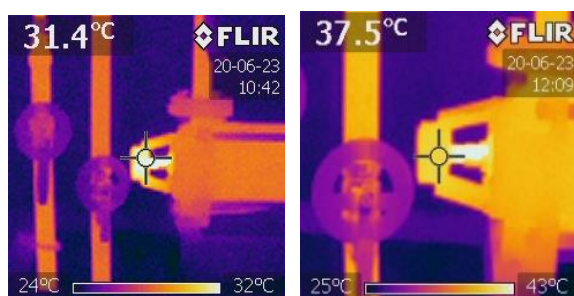
Gambar 7. Hasil pemindaian pada CPL dalam 30 dan 120 menit

Hasil pemindaian pada bantalan pompa sisi penggerak (BPDE) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8, yang menunjukkan bahwa temperatur pada operasi 30 dan 120 menit adalah 34,2°C dan 35,8 °C terjadi kenaikan temperatur sebesar 1,6 °C



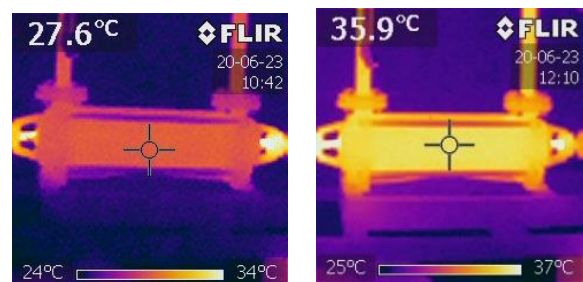
Gambar 8. Hasil pemindaian pada BPDE dalam 30 dan 120 menit

Hasil pemindaian pada bantalan pompa sisi non penggerak (BPNDE) seperti yang ditunjukkan seperti Gambar 9, yang menunjukkan bahwa temperatur pada operasi 30 dan 120 menit adalah 31,4°C dan 37,5°C terjadi kenaikan temperatur sebesar 6,1 °C.



Gambar 9. Hasil pemindaian pada BPNDE dalam 30 dan 120 menit

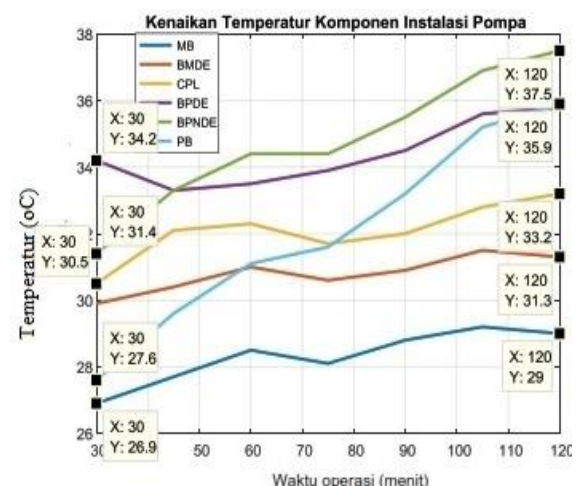
Hasil pemindaian pada badan pompa (PB) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10, yang menunjukkan bahwa temperatur pada operasi 30 dan 120 menit adalah 27,6 °C dan 35,9 °C terjadi kenaikan temperatur sebesar 8,3 °C.



Gambar 10. Hasil pemindaian pada PB dalam 30 dan 120 menit

Hasil pemindaian pada sistem pompa sentrifugal bertingkat menunjukkan bahwa komponen seperti bantalan pompa sisi penggerak (BPDE), kopling (CPL), bantalan motor sisi penggerak (BMDE) dan badan motor (MB), kenaikan temperatur setelah dioperasikan 120 menit kurang dari 5 °C, sehingga kenaikannya berdasarkan standar dapat dikategorikan normal. Sedangkan badan pompa (PB) dan bantalan pompa sisi non penggerak (BPNDE), kenaikannya 5°C hingga 10 °C, sehingga berdasarkan standar dikategorikan termasuk rendah.

Kecenderungan kenaikan temperatur pada MB, BMDE, CPL, BPDE, BPNDE dan PB yang dioperasikan selama 120 menit seperti yang ditunjukkan pada Gambar 11.

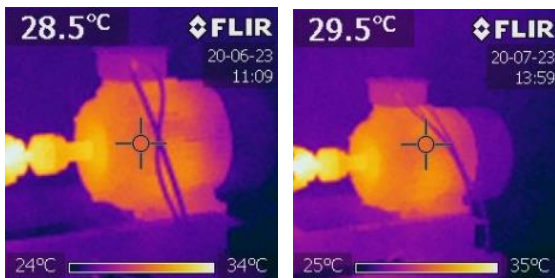


Gambar 11. Kenaikan temperatur komponen instalasi pompa selama 120 menit

Gambar 11 menunjukkan kecenderungan kenaikan temperatur pada setiap komponen yang perubahannya dapat diamati dengan jelas dan signifikan. Temperatur tertinggi terjadi pada bantalan pompa sisi non penggerak (BPNDE), kemudian diikuti oleh bantalan pompa sisi penggerak (BPDE), badan pompa (PB), kopling (CPL), bantalan motor sisi penggerak (BMDE) dan badan motor (MB). Kenaikan paling cepat terjadi pada bagian badan pompa (PB), yaitu dari 27,6 °C sampai dengan 35,9 °C dalam waktu 120 menit, hal ini dapat terjadi karena sirkulasinya tertutup dan mengalami kenaikan tekanan pada setiap tingkat serta terjadi secara terus menerus.

Tekanan operasi pada pompa sentrifugal juga akan mempengaruhi penyebaran panas yang terjadi pada pompa.

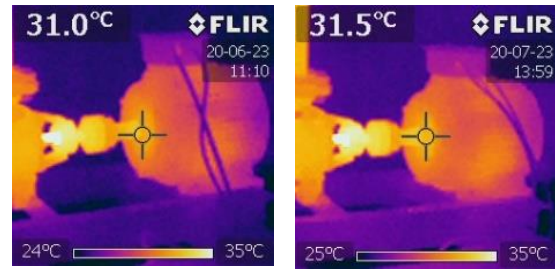
Hasil pemindaian penyebaran panas pada badan motor (MB) instalasi pompa yang dioperasikan pada tekanan 0,8 bar dan 1,4 bar pada putaran 1450 rpm selama 60 menit seperti ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Hasil pemindaian pada MB pada tekanan 0,8 bar dan 1,4 bar dalam 60 menit

Gambar 12 menunjukkan bahwa tekanan kerja pompa berpengaruh terhadap temperatur yang terjadi, meskipun perubahannya relatif kecil. Perbedaan perubahan temperatur pada MB yang dioperasikan pada 0,8 bar dan 1,4 bar dalam waktu 60 menit yaitu 1°C. Karakteristik penyebaran panas tidak merata dan temperatur tinggi terjadi tersebar pada bagian tengah badan motor.

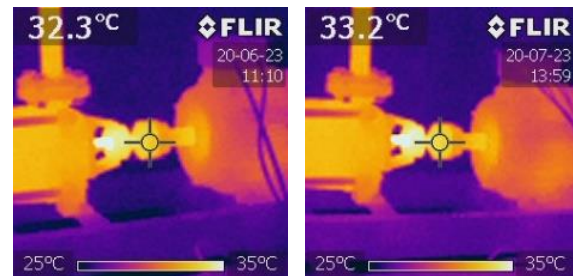
Hasil pemindaian penyebaran panas pada bantalan motor sisi penggerak (MBDE) pada instalasi pompa yang dioperasikan pada 0,8 bar dan 1,4 bar dalam waktu 60 menit seperti ditunjukkan Gambar 13.



Gambar 13. Hasil pemindaian pada MBDE tekanan 0,8 bar dan 1,4 bar dalam 60 menit

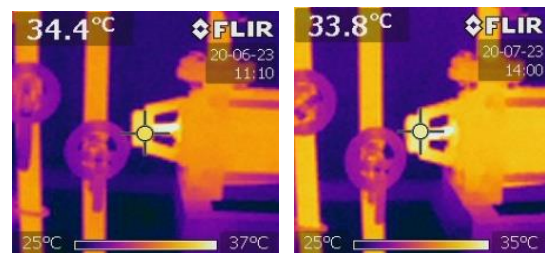
Gambar 13 menunjukkan juga bahwa perubahan temperatur di MBDE yang dioperasikan selama 60 menit pada tekanan 0,8 bar dan 1.4 bar perubahannya kecil yaitu 0,51°C. Penyebaran panasnya terlihat tinggi tersebar pada sisi depan motor, pada sil dan poros motor.

Hasil pemindaian penyebaran panas pada kopling (CPL) pada pompa yang dioperasikan pada dua macam tekanan dan putaran dalam waktu seperti 60 menit, ditunjukkan seperti Gambar 14.



Gambar 14. Hasil pemindaian pada CPL pada tekanan 0,8 bar dan 1,4 bar dalam 60 menit

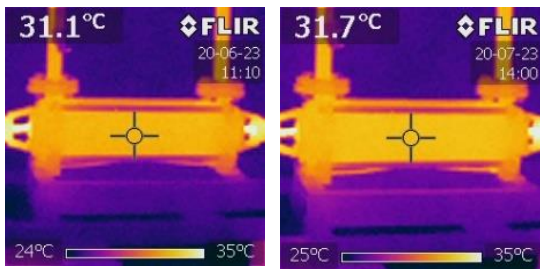
Hasil pemindaian penyebaran panas pada bearing pompa pada sisi non penggerak (BPNDE) pada pompa yang dioperasikan pada tekanan 0,8 bar dan 1,2 bar pada putaran 1450 rpm selama 60 seperti ditunjukkan pada Gambar 15.



Gambar 15. Hasil pemindaian pada BPNDE tekanan 0,8 bar dan 1,4 bar dalam 60 menit

Gambar 15 menunjukkan bahwa perubahan tekanan pada BPNDE menunjukkan penurunan temperatur. Hal ini akan dijustifikasi pada grafik kecenderungan pengaruh perubahan tekanan terhadap perubahan temperatur secara lengkap. Karakteristik penyebaran panasnya, temperatur tinggi terjadi tersebar pada poros.

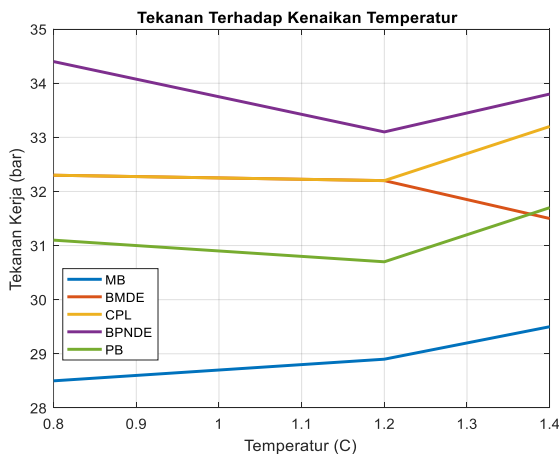
Hasil pemindaian penyebaran panas pada badan pompa (PB) yang dioperasikan pada tekanan 0.8 bar dan 1,4 bar pada putaran 1450 rpm selama 60 seperti ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Hasil pemindaian pada PB pada tekanan 0,8 bar dan 1,4 bar dalam 60 menit

Gambar 16 memperlihatkan perubahan temperatur pada PB. Perubahan temperatur karena perubahan tekanan pada operasi 0,8 bar dan 1,4 bar selama 60 menit yaitu 0,6 °C. Penyebaran panas terjadi pada seluruh badan pompa, karena terdapat media air yang memiliki penyebaran panasnya merata.

Pengaruh perubahan tekanan terhadap perubahan temperatur yang terjadi pada komponen instalasi pompa MB, BMDE, CPL, PB dan BPNDE yang dioperasikan selama 60 menit seperti ditunjukkan pada Gambar 17 .



Gambar17. Pengaruh tekanan vs temperatur pada komponen instalasi pompa selama 60 menit

Gambar 17 menunjukkan kecenderungan secara keseluruhan pengaruh perubahan tekanan kerja terhadap temperatur yang terjadi pada komponen instalasi pompa. Pada badan pompa terjadi kenaikan temperatur secara pelan. Pada badan pompa juga menunjukkan bahwa terdapat pengaruh perubahan tekanan terhadap perubahan panas secara pelan pelan, begitu juga pada kopling, kecuali pada bantalan. Hal ini perlu dikaji lebih lanjut. Temperatur tertinggi terjadi pada bantalan pompa sisi non penggerak BPNDE.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pola penyebaran panas tertinggi terjadi pada bantalan pompa sisi non penggerak (BDNPE) diikuti bantalan pompa sisi penggerak (BPDE), badan pompa (PB), kopling (CPL), bantalan motor sisi penggerak (BMDE) dan badan motor (MB). Kenaikan temperatur tertinggi terjadi pada bagian badan pompa (PB) yaitu dari 27,6 sampai dengan 35.9 °C. Semua komponen kenaikan temperaturnya berdasarkan standar termasuk normal kecuali pada bagian bantalan pompa sisi non penggerak BPNDE dan badan pompa PB yang mengalami kenaikan signifikan meskipun berdasarkan standar termasuk masih dikategorikan rendah.

Dari pengujian juga menunjukkan bahwa terdapat pengaruh tekanan kerja terhadap perubahan temperatur namun relatif kecil. Karakteristik penyebaran panasnya menunjukkan bahwa pada badan motor tidak merata panas pada bagian tengah. Penyebaran panas pada bantalan sisi penggerak tersebar pada sil dan poros pompa. Penyebaran panas pada bantalan pompa tersebar pada bantalan dan poros.

Studi selanjutnya adalah melakukan investigasi penyebaran panas dengan jam operasi 12 jam pada pompa sentrifugal sistem terbuka agar didapat temperatur yang optimum.

V. DAFTAR PUSTAKA

Aturia, 2015, Multistage Centrifugal Pumps, Milan
EPRI, 2003, Standard of Thermography Inspection.

- Flir i5, 2011, FLIR i5 Compact Infrared Camera, Manual Operation.
- Flir, 2019, Thermal Camera for Predictive Maintenance.
- Mahmudi, A., Raharjo, P., 2020, Karakteristik Penyebaran Panas pada Sistem Transmisi Roda Gigi dengan Termografi, Jurnal ROTASI, Vol. 22 No. 2 (April 2020), Universitas Diponegoro, Semarang.
- Maulana, L. M., 2016, Analisis Kematangan Kopi Sangrai menggunakan Pemrosesan Citra Termografi dalam rangka pengontrolan mutu kopi sangria secara otomatis, Bandar Lampung.
- Moussa, W, 2017, “A Passive Thermography Approach to Bearing Condition Monitoring”, Journal Material Science, Volume 1, Issue 4, May, Juniper On Line, ISSN: 2575-856X, Pharos University, Alexandria, Egypt.
- Prasetyo. Putra A. G., Raharjo, P., Karakteristik Penyebaran Panas Menggunakan Metode Termografi Pada Pompa Sentrifugal Tingkat Tunggal, Jurnal PISTON, Volume 6, No. 1 (Januari 2022), Universitas Pamulang.
- Raharjo, P., 2015, Teknik Pemeliharaan Mesin, Teknik Monitoring Kondisi Mesin, UPT Politeknik Negeri Bandung, Bandung.
- Satmoko, A., 2008, Analisis Kualitatif Teknik Thermography Infra Merah Dalam Rangka Pemeliharaan Secara Prediktif pada Pompa, Seminar Nasional IV, SDM Teknologi Nuklir, ISSN1978-0176, Yogyakarta,
- Sepdyanuri, L.I., 2016, Pompa Sentrifugal, Yogyakarta,
- Sunyoto, T., 2011, Analisis Kerusakan Bantalan Motor pada Kompresor Sekrup Dengan Metode Termografi di PT. PJB UP GRESIK, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Talai, S., M., Ausei, D., K., Limo, L., K., 2021, A Review on use Infrared thermography for Structural Condition Monitoring, International Journal of Engineering Research and Technology (IJERT), Vol 10, Issue 04, April, ISSN : 2278-0181, p. 635-643.
- Venegas, P., Ivorra, E., Ortega, M., Ocariz, I., D., 2022, Towards the Automation of Infrared Thermography Inspections for Industrial Maintenance Applications, Sensor, January 13, Volume 22, Issue 2, MDPI, Basel.
- Veratti, A., B., Guevara, E., F., 2017, Infrared Thermography is an Inspection and Maintenance Technique in Industry, ITC User Conference, ICON Tecnologia Sao Paulo, Brazil.