

PENINGKATAN KONDUKTIVITAS TERMAL OLI SINTETIS SEBAGAI FLUIDA PEMINDAH PANAS MELALUI PENCAMPURAN SERBUK BESI

Adian Rahmat^{1,*}, As Natio Lasman¹, Dwi Rahmalina¹

¹Program Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila,
Jln. Borobudur No. 07, Cikini, Menteng, Pegangsaan, Kota Jakarta Pusat, DKI Jakarta 10320

*E-mail: rahmat_adian@yahoo.co.id

Diterima: 10-04-2021

Direvisi: 28-04-2022

Disetujui: 01-06-2022

ABSTRAK

Pemanfaatan energi terbarukan yang secara khusus bersumber dari matahari merupakan pilihan yang baik untuk diaplikasikan di Indonesia dengan pertimbangan tingginya intensitas matahari serta suplai yang merata sepanjang tahun. Pemanfaatan energi tersebut dapat difokuskan pada energi panas matahari yang diproduksi menggunakan teknologi panas surya. Salah satu bagian terpenting dari teknologi panas surya adalah fluida pemindah panas yang berfungsi untuk menyerap panas dari sumber dan memindahkannya ke beban panas atau mesin kalor. Penelitian ini fokus pada proses alih fungsi fluida pemindah panas yang bersumber dari minyak mineral sintetis. Pemilihan minyak mineral sintetis memiliki banyak keuntungan khususnya dari segi harga dan kemudahan untuk mendapatkannya. Permasalahan utama adalah rendahnya konduktivitas termal bawaan dari minyak mineral sintetis sehingga diperlukan upaya untuk meningkatkan konduktivitas termal melalui penambahan material sensibel. Tiga sample oli sintetis disiapkan yakni oli 10W-30, 10W-40 dan 20W-40 dengan rasio campuran serbuk besi pada rentang 4 - 6 % massa. Oli sintetis 10W-40 memiliki performa pemindahan panas terbaik yang disebabkan oleh nilai Total Base Number yang rendah. Penambahan serbuk Fe sebanyak 6 % massa mampu mempercepat proses penyerapan dan pelepasan panas pada hybrid fluid basis pelumas sintetis. Penelitian ini juga mendapatkan grafik critical line yang dapat dijadikan acuan dalam menentukan rendaca kerja hybrid fluid pada aplikasi *solar thermal system*.

Kata Kunci: fluida pemindah panas; pelumas mesin; pelumas sintetis; serbuk besi.

ABSTRACT

Utilization of renewable energy that is specifically sourced from the sun is a good choice to be applied in Indonesia considering the high intensity of the sun and an even supply throughout the year. Utilization of this energy can be focused on solar thermal energy which is produced using solar thermal power. One of the most important parts of solar thermal power is the heat transfer fluid which functions to absorb the heat from the source and transfer it to a thermal load or heat engine. This research focuses on the process of changing the function of heat transfer fluid sourced from synthetic mineral oil. The choice of synthetic mineral oil has many advantages, especially in terms of price and availability. The main problem is the nature of synthetic mineral oil which has low thermal conductivity; thus, improvements are needed to increase thermal conductivity through the addition of sensible materials. Three samples of synthetic oil were prepared, namely oil 10W-30, 10W-40 and 20W-40 and mixed with iron powder in the range of 4 - 6% by mass. The 10W - 40 synthetic oil has the best heat transfer performance due to the low Total Base Number value. The addition of Fe powder (6 wt%) can accelerate the process of absorption and heat dissipation in synthetic lubricant base hybrid fluid. This research

also obtains a critical line graph that can be used as a reference in determining the working balance of hybrid fluid in solar thermal system applications.

Keywords: Heat transfer fluid, Machine lubricant, synthetic lubricant, Fe powder.

1. PENDAHULUAN

Solar thermal system bekerja menggunakan fluida pemindah panas. Fluida pemindah panas merupakan bagian penting karena terkait dengan distribusi panas yang pada akhirnya terkait dengan efisiensi menyeluruh sistem. Terdapat banyak jenis dan ragam dari fluida pemindah panas dan bergantung terhadap tujuan penggunaan. Salah satu masalah penting dari fluida pemindah panas adalah aspek teknis dari fluida panas yang belum mencapai taraf ideal untuk aplikasi sebagai fluida pemindah panas. ekonomis dan aspek teknis atau performa yang bersifat sejalan. Fluida panas dengan performa tinggi memiliki masih menjadi isu penting untuk diteliti lebih mendalam.

Fluida pemindah panas pada aplikasinya ditentukan berdasarkan cakupan suhu kerja sistem. Cakupan ini yang menjadi dasar dalam memilih jenis fluida. Fluida pemindah panas berbasis minyak memiliki keunggulan karena ketersediannya yang cukup melimpah, namun masih perlu dikembangkan lagi untuk memaksimalkan fungsinya sebagai fluida pemindah panas terkait dengan aspek keamanan dan kemampuannya. Opsi alternatif untuk fluida pemindah panas pada aplikasi suhu rendah ($< 150\text{ }^{\circ}\text{C}$) dapat memanfaatkan pelumas mesin. Hal ini diilhami oleh prinsip penyerapan dan pelepasan panas dari pelumas mesin yang secara prinsip dapat berfungsi sebagai fluida pemindah panas [1].

Pemanfaatan pelumas mesin sebagai fluida pemindah panas pada aplikasi *solar thermal system* untuk cakupan suhu rendah memiliki beberapa keuntungan diantaranya adalah harga yang murah, nilai kekentalan yang relatif rendah dan aman (tidak mudah terbakar) [2,3]. Hal ini tentu memberikan peluang untuk mengaplikasikan pelumas mesin sebagai fluida panas, namun kondisi ini belum mencapai tahap aplikasi nyata karena masih terkendala dengan performa pemindahan panas yang

kurang ideal untuk aplikasi *solar thermal system* pada cakupan suhu rendah [3–5]. Rendahnya performa perpindahan panas pada pelumas mesin dikarenakan rendahnya konduktivitas termal dari fluida minyak tersebut.

Berbagai upaya dilakukan untuk meningkatkan konduktivitas termal fluida pemindah panas dari pelumas mesin [6]. Terdapat dua cara yang dapat dilakukan yakni melakukan rekayasa komposisi kimia dari pelumas tersebut [7] atau melakukan penambahan material sensibel dengan konduktivitas termal tinggi [8]. Cara pertama cenderung tidak dilakukan karena pada prinsipnya sama dengan merubah kandungan dari pelumas tersebut. Cara kedua lebih cenderung dilakukan karena kemudahan dari proses pencampuran tanpa merubah struktur kimia dari pelumas tersebut [9]. Penambahan material sensibel dengan konduktivitas termal yang tinggi memberikan keuntungan untuk distribusi panas yang lebih baik.

Material sensibel dengan konduktivitas termal yang tinggi biasanya berbasis material logam. Penambahan material sensibel ke dalam fluida pemindah panas basis pelumas mesin menghasilkan satu fluida baru yang disebut dengan *hybrid fluid*. Beberapa penelitian menunjukkan *hybrid fluid* didominasi oleh penambahan material logam dengan ukuran mikron hingga nano atau dikenal dengan istilah *micro-nano hybrid fluid* [10]. Meskipun menunjukkan performa yang berbeda-beda; bergantung kepada jenis dan jumlah material sensibel, penambahan material sensibel secara umum mampu memperbaiki konduktivitas termal dari pelumas mesin pada fungsi sebagai pemindah panas. Permasalahan utama adalah untuk nano hybrid fluid, pemrosesan material sensibel tidak layak secara ekonomi dan masih terbatas hanya pada aplikasi kecil dan riset [11].

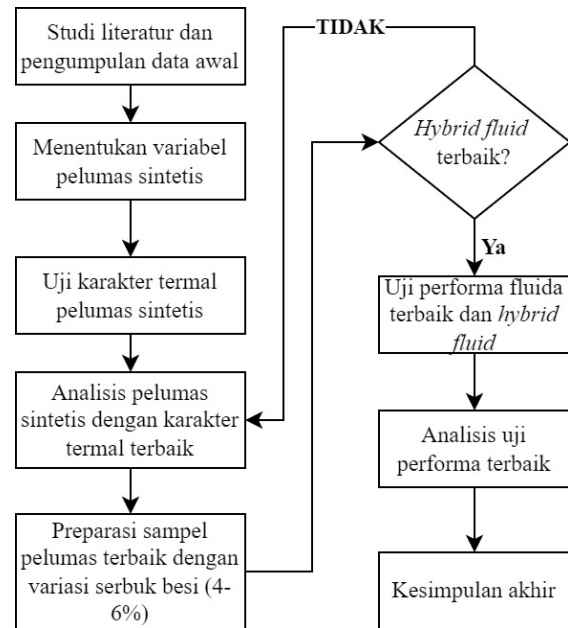
Penambahan 4% Fe (berdasarkan volume) pada *ferrofluid* mampu menaikkan performa termal untuk proses perpindahan panas [12]. Performa termal tersebut dapat meningkat karena pengaruh dari konduktivitas termal yang tinggi dari Fe sehingga mampu menyebarkan panas lebih cepat pada *ferrofluid*. Memperhatikan hal tersebut, maka dapat dikatakan bahwa opsi yang memungkinkan adalah dengan mengembangkan *micro hybrid fluid* untuk pelumas mesin sebagai fungsi pemindah panas melalui penambahan unsur Fe [13]. Pertimbangan utama dari penerapan *micro hybrid fluid* adalah teknologi produksi serbuk atau butiran material logam saat ini sudah mencapai taraf yang layak secara ekonomi. Variasi dari kadar Fe pada *micro hybrid fluid* perlu diteliti lebih lanjut untuk mengetahui karakteristik dari perpindahan panas pada *micro hybrid fluid*.

2. METODE PENELITIAN

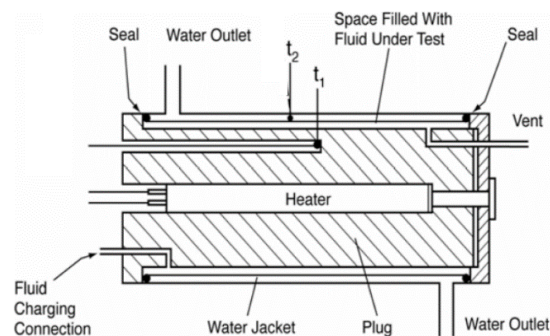
Proses penelitian dimulai dengan studi literasi dan pengumpulan data awal, seperti pada gambar 1. Berlanjut pada proses persiapan serbuk besi yang tersedia secara umum di pasaran dan juga tiga jenis minyak pelumas sintetis berbeda. Tiga jenis pelumas tersebut dipilih berdasarkan kode SAE sebagai nilai acuan yakni pelumas 10W-30, 10W-40 dan 20W-40. Tiap pelumas akan diuji karakteristik termalnya berdasarkan nilai rerata konduktivitas termal dan karakteristik pelumas dalam menyerap dan melepaskan panas.

Pengujian penyerapan panas dan pelepasan dilakukan melalui oil bath heater. Pelumas dengan karakteristik terbaik akan dipilih untuk dicampur dengan serbuk besi ukuran 63 μm . Rasio pencampuran dibuat pada besaran massa antara pelumas dan serbuk besi yakni 4%, 5% dan 6% dari massa total pelumas.

Pengujian nilai konduktivitas termal fluida (dalam hal ini cairan) digunakan untuk mengetahui kemampuan fluida dalam melakukan proses perpindahan panas. Konsep dari alat uji *water bath* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Skematik *water bath* untuk uji konduktivitas termal [14]

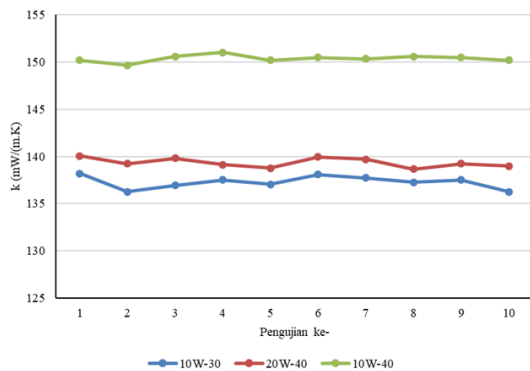
Sampel serbuk besi dicampur dengan pelumas pada tiap rasio dengan cara diaduk secara perlahan pada kecepatan tetap untuk menjaga homogenitas campuran. Tiap-tiap sampel dengan campuran berbeda akan diuji yang secara prinsip sama dengan pengujian pelumas yakni pengukuran nilai konduktivitas termal dan juga uji karakteristik pemindahan panas. Dikarenakan adanya penambahan material sensibel berbentuk padat (serbuk besi), maka secara prinsip akan mempengaruhi nilai konduktivitas termal dan juga performa. Hal ini akan dijadikan sebagai tolak ukur penentuan model sampel mana yang menunjukkan model terbaik.

Fluida terbaik dan *hybrid fluid* (dalam hal campuran antara pelumas sintetis dengan serbuk besi pada rasio terbaik) akan diuji pada

suatu perangkat pemodelan pemindahan panas. pengujian ini bertujuan untuk membandingkan model dan karakteristik perpindahan panas dari kedua fluida dan dapat dijadikan sebagai perbandingan untuk melihat kerja dari kedua fluida tersebut. hasil dari pengujian ini akan dibandingkan dan dianalisis sebagai landasan dalam penentuan fluida mana yang memiliki performa terbaik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

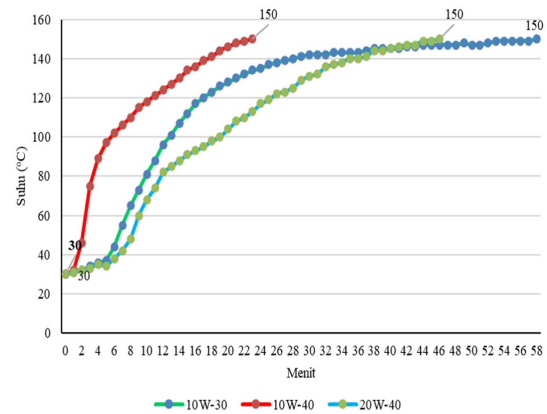
Tiap pelumas diuji nilai konduktivitasnya melalui pendekatan eksperimen untuk melihat secara jelas nilai konduktivitas termal pada pelumas tersebut. Gambar 3 menyajikan hasil pengukuran konduktivitas termal dari tiap pelumas. Nilai rerata untuk 10W-30, 20W-40 dan 10W-40 berturut-turut adalah 137.273, 139.347 dan 150.368 mW/(m.K). Fluktuasi hasil pengukuran merupakan kondisi wajar dimana adanya nilai kesalahan pengukuran (deviasi) dari perlengkapan yang digunakan.



Gambar 3. Pengujian nilai konduktivitas termal sampel oli sintetis

Perbedaan nilai konduktivitas dari tiap oli sintetis pada prinsipnya sangat dipengaruhi oleh kandungan sintetis dari oli tersebut. Kandungan sintetis yang merupakan bahan tambah dengan nilai konduktivitas termal tertentu memberikan pengaruh secara langsung terhadap nilai konduktivitas termal dari tiap sampel. Penambahan bahan sintetis pada base oil memiliki tujuan untuk memperbaiki sifat *thermophysical* dari oli tersebut, yang mana nilai *Total Base Number* (TBN) dari masing-masing 8.8, 7.05 dan 14.04 mg KOH/g. Hal ini menyebabkan justifikasi kemampuan tidak bisa hanya didasarkan pada nilai konduktivitas termal saja, namun juga perlu memperhatikan aspek lain khususnya kemampuan dalam

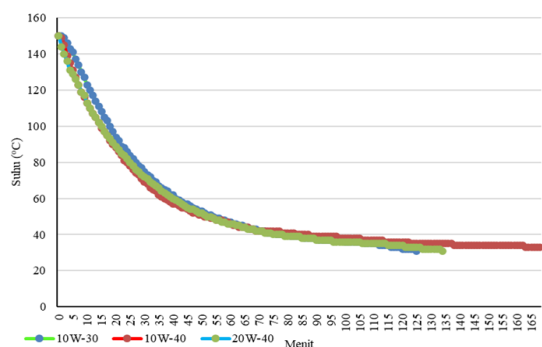
melakukan perpindahan panas secara merata pada tube atau media pipa yang sangat dipengaruhi oleh viskositas kinematik dari oli tersebut.



Gambar 4. Uji penyerapan panas untuk seluruh sampel oli sintetis

Uji kemampuan panas dilakukan pada masing-masing fluida untuk mempelajari karakteristik kenaikan suhu dan durasi yang dibutuhkan oleh fluida. Gambar 3 menunjukkan hasil pengujian penyerapan panas pada sampel oli sintetis 10W-30, 10W-40 dan 20W-40.

Total waktu yang dibutuhkan oleh sampel 10W-30 untuk kenaikan suhu dari 30 °C sampai dengan 150 °C adalah 58 menit. Terdapat tiga area atau fase kenaikan suhu dari Gambar 4 yang mengindikasikan proses penyerapan panas pada kecepatan dan kenaikan yang berbeda. Fase 1 merupakan kenaikan suhu yang tidak signifikan (30 °C–37 °C) dan terjadi pada waktu yang singkat (5 menit pertama). Fase 2 merupakan fase kenaikan suhu secara signifikan dari 37 °C–138 °C pada rentang waktu 21 menit. Fase 2 ini merupakan fase dimana kemampuan penyerapan panas terbaik pada sampel karena rentang kenaikan suhu yang signifikan. Selanjutnya, pemanasan berlanjut dari suhu 138 °C–150 °C dalam waktu 26 menit (fase 3). Kenaikan suhu tidak terjadi secara signifikan dan terjadi dalam durasi yang lebih lama.



Gambar 5. Uji pelepasan panas seluruh sampel oli sintetis

Fluida pemindah panas pada aplikasinya memiliki fungsi utama untuk memindahkan panas sehingga secara teoritis maka fluida yang semakin cepat menyerap panas adalah fluida terbaik. Namun, terdapat hal penting yang harus diperhatikan yakni kemampuan fluida dalam melepas panas. Kemampuan pelepasan panas sangat erat terkait dengan kerugian panas pada aplikasi karena hal ini dapat terjadi melalui konveksi natural dimana material pada fluida tidak mampu menyimpan panas secara lama. Untuk memastikan hal tersebut, maka ketiga sampel kembali diuji untuk mengetahui karakteristik pelepasan panas dari tiap sampel. Gambar 5 memperlihatkan pola penurunan panas dari masing-masing sampel secara urut.

Informasi terpenting dari model pelepasan suhu pada seluruh sampel adalah keseluruhan sampel memiliki pola penurunan yang sama yakni proses pelepasan panas terjadi secara perlahan tanpa menyebabkan penurunan tiba-tiba. Pada poin ini, konduktivitas termal pada seluruh sampel tidak mempengaruhi secara signifikan karena model pelepasan panas pada seluruh sampel memiliki pola yang identik. Sehingga dapat disimpulkan terkait dengan model penurunan suhu, konduktivitas termal pada tiap sampel tidak berpengaruh terhadap laju pelepasan panas pada sampel.

Kondisi perbedaan yang secara ekstrim menandakan adanya unsur yang menjadi pembeda pada sampel 10W-40. Nilai viskositas kinematik tidak memberikan pengaruh karena proses pelepasan panas terjadi secara natural, nilai titik nyala dan tuang dalam hal juga tidak memberikan pengaruh [16], konduktivitas termal lebih dominan pada aspek penyerapan panas, maka nilai pembeda utama

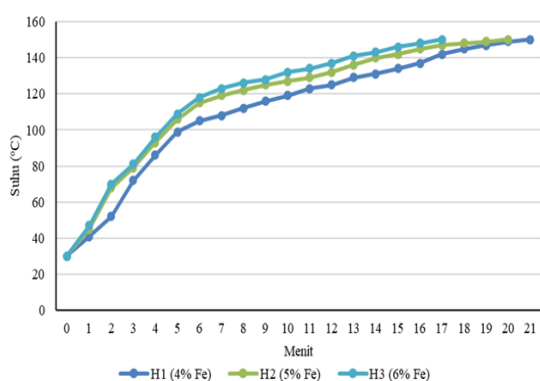
adalah *Total Base Number* (TBN). Nilai TBN pada sampel 10W-40 adalah nilai terendah dibandingkan dengan nilai TBN pada sampel lain.

Total Base Number merupakan indikator yang menunjukkan nilai kandungan material basa pada minyak bumi (dalam hal ini pelumas) yang berfungsi sebagai pelindung untuk mengurangi efek korosi [15]. Kandungan dari material basa pada pelumas biasanya tergantung terhadap fungsi dan karakteristiknya dan hal ini merupakan komposisi khusus dari produsen pelumas. Secara prinsip, semakin tinggi nilai TBN maka fungsi pelindungan pelumas terhadap korosi semakin baik, namun hal ini untuk pelumas yang digunakan pada mesin pembakaran dalam. Pada kondisi fungsi pelepasan panas, maka pola sebaliknya menunjukkan bahwa nilai TBN yang rendah melambatkan proses pelepasan panas dari pelumas. TBN yang rendah memungkinkan sifat asli dari *base oil* (minyak mentah) untuk bekerja lebih baik dalam proses perpindahan panas karena memiliki kandungan aditif yang lebih baik namun pada aplikasi pelumasan hal ini harus dihindari dengan pertimbangan efek korosi akibat perpindahan panas yang terlalu cepat antara pelumas dan mesin [17].

Fluida pemindah panas pada aplikasinya memiliki fungsi utama untuk memindahkan panas sehingga secara teoritis maka fluida yang semakin cepat menyerap panas adalah fluida terbaik. Namun, terdapat hal penting yang harus diperhatikan yakni kemampuan fluida dalam melepas panas. Kemampuan pelepasan panas sangat erat terkait dengan kerugian panas pada aplikasi karena hal ini dapat terjadi melalui konveksi natural dimana material pada fluida tidak mampu menyimpan panas secara lama. Untuk memastikan hal tersebut, maka ketiga sampel kembali diuji untuk mengetahui karakteristik pelepasan panas dari tiap sampel. Gambar 6. memperlihatkan pola penyerapan panas dari masing-masing sampel secara urut.

Karakteristik penyerapan panas dari masing-masing *hybrid fluid* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. memiliki kecenderungan bahwa semakin banyak serbuk besi yang ditambahkan, maka pencapaian titik

150 °C semakin cepat. Selain terkait dengan pencapaian titik akhir, laju peningkatan panas juga menjadi semakin cepat yang berarti fungsi sensibel pada campuran bekerja dengan baik. Kondisi ini menjadi indikator bahwa peran aktif dari sensibel material mampu memberikan efek percepatan perpindahan panas pada tiap sampel dan seiring dengan kenaikan porsi material sensibel, maka laju perpindahan panas menjadi semakin cepat.

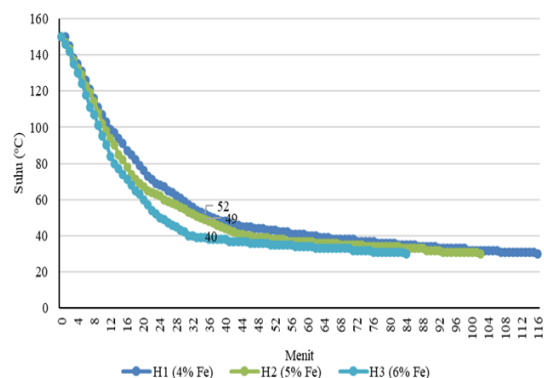


Gambar 6. Uji penyerapan panas seluruh sampel *Hybrid Fluid*

Pengujian berikutnya adalah pelepasan panas yang bertujuan untuk mengetahui efek dari penurunan panas pada sampel *hybrid fluid* akibat adanya material sensibel. Gambar 7 memperlihatkan hasil penurunan panas pada *hybrid fluid*. Identik terhadap pengujian penyerapan panas, dimana sampel dengan komposisi sensibel yang lebih banyak mampu melepas panas lebih cepat. Kondisi ini menunjukkan perbedaan yang sangat kontras dengan pengujian pada pelumas 10W-40 murni (Gambar 3) dimana dibutuhkan waktu yang relatif lebih lama untuk melepas panas dibandingkan dengan *hybrid fluid*. Pada kondisi ini, terdapat satu keuntungan bahwa proses pelepasan panas pada sistem akan menjadi lebih cepat untuk memudahkan proses perpindahan panas pada aplikasinya [18].

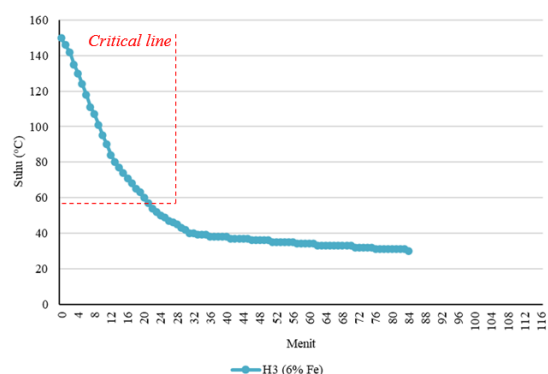
Gambar 8. memperlihatkan model penurunan suhu secara detail untuk sampel 10W-40 + 6% Fe dan area *critical line*. *Critical line* menunjukkan penurunan suhu paling signifikan pada sampel yang terjadi pada rentang waktu yang relatif cepat dengan penurunan suhu yang tinggi. penurunan suhu pada area *critical line* terjadi dari suhu 150 °C–

43 °C dalam kurun waktu 28 menit. Hal ini menjadi informasi penting untuk rencana aplikasi dari sampel ini karena pada area *critical line* suhu turun secara signifikan dalam durasi waktu yang sangat singkat sehingga rencana aplikasi dari sampel 10W-40 + 6% Fe dapat disesuaikan berdasarkan informasi ini.



Gambar 7. Uji pelepasan panas seluruh sampel *Hybrid Fluid*

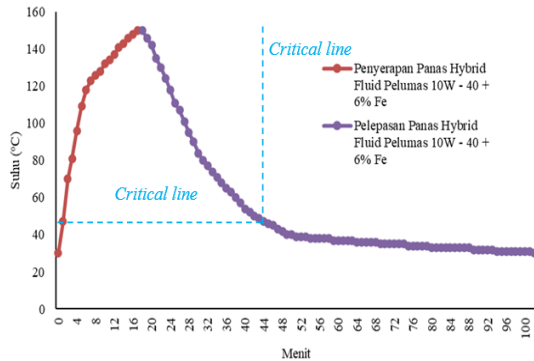
Mempertimbangkan seluruh aspek pengukuran, baik dari konduktivitas termal, penyerapan dan pelepasan suhu, maka dapat dikatakan bahwa sampel terbaik adalah sampel 10W-40 + 6% Fe. Nilai konduktivitas termal pada sampel ini lebih tinggi dibandingkan dengan sampel lain yakni 152.31 mW/m.K. Gambar 8. memperlihatkan gabungan karakteristik penyerapan dan pelepasan panas pada sampel 10W-40 + 6% Fe.



Gambar 8. *Critical line* saat penurunan panas pada sampel 10W-40 + 6% Fe

Grafik gabungan pada Gambar 9 memudahkan proses pemahaman karakteristik dari penyerapan dan pelepasan panas pada sampel 10W-40 + 6% Fe. Grafik tersebut menunjukkan dengan jelas waktu kerja ideal

pada sampel yakni antara 0–44 menit dimana pada area ini terjadi kenaikan (penyerapan panas) dan penurunan (pelepasan panas) suhu secara signifikan.



Gambar 9. Model penyerapan & pelepasan panas sampel 10W–40 + 6% Fe

Critical line pada Gambar 9 menandakan area kerja ideal untuk *hybrid fluid* jenis 10W–40 dengan tambahan 6% massa Fe. Alasan utama penetapan *critical line* baik untuk model penyerapan dan pelepasan panas adalah adanya gradasi suhu yang tinggi dalam durasi waktu yang cepat. Gradasi suhu yang tinggi dalam waktu yang lebih cepat memungkinkan untuk terjadinya perpindahan panas yang lebih baik pada rencana aplikasi. Perpindahan panas yang lebih cepat memberikan keuntungan untuk memaksimalkan laju perpindahan panas dari dan ke fluida kerja.

4. KESIMPULAN

Karakterisasi dan pengujian alih fungsi pelumas mesin sintetis 10W–30, 10W–40 dan 20W–40 menjadi fluida pemindah panas melalui penambahan material sensibel (Serbuk Fe) pada rasio 4–6% telah dilakukan dan dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pelumas mesin tipe 10W–40 memiliki konduktivitas termal yang lebih baik dengan nilai 150.368 mW/(m.K) akibat *Total Base Number* yang lebih rendah. Temuan penting ini dapat dijadikan acuan dalam melakukan proses alih fungsi pelumas menjadi fluida pemindah panas.

Penambahan serbuk Fe sebanyak 4–6 % massa sebagai material sensibel untuk *hybrid fluid* berbasis pelumas sintetis memiliki kecenderungan mampu meningkatkan proses perpindahan dan penyerapan panas.

Penambahan rasio Fe 6 % massa secara jelas menunjukkan percepatan proses perpindahan dan pelepasan panas. Terbentuknya grafik pelepasan dan penyerapan panas serta diperolehnya area *critical line* dapat dijadikan sebagai model pertimbangan dalam proses alih fungsi pelumas sintetis menjadi fluida pemindah panas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Wang, R. Liang, Y. Yu, J. Zhang, J. Lv, M. Bai, The flow and heat transfer characteristics of engine oil inside the piston cooling gallery, *Appl. Therm. Eng.* 115 (2017) 620–629. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.01.014>.
- [2] M. Ma, Y. Zhai, P. Yao, Y. Li, H. Wang, Synergistic mechanism of thermal conductivity enhancement and economic analysis of hybrid nanofluids, *Powder Technol.* 373 (2020) 702–715. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2020.07.020>.
- [3] K. Vignarooban, X. Xu, A. Arvay, K. Hsu, A.M. Kannan, Heat transfer fluids for concentrating solar power systems - A review, *Appl. Energy.* 146 (2015) 383–396. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.01.125>.
- [4] L.A. Weinstein, J. Loomis, B. Bhatia, D.M. Bierman, E.N. Wang, G. Chen, Concentrating Solar Power, *Chem. Rev.* 115 (2015) 12797–12838. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.5b00397>.
- [5] R. Ling-zhi, Z. Xin-gang, Z. Yu-zhuo, L. Yan-bin, The economic performance of concentrated solar power industry in China, *J. Clean. Prod.* 205 (2018) 799–813. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.110>.
- [6] M.S. Praveen Kumar V, Analysis of Heat Transfer Fluids in Concentrated Solar Power (CSP) A Review Paper, *Int. J. Eng. Res. Technol.* 3 (2014) 239–241. www.ijert.org.
- [7] L. Heller, Literature review on heat transfer fluids and thermal energy storage systems in CSP plants, *Lit. Rev. Heat Transf. Fluids Therm. Energy Storage Syst. CSP Plants.* (2013). http://sterg.sun.ac.za/wp-content/uploads/2011/08/HTF_TESmed_Review_2013_05_311.pdf.
- [8] I. Sarbu, C. Sebarchievici, A comprehensive review of thermal energy storage, *Sustain.* 10 (2018). <https://doi.org/10.3390/su10010191>.
- [9] T. Sokhansefat, A.B. Kasaeian, F. Kowsary, Heat transfer enhancement in parabolic trough collector tube using Al₂O₃/synthetic oil nanofluid, *Renew. Sustain. Energy Rev.* 33 (2014) 636–644.

- <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.028>.
- [10] G.J. Rani, G.S. Rani, A. Praveen, *Materials Today: Proceedings Nano fluids effect on crossflow heat exchanger characteristics – Review*, *Mater. Today Proc.* (2020). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.10.210>.
- [11] Z. Xuan, Y. Zhai, M. Ma, Y. Li, H. Wang, *Thermo-economic performance and sensitivity analysis of ternary hybrid nanofluids*, *J. Mol. Liq.* (2020) 114889. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2020.114889>.
- [12] Z. Chen, D. Zheng, J. Wang, L. Chen, B. Sundén, *Experimental investigation on heat transfer characteristics of various nanofluids in an indoor electric heater*, *Renew. Energy*. 147 (2020) 1011–1018. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.036>.
- [13] C.V.C. Vishal, R.K. Kanala, C.S.K. Raju, P.K. Madathil, P. Saha, B.R. Rao, G. Sriganesh, K. Ramesh, *Sub-micron sized metal oxides based organic thermic fluids with enhanced thermo-physical properties*, *Appl. Therm. Eng.* 163 (2019) 114337. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.114337>.
- [14] Y.J. Chiu, W.M. Yan, H.C. Chiu, J.H. Jang, G.Y. Ling, *Investigation on the thermophysical properties and transient heat transfer characteristics of composite phase change materials*, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 98 (2018) 223–231. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2018.09.011>.
- [15] C.M. Mason, R.M. Doe, *The determination of the thermal conductivity of fluids*, *J. Chem. Educ.* 5 (2006) 182–184. <https://doi.org/10.1021/ed014p182>.
- [16] U. States, A. Engineers, T. Sae, *Engine oil viscosity classification*, *Tribol. Int.* 10 (2002) 77–80. [https://doi.org/10.1016/0301-679x\(77\)90102-5](https://doi.org/10.1016/0301-679x(77)90102-5).
- [17] A. Shabib-Asl, M.A. Ayoub, I.M. Saaid, P.P.J. Valentim, *Experimental investigation into effects of crude oil acid and base number on wettability alteration by using different low salinity water in sandstone rock*, *J. Japan Pet. Inst.* 58 (2015) 228–236. <https://doi.org/10.1627/jpi.58.228>.
- [18] D.C. Adhitya, *Penambahan Pasir Vulkanik untuk Meningkatkan Sifat Termal Composite PCM sebagai Thermal Energy Storage*, 2020.