

**PENGEMBANGAN REFRIGERANT NANO FLUIDA UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PERPINDAHAN PANAS SISTEM PENDINGIN**

<sup>1</sup>Muhammad Ilham Al Jauziyah , <sup>1</sup>Carwita Sumawiharja , <sup>1</sup>Agung Zimitra Nugraha ,  
<sup>1</sup>Idham Satya Hasmoro , <sup>2</sup>Riny Yolandha Parapat

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Mesin Institut Teknologi Nasional Bandung

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Kimia Institut Teknologi Nasional Bandung

<sup>2</sup>Email : [rinyyolandha@itenas.ac.id](mailto:rinyyolandha@itenas.ac.id)

**Abstract**

*Nanotechnology has become a revolutionary field in various engineering applications, one of which is the development of a cooling system based on nano-fluid refrigerants. The application of nanotechnology through the addition of nanoparticles into conventional refrigerants to improve heat transfer efficiency. By utilizing metal oxide nanoparticles, such as  $Al_2O_3$  and  $TiO_2$ , the refrigerant is converted into a nano-fluid that has superior thermophysical properties, including increased thermal conductivity. The use of nanotechnology in refrigerants allows for more even and optimal heat distribution, reduces thermal resistance and significantly improves energy efficiency as one solution to improve heat transfer efficiency in cooling systems. Nano-fluids are suspensions of nanoparticles in base fluids designed to increase thermal conductivity, and thus, improve thermal performance in the cooling process. Research explored the effect of adding nanoparticles such as aluminum oxide ( $Al_2O_3$ ) and copper oxide ( $CuO$ ) into conventional refrigerants, to improve heat transfer efficiency.*

**Article History**

Submitted: 2 Januari 2025

Accepted: 7 Januari 2025

Published: 8 Januari 2025

**Key Words**

Nanofluid, Nanotechnology, Refrigerant, Heating Ventilation Air Conditioning.

**Abstrak**

Nanoteknologi telah menjadi bidang yang revolusioner dalam berbagai aplikasi teknik, salah satunya adalah pengembangan sistem pendinginan berbasis refrigeran nano-fluida. Penerapan nanoteknologi melalui penambahan nanopartikel ke dalam refrigeran konvensional untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas. Dengan memanfaatkan nanopartikel oksida logam, seperti  $Al_2O_3$  dan  $TiO_2$ , refrigeran dikonversi menjadi nano-fluida yang memiliki sifat termofisika unggul, termasuk peningkatan konduktivitas termal. Penggunaan nanoteknologi dalam refrigeran memungkinkan distribusi panas yang lebih merata dan optimal, mengurangi hambatan termal dan memperbaiki efisiensi energi secara signifikan sebagai salah satu solusi untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas pada sistem pendingin. Nano-fluida merupakan suspensi partikel nano dalam fluida dasar yang dirancang untuk meningkatkan konduktivitas termal, dan dengan demikian, memperbaiki kinerja termal pada proses pendinginan. Hasil-hasil penelitian telah banyak melaporkan mengenai efek penambahan partikel nano seperti aluminium oksida ( $Al_2O_3$ ) dan tembaga oksida ( $CuO$ ) ke dalam refrigeran konvensional untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas.

**Sejarah Artikel**

Submitted: 2 Januari 2025

Accepted: 7 Januari 2025

Published: 8 Januari 2025

**Kata Kunci**

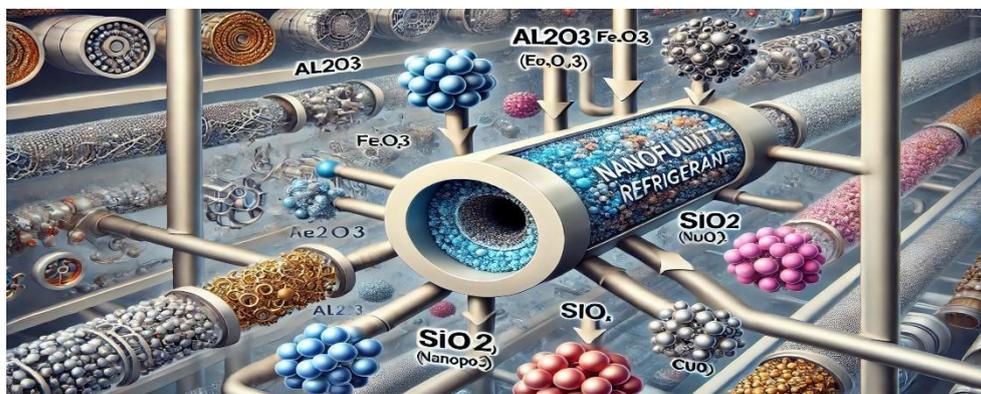
Nanofluida, Nano teknologi, Refrigerant, Heating Ventilation Air Conditioning.

**PENDAHULUAN**

Nanoteknologi adalah cabang ilmu, teknik, dan teknologi yang berfokus pada pemahaman, manipulasi, dan pengendalian material pada skala nanometer, yaitu sekitar 1 hingga 100 nanometer (1 nanometer = 1 per miliar meter). Pada skala ini, sifat material dapat berbeda secara signifikan dari sifatnya pada ukuran yang lebih besar, sehingga membuka peluang inovasi yang tidak mungkin dicapai pada skala makroskopik. Mengingat dampak besar yang dapat dihasilkan oleh teknologi nano di masa depan, penting untuk memahami apa itu nanoteknologi, keunggulannya dibandingkan teknologi konvensional, cara penerapannya, dan prospeknya di masa depan.

Teknologi nano memiliki keterkaitan erat dengan dunia kuantum karena keduanya beroperasi pada skala atomik dan molekular di bawah 100 nanometer. Pada skala ini, hukum fisika klasik tidak cukup untuk menjelaskan fenomena yang terjadi, sehingga prinsip-prinsip mekanika kuantum menjadi sangat relevan. Dalam beberapa dekade terakhir, teknologi pendinginan dan pemanasan pada sistem HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) telah berkembang pesat, terutama dalam meningkatkan efisiensi energi dan kinerja sistem. Sistem HVAC memiliki peran penting di berbagai sektor, mulai dari bangunan komersial dan industri hingga rumah tinggal, sekaligus menyumbang konsumsi energi global yang signifikan. Oleh karena itu, meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi dampak lingkungan telah menjadi prioritas utama. Salah satu solusi yang menjanjikan untuk meningkatkan kinerja sistem HVAC adalah penggunaan nanofluida sebagai cairan pendingin.

Nanofluida merupakan cairan yang mengandung partikel nano dengan ukuran sangat kecil (biasanya antara 1–100 nm), yang dapat terdiri dari berbagai jenis material seperti logam, oksida logam, atau karbon. Sebagai contoh, partikel nano seperti  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , dan  $\text{CuO}$  sering digunakan untuk meningkatkan efisiensi termal dalam perpindahan panas. Partikel-partikel ini ditambahkan ke dalam cairan refrigeran untuk meningkatkan konduktivitas termal dan kinerja pendinginan dalam pipa sistem. Penggunaan nanofluida menciptakan teknologi pendinginan yang lebih efisien dan efektif, khususnya dalam aplikasi industri dan teknologi canggih. Ketika nanopartikel dicampurkan ke dalam cairan dasar seperti air atau minyak, campuran ini menghasilkan sifat termal dan hidrodinamik yang lebih unggul dibandingkan cairan konvensional. Nanofluida HVAC adalah konsep yang masih relatif baru, namun menawarkan potensi besar untuk mengoptimalkan sistem pendinginan dan pemanasan dengan cara meningkatkan konduktivitas termal dan efisiensi aliran.



Gambar 1 tersebut menggambarkan sebuah sistem pendingin yang menggunakan nanofluida sebagai pendinginnya. Sistem ini terdiri dari beberapa tabung yang berisi berbagai macam nanofluida, yang masing-masing memiliki sifat dan kegunaan yang berbeda. Nanofluida tersebut terdiri dari berbagai material, seperti  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  (nanopores),  $\text{CuO}$ , dan  $\text{SiO}_2$  (NUO). Material-material ini memiliki sifat yang berbeda-beda, sehingga dapat digunakan untuk berbagai tujuan. Misalnya,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dapat digunakan sebagai pendingin yang efektif, sementara  $\text{SiO}_2$  dapat digunakan sebagai insulator.

Sistem ini bekerja dengan mengalirkan nanofluida melalui tabung-tabung tersebut. Nanofluida kemudian akan menyerap panas dari lingkungan sekitarnya. Panas yang diserap kemudian akan dilepaskan ke udara melalui sistem pendingin. Dengan demikian, suhu lingkungan akan turun. Dengan mengembangkan dan memanfaatkan nanofluida dalam sistem

HVAC, kita tidak hanya dapat meningkatkan efisiensi energi dan kinerja sistem, tetapi juga berkontribusi pada upaya global untuk menciptakan lingkungan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi lebih lanjut potensi nanofluida dalam sistem HVAC, dengan harapan dapat memberikan wawasan baru yang dapat memfasilitasi adopsi teknologi ini di masa depan.

Nanoteknologi telah membawa banyak inovasi dalam bidang teknik mesin, terutama dalam meningkatkan performa dan efisiensi material serta sistem. Salah satu aplikasinya adalah pengembangan nanokomposit, di mana nanopartikel seperti karbon nanotube (CNT) dan graphene digunakan untuk memperkuat material sehingga lebih ringan, tahan aus, dan tahan korosi. Selain itu, nanoteknologi digunakan dalam pelapisan anti-korosi dan anti-abrasif untuk melindungi komponen mesin dari kerusakan lingkungan, memperpanjang umur pakai. Dalam sistem pendingin, nano-refrigeran dan nano-fluida berbasis partikel seperti  $Al_2O_3$  atau CuO meningkatkan kapasitas perpindahan panas, sehingga meningkatkan efisiensi sistem seperti radiator, heat exchanger, dan chiller. Nanoteknologi juga diterapkan dalam pelumas mesin dengan menambahkan nanopartikel seperti  $MoS_2$  atau graphene untuk mengurangi

Gesekan dan keausan, yang berujung pada penghematan energi dan perpanjangan umur mesin. Dalam manufaktur, pelapisan berbasis nanomaterial digunakan untuk alat pemotong, seperti bor atau mata pisau, agar tahan panas dan memiliki umur pakai lebih lama. Selain itu, nanoteknologi memungkinkan pembuatan komponen mikro dan nano dengan presisi tinggi untuk sensor dan aktuator. Dalam energi terbarukan, nanoteknologi digunakan dalam pengembangan sel surya yang lebih efisien dan baterai berkapasitas besar untuk mendukung kendaraan listrik dan sistem penyimpanan energi.

Dalam bidang otomotif dan aerospace, material nano membantu mengurangi berat bodi kendaraan tanpa mengorbankan kekuatan, sehingga meningkatkan efisiensi bahan bakar. Pada mesin pesawat dan turbin, pelapisan termal berbasis nanoteknologi memberikan ketahanan terhadap suhu ekstrem. Selain itu, nano-sensor memungkinkan deteksi real-time terhadap suhu, tekanan, atau kerusakan mikro pada mesin, yang meningkatkan efisiensi operasional dan keamanan. Dengan berbagai aplikasi ini, nanoteknologi terus menjadi solusi inovatif untuk tantangan di dunia teknik mesin.

Sistem pendingin, seperti air conditioning (AC), kulkas, dan pompa panas, merupakan teknologi penting yang digunakan dalam berbagai sektor, termasuk industri, transportasi, dan rumah tangga seperti pada gambar 1. Kinerja sistem pendingin sangat bergantung pada kemampuan refrigeran untuk melakukan perpindahan panas secara efisien. Dalam upaya untuk meningkatkan efisiensi termal, mengurangi konsumsi energi, dan menurunkan dampak lingkungan, banyak penelitian difokuskan pada pengembangan refrigeran yang lebih efektif. Salah satu inovasi yang menjanjikan dalam bidang ini adalah penggunaan nanofluida sebagai aditif dalam refrigeran (Chua et al., 2013).

Nano-fluida adalah suspensi partikel nano, dengan ukuran partikel di bawah 100 nanometer, dalam fluida dasar. Penerapan nano-fluida dalam aplikasi perpindahan panas telah menjadi topik riset yang semakin menarik sejak diperkenalkan oleh Choi pada tahun 1995. Penggunaan nano-partikel logam, oksida logam, dan bahan karbon pada fluida kerja terbukti mampu meningkatkan konduktivitas termal fluida secara signifikan, sehingga meningkatkan efisiensi perpindahan panas. Dalam konteks refrigeran, penambahan partikel nano ke dalam fluida pendingin bertujuan untuk mempercepat proses perpindahan panas di dalam sistem pendingin, yang pada gilirannya dapat menurunkan konsumsi energi dan meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan (Suryani, 2017).

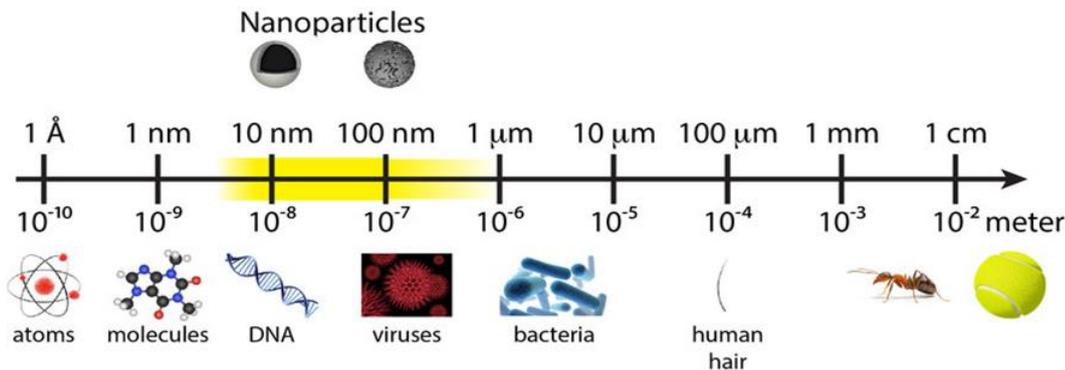
Penelitian mengenai refrigeran nano-fluida menunjukkan bahwa campuran ini dapat memberikan peningkatan koefisien perpindahan panas dan efisiensi sistem hingga 25-30% dibandingkan dengan refrigeran konvensional. Selain itu, nano-fluida memungkinkan desain

sistem yang lebih kompak, lebih ringan, dan dengan biaya operasional yang lebih rendah. Namun, masih terdapat tantangan teknis yang perlu diatasi, seperti stabilitas dispersi partikel nano dalam refrigeran, efek jangka panjang pada korosi, dan kemungkinan dampak lingkungan dari material nano. (Pathak et al., 2022)

## 1. Nano Fluida

Nanofluida secara definisi adalah fluida atau sederhananya cairan yang terdiri dari partikel-partikel penyusun yang berukuran sangat kecil dalam orde nanometer ( $10^{-9}$  m), partikel kecil ini disebut juga nanopartikel seperti pada gambar 2. Penelitian dalam bidang nanofluida banyak dilakukan khususnya dalam aplikasinya refrigerant sebagai pendingin dalam sistem *Air Conditioning*. Selain itu juga masih banyak aplikasi lain yang dapat dimanfaatkan terkait nanofluida. (Devendiran and Amirtham, 2016)

Gambar 2 menunjukkan skala ukuran berbagai objek, dari skala atomik hingga skala makroskopik, dengan fokus pada ukuran nanopartikel. Skala dimulai dari 1 Ångström ( $10^{-10}$  meter), yang merupakan ukuran atom, hingga 1 cm ( $10^{-2}$  meter), ukuran objek yang dapat dilihat dengan mata telanjang seperti bola tenis. Nanopartikel berada di rentang ukuran 1 hingga 100 nanometer ( $10^{-9}$  hingga  $10^{-7}$  meter), seperti yang ditandai dengan highlight kuning pada gambar. Pada skala ini, nanopartikel memiliki dimensi yang sebanding dengan virus, namun lebih kecil dari bakteri dan objek lainnya seperti rambut manusia. Dengan ukurannya yang sangat kecil, nanopartikel memiliki sifat unik, seperti luas permukaan yang sangat besar dibandingkan dengan volumenya, yang menjadikannya sangat reaktif dan ideal untuk aplikasi dalam berbagai bidang seperti nanoteknologi dan sistem pendingin berbasis refrigeran. Gambar ini juga menunjukkan bagaimana nanopartikel berada di antara ukuran molekul dan mikroorganisme, menjelaskan posisi uniknya dalam dunia teknologi nano.



Gambar 2.

Skala pembandingan untuk ukuran nano material (Devendiran And Amirtham, 2016)

### 1.1 Struktur Dan Karakteristik Nanomaterial

Struktur nanofluida merujuk pada susunan internal antara cairan dasar (base fluid) dan nanopartikel yang terdispersi di dalamnya seperti pada gambar 3. Nanofluida dirancang untuk memanfaatkan sifat unik partikel nano dan interaksinya dengan cairan dasar. Berikut adalah elemen utama dari struktur nanofluida:

Gambar 3 menjelaskan tentang proses sintesis nanopartikel dan aplikasinya dalam berbagai tahapan, terbagi menjadi empat bagian. Pertama menunjukkan metode pembuatan nanopartikel perak (Ag) menggunakan ekstrak daun teh hijau. Proses dimulai dengan mencuci dan mengeringkan daun teh, diikuti oleh metode pemanasan berbasis microwave dan penggilingan hingga menjadi serbuk nano. Serbuk tersebut dicampurkan dengan larutan  $\text{AgNO}_3$ , menghasilkan larutan nanofluida berwarna coklat muda. Hasil akhirnya adalah

nanofluida Ag/WESO yang diperoleh melalui proses sonikasi dan pengadukan.

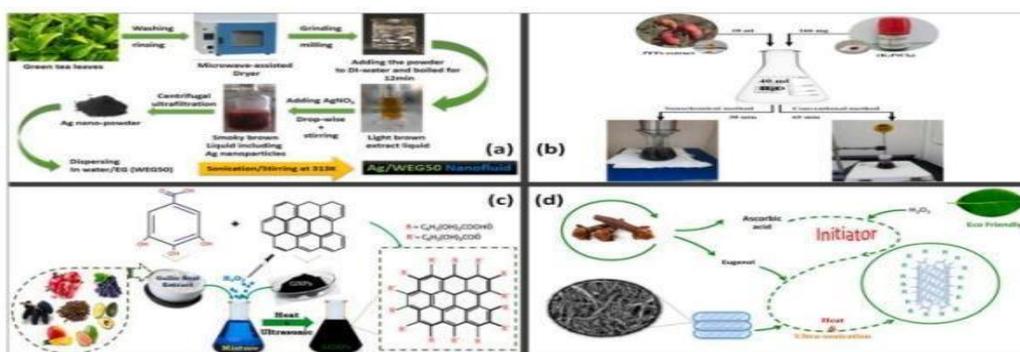
Kedua menggambarkan aplikasi nanopartikel dalam bidang polimer. Polimer berbasis PPF (Polypropylene Fumarate) dicampurkan dengan nanopartikel untuk meningkatkan sifat mekanis atau termal. Proses ini melibatkan pengukuran karakteristik seperti viskositas dan stabilitas campuran menggunakan peralatan laboratorium standar. Ketiga memvisualisasikan sintesis nanomaterial berbasis karbon, termasuk graphene dan derivatifnya, melalui metode kimia dengan bahan dasar organik. Proses ini mencakup reaksi dengan larutan kimia serta pemanasan untuk menghasilkan struktur graphene oksida atau grafit yang memiliki konduktivitas tinggi dan luas permukaan besar.

Keempat menjelaskan pembuatan nanokomposit berbasis ramah lingkungan. Bahan-bahan seperti asam akrilat dan eugenol digunakan sebagai prekursor dengan penambahan inisiator. Proses pemanasan menggabungkan komponen tersebut menjadi struktur nanokomposit dengan sifat yang dapat diaplikasikan untuk kebutuhan industri berkelanjutan. Secara keseluruhan, gambar ini mengilustrasikan bagaimana nanopartikel dapat disintesis dari sumber alami, dimodifikasi, dan diaplikasikan untuk berbagai keperluan, seperti peningkatan performa material dan solusi ramah lingkungan.

Gambar 3. Struktur dari nanofluids (firmansyah, 2023)

## 1.2 Komponen Utama Nanofluida

Cairan dasar atau base fluid merupakan medium utama dalam nanofluida yang



berfungsi sebagai pelarut bagi nanopartikel. Cairan ini dirancang dengan sifat termal dan reologi yang disesuaikan untuk kebutuhan aplikasi tertentu. Beberapa jenis cairan dasar yang umum digunakan antara lain air, minyak, etilen glikol, propilen glikol, dan cairan dielektrik. Sementara itu, nanopartikel yang didispersikan dalam cairan dasar memiliki ukuran antara 1–100 nm, memberikan karakteristik unik seperti peningkatan konduktivitas termal dan stabilitas cairan. Partikel-partikel ini dapat berbentuk bulat, tabung, lembaran, atau tak beraturan. Berdasarkan jenisnya, nanopartikel terbagi menjadi beberapa kategori, yaitu logam seperti tembaga (Cu), perak (Ag), dan emas (Au); oksida logam seperti aluminium oksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) dan titanium dioksida (TiO<sub>2</sub>); material karbon seperti karbon nanotube (CNT) dan grafena; serta material keramik. (Muchlas, 2024)

Silikon karbida (SiC), zirkonium oksida (ZrO<sub>2</sub>). Agen Penstabil (Stabilizer) Stabilizer digunakan untuk memastikan nanopartikel tetap terdispersi secara merata dalam cairan dasar, mencegah penggumpalan atau sedimentasi. Contoh: Surfaktan (SDS, CTAB), polimer, atau senyawa kimia tertentu.

Struktur Dispersi Nanopartikel dalam Nanofluida tidak hanya tersebar acak, tetapi memiliki interaksi dan pola tertentu misalnya, Dispersi Homogen: Nanopartikel tersebar merata tanpa menggumpal, ideal untuk aplikasi perpindahan panas. Sedimentasi atau Agregasi: Terjadi bila tidak ada agen penstabil yang memadai, menyebabkan penurunan performa nanofluida. Interaksi Antarmolekul dan Antarmateri, Interaksi Nanopartikel-Cairan

Nanopartikel berinteraksi dengan molekul cairan dasar, menciptakan lapisan antarmuka (*interfacial layer*) yang memengaruhi sifat termal dan reologi. Lapisan Antarmuka terdiri dari molekul cairan yang terikat secara dinamis pada permukaan nanopartikel yang memiliki ukuran partikel yang lebih kecil memiliki rasio luas permukaan terhadap volume yang lebih besar, meningkatkan interaksi dengan cairan. Partikel berbentuk tabung (CNT) atau lembaran (grafena) sering kali lebih efektif dalam meningkatkan konduktivitas termal dibandingkan partikel bulat. Parameter yang Mempengaruhi Struktur konsentrasi Nanopartikel: Konsentrasi tinggi meningkatkan sifat termal tetapi dapat memengaruhi viskositas. Distribusi yang merata menghasilkan performa yang optimal.

Gambaran Skematis Struktur Nanofluida secara visual, struktur nanofluida terdiri dari partikel nano yang tersebar dalam cairan dasar, biasanya berbentuk bulat, silinder, atau lembaran. Lapisan antarmuka: Molekul cairan yang terikat secara langsung ke permukaan nanopartikel, mempengaruhi konduktivitas dan viskositas nanofluida.

## 2. Jenis-Jenis nanomaterial yang digunakan sebagai refrigeran

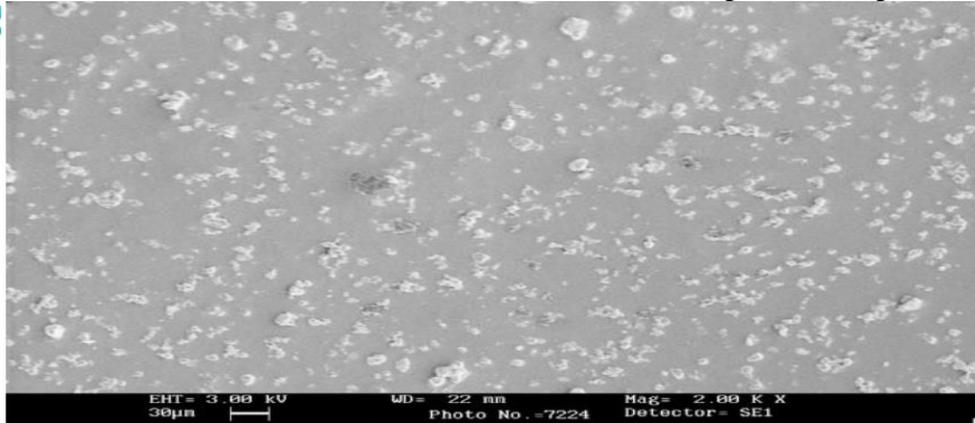
Nanomaterial yang digunakan sebagai refrigeran atau aditif dalam refrigeran dirancang untuk meningkatkan efisiensi perpindahan panas dan kinerja sistem pendingin. Salah satu nanomaterial yang sering digunakan adalah nanopartikel logam, seperti tembaga (Cu), perak (Ag), dan emas (Au). Nanopartikel ini memiliki konduktivitas termal yang tinggi, sehingga mampu meningkatkan efisiensi transfer panas, meskipun beberapa di antaranya, seperti emas, memiliki biaya yang relatif mahal. Selain itu, nanopartikel logam oksida seperti aluminium oksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), titanium dioksida ( $\text{TiO}_2$ ), dan zink oksida ( $\text{ZnO}$ ) sering dimanfaatkan karena stabilitasnya dalam berbagai kondisi dan kemampuannya meningkatkan koefisien perpindahan panas. Nanomaterial berbasis karbon, seperti graphene, karbon nanotube (CNT), dan karbon hitam, juga menjadi alternatif yang banyak digunakan. (D.Beydun dkk, 1999)

### 2.1 Nano Fluida $\text{Al}_2\text{O}_3$

$\text{Al}_2\text{O}_3$  (alumina) sering digunakan sebagai bahan dasar dalam pembuatan nanofluida karena sifatnya yang baik dalam meningkatkan konduktivitas termal dan viskositas cairan. Nanofluida adalah cairan yang mengandung nanopartikel padat, dan nanopartikel tersebut berfungsi untuk meningkatkan sifat-sifat fisik cairan, seperti konduktivitas termal, viskositas, dan kapasitas panas. Konduktivitas termal tinggi  $\text{Al}_2\text{O}_3$  memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi dibandingkan dengan air atau cairan lainnya. Ketika partikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ditambahkan ke dalam cairan, mereka meningkatkan kemampuan cairan untuk menghantarkan panas. Stabilitas termal dan kimia  $\text{Al}_2\text{O}_3$  stabil pada suhu tinggi dan tidak mudah bereaksi dengan banyak zat kimia, membuatnya ideal untuk digunakan dalam aplikasi yang melibatkan suhu tinggi dan lingkungan agresif. Ukuran partikel nanopartikel  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dalam ukuran nano sangat kecil (biasanya antara 1 hingga 100 nm), yang memungkinkan mereka untuk tersebar secara merata dalam cairan dan meningkatkan sifat fisiknya tanpa mempengaruhi terlalu banyak viskositas seperti pada gambar 4. (Segrey V.Gudkov, dkk, 2022). Keberlanjutan dan keterjangkauan Alumina merupakan bahan yang cukup murah dan mudah didapatkan, menjadikannya pilihan yang terjangkau untuk penelitian dan aplikasi industri.

Gambar 4 menunjukkan Hasil SEM (Scanning Electron Microscope) dari material  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (aluminium oksida) untuk aplikasi nanofluida pada perbesaran 200 kali menunjukkan struktur partikel granular berskala nanometer dengan aglomerasi dan porositas signifikan yang mempengaruhi sifat mekanik dan katalitiknya. Permukaan material tampak tidak rata, mencerminkan proses sintesis seperti calcination, dengan area lebih terang menunjukkan partikel lebih besar atau orientasi berbeda. Skala 500 nm dan tegangan 15.0 kV mempertegas

sifat nanomaterial ini.  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sering digunakan sebagai katalis, adsorben, bahan tahan suhu tinggi (refraktori), serta memiliki kekuatan mekanik baik untuk aplikasi komposit.



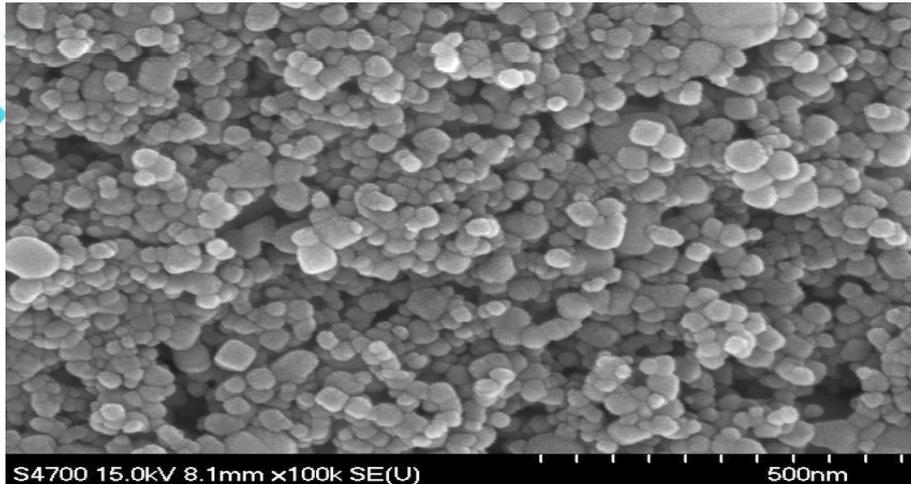
Gambar 4. Hasil SEM dari nanofluida  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Tereza soviva, 2009)

## 2.2 CuO (Tembaga(II) Oksida) Nanofluida

CuO (Tembaga(II) Oksida) nanofluida adalah jenis nanofluida yang terdiri dari partikel-partikel tembaga oksida yang sangat kecil (dalam skala nanometer) yang tersebar dalam cairan dasar, seperti air, etilen glikol, atau refrigerant lainnya. CuO memiliki konduktivitas termal yang sangat baik, yang membuatnya sangat efektif dalam meningkatkan efisiensi perpindahan panas dibandingkan dengan fluida konvensional. Dalam sistem refrigeran, penambahan CuO nanofluida dapat meningkatkan kapasitas sistem dalam menyerap dan melepaskan panas, yang sangat penting untuk meningkatkan kinerja evaporator dan kondensor. Keunggulan utama dari CuO nanofluida adalah kemampuannya untuk meningkatkan laju perpindahan panas tanpa meningkatkan viskositas secara signifikan, yang memungkinkan sistem bekerja lebih efisien dengan penggunaan energi yang lebih rendah. (Joshua ighalo, 2021)

Namun, meskipun CuO nanofluida menjanjikan peningkatan performa dalam berbagai aplikasi termal, penggunaan material ini memerlukan perhatian terhadap stabilitas nanofluida dan masalah korosivitas. Partikel CuO yang lebih besar atau tidak stabil dapat menyebabkan sedimentasi dalam sistem, mengurangi efisiensi, dan berpotensi merusak komponen sistem pendingin seperti pada gambar 5. Untuk mengatasi masalah ini, penelitian terus dilakukan untuk meningkatkan stabilitas dan dispersibilitas CuO dalam cairan dasar. Selain itu, meskipun CuO bersifat lebih murah dibandingkan dengan material nanofluida lainnya, penggunaan tembaga oksida dalam jumlah besar dapat meningkatkan biaya produksi, yang masih menjadi tantangan dalam implementasi komersial nanofluida ini pada sistem refrigeran dan aplikasi industri lainnya.

Gambar 5 menunjukkan Hasil Scanning Electron Microscope (SEM) nanofluida CuO (tembaga oksida) pada pembesaran tinggi ( $\times 100k$ ), dengan ukuran partikel dalam skala nanometer (ditunjukkan oleh skala 500 nm). Partikel-partikel CuO tampak berbentuk granular dan saling beragregasi, membentuk struktur padat dengan permukaan yang relatif tidak rata. Morfologi ini menunjukkan potensi CuO untuk digunakan dalam aplikasi katalis, sensor, atau bahan dengan sifat optik dan elektronik, bergantung pada kerapatan dan distribusi partikel. Tegangan 15.0 kV memastikan detail struktur partikel terlihat dengan jelas.



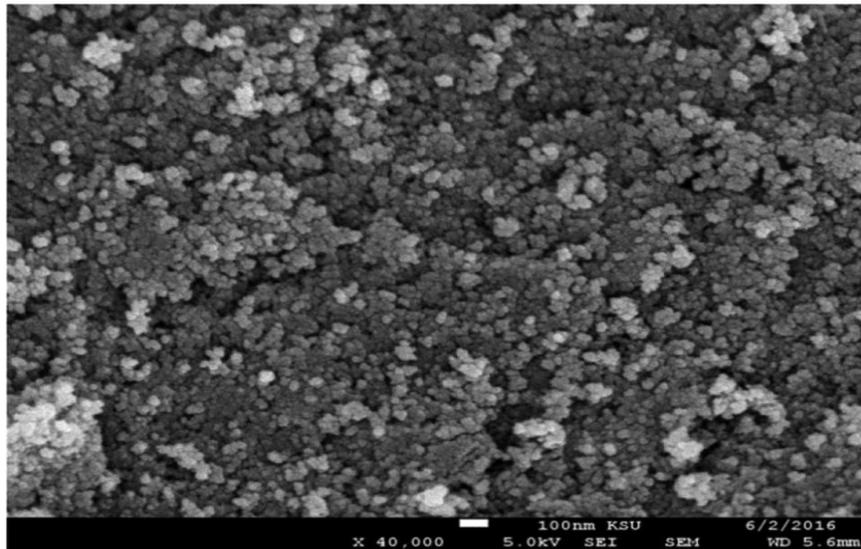
Gambar 5. Hasil SEM dari nanofluida CuO (Tereza soviva, 2009)

### 2.3 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluida adalah jenis nanofluida yang menggunakan nanopartikel besi oksida (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) yang sangat kecil, umumnya dengan ukuran di bawah 100 nanometer, yang terdispersi dalam cairan seperti air, minyak, atau cairan lainnya. Nanofluida seperti ini memiliki berbagai aplikasi, terutama di bidang pendinginan dan perpindahan panas karena kemampuan nanopartikel untuk meningkatkan konduktivitas termal cairan secara signifikan. Keunggulan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dalam nanofluida peningkatan konduktivitas termal Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> adalah bahan dengan konduktivitas termal yang relatif tinggi. Ketika digunakan dalam bentuk nanopartikel, ia dapat meningkatkan konduktivitas termal cairan tempat nanopartikel tersebut terdispersi. Hal ini membuat Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> nanofluida lebih efisien dalam memindahkan panas dibandingkan dengan cairan biasa. Aplikasi dalam sistem pendinginan. (Baron Jaimez, 2013)

Nanofluida Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> banyak digunakan dalam sistem pendinginan industri dan perangkat elektronik, karena kemampuan nanopartikel Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> untuk mempercepat proses perpindahan panas. Sistem ini dapat digunakan di sektor energi, elektronik (terutama untuk mendinginkan perangkat seperti CPU dan komponen lainnya), dan kendaraan (untuk meningkatkan efisiensi sistem pendinginan mesin). Sifat magnetik Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki sifat paramagnetik, yang berarti bahwa partikel ini dapat dipengaruhi oleh medan magnet. Ini memberikan keuntungan dalam aplikasi yang memanfaatkan medan magnet untuk mengontrol aliran nanofluida atau memperbaiki efisiensi perpindahan panas melalui pengendalian aliran cairan. Stabilitas dan keberlanjutan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> memiliki kestabilan kimia yang baik, sehingga dapat bertahan dalam suhu tinggi dan kondisi lingkungan yang keras tanpa terdegradasi. Ini membuatnya cocok untuk aplikasi industri berat, seperti pembangkit energi atau proses manufaktur.

Gambar 6 menunjukkan dari Scanning Elektron Microscope (SEM) dengan Nanofluida Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dengan morfologi yang tidak beraturan dan berpori. Skala 100 nm menunjukkan bahwa partikel memiliki ukuran nano dengan struktur yang memungkinkan luas permukaan tinggi, yang biasanya bermanfaat untuk aplikasi seperti katalisis atau penyimpanan energi. Morfologi seperti ini sering dihasilkan melalui sintesis khusus untuk meningkatkan reaktivitas material.



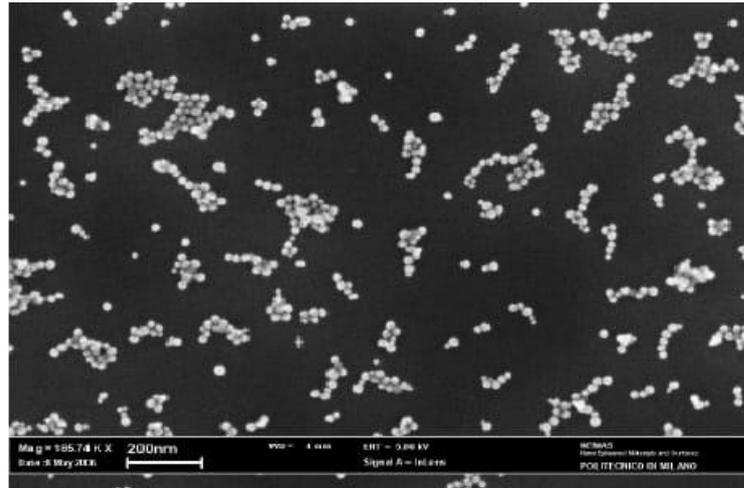
Gambar 6. Hasil karakterisasi dari SEM dengan nanofluida Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Tereza soviva, 2009)

## 2.4 SiO<sub>2</sub>

Silika (SiO<sub>2</sub>) Nanofluida adalah jenis nanofluida yang menggunakan nanopartikel silika (SiO<sub>2</sub>) yang terdispersi dalam cairan dasar. Silika adalah material berbasis oksida logam yang memiliki banyak keunggulan dalam aplikasi teknik termal, terutama dalam peningkatan konduktivitas termal dan stabilitas nanofluida. Nanopartikel SiO<sub>2</sub> yang memiliki ukuran kecil (antara 1 hingga 100 nm) mampu meningkatkan interaksi dengan cairan dasar, menciptakan lapisan antarmuka yang meningkatkan transfer panas. (Mehran alavi, dkk, 2022)

Silika (SiO<sub>2</sub>) nanofluida biasanya digunakan dalam aplikasi yang membutuhkan efisiensi termal yang lebih baik, seperti dalam sistem pendingin, perangkat elektronik, dan industri otomotif. Keunggulan dari SiO<sub>2</sub> adalah sifatnya yang tidak toksik, stabilitas tinggi, dan harga yang relatif lebih murah dibandingkan dengan nanopartikel logam. Selain itu, SiO<sub>2</sub> nanofluida juga memiliki kestabilan yang baik dalam dispersinya, sehingga mengurangi risiko aglomerasi dan sedimentasi nanopartikel selama penggunaan. Untuk mempertahankan stabilitas ini, agen penstabil seperti surfaktan atau polimer sering digunakan, memastikan nanopartikel tetap tersebar merata dalam cairan dasar tanpa penggumpalan.

Gambar 7 menunjukkan hasil SEM dengan Nanofluida SiO<sub>2</sub> (silika) dengan morfologi berbentuk feris yang seragam. Skala 200 nm menunjukkan bahwa partikel-partikel tersebut berada dalam ukuran nano, dengan distribusi ukuran yang relatif homogen. Morfologi seperti ini sering dihasilkan melalui metode sol-gel atau sintesis khusus, yang menjadikan material ini sangat cocok untuk aplikasi seperti katalis, bahan pengisi, atau pembawa obat dalam teknologi nano.



Gambar 7. Hasil dari SEM dengan nanofluida SiO<sub>2</sub> (Tereza soviva, 2009)

### 3. Prospek Di Masa Depan

Prospek penggunaan nanofluida dalam sistem HVAC (*Heating, Ventilation, and Air Conditioning*) di masa depan menunjukkan potensi yang sangat menjanjikan, terutama dalam meningkatkan efisiensi energi dan kinerja sistem pendingin. Berikut adalah beberapa poin penting mengenai prospek ini:

#### 1. Peningkatan Efisiensi Energi

Nanofluida seperti yang terbuat dari aluminium oksida, dapat meningkatkan transfer panas dan kinerja sistem AC hingga sekitar 22% . Hal ini dicapai tanpa perlu mengganti atau memperbarui sistem yang ada, sehingga menjadi solusi yang lebih ekonomis bagi operator bangunan. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan nanofluida dapat memberikan peningkatan efisiensi energi antara 10% hingga 15% selama lebih dari satu dekade

#### 2. Aplikasi Non-Invasif

Salah satu keunggulan nanofluida adalah kemampuannya untuk diimplementasikan melalui metode non-invasif. Ini berarti bahwa nanofluida dapat ditambahkan ke sistem HVAC yang sudah ada tanpa memerlukan modifikasi besar, menjadikannya pilihan menarik bagi banyak pengguna

#### 3. Penghematan Biaya Operasional

Implementasi teknologi nanofluida pada sistem HVAC dapat mengurangi biaya pemeliharaan dan perbaikan. Misalnya, proyek di Phoenix yang menggunakan nanofluid ThermoClear diperkirakan menghemat lebih dari \$100,000 per tahun dalam biaya layanan HVAC

#### 4. Stabilitas dan Kinerja

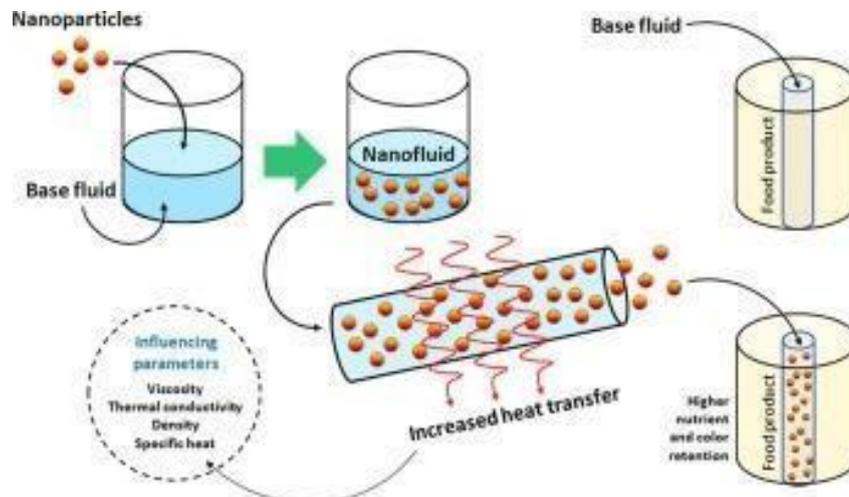
Meskipun terdapat tantangan terkait stabilitas dan variasi sifat fisik nanofluida, penelitian terus dilakukan untuk memahami mekanisme dan meningkatkan formulasi nanofluida agar lebih stabil dan efektif. Dengan kemajuan ini, nanofluida diharapkan dapat digunakan lebih luas dalam aplikasi HVAC

#### 5. Inovasi Berkelanjutan

Penelitian terbaru menunjukkan bahwa nanofluida memiliki potensi aplikasi yang luas tidak hanya dalam HVAC tetapi juga dalam industri lain seperti otomotif dan elektronik. Dengan meningkatnya kebutuhan akan sistem pendingin yang lebih efisien, inovasi dalam penggunaan nanofluida akan terus berkembang.

Gambar 8 menjelaskan tentang Nanomaterial yang digunakan dalam nanofluid untuk

aplikasi sistem HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) membawa berbagai sifat luar biasa yang tidak hanya meningkatkan efisiensi sistem, tetapi juga membuka peluang besar dalam teknologi dan desain yang lebih canggih dan ramah lingkungan. Berikut adalah beberapa aspek menarik tentang nanomaterial tersebut. Keunggulan konduktivitas termal ini memungkinkan sistem HVAC untuk memanaskan atau mendinginkan ruangan lebih cepat, yang berarti menghemat energi dan mempercepat proses pendinginan atau pemanasan. Dengan menggunakan nanomaterial ini, sistem HVAC bisa menjadi lebih kompak, tahan lama, dan lebih kuat meskipun dengan ukuran komponen yang lebih kecil. Penggunaan nanomaterial dalam nanofluida untuk sistem HVAC bukan hanya sebuah perkembangan teknis, tetapi juga revolusi dalam cara kita memanipulasi dan mengoptimalkan sifat material untuk kebutuhan teknologi modern. Dengan konduktivitas termal yang luar biasa, kekuatan mekanis yang tinggi, dan kemampuan stabilisasi yang hebat, nanomaterial ini memberikan banyak potensi yang tak terbatas untuk meningkatkan efisiensi energi, daya tahan dan kinerja sistem HVAC, sambil mengurangi dampak lingkungan dan biaya operasional. Sebagai bonus, nanomaterial berpeluang besar untuk inovasi yang dapat merombak cara kita mendesain dan



memanfaatkan teknologi di masa depan.

Gambar 8. Pengaruh nanofluida dalam sistem HVAC (Indra, 2018)

## KESIMPULAN

Pengembangan refrigeran nano-fluida telah menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan efisiensi perpindahan panas pada sistem pendingin. Penelitian menunjukkan bahwa penggunaan nano-fluida, yang diperoleh dengan menambahkan nanopartikel seperti  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{TiO}_2$  ke dalam refrigeran konvensional, dapat secara signifikan meningkatkan konduktivitas termal, mengurangi viskositas, dan memperbaiki kemampuan transfer panas. Hasilnya, efisiensi perpindahan panas dapat meningkat hingga 25-30%, sehingga teknologi ini tidak hanya mengurangi konsumsi energi tetapi juga menekan emisi karbon, menjadikannya solusi ramah lingkungan untuk sistem pendingin modern.

Namun, implementasi refrigeran nano-fluida masih menghadapi beberapa tantangan teknis. Stabilitas dispersi nanopartikel dalam fluida merupakan salah satu kendala utama yang perlu diatasi untuk menjamin keandalan jangka panjang. Selain itu, masalah seperti korosi dan sedimentasi partikel memerlukan perhatian lebih lanjut agar teknologi ini dapat diterapkan secara luas. Penelitian juga menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi energi yang dihasilkan oleh teknologi ini memiliki potensi untuk mengurangi biaya operasional dan memperpanjang

umur komponen sistem pendingin. Dengan demikian, meskipun menjanjikan, pengembangan lebih lanjut tetap diperlukan untuk mengoptimalkan aplikasi nano-fluida pada skala industri.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abbas, N., Awan, M.B., Badshah, M.A., Sajjad, U., Raza, W., 2022. Chapter 15 - Nanofluids for enhanced performance of building thermal energy systems, in: Ali, H.M. (Ed.), *Advances in Nanofluid Heat Transfer*. Elsevier, pp. 479–501. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-88656-7.00014-3>
- Chua, K.J., Chou, S.K., Yang, W.M., Yan, J., 2013. Achieving better energy- efficient air conditioning – A review of technologies and strategies. *Appl. Energy* 104, 87–104. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.10.037>
- Devendiran, D.K., Amirtham, V.A., 2016. A review on preparation, characterization, properties and applications of nanofluids. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 60, 21–40. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.055>
- Kilic, M., Anjrini, M., 2020. Comparative performance analysis of a combined cooling system with mechanical and adsorption cycles. *Energy Convers. Manag.* 221, 113208. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2020.113208>
- Pathak, S.K., Kumar, R., Goel, V., Pandey, A.K., Tyagi, V.V., 2022. Recent advancements in thermal performance of nano-fluids charged heat pipes used for thermal management applications: A comprehensive review. *Appl. Therm.Eng.* 216, 119023. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2022.119023>
- Senthilkumar, A., Anderson, A., Sekar, M., 2023. Performance analysis of R600a vapour compression refrigeration system using CuO/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> hybrid nanolubricants. *Appl. Nanosci.* 13, 899–915.
- Sudjatmi, K.A., Kamajaya, K., Umar, E., 2015. PENGARUH KONSENTRASI ZrO<sub>2</sub> TERHADAP KORELASI PERPINDAHAN PANAS NANOFLUIDA AIR-ZrO<sub>2</sub> UNTUK PENDINGIN REAKTOR. *J. Teknol. Reakt. Nukl. TRIDASA MEGA* 15.
- Suryani, K.R., 2017. Studi Eksperimen Pengaruh Nanofluida terhadap Unjuk Kerja Mesin Pengkondisian Udara (Undergraduate). Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Jama, M., Singh, T., Gamaleldin, S. M., Koc, M., Samara, A., Isaifan, R. J., & Atieh, M. A. (2016). Critical Review on Nanofluids: Preparation, Characterization, and Applications. *Journal of Nanomaterials*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/6717624>
- Saidur, R., Leong, K. Y., & Mohammed, H. A. (2011). A review on applications and challenges of nanofluids. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(3), 1646–1668. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.11.035>
- Taylor, R., Coulombe, S., Otanicar, T., Phelan, P., Gunawan, A., Lv, W., Rosengarten, G., Prasher, R., & Tyagi, H. (2013). Small particles, big impacts: A review of the diverse applications of nanofluids. *Journal of Applied Physics*, 113(1).
- Alavi, M., Hamblin, M., & Irwin, M. (2022). Cellular, Molecular and Biomedical. *Surface modification of SiO<sub>2</sub> nanoparticles for bacterial decontamination of blood product*, 2(2), 87-89.
- Gudkov, S., Burmistrov, D., Smirnova, V., Semenova, A., & Lisityn, A. (2022). A mini Review Of Antibacterial Properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles. *A mini Review Of Antibacterial Properties of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanoparticles*, 12(15).
- Hidayatulloh, M. (2024). Jurnal Teknik Meisn. *Proses Persiapan Nanofluida Hybrid Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - TiO<sub>2</sub> Pada double pipe heat exchanger*, 12(03), 39-44.
- Ighalo, J., Sagboye, P., Umenweke, G., Ajala, O., & Omoarukhe, F. (2021). Environmental nanotechnology. *CuO nanoparticles for water treatment a review of recent advances*, 15(100443).

