



Research article

Peningkatan Perpindahan Panas pada Pipa Radiator menggunakan SiO₂/Water Nanofluida

Eqwar Saputra^{1,}, Arif Surono²*

^{1,*}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas, Muhammadiyah Purwokerto, **Indonesia**

²Program Studi Teknik Otomotif, Politeknik Indonusa Surakarta, **Indonesia**

*Corresponding author: egwarsaputra@ump.ac.id

ARTICLE INFO

Article History:

Received : 02 August 2024

Revised : 18 August 2024

Accepted : 19 August 2024

Available online: 19 August 2024

Keywords: Heat transfer; SiO₂; coefficient heat transfer; reynolds number

Kata Kunci: Perpindahan panas, SiO₂, koefisien perpindahan panas, bilangan Reynolds

ABSTRACT

This study aims to evaluate the characteristics of heat transfer in radiators with the use of silicon dioxide (SiO₂) nanofluids. This research was carried out experimentally, the research scheme consisted of a water/nanofluid reservoir tank, a heater as a water heater, a pump to circulate water/nanofluids to the radiator and a cooling fan to dissipate heat. The results showed that the average increase in heat transfer coefficient was 15% at a temperature of 60 °C. The maximum increase in heat transfer occurred at a concentration of 0.2 % by 21 % at a Reynolds number of 3200 at a temperature of 60 °C.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik perpindahan panas pada radiator dengan penggunaan nanofluida silikon dioksida (SiO₂). Penelitian ini dilakukan secara eksperimental, skema penelitian terdiri dari sebuah tangki reservoir penampung air/nanofluida, heater sebagai pemanas air, pompa untuk mensirkulasikan air/nanofluida menuju radiator dan sebuah kipas pendingin untuk membuang panas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan rata-rata koefisien perpindahan panas sebesar 15% pada temperatur 60 °C. Peningkatan perpindahan panas maksimal terjadi pada konsentrasi 0.2 % sebesar 21 % pada bilangan reynolds sebesar 3200 pada temperatur 60 °C.

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya permintaan kendaraan, industri otomotif terus melakukan upaya pengembangan mesin dengan efisiensi tinggi, ekonomis, dan konsumsi bahan bakar yang rendah [1], [2]. Kendaraan sendiri dapat membuat pekerjaan lebih cepat dan sederhana. Berbagai cara untuk meningkatkan efisiensi mesin kendaraan telah banyak dilakukan, seperti dengan mengoptimalkan desain mesin, mengurangi berat mesin, dan mengurangi efek panas yang ditimbulkan dari kendaraan [1]. Pengurangan perpindahan panas yang terjadi pada kendaraan dapat mereduksi konsumsi energi, dan dimungkinkan dapat meningkatkan kinerja sistem [3]. Salah satu upaya yang bisa dilakukan untuk mereduksi panas mesin adalah dengan meningkatkan kinerja radiator [4]. Beberapa tahun terakhir banyak dilakukan penelitian untuk meningkatkan efisiensi radiator, diantaranya dengan menambahkan partikel padat dalam ukuran milimeter dan mikrometer dalam cairan pendingin dapat meningkatkan laju perpindahan panas radiator [5].

Sekitar satu dekade yang lalu, dengan perkembangan pesat dari nanoteknologi, partikel di ukuran milimeter dan mikrometer digantikan dengan ukuran nanometer (biasanya antara 1 nm dan 100 nm) partikel [6]. Partikel nanometer dalam cairan (seperti yang disebut "nanofluid") adalah solusi yang menarik yang menyediakan tidak hanya pada peningkatan konduktivitas panas tetapi juga stabilitas lama dan jangka penurunan tekanan yang rendah [4]. Penggunaan nanofluid dapat meningkatkan laju perpindahan panas [7]. Silikon dioksida (SiO_2) adalah salah satu bahan yang menjanjikan untuk meningkatkan transfer panas karena bahan kimia ini memiliki stabilitas fisik yang sangat baik. Selain itu, SiO_2 partikel murah dan tersedia secara komersial.

Penelitian tentang peningkatan transfer panas untuk berbagai aplikasi industri dengan menambahkan nano-partikel padat cairan adalah topik penting dalam 10 tahun terakhir [8]. Partikel nano SiO_2 ditanggihkan konvensional cairan secara luas digunakan dalam berbagai bentuk penukar panas, termasuk digunakan dalam tabung melingkar [9], [10], tabung ganda [11], [12], [6] *shell* dan *tube* [13], [14]. Beberapa masalah yang serius muncul dengan menggunakan jenis cairan ini. Sebagai contoh, stabilitas rendah, menyumbat, dan tekanan pipa mengalami penurunan pada peralatan yang diamati [6]. Ada banyak faktor yang berpengaruh pada kecepatan perpindahan panas dengan partikel nanofluid seperti fraksi volume partikel, bahan partikel, fluida dasar, ukuran partikel, bentuk partikel, pengaruh suhu, dan metode penelitian yang diikuti [15]. Penelitian ini untuk mendapatkan hasil yang jelas tentang perpindahan panas dan efisiensi radiator dengan penggunaan nanopartikel SiO_2 , sebagai nanofluida.

1. METODE PENELITIAN

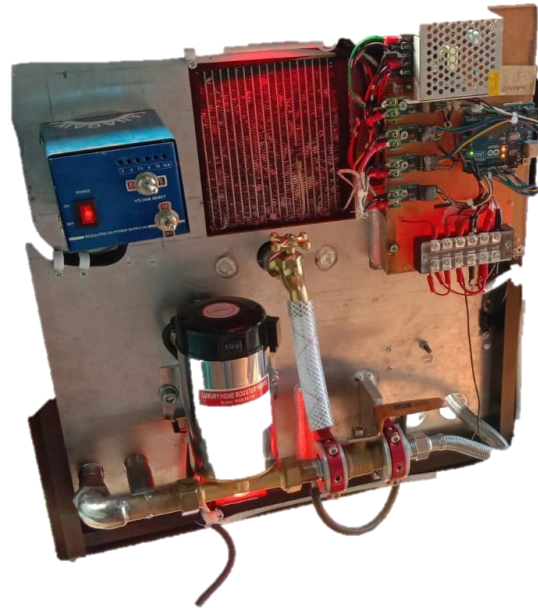
Metode Penelitian ini dilakukan dengan metode experimental bertujuan untuk menganalisa penambahan partikel padat silikon dioksida (SiO_2) kedalam fluida dasar berupa air pada proses perpindahan panas dengan menggunakan aliran fluida yang mengalir dalam pipa radiator.

2.1 Preparasi Nanofluida

Penelitian ini menggunakan metode dua langkah untuk menyiapkan nanofluida SiO_2 . Ukuran rata-rata nanopowder SiO_2 adalah 20 nm. Material tersebut dibeli dari Nanocenter, Indonesia. Sifat-sifat termofisik nanopartikel SiO_2 dijelaskan pada **tabel 1**. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu aliran fluida nano SiO_2 sebesar 1.8, 3 dan 6 LPM dengan variasi volume partikel padat yang digunakan sebesar 0.1, dan 0.2%. Proses pembuatan nanofluida SiO_2 . Nanopartikel SiO_2 ditimbang sesuai dengan variasi konsentrasi yang telah ditentukan. Jumlah nanopartikel yang diperlukan untuk konsentrasi 0.1%, dan 0.2% masing-masing adalah 3,35 dan 6,69 g.

2.2 Uji Eksperimental alat

Alat uji ekperimental yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **gambar 1**. Estimasi jumlah nanopartikel yang dibutuhkan diberikan dalam **pers (1)**. Variasi terkontrol temperatur kondisi temperatur 60 °C pada temperatur nano SiO₂-air dengan temperatur sebesar 23 °C pada fluida dasar. Variasi terikat yang digunakan berupa fluida panas keluar pipa ($T_{out.nf}$ dan $T_{out.cold}$), temperatur dinding pipa (T_{wall}). Komponen utamanya adalah raditaor mobil, kipas radiator, pemanas dan pompa sirkulasi air. Pengamatan laju aliran fluida digunakan intrumen alat berupa rotameter, kecepatan kipas digunakan anemometer digital dan sistem data logger untuk merekam temperatur.



Gambar 1. Skematik alat penelitian yang digunakan

Jumlah nanopartikel yang diperlukan untuk persentase konsentrasi volumetrik yang diketahui diperkirakan, dengan menggunakan **pers. (1)**:

$$\text{Volume konsentrasi, } (\varphi) = \left[\frac{\left(\frac{W_p}{\rho_p} \right)}{\left(\frac{W_p}{\rho_p} + \frac{W_{bf}}{\rho_{bf}} \right)} \right] \times 100 \quad (1)$$

Densitas dari konsentrasi yang berbeda dihitung dengan model matematika (lihat pers. 2 dan 3) yang diberikan oleh Pak dan Cho [6]. Viskositas diberikan oleh Wang, X. [7]. Hasil perhitungan ditunjukkan pada **tabel 2**.

Tabel 1. Sifat-sifat termofisik nanopartikel SiO₂

Material	Nano silicon dioxide
Appreance	White fluffy powder
Purity	99%
Average grain size	20 nm
BET	145-160 m ² /g
Density	2220 kg/m ³

Specific heat	511,6 J/kg.K
---------------	--------------

Tabel 2. Tabel propertis dari fluida nano dengan menggunakan metode experimental

Properti	Volume konsentrasi nanopartikel % (φ)			
	0 ^a	0.1	0.2	0.3
Density, ρ (kg/m ³)	994	996.226	998.452	1002.9
Kapasitas panas spesifik (Cp) (J/kg °K)	4185.5	4173.62	4161.81	4150.03

^aWater

2.3 Karakteristik sifat-sifat termofisik fluida nano SiO₂

Sifat termofisika nanofluid seperti densitas, kapasitas panas spesifik, dan viskositas dapat dievaluasi sebagai berikut (2-7). Sifat-sifat ini tergantung pada sifat-sifat nanopartikel, konsentrasi nanopartikel dan sifat-sifat cairan dasar.

Densitas

Densitas adalah kerapatan massa suatu fluida, semakin tinggi nilai densitas maka kerapatan suatu partikel nano pada fluida dasar semakin besar. Hal tersebut dapat meningkatkan konduktivitas termal suatu fluida. Densitas fluida nano menggunakan persamaan dari Pak dan Cho [6], yaitu:

$$\rho_{nf} = \varphi\rho_p + (1 - \varphi)\rho_b \quad (2)$$

dimana:

$$\rho_{nf} = \text{Densitas fluida nano (kg/m}^3\text{)}$$

$$\rho_p = \text{Densitas partikel nano (kg/m}^3\text{)}$$

$$\rho_b = \text{Densitas fluida dasar (kg/m}^3\text{)}$$

$$\varphi = \text{Variabel volume partikel}$$

Viskositas

Viskositas merupakan nilai kekentalan suatu fluida, semakin besar nilai viskositas maka semakin besar nilai tahanan perpindahan panas suatu fluida. Viskositas fluida nano menggunakan persamaan Wang, X. [7], yaitu:

$$\mu_{nf} = \mu_b(1 + 7.3\varphi + 123\varphi^2) \quad (3)$$

dimana:

$$\mu_{nf} = \text{Viskositas fluida nano (kg/m.s)}$$

$$\mu_b = \text{Viskositas fluida dasar (kg/m.s)}$$

Kapasitas panas spesifik

Kapasitas panas spesifik dapat dicari dengan persamaan berikut [8]

$$Cp_{nf} = \frac{(1-\varphi)Cp_b\rho_b + \varphi(\rho_p Cp_p)}{\rho_{nf}} \quad (4)$$

dimana:

$$Cp_{nf} = \text{Panas jenis fluida nano (kg/m}^3\text{)}$$

Cp_b = Panas jenis fluida dasar (kg/m^3)

Cp_p = Panas jenis partikel nano (kg/m^3)

2.4 Perhitungan perpindahan panas

Prosedur berikut digunakan untuk mendapatkan koefisien perpindahan panas dan bilangan Nusselt. Menurut hukum pendinginan Newton:

$$Q_{nf} = h_{in} A_{in} \Delta T = h_{in} A_{in} (T_{b,nf} - T_w) \quad (5)$$

dimana A_{in} adalah luas permukaan bagian dalam tabung, h_{in} adalah koefisien perpindahan panas bagian dalam dan $T_{b,nf}$ adalah suhu fluida curah yang diasumsikan sebagai rata-rata suhu inlet dan outlet fluida.

$$T_{b,nf} = \frac{T_{nf,in} + T_{nf,out}}{2} \quad (6)$$

dimana $T_{nf,in}$ dan $T_{nf,out}$ adalah suhu inlet dan outlet masing-masing.

$$T_w = \frac{T_1 + T_2 + \dots + T_4}{4} \quad (7)$$

Dimana, T_w adalah suhu rata-rata permukaan dinding tabung dan T_1 hingga T_4 menunjukkan perbedaan suhu pada posisi dinding tabung radiator.

Laju perpindahan panas nanofluida dapat dihitung:

$$Q_{nf} = \dot{m}_{nf} C_{p,nf} \Delta T = \dot{m}_{nf} C_{p,nf} (T_{nf,in} - T_{nf,out}) \quad (8)$$

dimana \dot{m}_{nf} adalah laju aliran massa dan $C_{p,nf}$ adalah panas spesifik nanofluida.

Laju perpindahan panas udara dapat dihitung dengan persamaan dibawah:

$$Q_a = \dot{m}_a C_{p,a} \Delta T = \dot{m}_a C_{p,a} (T_{a,in} - T_{a,out}) \quad (9)$$

dimana \dot{m}_a adalah laju aliran massa udara dan $C_{p,a}$ adalah panas spesifik udara. $T_{a,in}$ dan $T_{a,out}$ adalah temperatur inlet dan outlet udara dalam saluran.

Menghitung diameter flat tube radiator:

$$Dh = \frac{4 \times \left[\left(\frac{\pi}{4} \right) d^2 + (D - d)xd \right]}{\pi xd + 2x(D - d)}$$

D dan d = major diameter dan minor diameter

Reynolds Number

$$Re = \frac{\rho_{nf} \times v \times Dh}{\mu_{nf}}$$

Koefisien perpindahan panas (h)

$$h_{exp} = \frac{\dot{m}_{nf} \times c_{p(nf)} \times (T_{in} - T_{out})}{A_s \times ((T_b - T_w))}$$

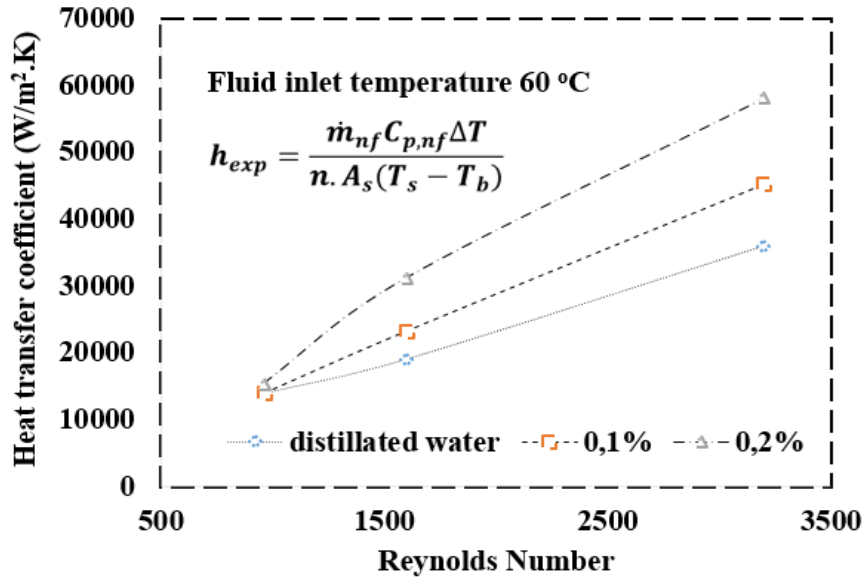
Bulk mean temperature (T_b) diberikan persamaan :

$$T_b = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$$

Angka Nusselt dihitung dengan menggunakan persamaan :

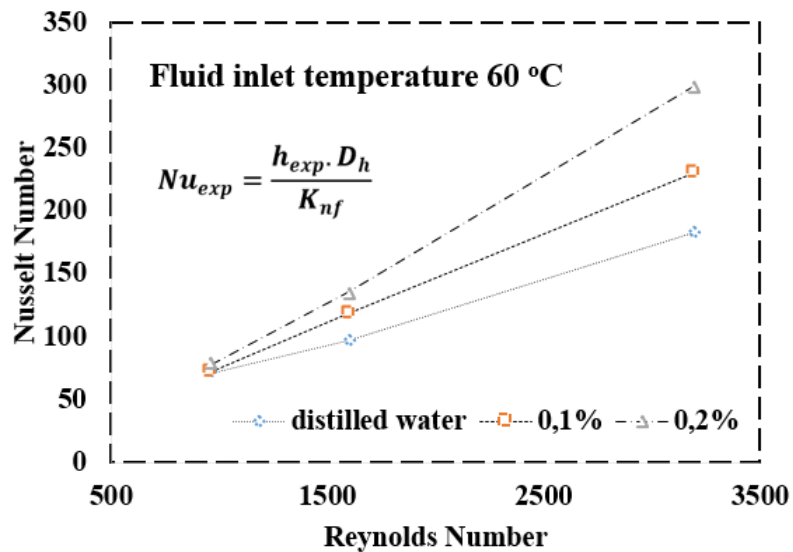
$$Nu = \frac{h_{exp} \times Dh}{k}$$

2. HASIL DAN DISKUSI



Gambar 2. Variasi koefisien perpindahan panas dengan angka Reynolds pada temperatur 60 °C.

Kinerja koefisien perpindahan panas nanofluida ditunjukkan pada Gambar 2, menjelaskan tentang nilai koefisien perpindahan panas dan bilangan Reynolds nanofluida pada suhu 60 °C. Berdasarkan gambar diatas dapat diamati bahwa data eksperimen untuk nanofluida dengan SiO₂ sangat sesuai dengan tren data yang diberikan oleh Dittus dan Boelter [48] dan fluida dasar. Bilangan Reynolds dipengaruhi oleh peningkatan koefisien perpindahan panas dan angka Nusselt. Peningkatan rata-rata koefisien perpindahan panas sebesar 15% pada temperatur 60 °C. Peningkatan perpindahan panas maksimal terjadi pada konsentrasi 0.2 % sebesar 21 % pada bilangan Reynolds sebesar 3200 pada temperatur 60 °C. Bilangan Reynolds dipengaruhi oleh peningkatan koefisien perpindahan panas dan angka Nusselt. Temperatur masuk mempengaruhi nilai koefisien perpindahan panas, dan angka Nusselt. Semakin tinggi nilai temperatur masuk akan meningkatkan nilai koefisien perpindahan panas. Namun, semuanya konsentrasinya lebih tinggi dari cairan dasar di dalam pola. Peningkatan suhu, volume konsentrasi dan bilangan Reynolds adalah meningkatkan perpindahan panas dan bilangan Nusselt. Hal ini terjadi karena adanya penurunan viskositas karena suhu yang lebih tinggi. Semakin tinggi sifat termal akan semakin baik koefisien perpindahan panas.



Gambar 3. Variasi angka reynolds dengan angka Reynolds pada temperatur 60 °C.

Nanofluida SiO₂/water dengan penggunaan fluida dasar dan nanopartikel dengan konsentrasi 0.1 dan 0.2% digunakan dalam penelitian ini. Variasi bilangan Nusselt dengan bilangan Reynolds dan konsentrasi partikel ditunjukkan pada gambar 3 pada temperatur 60 °C. Angka Nusselt untuk nanofluida pada konsentrasi nanopartikel SiO₂ yang berbeda lebih tinggi dibandingkan dengan cairan dasar dan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi nanopartikel serta bilangan Reynolds nanofluida. Peningkatan bilangan Nusselt dibandingkan dengan fluida dasar pada temperatur 60 °C sebesar 16 % pada bilangan reynolds sebesar 3200. Bilangan Nusselt diperkirakan berdasarkan mempertimbangkan pengaruh penambahan nanopartikel dalam fluida dasar pada konsentrasi yang berbeda. Hal ini terlihat dari fakta bahwa bilangan Nusselt, bilangan Reynolds dan bilangan Prandtl merupakan fungsi dari berbagai sifat termofisika yang berubah secara signifikan dengan konsentrasi nanopartikel.

3. KESIMPULAN

Unjuk kerja perpindahan panas dari nanofluida SiO₂ dengan menggunakan perbandingan komposisi campuran nanopartikel telah dikaji untuk konsentrasi volume 0.1 dan 0.2 % dan temperatur kerja 60 °C. Koefisien perpindahan panas nanofluida SiO₂ meningkat dengan meningkatnya perbandingan komposisi nanopartikel keduanya dan suhu. Peningkatan rata-rata koefisien perpindahan panas sebesar 15% pada temperatur 60 °C. Peningkatan perpindahan panas maksimal terjadi pada konsentrasi 0.2 % sebesar 21 % pada bilangan reynolds sebesar 3200 pada temperatur 60 °C. Peningkatan bilangan Nusselt dibandingkan dengan fluida dasar pada temperatur 60 °C sebesar 16 % pada bilangan reynolds sebesar 3200.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Subhedar, D. G., Ramani, B. M., & Gupta, A. (2018). Experimental investigation of heat transfer potential of Al₂O₃/Water-Mono Ethylene Glycol nanofluids as a car radiator

- coolant. *Case studies in thermal engineering*, 11, 26-34.
- [2] Leong, K. Y., Saidur, R., Kazi, S. N., & Mamun, A. H. (2010). Performance investigation of an automotive car radiator operated with nanofluid-based coolants (nanofluid as a coolant in a radiator). *Applied Thermal Engineering*, 30(17-18), 2685-2692.
- [3] Machhar, P., & Adroja, F. (2013). Heat transfer enhancement of automobile radiator with TiO₂/water nanofluid. *International Journal of Engineering Research and Technology. ESRSA Publications*, 2(5).
- [4] Eiamsa-Ard, S., Kiatkittipong, K., & Jedsadaratanachai, W. (2015). Heat transfer enhancement of TiO₂/water nanofluid in a heat exchanger tube equipped with overlapped dual twisted-tapes. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 18(3), 336-350.
- [5] Kumar, M. V., Kumar, J. V., Kumar, M. V. & Kumar, J. S. (2018). Optimization of heat transfer parameters to enhance cooling performance in automobile radiator using TiO₂ nanofluid an coolant. *International Journal of Current Engineering and Scientific Research (IJCCESR)*, 5(4).
- [6] Arani, A. A., & Amani, J. (2012). Experimental study on the effect of TiO₂-water nanofluid on heat transfer and pressure drop. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 42, 107-115.
- [7] Mehtre, D. N., & Kore, S. S. (2014). Experimental analysis of heat transfer from car radiator using Nanofluids. *International journal of Mechanical engineering and computer applications*, 2(4), 101-106.
- [8] Hussein, A. M., Bakar, R. A., & Kadirgama, K. (2014). Study of forced convection nanofluid heat transfer in the automotive cooling system. *Case Studies in Thermal Engineering*, 2, 50-61.
- [9] Pak, B. C., & Cho, Y. I. (1998). Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles. *Experimental Heat Transfer an International Journal*, 11(2), 151-170.
- [10] Sajadi, A. R., & Kazemi, M. H. (2011). Investigation of turbulent convective heat transfer and pressure drop of TiO₂/water nanofluid in circular tube. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 38(10), 1474-1478.
- [11] Duangthongsuk, W., & Wongwises, S. (2010). An experimental study on the heat transfer performance and pressure drop of TiO₂-water nanofluids flowing under a turbulent flow regime. *International journal of heat and mass transfer*, 53(1-3), 334-344.
- [12] Dhiaa, A. H., Abdulwahab, M., & Thahab, S. M. (2015). Study The Convective Heat Transfer of TiO₂/Water Nanofluid in Heat Exchanger System. *Nanotechnology and Advanced Materials Research Unit (NAMRU), College of Engineering, University of Kufa, Iraq*.
- [13] Hussein, A. M., Dawood, H. K., Bakara, R. A., & Kadirgamaa, K. (2017). Numerical study on turbulent forced convective heat transfer using nanofluids TiO₂ in an automotive cooling system. *Case Studies in Thermal Engineering*, 9, 72-78.
- [14] Farajollahi, B., Etemad, S. G., & Hojjat, M. (2010). Heat transfer of nanofluids in a shell and tube heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53(1-3), 12-17.
- [15] Nikhil, Y. S., Goud, P. D., Babu, B. H. G. & Rasu, N. G. (2017). Experimental Investigation of Radiator Performance Using TiO₂ Nanofluid. *International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET)*, 8(6), pp. 607-614.