

Perkembangan Sistem Pendingin Kendaraan Ringan Roda Empat Menggunakan Nanofluida

Anwar Ilmar Ramadhan^{1,*}, Alvika Meta Sari², Ery Diniardi³, Deni Almanda⁴

^{1,3}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta, Indonesia

²Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta, Indonesia

⁴Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jl. Cempaka Putih Tengah 27 Jakarta, Indonesia

anwar.ilmar@umj.ac.id

ABSTRAK

Banyak peneliti telah melaporkan potensi karakteristik nanofluida dibandingkan dengan cairan konvensional (yaitu air, etilen glikol, dan minyak), yang telah memperluas konsep penggunaannya dalam berbagai sistem. Sifat termal dan hidrodinamik nanofluida menjadikannya kandidat terbaik untuk digunakan dalam manajemen termal otomotif. Artikel ini memberikan tinjauan menyeluruh dari penelitian terapan tentang potensi penggunaan nanofluida dalam sistem pendingin otomotif. Dalam studi saat ini, semua parameter kunci yang terutama mempengaruhi kinerja nanofluida dalam sistem pendingin telah diidentifikasi, bersama dengan diskusi logis. Penggunaan nanofluida dalam manajemen termal otomotif telah terbukti menguntungkan; Namun, keberlanjutan fana nanofluida merupakan tantangan utama. Periode suspensi yang pendek dari nanofluida yang efektif secara termal adalah suatu kerugian. Untuk mengatasi masalah keberlanjutan nanofluida konduktif termal tinggi, para ilmuwan menciptakan kelas baru nanofluida yang dikenal sebagai nanofluida hibrida. Nanofluida hibrida mengandung dua jenis nanopartikel, satu dengan konduktivitas termal tinggi dan satu dengan keberlanjutan tinggi, menghasilkan nanofluida yang relatif stabil dan efektif secara termal. Hanya dalam sistem pendingin otomotif nanofluida hibrida telah diuji.

Kata kunci: Hibrida nanofluida, radiator, nanopartikel, termal.

ABSTRACT

Many researchers have reported potential properties of nanofluids compared to conventional liquids (i.e. water, ethylene glycol, and oil), which have expanded the concept of their use in various systems. The thermal and hydrodynamic properties of nanofluides make them the best candidates for use in automotive thermal management. This article provides a comprehensive overview of applied research on the potential use of nanofluids in automotive cooling systems. In the present study, all key parameters that primarily affect the performance of nanofluides in cooling systems have been identified, along with a logical discussion. The use of nanofluids in automotive thermal management has proven beneficial; However, the transient sustainability of nanofluides is a major challenge. The short suspension period of thermally effective nanofluides is a disadvantage. To solve the problem of the sustainability of high thermal conductive nanofluides, the scientists created a new class of nanofluides known as hybrid nanofluides. Hybrid nanofluides contain two types of nanoparticles, one with high thermal conductivity and one with high sustainability, producing relatively stable and thermally effective nanofluides. Only in automotive cooling systems hybrid nanofluides have been tested.

Keywords: Hybrid Nanofluid, radiator, nanoparticle, thermal.

1. PENDAHULUAN

Nanofluida, yang diciptakan oleh Choi [1], direkayasa koloid terdiri dari cairan dasar dan nanopartikel. Nanopartikel memiliki konduktivitas

termal, biasanya orde besarnya lebih tinggi daripada cairan dasar dan dengan ukuran yang jauh lebih kecil dari 100 nm. Pengenalan nanopartikel meningkatkan kinerja perpindahan panas dari cairan

dasar secara signifikan. Cairan dasar dapat berupa air, cairan organik (misalnya etilen, trietilen-glikol, refrigeran, dll.), minyak dan pelumas, bio-fluida, larutan polimer, dan cairan umum lainnya. Bahan nanopartikel termasuk logam yang stabil secara kimia (misalnya emas, tembaga), oksida logam (misalnya alumina, silika, zirkonia, titania), keramik oksida (misalnya Al_2O_3 , CuO), karbida logam (misalnya SiC), logam nitrida (misalnya AlN , SiN), karbon dalam berbagai bentuk (misalnya berlian, grafit, karbon nanotube, fullerene) dan nanopartikel yang difungsikan [2-10].

Manajemen termal sistem rekayasa adalah salah satu tujuan yang paling penting dan inti dari setiap peneliti di bidang ini. Efisiensi termal dan peningkatan perpindahan panas telah menimbulkan tantangan besar bagi para peneliti selama bertahun-tahun. Penukar panas – yang merupakan salah satu sistem – telah digunakan di berbagai industri seperti industri mobil, pembangkit listrik, pendingin elektronik, mikroelektronika, sistem pemulihan limbah dan panas, sistem nuklir, dan di luar angkasa. Efektivitas dan kekompakan adalah dua fitur yang paling diinginkan untuk kelayakan praktis penukar panas. Dalam industri otomotif, radiator merupakan salah satu alat penukar panas yang digunakan untuk meningkatkan kinerja mesin IC dengan mendinginkan berbagai komponennya. Untuk meningkatkan efektivitas dan laju perpindahan panas radiator serta mengoptimalkan kinerjanya secara keseluruhan [11–20].

Dalam hal ini, cairan termal yang berbeda telah digunakan dalam radiator untuk kinerja termal dan pelumasan yang lebih baik seperti air, etilen glikol, propanol, oli mesin dan campuran air dan etilen glikol dalam rasio yang berbeda yaitu (60:40, 50:50, 80:20), dan lain-lainnya. Penting untuk disebutkan bahwa cairan termal ini terutama campuran air dan EG juga bertindak sebagai agen antibeku di radiator di tempat yang lebih dingin atau lebih dingin. daerah yang lebih panas (terutama bergantung pada kondisi cuaca) karena sifat fisiknya. Terlepas dari signifikansi mereka dalam hal pelumasan,

kinerja termal mereka tidak cukup mengesankan karena konduktivitas termal yang lebih rendah yang pada gilirannya menurunkan laju perpindahan panas mereka. Karena laju perpindahan panas yang lebih kecil, luas permukaan radiator harus ditingkatkan pada gilirannya menyebabkan penukar panas (radiator) menjadi kurang kompak [21-30].

Tujuan utama dari artikel ini adalah untuk menyajikan tinjauan komprehensif dari studi yang dilakukan pada aplikasi nanofluida di radiator mobil. Parameter yang mempengaruhi kinerja nanofluida di radiator juga ditinjau secara kritis. Secara keseluruhan, upaya telah dilakukan untuk menyajikan tinjauan yang mencakup setiap detail yang dapat digunakan untuk studi masa depan tentang aplikasi nanofluida di penukar panas terutama radiator mobil.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam artikel ilmiah ini adalah dengan menggunakan studi pustaka dari beberapa artikel ilmiah hasil penelitian dan beberapa paper review pada database Google Scholar dan juga Scienccdirect.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perilaku nanofluida di radiator mobil telah dipelajari oleh peneliti karena karakteristik perpindahan panas yang baik. Berbagai jenis nanofluida telah diuji untuk mengamati kinerja termal dan penurunan tekanannya untuk memvalidasi kepraktisannya dalam aplikasi ini, beberapa nanopartikel yang paling umum digunakan di radiator tercantum dalam Tabel 1. Pemodelan numerik nanofluida di radiator menunjukkan hasil yang menggembirakan dan korelasi nomor Nusselt untuk aliran berkembang penuh dalam tabung datar juga telah dikembangkan.

Seperti disebutkan sebelumnya bahwa tinjauan komprehensif dari semua studi ini telah dikategorikan ke dalam tiga kelompok yaitu analisis eksperimental hanya menggunakan satu nanofluida, studi numerik yang hanya berisi nanofluida tunggal, dan kelompok terakhir adalah studi komparatif yang melibatkan

analisis numerik dan eksperimental menggunakan dua atau lebih nanofluida.

Penting untuk disebutkan bahwa dalam sastra ada beberapa perbedaan dan kejenuhan telah diperhatikan. Hal ini terutama disebabkan oleh fakta bahwa nanopartikel yang digunakan oleh para peneliti biasanya memiliki fraksi volume yang berbeda (vol%) dan pada pengaturan eksperimental yang berbeda. Laju aliran atau bilangan Reynolds juga berbeda yang menghasilkan peningkatan persentase yang berbeda dalam perpindahan panas dan sulit untuk membandingkan dua nanofluida untuk memeriksa yang menunjukkan karakteristik perpindahan panas yang lebih banyak. Karena alasan tersebut, kelompok baru bernama studi komparatif telah digunakan dalam artikel ulasan ini yang berisi rincian studi di mana dua atau lebih nanofluida telah digunakan.

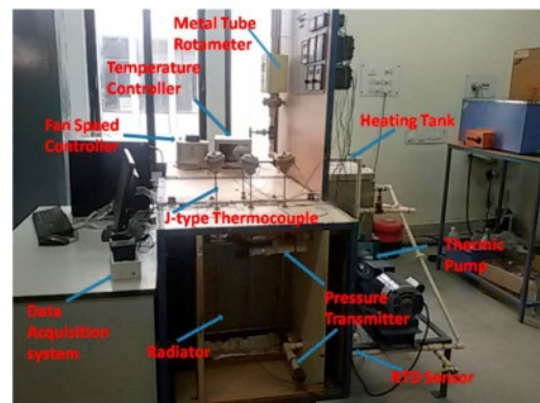
Tabel 1. Nanopartikel yang digunakan dalam radiator [31-40]

Nanoparticle	Thermal conductivity (W/m.K)	Density (kg/m ³)
Al ₂ O ₃	40	3890
Al	69.8	2700
TiO ₂	11.7	4260
SiO ₂	1.4	2220
CuO	69	6400
Fe ₂ O ₃	20	5250
Graphene	5000	2100

Sejumlah studi eksperimental telah dilaporkan menggunakan mono nanofluida di radiator. Dalam literatur, analisis eksperimental onnanofluida telah dilakukan dengan menggunakan rig eksperimental di laboratorium seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 3 dan 4. Ada beberapa penelitian eksperimental dimana peneliti menggunakan sistem pendingin mesin kendaraan yang sebenarnya.

Dalam mesin kendaraan nyata Ali et al. [41] menggunakan air Al₂O₃ pH = 4,5 dengan konsentrasi volume antara 0,1 dan 2 vol% di Toyota Yaris Sistem pendingin 2007 dengan sirip louver dan radiator tipe tabung datar. Mereka diamati peningkatan perpindahan panas dengan meningkatnya konsentrasi hingga 1 vol% dan kemudian mulai menurun karena peningkatan viskositas yang mengurangi gerakan Brown. Laju perpindahan panas

maksimum yang dicapai pada penelitian ini adalah 14,79%. M'hamed dkk. [42] menguji MWCNT/water-EG perbandingan 50:50 pada mesin mobil Perodua Kelisa 1000 cc. Tiga konsentrasi yang digunakan dalam penelitian mereka yaitu 0,1, 0,25, & 0,50%, dengan laju aliran 2, 4 dan 6 l/menit. Mereka melaporkan bahwa perpindahan panas peningkatan meningkat dengan meningkatnya konsentrasi volume dan bilangan Reynolds. Peningkatan persentase maksimum perpindahan panas koefisien dilaporkan 196,3% pada 0,5 vol% dibandingkan dengan cairan dasar.



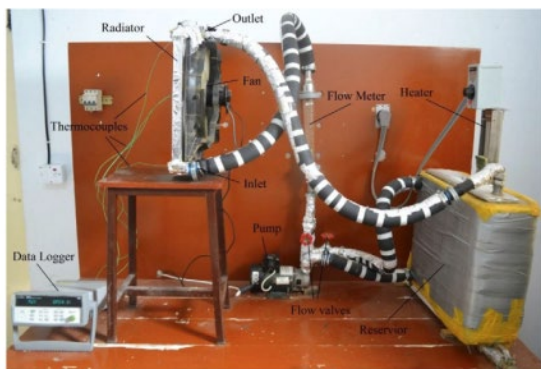
Gambar 1. Pengaturan eksperimental yang digunakan oleh Subhedar et al. [43]

Saripela dkk. [44] menggunakan CuO 'nanopartikel dengan air-EG di truk mesin (kelas 8) dengan 2 vol% & 4 vol%. Mereka menganalisisnya dengan menggunakan nanofluida, area radiator bisa dikurangi yang akan mengakibatkan mengurangi drag dan konsumsi bahan bakar. Mereka juga menyebutkan bahwa tentang Pengurangan 88% dalam daya dan kecepatan pompa pendingin dapat dicapai.

Studi menarik lainnya dilakukan pada nanofluida dalam biodiesel mesin (4 tak) oleh Micali et al. [45], mereka menggunakan nanofluida CuO/air dengan konsentrasi 0, 1,4 dan 2,5 vol% dan diamati penurunan suhu pada katup buang saat menggunakan nanofluida.

Heris dkk. [46] mempelajari CuO/(campuran air/EG 60/40) dan mereka menemukan bahwa bilangan Nusselt bergantung pada bilangan Reynolds, konsentrasi, dan suhu masuk.

Suhu outlet menunjukkan berkurang dengan bertambahnya konsentrasi. Sandya dkk. [47] menyelidiki TiO₂/air-EG (40:60) di radiator dan menyebutkan bahwa menggunakan nanofluida memiliki banyak dampak pada perpindahan panas. Untuk hanya 0,5% dari nanofluida 35% peningkatan perpindahan panas telah diamati. Temperatur masuk memiliki efek yang lebih kecil pada perpindahan panas [48-50].



Gambar 2. Setup eksperimental untuk ZnO/air nanofluida yang digunakan untuk mengukur perpindahan panas [51]

4. KESIMPULAN

Artikel ini telah mengulas hampir semua studi secara komprehensif dilakukan pada evaluasi potensi nanofluida di otomotif radiator. Sekarang, karakteristik termal yang menonjol dari nanofluida telah terbukti meningkatkan kinerja radiator, sekarang saatnya untuk mengerjakan realisasi industri dari sistem pendingin otomotif berbantuan nanofluida.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM), Universitas Muhammadiyah Jakarta dan Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah mendukung dan memberikan hibah Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) tahun 2022 dengan Nomor Kontrak: 155/E5/PG.02.00.PT/2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Choi SUS. Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles, developments and applications of non-newtonian flows, FED-Vol. 231/MDVol. 66, ASME, New York, p. 99–105.
- [2] Sarkar J. A critical review of heat transfer correlations of nanofluids. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:3271–7.
- [3] Yu W, Xie H. A review on nanofluids: preparation, stability mechanisms, and applications. *J Nanomater* 2012;2012:435873.
- [4] Murshed SMS, Leong KC, Yang C. Investigations of thermal conductivity and viscosity of nanofluids. *Int J Therm Sci* 2008;47(5):560–8.
- [5] Eastman JA, Choi SUS, Li S, Yu W, Thompson LJ. Anomalous increased effective thermal conductivities of ethylene glycol-based nanofluids containing copper nanoparticles. *Appl Phys Lett* 2001;78(6):718–20.
- [6] Choi C, Yoo HS, Oh JM. Preparation and heat transfer properties of nanoparticle-in-transformer oil dispersions as advanced energy-efficient coolants. *Curr Appl Phys* 2008;8:710–2.
- [7] Xuan Y, Li Q. Heat transfer enhancement of nanofluids. *Int J Heat Fluid Flow* 2000;21:58–64. [8] Botha SS, Ndungu P, Bladergroen BJ. Physicochemical properties of oil-based nanofluids containing hybrid structures of silver nanoparticles supported on silica. *Ind Eng Chem Res* 2011;50:3071–7. [9] Hwang Y, Lee JK, Lee CH, Jung YM, Cheong SI, Lee CG, et al. Stability and thermal conductivity characteristics of nanofluids. *Thermochim Acta* 2007;455(1-2):70–4.

- [10] Murshed SMS, Tan SH, Nguyen NT. Temperature dependence of interfacial properties and viscosity of nanofluids for droplet-based microfluidics. *J PhysD: Appl Phys* 2008;41(8):085502.
- [11] Chen L, Xie H. Silicon oil based multiwalled carbon nanotubes nanofluid with optimized thermal conductivity enhancement. *Colloids Surf A: Physicochem Eng Asp* 2009;352(1-3):136-40.
- [12] Wong KV, Leon OD. Applications of nanofluids: current and future. *Adv Mech Eng* 2010;2010:519659.
- [13] Das SK, Choi SUS, Patel HE. Heat transfer in nanofluids – a review. *Heat Transf Eng* 2006;27(10):3-19.
- [14] Wang XQ, Mujumdar AS. Heat transfer characteristics of nanofluids: a review. *Int J Therm Sci* 2007;46:1-19.
- [15] Daungthongsuk W, Wongwises S. A critical review of convective heat transfer of nanofluids. *Renew Sustain Energy Rev* 2007;11:797-817.
- [16] Trisaksria V, Wongwises S. Critical review of heat transfer characteristics of nanofluids. *Renew Sustain Energy Rev* 2007;11(3):512-23.
- [17] Wang XQ, Mujumdar AS. A review of nanofluids – part I: theoretical and numerical investigations. *Braz J of Chem Eng* 2008;25(4):613-30.
- [18] Wang XQ, Mujumdar AS. A review of nanofluids – part II: experiments and applications. *Braz J Chem Eng* 2008;25(4):631-48.
- [19] Murshed SMS, Leong KC, Yang C. Thermophysical and electrokinetic properties of nanofluids – a critical review. *Appl Therm Eng* 2008;28:2109-25.
- [20] Yu W, France DM, Routbort JL, Choi SUS. Review and comparison of nanofluid thermal conductivity and heat transfer enhancements. *Heat Transf Eng* 2008;29(5):432-60.
- [21] Wen D, Lin G, Vafaei S, Zhang K. Review of nanofluids for heat transfer applications. *Particuology* 2009;7(2):141-50.
- [22] Kakac S, Pramuanjaroenkij A. Review of convective heat transfer enhancement with nanofluids. *Int J Heat Mass Transf* 2009;52:3187-96.
- [23] Taylor RA, Phelan PE. Pool boiling of nanofluids: comprehensive review of existing data and limited new data. *Int J Heat Mass Transf* 2009;52:5339-47.
- [24] Chandrasekar M, Suresh S. A review on the mechanisms of heat transport in nanofluids. *Heat Transf Eng* 2009;30(14):1136-50.
- [25] Özerinç S, Kakaç S, Yazicioğlu AG. Enhanced thermal conductivity of nanofluids: a state-of-the-art review. *Microfluid Nanofluid* 2010;8(2):145-70.
- [26] Paul G, Chopkar M, Manna I, Das PK. Techniques for measuring the thermal conductivity of nanofluids: a review. *Renew Sustain Energy Rev* 2010;14(7):1913-24.
- [27] Terekhov VI, Kalinina SV, Lemanov VV. The mechanism of heat transfer in nanofluids: State of the art (review). Part 1. Synthesis and properties of nanofluids. *Thermophys Aeromech* 2010;17(1):1-14.
- [28] Terekhov VI, Kalinina SV, Lemanov VV. The mechanism of heat transfer in nanofluids: state of the art (review). Part 2. Convective heat transfer. *Thermophys Aeromech* 2010;17(1):157-71.
- [29] Barber J, Brutin D, Tadrist L. A

- review on boiling heat transfer enhancement with nanofluids. *Nanoscale Res Lett* 2011;6(1):280.
- [30] Fan J, Wang L. Review of heat conduction in nanofluids. *J Heat Transf* 2011;133(4) (Article No. 040801).
- [31] Murshed SMS, Castro CAN, Lourenc MJV, Lopes MLM. Santos FJV. A review of boiling and convective heat transfer with nanofluids. *Renew Sustain Energy Rev* 2011;15:2342–54.
- [32] Ahmed HE, Mohammed HA, Yusoff MZ. An overview on heat transfer augmentation using vortex generators and nanofluids: approaches and applications. *Renew Sustain Energy Rev* 2012;16:5951–93.
- [33] Ramadhan, A. I., Azmi, W. H., Mamat, R., Hamid, K. A., & Norsakinah, S. (2019). Investigation on stability of tri-hybrid nanofluids in water-ethylene glycol mixture. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 469, No. 1, p. 012068). IOP Publishing.
- [34] Ramadhan, A. I., Azmi, W. H., Mamat, R., & Hamid, K. A. (2020). Experimental and numerical study of heat transfer and friction factor of plain tube with hybrid nanofluids. *Case Studies in Thermal Engineering*, 22, 100782.
- [35] M. Ali, A.M. El-Leathy, Z. Al-Sofyany, The effect of nanofluid concentration on the cooling system of vehicles radiator, *Adv. Mech. Eng.* 6 (2014) 962510, <https://doi.org/10.1155/2014/962510>.
- [36] B. M'hamed, N.A. Che Sidik, M.F.A. Akhbar, R. Mamat, G. Najafi, Experimental study on thermal performance of MWCNT nanocoolant in Perodua Kelisa 1000cc radiator system, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 76 (2016) 156–161, <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2016.05.024>.
- [37] S.K. Saripella, W. Yu, J.L. Routbort, D.M. France, U. Rizwan, Effects of nanofluid coolant in a class 8 truck engine, *SAE Tech. Pap. Ser. 1* (2010) <https://doi.org/10.4271/2007-01-2141>.
- [38] F. Micali, M. Milanese, G. Colangelo, A. de Risi, Experimental investigation on 4-strokes biodiesel engine cooling system based on nanofluid, *Renew. Energy* 125 (2018) 319–326, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.02.110>.
- [39] S.M. Peyghambarzadeh, S.H. Hashemabadi, M.S. Jamnani, S.M. Hoseini, Improving the cooling performance of automobile radiator with Al₂O₃/water nanofluid, *Appl. Therm. Eng.* 31 (2011) 1833–1838, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2011.02.029>.
- [40] S.M. Peyghambarzadeh, S.H. Hashemabadi, S.M. Hoseini, M. Seifi Jamnani, Experimental study of heat transfer enhancement using water/ethylene glycol based nanofluids as a new coolant for car radiators, *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 38 (2011) 1283–1290, <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2011.07.001>.
- [41] D. Chavan, A.T. Pise, Performance Investigation of an Automotive Car Radiator Operated with Nanofluid as a Coolant, vol. 6, 2015 2–6, <https://doi.org/10.1115/1.4025230>.

- [42] D.G. Subhedar, B.M. Ramani, A. Gupta, Experimental investigation of heat transfer potential of Al₂O₃/Water-Mono Ethylene Glycol nanofluids as a car radiator coolant, *Case Stud. Therm. Eng.* 11 (2018) 26–34, <https://doi.org/10.1016/j.csite.2017.11.009>.
- [43] G.S. Sokhal, D. Gangacharyulu, V.K. Bulasara, Heat transfer and pressure drop performance of alumina–water nanofluid in a flat vertical tube of a radiator, *Chem. Eng. Commun.* 205 (2018) 257–268, <https://doi.org/10.1080/00986445.2017.1387853>.
- [44] C. Selvam, D.M. Lal, S. Harish, Enhanced heat transfer performance of an automobile radiator with graphene based suspensions, *Appl. Therm. Eng.* 123 (2017) 50–60, <https://doi.org/10.1016/j.appltherm.2017.05.076>.
- [45] C. Selvam, R. Solaimalai Raja, D. Mohan Lal, S. Harish, Overall heat transfer coefficient improvement of an automobile radiator with graphene based suspensions, *Int. J. Heat Mass Transf.* 115 (2017) 580–588, <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2017.08.071>.
- [46] S. Sumanth, P. Babu Rao, V. Krishna, T. Seetharam, K. Seetharamu, Effect of carboxyl graphene nanofluid on automobile radiator performance, *Heat Transf. Res.* 47 (2018) 669–683, <https://doi.org/10.1002/htj.21335>.
- [47] G.A. Oliveira, E.M. Cardenas Contreras, E.P. Bandarra Filho, Experimental study on the heat transfer of MWCNT/water nanofluid flowing in a car radiator, *Appl. Therm. Eng.* 111 (2017) 1450–1456, <https://doi.org/10.1016/j.appltherm.2016.05.086>.
- [48] H.M. Ali, H. Ali, H. Liaquat, H.T. Bin Maqsood, M.A. Nadir, Experimental investigation of convective heat transfer augmentation for car radiator using ZnO-water nanofluids, *Energy* 84 (2015) 317–324, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.103>.
- [49] H. Ali, M. Azhar, M. Saleem, Q. Saeed, A. Saieed, Heat transfer enhancement of car radiator using aqua based magnesium oxide nanofluids, *Therm. Sci.* 19 (2015) 2039–2048, <https://doi.org/10.2298/TSCI150526130A>.
- [50] M. Naraki, S.M. Peyghambarzadeh, S.H. Hashemabadi, Y. Vermahmoudi, Parametric study of overall heat transfer coefficient of CuO/water nanofluids in a car radiator, *Int. J. Therm. Sci.* 66 (2013) 82–90, <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2012.11.013>.
- [51] S.Z. Heris, M. Shokrgozar, S. Poorpharhang, M. Shanbedi, S.H. Noie, Experimental study of heat transfer of a car radiator with CuO/ethylene glycol-water as a coolant, *J. Dispersion Sci. Technol.* 35 (2014) 677–684, <https://doi.org/10.1080/01932691.2013.805301>.