

Analisis Perpindahan Panas Fluida Pendingin Nanofluids pada Aftercoller Dengan Computational Fluid Dynamics

Asep Koswara¹, Djoko W. Karmiadjji¹

¹Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Jakarta

Email: akoswara@trakindo.co.id, dkarmiadjji@rocketmail.com

ABSTRAK

Mempertimbangkan meningkatnya permintaan dalam teknologi modern, telah dikembangkan dispersi sejumlah kecil zat padat berukuran nano dalam cairan yang disebut nanofluids yang dapat meningkatkan konduktivitas termal fluida. Karakteristik fluida ini menunjukkan sifat termal yang lebih besar dibandingkan dengan cairan pendingin konvensional untuk aplikasi pemindah panas yang banyak digunakan saat ini. Salah satu jenis *nanofluids* yang banyak digunakan adalah Al₂O₃ (alumina). Penelitian ini untuk melihat sejauh mana dampak penggunaan *nanofluids* pada proses pendinginan udara yang digunakan untuk proses pembakaran. Penelitian dilakukan dengan menganalisa proses perpindahan panas dengan metoda komputasi menggunakan *Computational Fluids Dynamic* (CFD). Dengan *software* ini dianalisa karakteristik perpindahan panas 4 jenis coolant, yaitu coolant tanpa *nanofluids*, coolant dengan kadar Al₂O₃ 1%, 2% dan 3%. Juga dilakukan pengujian langsung pada *engine* dengan menggunakan coolant tanpa *nanofluids* dan menggunakan coolant dengan kandungan Al₂O₃ sebesar 1%. Dari proses analisa CFD diperoleh hasil dimana penggunaan *nanofluids* dapat meningkatkan efisiensi proses pendinginan udara dan *nanofluids* dengan kandungan Al₂O₃ sebesar 3% memberikan efisiensi yang optimal. Sedangkan dari hasil pengujian langsung pada *engine* diperoleh nilai ΔT rata-rata sebesar 8,9 °C untuk coolant tanpa *nanofluids*, dan 10,5 °C untuk coolant dengan campuran *nanofluids* Al₂O₃ sebesar 1%. Dari penelitian disimpulkan bahwa *nanofluids* dapat meningkatkan efisiensi proses pendinginan udara.

Kata kunci: Alumina (Al₂O₃), Nanofluids, Aftercooler, Pendingin Udara, Coolant.

ABSTRACT

Considering the increasing demand in modern technology, the dispersion of small amounts of nano-sized solids in liquids called nanofluids has been developed which can increase the thermal conductivity of fluids. These fluid characteristics show greater thermal properties compared to conventional cooling fluids for heat transfer applications that are widely used today. One type of nanofluids that is widely used is Al₂O₃ (alumina). This research is to see the impact of the use of nanofluids on the air-cooling process used for the combustion process. The study was conducted by analyzing the heat transfer process by computational methods using *Computational Fluids Dynamic* (CFD). With this software, the heat transfer characteristics of 4 types of coolants are analyzed, namely coolants without nanofluids, coolants with Al₂O₃ content of 1%, 2% and 3%. Tests were also carried out directly on the engine using coolants without nanofluids and using coolants with nanofluid mixtures of 3% Al₂O₃. From the CFD analysis process, the results obtained where the use of nanofluids can improve the efficiency of the air-cooling process and nanofluid with Al₂O₃ content of 1% to provide optimal efficiency. While the results of direct testing on the engine obtained an average ΔT is 8.9 °C for coolants without nanofluids, and 10.5 °C for coolants with 1% Al₂O₃ nanofluid. From the research it was concluded that nanofluids can improve the efficiency of the air-cooling process.

Keywords: Alumina (Al₂O₃), Nanofluids, Aftercooler, Air Cooler, Coolant.

I. PENDAHULUAN

Ketepatan kombinasi campuran udara dan bahan bakar pada ruang bakar *engine* diperlukan agar kerja *engine* efisien. Apabila kepadatan udara mengalami peningkatan, maka akan semakin banyak molekul udara yang akan memasuki ruang bakar pada *engine*, sehingga dapat membakar bahan bakar lebih banyak. Hal ini tentunya akan meningkatkan daya guna *engine* tersebut. Karena itu maka, suhu udara yang akan

memasuki ruang bakar merupakan hal yang penting untuk kinerja dan usia pakai *engine*.

Penggunaan *turbocharger* pada beberapa jenis *engine* dimaksudkan untuk memasukkan jumlah udara lebih banyak ke dalam sistem *engine* dan akan menaikkan tekanan udara pada *intake manifold*. Peningkatan tekanan pada udara masuk akan menyebabkan suhu udara naik. Kenaikan suhu udara pada akhirnya akan menyebabkan *density* (kerapatan) udara akan menurun sehingga jumlah oksigennya pun akan menurun dan tidak optimal, sehingga efisiensi

engine yang akan dihasilkan dengan penggunaan *turbocharger* tidak akan optimal pula. Karena itulah maka diperlukan cara agar udara yang akan digunakan untuk pembakaran, selain bertekanan, juga suhunya harus lebih rendah. Maka untuk mengatasi ini, pada beberapa *engine* ditambahkan komponen *aftercooler*.

Pada *engine* alat berat, media pendingin *aftercooler* dapat berupa udara, disebut dengan *Air to Air Aftercooler*, dimana udara yang akan memasuki *Intake Manifold* didinginkan oleh udara [1]. Untuk mendapatkan oksigen yang lebih banyak, Mohd Muqem dan Dr. Manoj Kumar merancang ulang ukuran *Aftercooler*, menambahkan sejumlah udara dari *cooling coil air conditioned* kendaraan ke *Intake Manifold*. Dengan menggunakan rancangannya, memungkinkan memasok udara dan mempertahankan suhu *Intake Manifold* sebesar 20 °C dan tekanan pada *Intake Manifold* berkisar antara 99-165 kPa. Kerapatan udara pada suhu dan tekanan tersebut adalah antara 1,1769 – 1,9614 kg/m³ [2].

Yasar Sen dan Kemal Ermis melakukan analisa dan perancangan ulang ukuran *Aftercooler* untuk menghasilkan penurunan suhu pada *Intake Manifold* dari 370 °K menjadi 302,24 °K. hasil penelitiannya menghasilkan penurunan *specific fuel consumption* sebesar 3,8%, tenaga efektif meningkat sebesar 17,76 kW, torsi putaran meningkat sebesar 68 Nm, panas meningkat sebesar 1,5% yang ekuivalen dengan kerja efektifnya, panas yang keluar melalui *exhaust* menurun 1%, panas yang dikeluarkan ke sistem pendingin menurun 5% [3].

Penelitian akan dilakukan dimana *Coolant* sebagai media pendingin pada *Separate Circuit Aftercooler*, akan digantikan dengan media fluida pendingin *Nanofluids*, dimana akan dipelajari pengaruh dari faktor tipe dan komposisi partikel *nano* didalam larutan *Nanofluids* Al₂O₃ terhadap laju aliran pendingin dan suhu pada *Aftercooler* tipe *Separate Circuit Aftercooler*.

Pada penelitian ini juga akan menerapkan penggunaan pendingin *Nanofluids* Al₂O₃ pada *Aftercooler* tipe *Separate Circuit Aftercooler* untuk melihat apakah proses pendinginan udara menjadi lebih optimal. Diharapkan hal ini akan meningkatkan kinerja *Diesel Engine* atau melakukan rancang bangun *Aftercooler* yang lebih *compact* di masa datang. Sehingga hasil penelitian ini akan berupa optimasi unjuk kerja *Nanofluids* sebagai pengganti fluida pendingin biasa didalam *Aftercooler* tipe *Separate Circuit Aftercooler* (SCAC). Apabila hasil penelitian ini menunjukkan *Nanofluids*

memberikan pengaruh yang besar terhadap perpindahan panas yang terjadi pada *Aftercooler* tipe *Separate Circuit Aftercooler*, maka penggunaan *Nanofluids* tersebut sebagai fluida pendingin di *Diesel Engine* dapat dioptimalkan dan jika dari hasil pengujian diperoleh penggunaan *Nanofluids* cukup signifikan dalam menurunkan suhu udara, hal ini tentunya akan lebih menguntungkan dibandingkan dengan penggunaan fluida pendingin biasa.

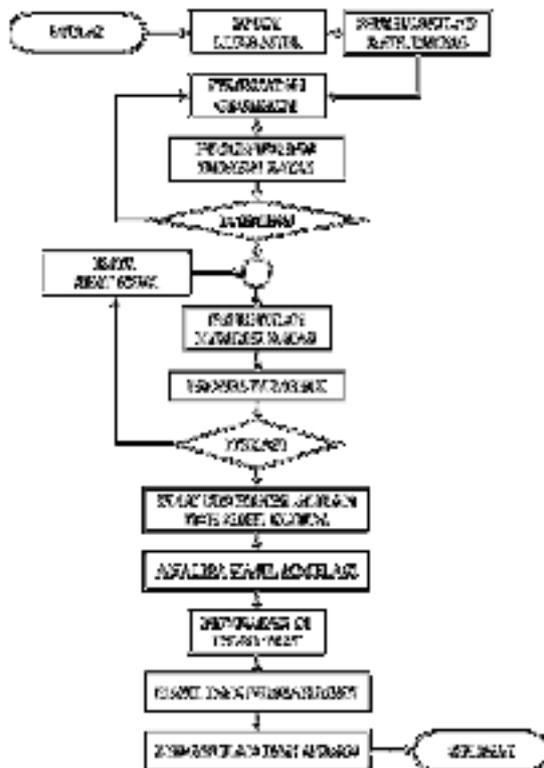
Apabila *Nanofluids* digunakan dalam *Aftercooler* maka secara tidak langsung dapat memberikan nilai ekonomis dalam penyediaan fluida pendingin didalam *Aftercooler* khususnya tipe *Separate Circuit Aftercooler*, dimana produksi pengadaan *Nanofluids* akan meningkat dan tentunya akan sangat menguntungkan dari sisi bisnis *Nanofluids*.

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah melakukan simulasi dengan menggunakan perangkat lunak komputer untuk membuat geometri *Aftercooler* dan melakukan simulasi perpindahan panas fluida tanpa Al₂O₃/H₂O (alumina), dan dengan menggunakan alumina. Pembuatan geometri *Aftercooler* menggunakan *AutoDesk Inventor* sedangkan untuk menganalisis proses perpindahan panas *Nanofluids* menggunakan simulasi *ANSYS FLUENT*. Dengan *software* ini dilakukan simulasi proses perpindahan panas pada *aftercoller* dengan menggunakan pendingin air tanpa campuran alumina (Al₂O₃) dan menggunakan alumina dengan konsentrasi Al₂O₃ sebesar 1%, 2%, dan 3%.

Tahap kedua dilakukan dengan melakukan percobaan langsung di *Dyno Test* (peralatan untuk menguji kinerja *Engine*). Dalam tahap ini dilakukan percobaan menggunakan air pendingin tanpa campuran partikel nano dan menggunakan campuran partikel nano dengan konsentrasi 1%.

Dalam penelitian ini dilakukan langkah-langkah seperti Gambar 1.



Gambar 1. Skema Rancangan Penelitian

(Flowchart)

II.1 Tahapan Penelitian

a. Studi Literatur

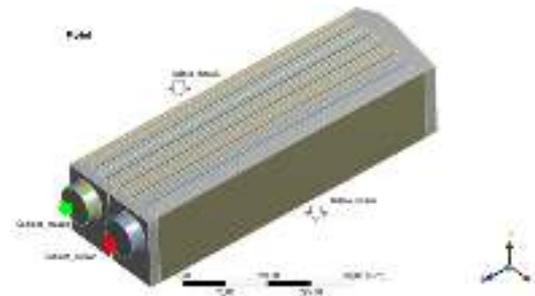
Proses studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan informasi terkait dengan bagaimana keunggulan *Nanofluid* dalam kaitannya dengan proses penyerapan panas.

b. Pembuatan Geometri *Aftercooler*

Setelah melakukan proses studi literatur, kemudian dilakukan pemodelan geometri *Aftercooler* menggunakan *AutoDesk Inventor*.

Setelah selesai pembuatan geometrinya kemudian diubah ke dalam format *IGES* agar kompatibel dengan *environment ANSYS FLUENT* terutama proses *meshing*.

Geometri terdiri dari tiga bagian utama, yaitu (1) domain fluida udara, (2) domain fluida cairan (*Nanofluid* dan *coolant*), serta (3) domain *solid* untuk dinding pemisah antar-fluida. Domain fluida digunakan untuk mensimulasikan parameter-parameter aliran seperti kecepatan, tekanan, suhu dan lain lain, sedangkan dinding *solid* digunakan untuk memfasilitasi terjadinya proses perpindahan panas secara konduksi.

Gambar 2. Model *Aftercooler*

c. Meshing

Meshing atau *gridding* dilakukan untuk proses perpindahan panas secara konversi antara domain fluida dan solid yang berkelanjutan menjadi domain komputasi yang diskrit sehingga dapat diselesaikan menggunakan metode numerik yang diskrit, dalam hal ini menggunakan metode *computation fluid dynamics (CFD)* dengan menggunakan *software Ansys Fluent*.

d. Setting komputasi dan proses komputasi

Setelah di setting diperoleh model yang sesuai, selanjutnya dilakukan proses komputasi numerik menggunakan *ANSYS FLUENT*, kemudian disimulasikan menggunakan *software Computational Fluid Dinamyc (CFD)* dan dianalisa

d. Percobaan Langsung di *Dyno Test*

Percobaan dilakukan di fasilitas pengujian kinerja *Engine (DynoTest)*. *Engine* yang digunakan merupakan *Engine* dengan tipe yang sama, dengan spesifikasi sebagaimana tercantum dalam Lampiran 1. Percobaan dilakukan 2 kali dimana percobaan pertama menggunakan air tanpa campuran Al_2O_3 , dan percobaan kedua menggunakan campuran Al_2O_3 dengan konsentrasi 1%.

Pengolahan Data

Data kuantitatif yang diperoleh dari hasil percobaan dengan *ANSYS FLUENT* diolah dengan menggunakan formulasi dan stimulasi numerik yang diperoleh dari buku-buku referensi dan sumber lain yang relevan dengan penelitian ini, kemudian data tersebut dituangkan dalam bentuk grafik.

Data yang diperoleh dari percobaan langsung disajikan dalam bentuk tabel dan grafik.

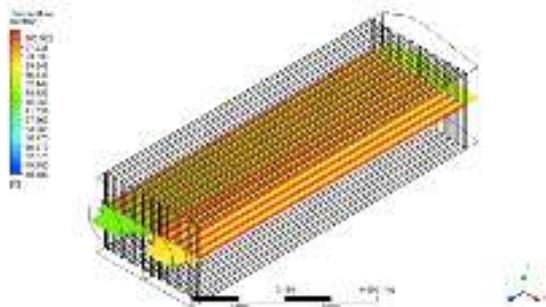
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Terhadap Hasil Simulasi

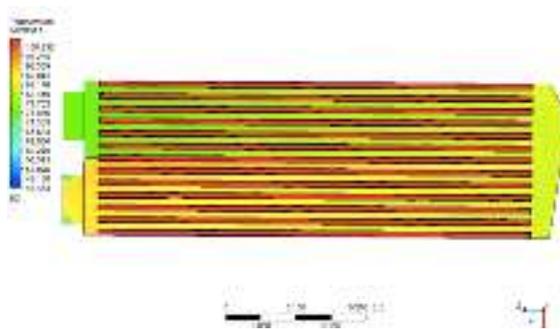
Hasil yang menjadi fokus bahasan dalam proses simulasi ini adalah distribusi suhu yang dihasilkan oleh perpindahan kalor dari udara ke fluida cair

sehingga dapat dianalisa kinerja *Aftercooler* berdasarkan hasil-hasil tersebut.

Distribusi Suhu Pada Potongan Melintang ZX



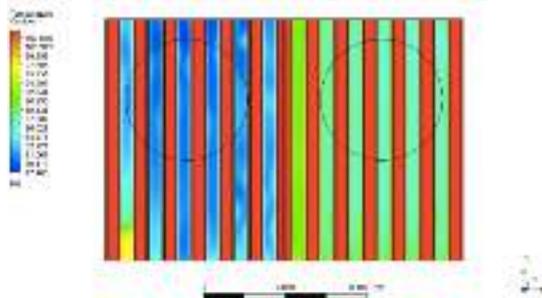
Gambar 2. Visualisasi Suhu *Coolant*



Gambar 3. Visualisasi Suhu *Coolant* pada *Aftercooler*

Dari grafik Gambar 2 dan Gambar 3 diatas, dapat dilihat bahwa *Coolant* cair yang memiliki suhu yang rendah mengalir dari sebelah kiri atas menuju bagian kanan, kemudian mengalir lagi dari kanan ke bagian kiri bawah. Fluida cair yang awalnya bersuhu rendah (warna hijau, kiri atas) berangsur berubah menjadi kuning (kanan atas) dan selanjutnya menjadi oranye (kiri bawah). Hal ini menunjukkan adanya proses perpindahan (penyerapan) panas dari udara, yang mengalir dari sebelah atas ke bagian bawah (Gambar 2). Udara yang pada mulanya bersuhu relatif tinggi kemudian berangsur turun suhunya searah aliran hingga ke sisi *outlet* (bagian bawah).

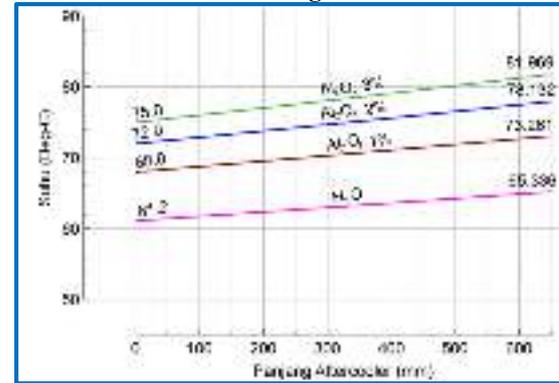
Distribusi Suhu Pada Potongan Melintang ZX



Gambar 4. Visualisasi Suhu *Coolant* pada sisi masuk dan keluar *Aftercooler*

Pada Gambar 4. terlihat gradasi warna yang cukup jelas pada daerah kontak fluida dengan dinding yang mengindikasikan fenomena perpindahan panas secara konveksi antara fluida air dengan dinding solid. Warna kehijauan antara biru dan merah pada lingkaran sebelah kiri dan warna hijau tua antara hijau muda dan merah pada lingkaran sebelah kanan menunjukkan adanya proses penyerapan panas dari udara oleh air. Warna biru menandakan air yang masih cukup dingin, dan hijau adalah tingkat suhu air yang sudah relative panas. Udara mengalir dari atas menuju bawah dalam bilah berwarna merah.

Grafik Suhu Pada Dinding Antar-Fluida

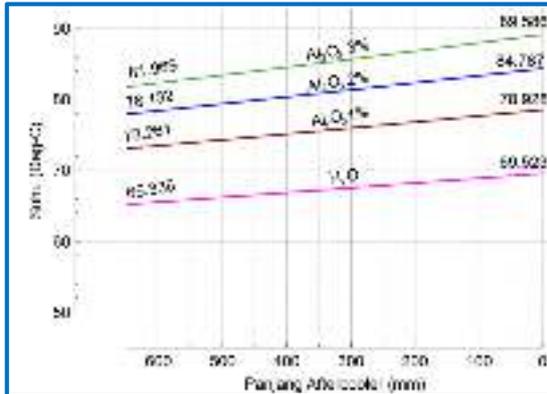


Gambar 5. Grafik Peningkatan Suhu Air pada titik A ke B

Pada Gambar 5. terlihat grafik suhu untuk semua jenis *Coolant* yang disimulasikan, untuk proses pendinginan dari titik A ke titik B. Garis berwarna pink, yang menunjukkan *Coolant* tanpa *Nanofluids* Al₂O₃, dimana *Coolant* masuk ke *Aftercooler* pada suhu sekitar 61,2 °C. Nilai perubahan suhu (ΔT) *Coolant* dari A ke B adalah 4,14 °C.

Untuk *Coolant* dengan *Nanofluids* Al₂O₃ (garis warna merah, biru dan hijau), suhunya lebih tinggi dari *Coolant* tanpa Al₂O₃, berturut-turut adalah 68,0 °C, 72,0 °C dan 75,0 °C, sedangkan peningkatan suhunya adalah berkisar antara 5,26 °C untuk warna merah (1% Al₂O₃), antara 6,13 °C untuk warna biru (2% Al₂O₃), dan antara 6,97 °C untuk warna hijau (3% Al₂O₃).

Dari keempat data tersebut terlihat Al₂O₃ dengan konsentrasi 3% mempunyai suhu paling tinggi, dimana *Coolant* tersebut menyerap panas udara lebih banyak.



Gambar 6. Grafik Peningkatan Suhu Air pada titik C ke D

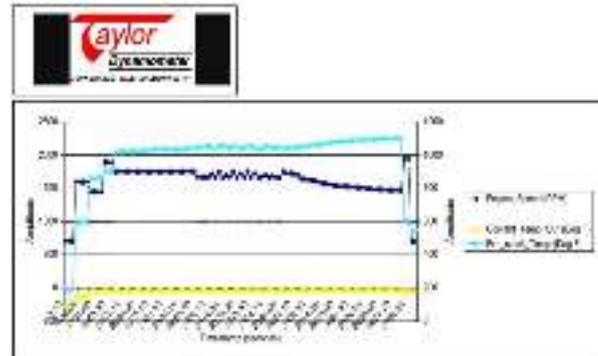
Gambar 6. menunjukkan nilai suhu *Coolant* yang memasuki *Aftercooler* untuk keempat jenis *Coolant* sebagaimana pembahasan sebelumnya, hanya saja pada gambar ini menunjukkan proses pendinginan dari titik C ke titik D. *Coolant* memasuki *Aftercooler* pada suhu 65,34 °C untuk *Coolant* tanpa Al₂O₃ sedangkan untuk *Coolant* dengan campuran Al₂O₃ adalah sekitar 73,26 °C, 78,13 °C dan 81,97 °C masing-masing untuk konsentrasi 1%, 2% dan 3% Al₂O₃.

Sama halnya dengan proses pendinginan dari titik A ke titik B, pada proses pendinginan dari titik C ke titik D juga *Coolant* dengan konsentrasi Al₂O₃ sebesar 3% mempunyai nilai suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan ketiga *Coolant* lainnya. Dari grafik Gambar 5 dan 6, terlihat kecenderungan perubahan suhu yang serupa untuk setiap variasi *Coolant* yang diujikan, namun memiliki nilai suhu yang berbeda-beda.

Pada saat *Coolant* mulai memasuki saluran-saluran air pada *Aftercooler*, terlihat bahwa suhu air naik secara signifikan dimana hal ini disebabkan oleh fluida cair masuk kedalam celah-celah saluran *Coolant* dan pada daerah tersebut alirannya belum stabil sehingga memiliki perpindahan panas yang lebih tinggi. Fenomena ini terjadi baik pada daerah masuk ke titik A maupun daerah masuk ke titik C.

Pengujian Dengan *Coolant* Tanpa *Nanofluids* Al₂O₃

Pengujian pertama yang dilakukan adalah pengujian menggunakan *Coolant* tanpa *Nanofluids* Al₂O₃. Hasil pengujiannya berupa grafik sebagaimana Gambar 4.14, dan juga berupa *raw data* (data mentah) sebagaimana tercantum pada Lampiran 6.

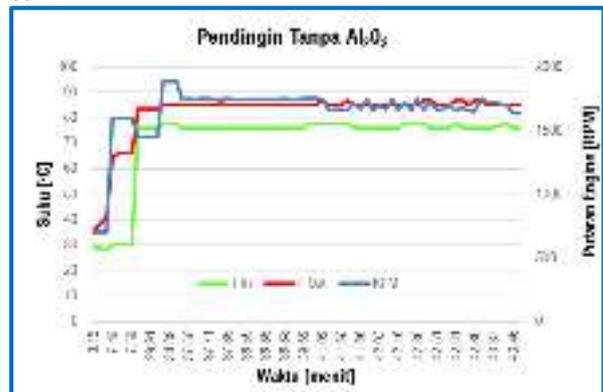


Gambar 7 Grafik hubungan antara *Engine rpm* dan suhu *Coolant* tanpa Al₂O₃

Gambar 7 menunjukkan hubungan antara suhu air pendingin dan putaran *Engine* saat pengujian langsung menggunakan *Coolant* tanpa *Nanofluids*. Terlihat dari grafik, pengambilan data secara otomatis dilakukan oleh *software* diambil segera setelah *Engine* hidup dengan kecepatan putar sekitar 700 rpm. Skala pada sumbu y sebelah kiri (amplitudo sebelah kiri) menunjukkan kecepatan putar, sumbu y sebelah kanan adalah suhu. Pengujian dilakukan selama kurang lebih 55 menit.

Hasil perhitungan ΔT ($T_{IN} - T_{OUT}$) untuk pendingin tanpa Al₂O₃ menunjukkan bahwa suhu rata-rata ΔT adalah sebesar 8,9 °C, dimana ΔT terendah adalah 7,22 °C dan ΔT tertinggi adalah 36,11 °C. Grafiknya dapat dilihat pada Gambar 8.

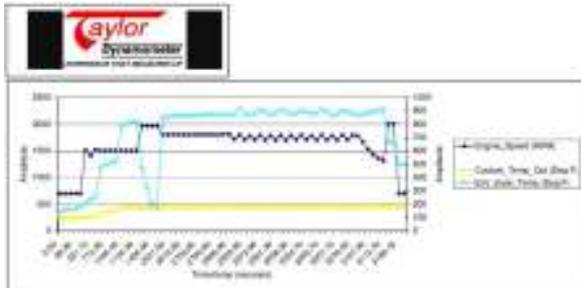
Dari hasil perhitungan diperoleh nilai median untuk T_{IN} adalah 76 °C dan T_{OUT} sebesar 85 °C



Gambar 8 Grafik suhu air pendingin tanpa Al₂O₃

Pengujian Dengan Campuran *Coolant* dan *Nanofluids* Al₂O₃

Pengujian kedua dilakukan dengan menggunakan *Coolant* yang sudah dicampur dengan *Nanofluids* Al₂O₃ dengan konsentrasi 1%. Gambar 9.



Gambar 9. Grafik hubungan antara *Engine rpm* dan suhu *Coolant* dengan Al_2O_3

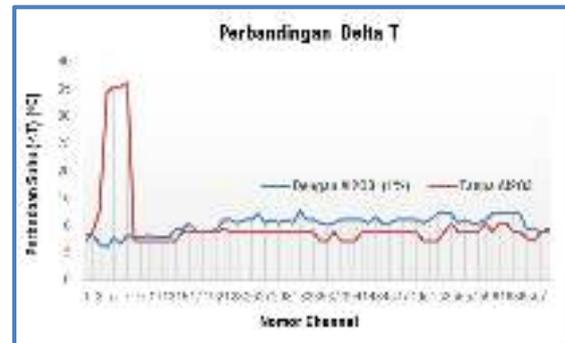
Gambar 9. menunjukkan hubungan antara suhu dan kecepatan *Engine* saat praktek dilakukan. Pengambilan data secara otomatis dilakukan oleh *software* pada detik ke 0,00 dan berlangsung sampai detik ke 3191. Perhitungan lebih lanjut dilakukan untuk mengetahui besaran nilai ΔT untuk setiap putaran *Engine* yang dipantau. Hasil perhitungan ΔT ($T_{IN} - T_{OUT}$) untuk pendingin dengan Al_2O_3 menunjukkan bahwa suhu rata-rata ΔT adalah sebesar $10,6^\circ C$, dimana suhu tertinggi adalah $12,78^\circ C$ dan suhu terendah adalah $6,11^\circ C$, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4.16. Nilai median untuk T_{IN} adalah $77,8^\circ C$ dan T_{OUT} sebesar $88,3^\circ C$.



Gambar 10 Grafik suhu air pendingin dengan Al_2O_3 1%

Dari kedua data tersebut kemudian dibandingkan dan dituangkan kembali dalam bentuk grafik sebagaimana terlihat pada Gambar 11.

Dari grafik tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa nilai ΔT pada pendingin dengan Al_2O_3 1%, lebih tinggi dibandingkan dengan pendingin tanpa Al_2O_3 . Hal ini menunjukkan bahwa pendingin dengan Al_2O_3 1% menyerap lebih banyak panas dibandingkan dengan pendingin tanpa Al_2O_3 .



Gambar 11. Grafik Perbandingan ΔT

Hasil Perhitungan Menggunakan Data Spesifikasi

Dari hasil perhitungan menggunakan data nilai Q (panas yang diserap), nilai m (*mass flow rate*) dan nilai perubahan suhu yang terjadi pada *Aftercooler*, maka diperoleh nilai median C_p (*heat capacity*) udara adalah $1.005,82 \text{ J/Kg.K}$.

Hasil Simulasi

Hasil simulasi menggunakan *software ANSYS* diperoleh nilai ΔT yang lebih besar dibandingkan dengan *Coolant* tanpa menggunakan campuran Al_2O_3 . Dari hasil analisa *software* diperoleh nilai yang berbeda untuk nilai konsentrasi *Nanofluids* yang digunakan,

Untuk *Coolant* tanpa campuran *Nanofluids*, *Coolant* memasuki *Aftercooler* pada suhu $61,2^\circ C$. Sementara untuk *Coolant* dengan Al_2O_3 1%, *Coolant* memasuki *Aftercooler* pada suhu lebih tinggi yakni $68,0^\circ C$.

Variasi penggunaan *Nanofluid* Al_2O_3 dengan konsentrasi yang berbeda menunjukkan hasil suhu yang berbeda dalam proses penyerapannya. Untuk *Nanofluid* dengan komposisi 1%, *Coolant* keluar dari *Aftercooler* pada suhu $78,9^\circ C$, komposisi 2% pada $84,4^\circ C$ dan 3% pada $89,6^\circ C$. selisih suhunya berturut-turut $10,9^\circ C$, $12,8^\circ C$ dan $14,6^\circ C$ untuk komposisi *Nanofluid* 1%, 2% dan 3%. Sedangkan suhu untuk *Coolant* konvensional terlihat lebih rendah, dibanding *Coolant* dengan *Nanofluid*, yakni $69,5^\circ C$ dan selisih suhunya adalah $8,5^\circ C$.

Hasil Pengujian Langsung

Pada pengujian yang dilakukan di tempat pengujian kinerja *Engine*, diperoleh nilai suhu *Coolant* tanpa campuran *Nanofluids* Al_2O_3 memasuki *Aftercooler* pada suhu $76,0^\circ C$ dan keluar dari *Aftercooler* dengan suhu $85^\circ C$. Sedangkan untuk *Coolant* dengan campuran *Nanofluids* Al_2O_3 1%, *Coolant* memasuki *Aftercooler* pada suhu $77,8^\circ C$ dan keluar dengan suhu $88,3^\circ C$.

Dengan mengacu ke tabel pada Lampiran 6 dan Lampiran 8, diperoleh nilai

median untuk suhu udara yang memasuki *Aftercooler* (T_{IN}) adalah masing-masing sebesar 137 °C untuk *Coolant* tanpa *Nanofluids* dan 134 °C untuk *Coolant* dengan *Nanofluids* Al_2O_3 1%.

Nilai median untuk suhu udara pada *Inlet Manifold* (setelah *Aftercooler*) (T_{OUT}) adalah masing-masing sebesar 61 °C dan 59 °C. suhu udara setelah *air filter* (T_{ATM}) adalah sekitar 50 °C maka dengan demikian efisiensi *Aftercooler* menggunakan Persamaan:

$$\eta = \frac{T_{IN} - T_{OUT}}{T_{IN} - T_{ATM}}$$

Untuk *Aftercooler* dengan *Coolant* tanpa *Nanofluids*, effisiensinya adalah:

$$\eta = \frac{(137 - 61)}{(137 - 50)} = 87,3\%$$

Untuk *Aftercooler* dengan *Coolant* menggunakan *Nanofluids*, effisiensinya adalah:

$$\eta = \frac{(134 - 59)}{(134 - 50)} = 89,3\%$$

Dari perhitungan diatas diperoleh data bahwa dengan menambahkan *Nanofluids* Al_2O_3 pada *Coolant* diperoleh peningkatan efisiensi *Aftercooler* sebesar 2,0%.

Hasil penelusuran dipasaran, Al_2O_3 yang saat ini beredar adalah yang berbentuk serbuk, belum ada yang menjual *Nanofluids* Al_2O_3 berupa larutan sesuai konsentrasi yang diinginkan, sehingga nilai ekonomis terhadap peningkatan efisiensi *Aftercooler* belum bisa dihitung.

Adapun dampak negatif penggunaan *Nanofluids* dalam jangka panjang yang diperkirakan adalah resiko erosi terhadap komponen-komponen saluran *Coolant*, munculnya endapan jika *Engine* tidak hidup dalam jangka waktu lama, yang akan menyumbat aliran *Coolant* [4].

IV. KESIMPULAN

Hasil simulasi menggunakan *Ansys* dan percobaan langsung pada *Engine* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil Simulasi dan Percobaan

Parameter	H ₂ O	H ₂ O Dengan Campuran Al ₂ O ₃		
		1%	2%	3%
Simulasi Ansys				
Suhu Masuk (T_{IN})	61,0 °C	68,0 °C	72,0 °C	75,0 °C

Parameter	H ₂ O	H ₂ O Dengan Campuran Al ₂ O ₃		
		1%	2%	3%
Simulasi Ansys				
Suhu Keluar (T_{OUT})	69,5 °C	78,9 °C	84,8 °C	89,6 °C
Perubahan Suhu (ΔT)	9,2 °C	10,9 °C	12,8 °C	14,6 °C
Percobaan di Dyno Test				
Suhu Masuk (T_{IN}), Median	76,1 °C	77,8 °C	-	-
Suhu Keluar (T_{OUT}), Median	85,0 °C	88,3 °C	-	-
Perubahan Suhu (ΔT)	8,9 °C	10,5 °C	-	-

Dengan mengacu pada hasil yang tercantum dalam tabel 1 diatas, maka hasil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Seberapa besar dampak komposisi *Nanofluids* pada fluida pendingin *Aftercooler* tipe *Separate Circuit Aftercooler*. Dari hasil analisa menggunakan *Ansys*, penggunaan *Nanofluids* Al_2O_3 menaikkan perbedaan suhu *Coolant* yang masuk dan keluar dari *Aftercooler* (ΔT), dari 9,2 °C untuk *Coolant* yang tidak menggunakan *Nanofluids* menjadi 10,9 °C dengan menggunakan konsentrasi *Nanofluids* sebesar 1%. Sedangkan dari hasil percobaan nilai ΔT -nya adalah 8,9 °C jika tidak menggunakan *Nanofluids* dan 10,5 °C saat menggunakan *Nanofluids*.
2. Mencari komposisi yang tepat (persentase) dengan perubahan suhu optimum di *Aftercooler* tipe *Separate Circuit Aftercooler*. Dari hasil analisa menggunakan *Ansys*, komposisi konsentrasi Al_2O_3 sebesar 3% memperoleh nilai ΔT yang lebih besar dibandingkan dengan konsentrasi 1% dan 2%.

V. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Caterpillar Inc., "Air Induction and Exhaust System," 2005
- [2] Mohd. Muqem dan Dr. Manoj Kumar, "Design of an Intercooler of a

- Turbocharger Unit to Enhance the Volumetric Efficiency of Diesel Engine”, 2013
- [3] Yasar Sen, Kemal Ermis, “Thermal Analysis of Turbocharger and Intercooler in Diesel Engine”, 2015
- [4] Jaeseon Lee, Issam Mudawar, "Assessment of the effectiveness of nanofluids for single-phase and two-phase heat transfer in micro-channels," 2006