

Kajian Teoritik Pengaruh Perbandingan Penggunaan *Aftercooler* ATAAC Dengan JWAC Terhadap Performa *Engine* Alat Berat

Mastur Anwar Diniy¹, Muhammad Hafidz Baihaki² dan Yudi Kurniawan^{3*}

¹Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Balikpapan, Jalan Soekarno-Hatta km 08, Balikpapan

*E-mail: yudi.kurniawan@poltekba.ac.id

Abstrak

Aftercooler merupakan salah satu *component* pada *air system* yang berfungsi untuk menurunkan *temperature* udara bertekanan pada *component turbocharger* yang akan masuk ke *combution chamber*, *aftercooler* dengan jenis *jacket water aftercooler* (JWAC) jauh lebih efisien dalam perpindahan panas dan kinerja menurunkan *temperature* secara keseluruhan dibandingkan dengan *air to air aftercooler* (ATAAC). Keunggulan ini disebabkan oleh karakteristik perpindahan panas air sebagai medium pendingin yang lebih baik. Sistem *air to water* menghasilkan suhu udara masuk yang lebih rendah, kepadatan udara yang lebih tinggi yang berarti lebih banyak molekul oksigen masuk ke dalam *combution chamber* yang mengoptimalkan pencampuran udara dan *fuel* yang seimbang dan pada akhirnya, efektivitas *aftercooler* yang lebih besar. Perbedaan efek pendinginan ini menyebabkan *jacket water aftercooler* mempertahankan kepadatan udara yang lebih tinggi. Dengan menurunkan *temperature* udara bertekanan secara efektif, *aftercooler* dengan sistem *air to water* membantu mencegah terjadinya *knocking*, memungkinkan pembakaran bahan bakar yang lebih sempurna, dan berpotensi meningkatkan kinerja *unit* alat berat.

Kata kunci: *Aftercooler*, ATAAC, Efektif, JWAC, *Temperature*

1. Pendahuluan

Aftercooler adalah tempat pertukaran panas yang terjadi antara air dan udara atau udara dan udara, tergantung dari jenis *aftercooler* yang digunakan apakah *jacket water aftercooler* atau *air to air aftercooler*, *aftercooler* berfungsi untuk menurunkan *temperature* udara pada *component turbocharger* yang akan masuk ke *combution chamber*, karena molekul udara yang dingin akan semakin padat dan udara yang masuk ke *combution chamber* akan semakin banyak [1][2]. Agar *engine* bekerja dengan baik, harus ada keseimbangan antara jumlah udara yang masuk ke *combution chamber* dan jumlah *fuel* yang dibakar. *Engine diesel* memiliki perbandingan kompresi sekitar 11:1 hingga 26:1, jauh lebih tinggi dibandingkan *engine* bensin yang hanya berkisar 6:1 sampai 9:1. Konsumsi *fuel* spesifik *engine diesel* lebih rendah (kira-kira 25 %) dibanding *engine* bensin namun perbandingan kompresinya yang lebih tinggi menjadikan tekanan kerjanya juga tinggi [3] oleh karena itu, dibutuhkan *turbocharger* untuk menyesuaikan kebutuhan udara di *combution chamber* pada *engine diesel*. Rasio udara dan *fuel* yang ideal untuk pembakaran yang baik adalah 20:1 [4]. Besarnya perubahan kerapatan udara berkisar antara 2% - 4% pada setiap terjadinya penurunan *temperature* 10°C. Tingkat perubahan *temperature* ini bergantung pada *temperature* udara luar [5]. Penukar panas yang paling sederhana berupa sebuah wadah tempat fluida panas dan fluida dingin bercampur secara langsung. Dalam sistem ini, kedua fluida akan mencapai *temperature* akhir yang sama, dan jumlah panas yang berpindah dapat diperkirakan dengan menyamakan energi yang dilepaskan oleh fluida yang lebih panas dengan energi yang diterima oleh fluida yang lebih dingin [6]. *Aftercooler* memiliki beberapa nama sebutan yaitu *aircooler*, *intercooler* dan *chargecooler*. Tetapi apapun nama *component* ini tetap memiliki fungsi yang sama yaitu menurunkan *temperature* udara yang masuk ke *combution chamber* [7].

Turbocharger digunakan pada beberapa jenis *engine* terutama alat berat untuk meningkatkan jumlah udara yang masuk ke dalam sistem *engine* yang akan menaikkan tekanan udara pada *intake manifold*. Peningkatan tekanan pada udara masuk ini akan menyebabkan suhu udara juga meningkat [8]. Berdasarkan *Turbocharging Performance Handbook* udara masuk yang bersuhu tinggi dapat memiliki dampak negatif pada komponen *unit* alat berat, beban termal pada bagian *engine* seperti *valve* dan *piston* akan meningkat. Dengan mengurangi suhu udara terkompresi, masalah *detonation* dan

pre-ignition pada *unit* alat berat dapat dikurangi atau dihilangkan, maka diperlukan sistem yang menurunkan *temperature* udara dengan efektif yang juga dipengaruhi oleh jenis *aftercooler* yang digunakan. Suhu *intake manifold* dikendalikan oleh *aftercooler* [9]. Sistem *air to water aftercooler* dirancang untuk beroperasi dengan meminimalkan kenaikan suhu udara bermuatan yang dihasilkan dari *turbocharger*. Pada *unit* alat berat menggunakan sistem pemasukan udara dengan menggunakan *turbocharger aftercooler*, dalam sistem *turbocharger aftercooler* dibedakan menjadi dua jenis yaitu: *air to air aftercooler* (AATAC) dan *jacket water aftercooler* (JWAC) [10].

ATAAC dapat memiliki satu atau lebih *tube* tempat udara bermuatan panas dapat melewatinya [11] dan memiliki kemampuan transfer panas yang optimal karena terbuat dari aluminium. Sistem pemasangan pendingin ini dirancang khusus untuk mengakomodasi siklus termal, yaitu perubahan suhu ekstrem yang terjadi selama operasi, sehingga komponen dapat mengembang dan menyusut tanpa mengalami kerusakan [12] namun *component* ATAAC rentan terhadap korosi dan keausan sekunder yang diakibatkan oleh kondensat asam. Terlebih lagi, ATAAC umumnya dibuat dari material seperti aluminium, yang membuat ATAAC sangat rentan terhadap korosi dari kondensat asam [13]. Pada JWAC air dipompa melalui *aftercooler*, sehingga panas dari *tube* pengisian ditransfer ke air [14]. Sebuah sistem JWAC terdiri dari *aftercooler air to water* sebagai penukar panas, pompa untuk mengalirkan cairan dari penampung ke inti cairan *aftercooler* udara, penampung untuk menyimpan cairan bagi sistem, dan penukar panas tambahan untuk cairan yang bersirkulasi dalam sistem [15].

Coolant yang sama yang menurunkan *temperature engine* juga bersirkulasi melalui *core assembly* dari JWAC. Cairan pendingin ini, dipompa dari *water pump*, mengalir melalui *aftercooler core* untuk mendinginkan udara bertekanan dari *turbocharger*. Udara yang sudah didinginkan ini kemudian masuk ke *intake manifold* sebelum memasuki *combustion chamber* [16]. *Aftercooler heat rejection factor* ditetapkan untuk kondisi standar, yaitu pada suhu 25°C (77°F) dan ketinggian 153 m (500 ft). Untuk mencegah *engine* mengalami *detonation*, sangat penting untuk menjaga suhu udara masuk yang konstan pada *air intake manifold*. Oleh karena itu, ketika suhu udara sekitar (*ambient air temperature*) meningkat melebihi kondisi standar, *heat rejection factor* untuk sirkuit *aftercooler* juga harus meningkat [17].

Untuk menilai performa *unit*, perlu untuk memeriksa dua sistem utama: sistem pemasukan udara dan gas buang serta sistem *fuel*. Jika parameter tertentu pada sistem udara dan gas buang tidak tercapai, ini akan berdampak langsung pada performa *unit* [18]. Salah satunya adalah rpm, *rotation per minute* adalah jumlah putaran atau rotasi yang dilakukan oleh *crankshaft* dan *flywheel* dalam satu menit. Setiap mesin memiliki *rated rpm* yang ditetapkan oleh pabrikan. *Rated rpm* dari suatu model *engine* dapat bervariasi tergantung pada konfigurasi dan aplikasinya [19]. *Problem* lainnya yang berkaitan dengan performa *unit* alat berat, seperti *low power*, respon lambat, asap berlebihan, konsumsi *fuel* tinggi, tekanan *boost* rendah, atau suhu gas buang tinggi, bisa jadi disebabkan oleh masalah pada sistem pemasukan udara dan gas buang, oleh karena itu penting untuk memastikan *air* sistem pada *unit* berfungsi dengan baik, salah satu aspek yang perlu diperhatikan adalah memilih tipe *aftercooler* yang sesuai dengan kebutuhan *unit* agar udara yang masuk ke dalam *combustion chamber* optimal [20].

Penelitian ini menganalisis perbandingan antara penggunaan *aftercooler* jenis ATAAC dan JWAC dengan fokus pada performa *unit* alat berat untuk menentukan jenis *aftercooler* yang sesuai dengan *unit* yang dapat meningkatkan efektivitas biaya dan pengoperasian.

2. Metodologi

Penelitian menggunakan pendekatan kajian literatur dan analisis teoritis dengan tujuan membandingkan performa *aftercooler* jenis JWAC dan ATAAC yang berpengaruh pada *air intake system* dan proses pembakaran di *combustion*

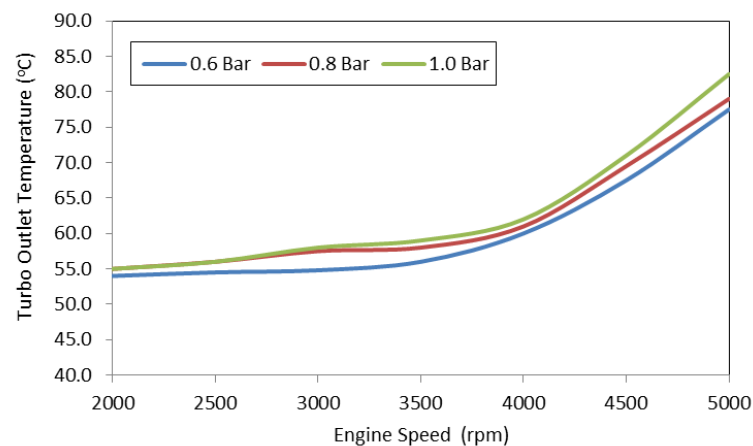
chamber pada *engine*, pengujian dilakukan dengan memvariasikan kecepatan pada *unit* (2000-5000 rpm) dan tekanan udara pada *turbocharge* (0,6, 0,8, dan 1,0 bar).

Sistem diuji dengan variasi kecepatan mesin dari 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, hingga 5000 rpm di bawah beban operasi, mensimulasikan *unit* yang beroperasi. Desain JWAC yang digunakan dalam penelitian ini pada dasarnya adalah tipe *shell and tube*. Komponen utama *aftercooler* adalah bagian pendingin udara, bagian pendingin air, penukar panas untuk fluida dan *reservoir* fluida. Inti dari *aftercooler* JWAC yang digunakan adalah tipe pelat bersirip, dengan udara terisi mengalir melalui tabung datar yang memiliki sirip bagian dalam untuk meningkatkan area permukaan kontak udara panas.

3. Hasil dan pembahasan

3.1 Efek Turbocharger Pressure ke Temperature Distribution

Suhu udara terkompresi yang keluar dari *turbocharger* meningkat ketika kecepatan *engine* ditingkatkan yang dapat dilihat pada Gambar 1. Udara masuk ke saluran *intake turbocharger* pada suhu *ambient*. Saat udara dikompres hingga tekanan kerja *turbocharger*, suhu udara yang terkompresi akan meningkat lebih tinggi dari suhu *ambient*. Gambar 1 juga menunjukkan bahwa di saat rpm *engine* tinggi, suhu udara terkompresi lebih tinggi dibandingkan dengan suhu udara terkompresi pada rpm *engine* rendah. Suhu udara terkompresi lebih tinggi pada tekanan 1,0 bar dibandingkan dengan suhu pada tekanan *boost* 0,6 dan 0,8 bar. *Turbocharger* akan bekerja dengan rpm tinggi ketika kecepatan *engine* ditingkatkan hingga mencapai pengaturan tekanan tertentu. Putaran *fin turbocharger* yang berkecepatan tinggi akan menyebabkan peningkatan tekanan udara di dalam *system* [15].



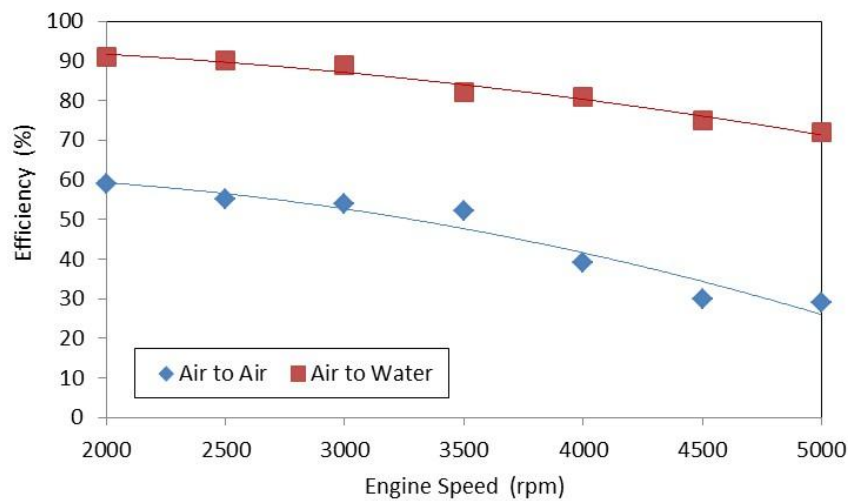
Gambar 1. Distribusi Suhu Udara Keluar *Turbocharger* Terkait Tekanan Terhadap Kecepatan *Engine* [15]

Dari Gambar 1, terlihat juga bahwa pada rpm *engine* yang lebih rendah perbedaan distribusi suhu tergolong kecil untuk setiap tekanan tertentu. Perbedaan suhu menjadi lebih tinggi ketika rpm *engine* ditingkatkan. *Fin turbocharger* mulai berputar dengan kecepatan lebih tinggi untuk menciptakan *high pressure* dalam sistem. Pada kondisi di mana *turbocharger* bekerja di bawah kecepatan operasional, suhu udara terkompresi dipengaruhi oleh peningkatan suhu dalam sistem pembuangan (*muffler*) *engine*.

3.2 Pengaruh Kecepatan Mesin terhadap Efisiensi Aftercooler

Terlihat perbedaan kinerja antara dua jenis *aftercooler* yaitu JWAC dan ATAAC saat diuji pada berbagai kecepatan *engine* yang dapat dilihat pada Gambar 2. Grafik menunjukkan dengan jelas bahwa *aftercooler* JWAC cenderung lebih efisien dalam mendinginkan udara dibandingkan dengan *aftercooler* ATAAC. Namun, penting untuk dicatat bahwa efisiensi kedua jenis *aftercooler* ini akan menurun seiring dengan peningkatan kecepatan *engine*. Penurunan efisiensi ini

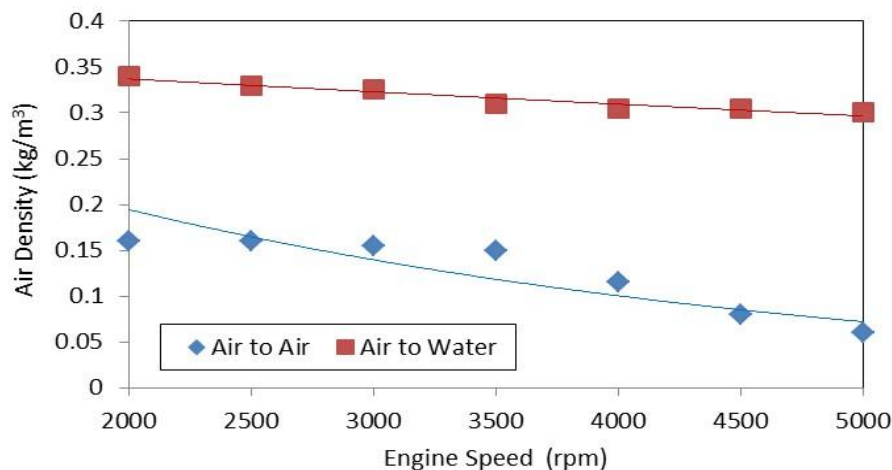
terjadi karena saat *engine* bekerja pada rpm tinggi, suhu udara yang masuk ke *aftercooler* menjadi jauh lebih panas. Akibatnya, *aftercooler* harus bekerja lebih keras dan lebih efektif dalam mentransfer panas untuk menjaga suhu udara tetap optimal sebelum masuk ke ruang bakar [15].



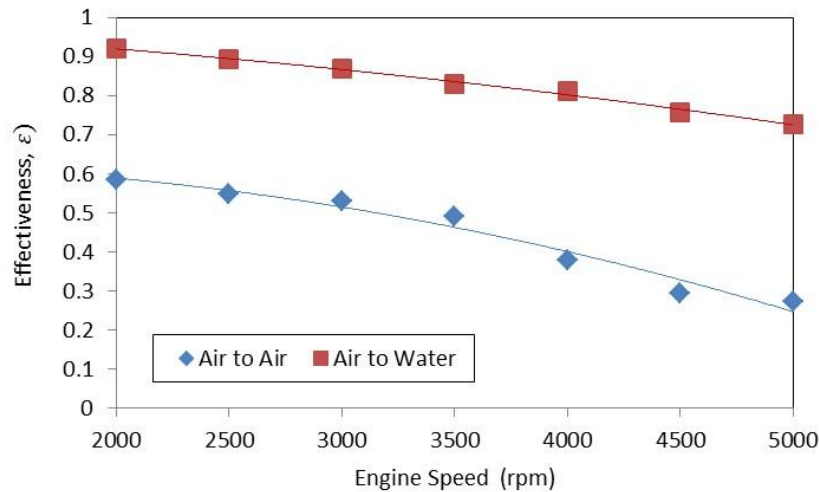
Gambar 2. Efisiensi Antara *Aftercooler* ATAAC dan JWAC [15]

3.3 Perubahan Kepadatan Udara

Gambar 3 menunjukkan perbedaan kepadatan udara antara sistem *aftercooler* ATAAC dan JWAC. Terlihat bahwa kepadatan udara menurun saat kecepatan *engine* ditingkatkan. Profil kepadatan udara sangat bergantung pada suhu dan tekanan udara terkompresi. Ketika kecepatan *engine* ditingkatkan, tekanan dan suhu pada sistem juga akan meningkat hingga mencapai tekanan spesifik yang ditentukan. Penurunan kepadatan udara lebih tinggi ketika menggunakan sistem *aftercooler* ATAAC, sedangkan penurunan kepadatan udara lebih kecil saat menggunakan sistem *aftercooler* JWAC. Ini disebabkan oleh efek pendinginan yang berbeda pada setiap jenis *aftercooler*. *Aftercooler* JWAC dapat menurunkan suhu dengan lebih efektif dibandingkan dengan *aftercooler* ATAAC [15].



Gambar 3. Kepadatan Udara Antara *Aftercooler* ATAAC dan JWAC [15]



Gambar 4. Kepadatan Udara Antara *Aftercooler* ATAAC dan JWAC [15]

3.4 Efektivitas *Aftercooler*

Efektivitas *aftercooler* sangat bervariasi antara satu sistem dengan sistem lainnya. Berdasarkan Gambar 4, terlihat jelas bahwa sistem *aftercooler* JWAC memiliki efektivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan sistem *aftercooler* ATAAC. Ini karena perpindahan panas dari udara terkompresi yang mengalir melalui *aftercooler* JWAC lebih efisien. Nilai efektivitas untuk *aftercooler* JWAC berada dalam rentang 0,7 hingga 1,0, sedangkan untuk *aftercooler* ATAAC, nilainya berkisar antara 0,2 dan 0,6. Ketika kecepatan *engine* ditingkatkan, efektivitas *aftercooler* menurun. Hal ini terjadi karena kenaikan suhu udara yang dihasilkan dari *turbocharger*. Efektivitas *aftercooler* dipengaruhi oleh perbedaan suhu di dalam sistem *aftercooler*, di mana semakin tinggi suhu, semakin rendah efektivitas sistem tersebut [15].

4. Kesimpulan

Objective dari Penelitian telah tercapai, yaitu menganalisis kinerja perpindahan panas *aftercooler* ATAAC dan JWAC. Dari hasil percobaan ini, dapat disimpulkan bahwa saat kecepatan *engine* meningkat, suhu udara yang masuk ke *intake manifold* juga ikut naik. Perubahan suhu ini berdampak pada sifat-sifat udara, seperti kepadatan dan tekanan. Dengan menurunkan suhu udara sebelum masuk ke *intake manifold*, kepadatan udara dapat ditingkatkan. Hal ini penting untuk memastikan pembakaran bahan bakar yang lebih sempurna di ruang bakar, sehingga pada akhirnya meningkatkan performa *engine*. Di sisi lain, peningkatan tekanan maksimum pada *turbocharger engine* pembakaran internal juga menyebabkan kenaikan suhu dan penurunan kepadatan suplai udara ke ruang bakar. Eksperimen ini juga menunjukkan bahwa sistem *aftercooler* JWAC jauh lebih efisien daripada *aftercooler* ATAAC. Ini terjadi karena perpindahan panas dari aliran udara ke air di dalam *aftercooler* jauh lebih baik. Oleh karena itu, suhu udara keluar *aftercooler* sangat dipengaruhi oleh jenis media pendingin yang digunakan [15].

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Balikpapan dan seluruh pihak yang membantu baik secara langsung maupun tidak langsung atas dukungan serta kerja sama yang telah diberikan dalam penyediaan data dan informasi yang diperlukan selama proses *review* penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Kurniawan, Y., Sumartono, Y.V.M., Saputra, M.A.D., Rancang Bangun Test Leak After Cooler D375-6R Komatsu. *SNITT Poltekba*; 2023. p 32.
- [2] Yasukawa, Y., Ueda, Y., Effect of Aftercooler Configuration on the Performance of Pulse Tube Cryocoolers. *Cryocoolers 21*; 2021. p 221–228.
- [3] Simatupang, Z., Kajian teoritis pengaruh *intercooler* terhadap performansi motor diesel menggunakan turbocharger skripsi; 2009.
- [4] Kurniawan, Y., Arwin, Amin, M., Paundara, F., Rojikin, S., Analisis Pengaruh Boost Pressure After Cooler Terhadap Performance Engine MTU 16V4000. *Jurnal Alat Berat*, vol. 1, no. 2; 2024. p 65–72.
- [5] Wiguna, R. A., Analisa Kegagalan Air Cleaner Foton FT 824 Digunakan Pada Shantui Loader SL 30 W; 2022.
- [6] Langga, K.D., Sabri, M., Hamsi, A., Abda, S., Indra., Edisi Cetak Jurnal Dinamis no. 1. Maret 2018; 2019. p 57–70.
- [7] Purnama, S., Saksono, P., Analisa Perbandingan Aplikasi Sistem Satu dan Dua Tingkat Turbocaharger Terhadap Performansi Cummins Engine K38-C. *JTT (Jurnal Teknol. Terpadu)*, vol. 3, no. 1; 2015.
- [8] Koswara, A., Karmiadji, D., Analisis Perpindahan Panas Fluida Pendingin Nanofluids pada Aftercoller Dengan Computational Fluid Dynamics. *Teknobiz J. Ilm. Progr. Stud. Magister Tek. Mesin*, vol. 11, no. 3; 2021. p 178–185.
- [9] Bandas, L. A. S., Rosendo, D., Rangel, I., Sanchez, G., Investigation of the Effects of Alternative Diesel Fuels on the Performance, Emissions, and Combustion Characteristics of a 2004 Heavy-Duty On-Highway, Direct Injection, Turbocharged and Aftercooled Caterpillar C11 Diesel Engine. *Thesis Submitt. TO Fac. Grad. Sch. Univ. Minnesota*, vol. 9, no. 1; 2010. p 76–99.
- [10] Setialana, P., Analisa Sistem Turbocharger Motor Grader XCMG GR 135. *Pontif. Univ. Catol. del Peru*, vol. 8, no. 33; 2014. p. 44.
- [11] Jagannathan, P. E., 12 United States Patent, vol. 2 no. 12; 2010.
- [12] Hatami, M., Variable Geometry Turbochargers and Charge Air Coolers Variable Geometry Turbochargers Disadvantages of Fixed Geometry Turbochargers Electronic Turbocharger Control; 2011 p 1–46.
- [13] Bates, K. C., Patent Application Publication (10) Pub. No.: US 2007/0227141 A1, vol. 1 no. 19; 2007.
- [14] Putra, G. A., Pengaruh Kebocoran Intercooler Main Engine Terhadap Performa Permesinan Bantu Pada Sistem Pendinginan Tertutup Di Mv. Tanto Tangguh; 2022.
- [15] Nasution, H., Aziz, A. A., Latiff, Z. A., Engkuah, S., Comparison of air to air and air to water intercoolers in the cooling process of a turbocharger engine. *J. Teknol.*, vol. 74, no. 10; 2015. p 45–51.
- [16] Collins, S.P., Alan, L., Dandan J., Chaty, A.M., Karen F.K., Christy, B., Javed., Makalah Mesin *Thermal Air System Motor Diesel. Konveksi Energi*; 2021.
- [17] Caterpillar., 3500 engine performance rev1 pdf; 2000.
- [18] Diki P., Remove Install & Repair OB Hauler. *RIR Aftercooler OB Haul*; 2020. p 1–35.
- [19] Caterpillar., Cat Diesel Engines. *Cat Engine Diesel*; 2000. p 1–107.
- [20] Sewatama., Air Intake & Exhaust System. *Aircr. Maint. Man. – Syst. Descr. Sect*; 2008. p 1–24.