

PENGEMBANGAN SISTEM AKUISISI DATA UNTUK EVALUASI TINGKAT KESEHATAN MESIN DIESEL BERBASIS PADA ANALISA AKUSTIK

Sukma Firdaus dan Marlia Adriana

Jurusan Mesin Otomotif, Politeknik Negeri Tanah Laut
email: sukma@politla.ac.id

Intisari— Perawatan dan perbaikan dari sebuah mesin sangat erat hubungannya terhadap kinerja proses pembakaran. Proses pembakaran pada mesin memiliki implikasi timbulnya efek vibrasi yang memunculkan fenomena akustik. Dari penelitian ini, diperoleh alat akuisisi data perekaman emisi akustik yang ditimbulkan oleh mesin diesel. Proses perubahan data time-series emisi akustik menjadi domain frekuensi menggunakan *transformasi fourier* (TF), dengan algoritma *fast fourier transform* (FFT). Dari hasil identifikasi, diperoleh nilai MPF untuk kondisi normal adalah 27.78 Hz dengan *standar deviasi* 0.19 Hz, pada kerusakan 1 sebesar 22.52 *standar deviasi* sebesar 0.27 Hz, kerusakan 2 sebesar 26.35 Hz *standar deviasi* sebesar 0.29, sedangkan pada kerusakan 3 nilai MPV adalah 30.04 dengan *standar deviasi* sebesar 0.95. Pada penelitian lanjutan dapat dilakukan analisis pada domain frekuensi dan domain waktu secara bersamaan. Sehingga setiap frekuensi dapat dihitung waktu kemunculannya dan akan memperoleh pola frekuensi dan waktu setiap kondisinya. Hal ini akan meningkatkan ekstraksi informasi yang terkandung didalam emisi akustik mesin diesel.

Kata kunci— emisi akustik, mesin diesel, transformasi fourier, analisis frekuensi.

PENDAHULUAN

Alat transportasi dengan memanfaatkan mesin diesel sebagai penggerak saat ini sedang mengalami peningkatan, baik dalam hal kuantitas kendaraan ataupun kompleksitas mesinnya. Peningkatan juga terjadi pada bidang industri, dimana mesin diesel seringkali digunakan sebagai penggerak untuk produksi. Meningkatnya kuantitas sangat terasa sekali untuk daerah pertambangan dan industri seperti yang terjadi di Kab. Tanah Laut. Kab. Tanah Laut merupakan daerah yang memiliki bahan tambang yang melimpah, dan terdapat beberapa industri yang berdiri, seperti pabrik bijih besi dan Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Asam-asam. Dengan meningkatnya jumlah penggunaan mesin diesel, maka dukungan akan jasa perawatan dan perbaikan terhadap mesin diesel juga dipastikan mengalami peningkatan.

Perawatan dan perbaikan dari sebuah mesin sangat erat hubungannya terhadap kinerja proses pembakaran yang terjadi. Proses pembakaran memiliki implikasi terhadap timbulnya efek vibrasi. Efek vibrasi ini yang menimbulkan fenomena akustik pada mesin saat bekerja. Fenomena akustik seringkali merepresentasikan indikasi-indikasi kejadian pada kondisi mesin. Ketika proses pembakaran yang terjadi kurang sempurna atau terdapat beberapa komponen mesin yang mengalami kerusakan, maka kinerja mesin akan mengalami penurunan, dan bahkan dapat mengakibatkan kerusakan. Dengan bantuan analisis akustik, maka efek akustik tersebut dapat diidentifikasi, guna memperoleh informasi kejadian ketika mesin sedang bekerja. Untuk dapat melakukan analisis akustik dengan baik dan benar serta tepat, maka diperlukan

sistem instrumentasi yang dapat mengakuisisi data dari efek akustik yang dihasilkan oleh mesin.

Untuk mengakuisisi data efek akustik, maka diperlukan sensor yang dapat menangkap fenomena akustik yang selanjutnya disimpan kedalam bentuk data digital untuk dianalisis. Fenomena akustik yang muncul disebabkan mesin terdapat diseluruh bagian dari mesin. Sehingga diperlukan beberapa sensor atau serangkaian sensor akustik yang mengelilingi mesin. Hal ini ditujukan guna mendapatkan efek akustik dari seluruh bagian mesin saat proses kerja. Pada sistem akuisisi data diperlukan juga data logger yang akan menyimpan sinyal fenomena akustik ke komputer. Sinyal akustik yang disimpan dikomputer berupa data digital yang selanjutnya dianalisis guna memperoleh ciri-ciri tertentu dari kerja mesin. Hasil analisis fenomena akustik inilah, yang menjadi sebuah perangkat yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi bagaimana perawatan harus dilakukan dan mengidentifikasi kerusakan mesin [1].

Dalam penelitian ini, akan dikembangkan konfigurasi akuisisi data fenomena akustik yang mampu menangkap efek akustik pada saat akan terjadinya kerusakan mesin diesel. Guna dapat menjadi sebuah perangkat preventive maintenance mesin diesel, maka pada sistem akuisisi data dikembangkan juga analisis sinyal akustik yang menghasilkan parameter-parameter penting dari sebuah fenomena akustik kerja mesin. Analisis yang dikembangkan berupa analisis pada domain waktu dan domain frekuensi. Penelitian ini merupakan penelitian awal, dalam pengembangan perangkat preventive maintenance mesin berbasis non invasive.

Dimana penelitian lanjutan, seperti ekstraksi fenomena akustik menjadi sebuah ciri untuk identifikasi, pengembangan algoritma identifikasi kerusakan mesin, dan pengembangan perangkat dalam evaluasi berbasis akustik dapat diawali dengan melakukan tahapan penelitian ini. Pada penelitian ini pengembangan sistem akuisisi data diharapkan dapat menangkap fenomena akustik kerja mesin secara lebih rinci dan menyeluruh. Penelitian ini menjadikan penelitian lanjutan pada bidang perawatan mesin akan menjadi terbuka lebar.

TINJAUAN PUSTAKA

Secara umum konstruksi motor diesel mirip dengan konstruksi pada motor bensin. Keduanya merupakan kelompok mesin pembakaran dalam (internal combustion engine), dan menggunakan piston sebagai media untuk mengkonversi energi panas hasil pembakaran menjadi energi mekanik berupa gerak lurus yang selanjutnya menggunakan mekanisme poros engkol dikonversi menjadi gerak rotasi. Ukuran motor diesel sangat variatif dari yang berukuran kecil sampai dengan yang sangat besar dan berbagai pertimbangan yang salah satunya adalah pada gaya kesamping oleh masa piston, menyebabkan perkembangan desain dan konstruksi motor diesel hingga saat ini. Kondisi tersebut menyebabkan bervariasinya desain konstruksi, khususnya konstruksi piston yang dipergunakan. Piston merupakan komponen penting dari sebuah motor diesel, sebab komponen tersebut sebagai alat konversi energi. Selain itu, piston juga berfungsi untuk melakukan siklus motor diesel, dan karena ia selalu berhubungan dengan panas dan tekanan, maka piston perlu didesain seemikian rupa selain kuat dan juga tahan terhadap perubahan panas [2].

Motor diesel disebut juga compression ignition engine, karena proses penyalanya terjadi karena proses penyalan sendiri. Motor diesel berbeda dengan motor bakar piston lainnya, misalnya: motor bensin dimana dalam proses penyalanya terjadi karena loncatan bunga api listrik dari busi. Pada motor diesel saat langkah isap yang dihisap ke dalam silinder hanya udara segar saja, kemudian pada akhir langkah kompresi bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar. Karena suhu di dalam ruang bakar telah mencapai sekitar 450-600o C dimana suhu tersebut telah melebihi titik nyala bahan bakar, maka bahan bakar yang disemprotkan tersebut akan langsung terbakar dengan sendirinya (proses pembakaran), sehingga terjadilah proses usaha atau kerja. Hal ini akan terjadi apabila dipergunakan perbandingan kompresi yang tinggi berkisar 14-25. Perbandingan kompresi yang rendah biasanya dipergunakan pada motor diesel yang berukuran besar dengan putaran yang rendah. Sedangkan perbandingan kompresi yang tinggi banyak digunakan pada motor diesel berukuran kecil dengan putaran yang tinggi ± 4000 Rpm [3].

Ada berbagai sumber yang bisa menyebabkan getaran pada engine. Tiga faktor utama adalah pertama, dari pembakaran pada engine, yang lain dari inertia force komponen yang berputar dan gerak pada sistim dinamis

seperti piston, connecting rod, crankshaft, dan lainnya. Getaran dari engine besarnya sama dengan tekanan dari pembakaran itu sendiri. dan, engine dengan compression ratio dan performance yang tinggi akan menghasilkan lebih banyak noise. Vibration oleh turbo engine 20~50% lebih noise dibandingkan dengan NA engine. Dalam hal ini, dipakai beberapa komponen untuk meredam noise, dan dipasang perangkat tambahan pada beberapa bagian untuk mengurangi pengaruh vibration. Selain dari itu, dengan mengubah posisi engine mounting atau mengadopsi vibration absorber dengan menggunakan mounting, vibration tidak dapat diteruskan ke body secara langsung.

Inertia force adalah salah satu penyebab terjadinya vibration. Ketika piston bergerak dari titik atas menuju titik bawah dengan kecepatan yang berbeda. Crankshaft membuat gelombang vibration dan inertia force dari putaran crank pin. Connecting rod membuat inertia force dari gerakan kombinasi naik turun dan berputar. Pada multi cylinder engine, pistons tersambung ke crank shaft, sehingga masing masing inertia akan saling menunda. Hal ini sangatlah rumit dengan jumlah *cylinders*, susunannya dan waktu pembakaran pada masing masing cylinder. Karena itu, dengan menggunakan counter weight, inertia force dapat diseimbangkan dengan total beratnya. Akan tetapi sangat sulit untuk bisa menyeimbangkan inertia force dengan sempurna [4].

Inertia force akan berkurang ketika komponen dinamis seperti piston dan Connecting rod lebih ringan. Dengan *displacement* volume yang sama, engine dengan jumlah cylinder lebih banyak akan mempunyai sedikit inertia force karena komponennya lebih kecil dan ringan. Ketika inertia force kecil, kemungkinan terjadinya vibration akan sedikit dan dapat berputar pada kecepatan tinggi dengan kekuatan yang sama. Dengan komponen yang lebih ringan, inertia force pada masing masing komponen akan kecil. Dengan rpm yang sama, kekuatan dari komponen tersebut tidak akan dapat tahan lama. Umumnya, komponen yang kurang kuat lebih ringan dibanding dengan komponen yang lebih kuat. Untuk menciptakan komponen lebih ringan adalah merupakan suatu yang penting untuk meningkatkan performa juga mencegah dari vibration.

Noises berasal dari noise karena pembakaran dan suara mekanis. Suara yang berasal dari mekanis karena adanya gesekan antar komponen. Ketika engine berputar dengan cepat, noise yang ditimbulkan semakin keras. Ketika pengendara memindahkan kecepatan naik atau turun, pada dasarnya pengendara memilih gear yang tepat dengan engine noise. Sehingga, suara dari engine membantu pengendara dalam pengendaraan. Karena itu suara dari engine harus ada tetapi tidak menimbulkan noise. Mechanical noise terjadi karena vibration pada cylinder dan cylinder head karena combustion force. Ketika jumlah campuran bahan bakar meningkat atau tekanan pembakaran menjadi tinggi, maka noise akan semakin keras. Seseorang mungkin merasakan pada turbo engine noise yang ditimbulkan lebih kecil dibanding dengan NA engine. Alasannya adalah turbine meredam

energy exhaust dan variasi tekanan pembakaran kecil. Mechanical sounds berasal dari gesekan dan tumbukan dynamic parts seperti gear, chain, dan valves. Sebagai contoh, cam menumbuk valve lifter, rocker arm dan camshaft menumbuk valve, valve bertumbukan dengan valve seat dan seterusnya. Resonansi noise dari vibration lebih besar dibanding dengan mechanical noise langsung. Sehingga, penyebab dari noise karena engine tidak dapat ditemukan dengan pasti. Bagaimanapun, jika terjadi noise maka hal tersebut tidak baik karena beberapa part dari engine bertabrakan satu dengan yang lainnya dan hal ini tidak baik untuk ketahanan komponen. Jika terdeteksi noise yang tidak normal, silahkan check sistimnya secepat mungkin.

Jika dibandingkan noise yang ditimbulkan oleh combustion dengan mechanical, pada kecepatan rendah, noise yang ditimbulkan oleh combustion lebih keras. Jika rpm nya melebihi 3000rpm, inertial force nya akan lebih besar dan mechanical noise akan besar. Noise dari engine room akan diredam dengan memasang absorbing materials dibawah hood dan didepan dashboard, mengelilingi engine room dan cabin. Bahan yang bisa dipakai untuk meredam noise adalah glass wool, felt dan lainnya [5].

Untuk dapat menganalisa sinyal akustik kedalam domain frekuensi, sinyal terlebih dahulu harus ditransformasi menggunakan Fourier. Transformasi Fourier (TF) direpresentasikan kedalam persamaan matematis seperti pada persamaan 1. TF berjalan sesuai dengan translasi suatu fungsi dalam domain waktu kedalam fungsi dari domain frekuensi. Hasil perhitungan dari transformasi fourier dapat dijadikan bahan dalam menganalisa sinyal akustik, karena nilai-nilai dari koefisien fourier merupakan hasil dari frekuensi-frekuensi sinus dan cosinus yang digunakan dalam TF [6]. Untuk data diskrit, TF disebut sebagai Discrete Fourier Transform (DFT). DFT direpresentasikan kedalam matematis, seperti pada persamaan 2. Pada proses perhitungan menggunakan DFT akan memakan proses komputasi yang sangat banyak dan menghabiskan waktu yang panjang jika jumlah datanya besar. Sehingga untuk membantu proses perhitungan, digunakan algoritma cepat dalam menghitung TF, yaitu dengan algoritma Fast Fourier Transform (FFT).

Parameter yang dapat dibentuk pada domain frekuensi salah satunya adalah Mean Power Frekuensi (MPF). MPF merupakan hasil dari penjumlahan bobot magnitudo disetiap frekuensi yang dibagi dengan jumlah magnitudo. MPF dirumuskan seperti pada persamaan 3 [7].

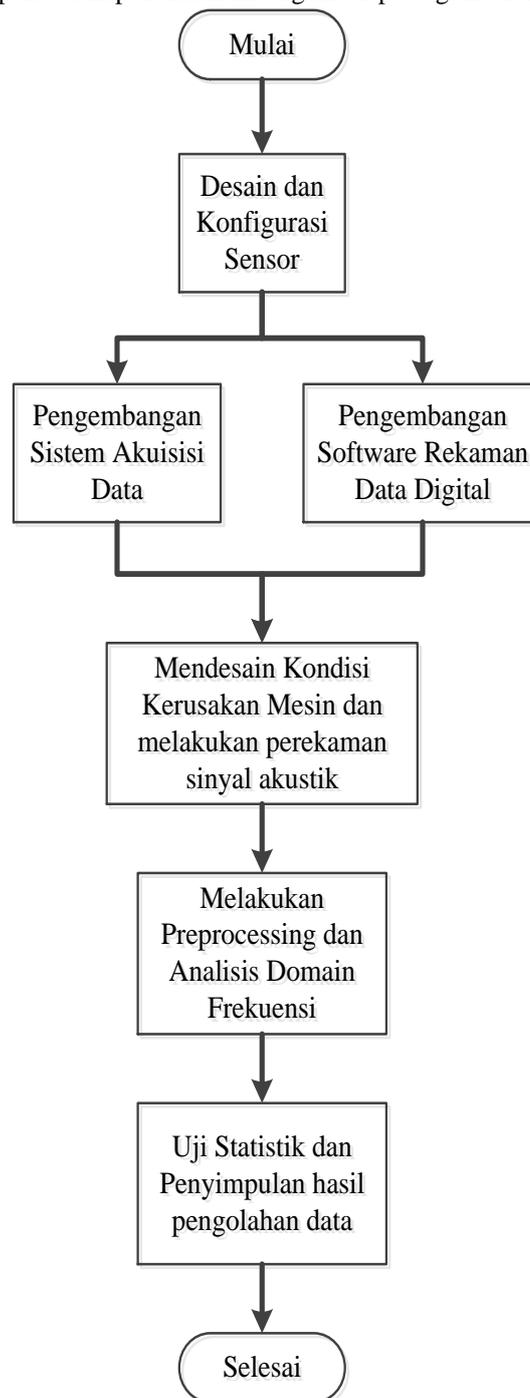
$$F\{x(t)\} = X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t)e^{-j\omega t} dt \quad \dots (1)$$

$$DFT\{x(n)\} = X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n)e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} \quad \dots (2)$$

$$MPF = \frac{\sum_{i=1}^N f(i) \times \text{mag}(i)}{\sum_{i=1}^N \text{mag}(i)} \quad \dots (3)$$

METODE

Penelitian ini dilakukan berdasarkan tahapan-tahapan penting yang dikerjakan dengan berorientasikan kepada indikator keberhasilan dalam merekam fenomena akustik kerja mesin diesel dan mampu untuk menghasilkan parameter-parameter penting dari sinyal akustik yang dapat diidentifikasi berdasarkan setiap kondisi mesin. Untuk dapat mencapai indikator tersebut, maka tahapan-tahapan dalam penelitian ini tergambar pada gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Parameter frekuensi merupakan parameter pengamatan yang dilakukan pada penelitian ini. Hal ini diperoleh berdasarkan studi pendahuluan yang menyatakan bahwa setiap mesin memiliki fenomena akustik yang berbeda-beda untuk setiap kondisi kerusakan. Untuk dapat menjadikan sesuatu hal yang dapat terukur dengan empiris, maka fenomena akustik tersebut dapat diamati berdasarkan warna dari frekuensinya.

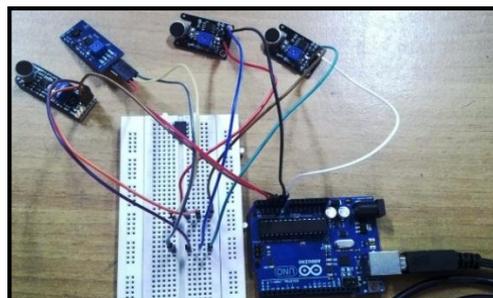
Pengumpulan data dikerjakan menggunakan perangkat lunak yang dikembangkan untuk merekam sinyal akustik yang dihasilkan oleh sensor, data disimpan kedalam bentuk data digital. Konfigurasi pensampilan data menjadi data digital dengan frekuensi sampling sebesar 44 KHz, yakni dua kali dari frekuensi yang terdengar oleh manusia. Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya aliasing dan kehilangan informasi dari sinyal yang dikeluarkan oleh sensor. Sedangkan untuk melakukan analisis data menggunakan analisa domain frekuensi dengan metode transformasi fourier. Sebelum melakukan analisis data, hasil rekaman terlebih dahulu dilakukan proses pemfilteran dengan menggunakan filter digital butterworth orde 2. Setelah menghasilkan data-data berupa parameter frekuensi, maka parameter tersebut dilakukan uji statistik untuk memperoleh ketepatan dalam menentukan ciri khusus disetiap kondisi mesin untuk setiap parameter frekuensinya.

Penelitian ini menggunakan engine stand sebagai objek penelitian, engine stand tersebut dikondisikan terhadap beberapa gejala kerusakan yang dibedakan menjadi dua jenis kerusakan, yaitu :

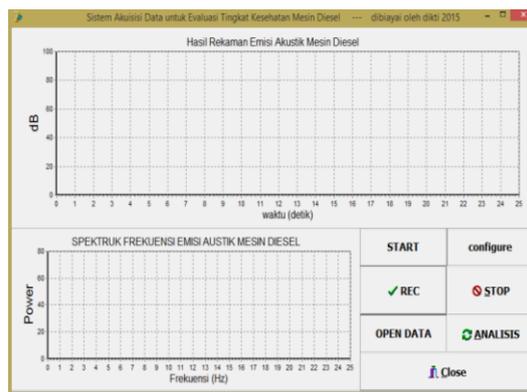
1. Kerusakan yang disebabkan oleh malfunction bagian mekanik mesin akibat beban.
2. Kerusakan yang disebabkan oleh keausan bagian mekanik mesin akibat penggunaan yang terus menerus.

HASIL DAN PEMBAHASAN

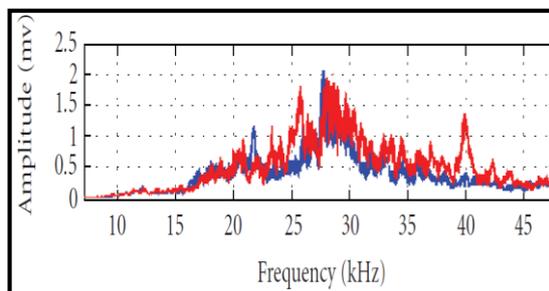
Alat perekam emisi akustik untuk mesin. Terlihat pada gambar 2. Terdapat sensor suara dan pemroses sinyal dari analog. Software antarmuka alat perekam emisi akustik dengan komputer dengan media USB. Tampilan dari software antarmuka ini terlihat pada gambar 3. Tools ekstraksi emisi akustik mejadi parameter frekuensi yang memberikan informasi kerusakan mesin. Contoh ekstraksi terdapat pada gambar 4. Sedangkan untuk hasil perhitungan nilai MPF nya ditunjukkan pada tabel 1.



Gambar 2. Alat perekam emisi akustik mesin



Gambar 3. Software Antarmuka Perekam Emisi Akustik Mesin Diesel



Gambar 4. Hasil Ekstraksi Parameter Frekuensi sinyal Normal Engine Diesel

Tabel 1. Perbandingan nilai MPF disetiap kondisi mesin

| Ke- | Mean Power Frekuensi (Hz) | | | |
|-----|---------------------------|---------|--------------|--------------|
| | Normal | Rusak 1 | Kerusa kan 2 | Kerusa kan 3 |
| 1 | 27.80 | 22.45 | 26.10 | 28.90 |
| 2 | 27.65 | 22.50 | 26.12 | 29.24 |
| 3 | 27.74 | 22.34 | 26.32 | 29.80 |
| 4 | 27.90 | 22.43 | 26.57 | 30.50 |
| 5 | 28.02 | 22.01 | 26.45 | 30.30 |
| 6 | 27.60 | 22.90 | 26.90 | 29.53 |
| 7 | 27.90 | 22.70 | 26.10 | 28.70 |
| 8 | 27.88 | 22.93 | 26.61 | 31.40 |
| 9 | 27.40 | 22.41 | 25.97 | 30.98 |

| | | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 10 | 27.92 | 22.50 | 26.40 | 31.05 |
| Rata-rata | 27.78 | 22.52 | 26.35 | 30.04 |
| SD | 0.19 | 0.27 | 0.29 | 0.95 |

Dari hasil penelitian ini, diperoleh hasil telah dibuatnya alat akuisisi data pada perekaman emisi akustik yang ditimbulkan oleh mesin diesel. Proses kerja alat tersebut, diawali dengan disensingnya emisi akustik yang dihasilkan oleh mesin diesel menggunakan sensor akustik yang diletakkan didekat mesin. Hasil dari sensing dari sensor akustik tersebut menghasilkan sinyal elektrik yang bersifat sinyal analog. Sehingga untuk dapat diproses lebih lanjut, maka sinyal analog tersebut di konversi menjadi sinyal digital. Proses pengkonversian sinyal tersebut terjadi di mikrokontroler. Pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler arduino. Setelah melalui tahapan pengkonversian sinyal, dan secara simultan sinyal digital tersebut dikirim ke komputer menggunakan interface USB. Pada komputer proses penerimaan data menggunakan software Delphi. Data yang diterima oleh komputer disimpan dan kemudian ditampilkan secara time-series dalam sebuah grafik. Hasil data tersebut, kemudian diproses dengan metode ekstraksi frekuensi atau dianalisa dalam domain frekuensi.

Proses perubahan data time-series emisi akustik menjadi domain frekuensi menggunakan transformasi fourier (TF), dengan algoritma fast fourier transform (FFT). Hasil dari transformasi fourier ditampilkan dalam domain frekuensi. Dimana tampilan tersebut menunjukkan kemunculan frekuensi-frekuensi yang muncul pada emisi tersebut. Pada hasil percobaan, diperoleh MPF dari kondisi normal dengan nilai terbaiknya pada 10 kali percobaan adalah 27.78 Hz dengan standar deviasi sebesar 0.19 Hz.

Pada penelitian ini, dilakukan pengidentifikasian kemunculan frekuensi pada 3 kondisi kerusakan. Kerusakan yang diidentifikasi adalah kerusakan pada sistem bahan bakar yang kemudian diberi nama kerusakan 1, kerusakan pada rocker arm yang kocak yang diberi nama kerusakan 2, dan kerusakan pada governor sentrifugal yang disebut kerusakan 3. Pada kerusakan pertama terjadi ketika sistem penyemprotan bahan bakar mengalami kerusakan, yakni tidak sepenuhnya aliran bahan bakar untuk setiap silinder. Pada kerusakan 1, diperoleh nilai MPF terbaiknya adalah 22.52 Hz dengan standar deviasi 0.27 Hz. Nilai MPF pada kerusakan 1 ini lebih rendah dibandingkan dengan kondisi normal, yakni terjadi pergeseran frekuensi sebesar 5.26 Hz lebih rendah dari kondisi normal. Pada kerusakan 2, dimana komponen rocker arm mengalami kekocakan, menimbulkan nilai MPF sebesar 26.35 Hz dengan standar deviasi sebesar 0.29 Hz. Nilai MPF pada kerusakan 2 lebih rendah jika dibandingkan dengan kondisi normal, tetapi lebih tinggi jika dibandingkan dengan kerusakan 1. Akan tetapi pada kerusakan 2 ini, nilai MPF tidak terlalu jauh berbeda, yakni bergeser lebih rendah sebesar 1.43 Hz dari nilai MPF pada kondisi normal. Hal ini menunjukkan terdapat kemiripan yang relatif lebih tinggi jika dibandingkan kondisi normal. Jika dilihat pada

kondisi kerusakan, kerusakan rocker arm yang kocak, biasanya memang sedikit sulit untuk dideteksi, kecuali dengan cara membongkar mesin.

Sedangkan pada kondisi kerusakan 3, nilai MPF nya adalah 30.04 Hz dengan standar deviasi sebesar 0.95 Hz. Kondisi kerusakan ini, memiliki nilai MPF yang lebih besar dari kondisi normal ataupun dari kedua kerusakan yang lain. Dan kerusakan pada governor sentrifugal merupakan kerusakan yang relatif mudah untuk dideteksi. Pada hasil penelitian ini, diperoleh identifikasi yang jelas pada setiap kondisi, kecuali pada kondisi kerusakan 2 yang memiliki pergeseran nilai MPF yang lebih rendah terhadap kondisi normal, sehingga sedikit sulit jika harus menetapkan kondisi mesin dengan kerusakan tersebut. Penelitian ini dapat dilanjutkan dengan melakukan pendalaman analisis terhadap sinyal dari emisi akustik ini. Dimana pada penelitian ini hanya menggunakan analisa domain frekuensi saja, maka pada penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan melakukan analisis pada domain frekuensi dan domain waktu secara bersamaan. Sehingga setiap frekuensi dapat dihitung waktu kemunculannya dan akan memperoleh pola frekuensi dan waktu untuk setiap kondisinya. Hal ini tentunya akan meningkatkan ekstraksi informasi yang terkandung dalam setiap emisi akustik mesin diesel.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini disimpulkan bahwa telah dirancang alat perekam emisi akustik mesin diesel yang mampu merekam emisi akustik yang dihasilkan dari 4 kondisi mesin, yaitu kondisi normal, kerusakan pada sistem bahan bakar, kerusakan pada rocker arm yang kocak, dan kerusakan pada governor sentrifugal. Emisi akustik yang telah terekam tersebut, diekstraksi menjadi domain frekuensi menggunakan transformasi fourier dengan metode FFT, yang untuk memperoleh parameter frekuensi menggunakan perhitungan MPF. Dari hasil identifikasi, diperoleh nilai MPF untuk kondisi normal adalah 27.78 Hz dengan standar deviasi 0.19 Hz, pada kerusakan 1 sebesar 22.52 standar deviasi sebesar 0.27 Hz, kerusakan 2 sebesar 26.35 Hz standar deviasi sebesar 0.29, sedangkan pada kerusakan 3 nilai MPV adalah 30.04 dengan standar deviasi sebesar 0.95.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dibiaya oleh dana riset dari Dirjen Dikti Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Negara Republik Indonesia pada tahun 2015

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Sik and B. Keun, 2011, "Machinery Faults Detection Using Acoustic Emission Signal," in *Acoustic Waves - From Microdevices to Helioseismology*, M. G. Beghi, Ed. InTech.
- [2] Sukoco, Arifin. Zainal, 2013, "Teknologi Motor Diesel", Alfabeta.
- [3] Daryanto, 1984, "Perencanaan Motor Diesel dan Bensin 4 Langkah", Tarsito.

-
- [4] Albarbar. A, Gub. F, Ball. A.D, Starr. A, 2010, "Acoustic monitoring of engine fuel injection based on adaptive filtering techniques", *Applied Acoustics*.
- [5] Tim Hyundai, 2009, "Prinsip dasar engine", Pusat pelatihan Hyundai.
- [6] D. Zhen, T. Wang, F. Gu, and A. D. Ball, 2013, "Fault diagnosis of motor drives using stator current signal analysis based on dynamic time warping," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 34, no. 1–2, pp. 191–202.
- [7] J. Jiang, F. Gu, R. Gennish, D. J. Moore, G. Harris, and A. D. Ball, 2008, "*Monitoring of diesel engine combustions based on the acoustic source characterisation of the exhaust system*," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 22, no. 6, pp. 1465–1480.