

Deteksi Kerusakan Roller pada *Distributor Injection Pump VE-Type*

Menggunakan Sinyal Suara

Febliil Huda^{a,1}, Rahmid Farezi^a,

^aProgram Studi Teknik Mesin, Universitas Riau, Pekanbaru, Riau

¹febliil.huda@eng.unri.ac.id

ABSTRACT

The injection pump is a crucial component in the diesel fuel system that requires careful monitoring to ensure its optimal function. Various methods have been studied to improve the detection of injection pump damage, with vibration measurement being a commonly used method. However, this method has drawbacks because the sensor must be mounted on the test object, which can pose risks to the operator and require expensive equipment. This study utilizes a microphone as a non-contact sensor to detect VE-type injection pump roller damage through sound signals. Artificial damage is applied to the roller, and the sound signal is captured using a microphone, a data acquisition system, and a personal computer. The signal data is then analyzed using the Fast Fourier Transform (FFT) and scalogram wavelet transform to identify damage. Experiments are conducted on a test bench machine, and the results indicate that the sound signal from the injection pump can reveal the pump condition and detect damage to the roller based on the characteristics of the detected signal.

Keywords: Sound Signal, Roller Damage, Injection Pump, and the wear rate will generally decrease.

Received 2 September 2024; **Presented** 2 Oktober 2024; **Publication** 20 Januari 2025

DOI: 10.71452/590652

PENDAHULUAN

Mesin diesel merupakan jenis mesin pembakaran dalam yang dikenal memiliki efisiensi tinggi. Salah satu komponen penting dalam sistem bahan bakarnya adalah pompa injeksi, yang berfungsi mengirimkan bahan bakar dari tangki ke nosel injektor untuk diatomisasi selama proses pembakaran.

Metode empiris dapat digunakan untuk memperkirakan umur komponen mesin, namun kerusakan tetap dapat terjadi secara tiba-tiba, seperti kerusakan pada roller pompa injeksi tipe VE yang umum terjadi. Penelitian oleh Ftoutou et al [1]. mendeteksi kerusakan pada mesin diesel menggunakan piezoelectric accelerometer yang ditempatkan pada tujuh posisi di blok mesin dan kepala silinder. Pada kecepatan idle, kerusakan hanya dapat terdeteksi di sekitar silinder yang bermasalah melalui analisis fitur PP dan RMS. Penelitian ini juga mengungkap bahwa analisis sinyal getaran pada nosel pipa injeksi bahan bakar dapat mengekstraksi parameter penting seperti sudut injeksi bahan bakar,

yang bermanfaat untuk mengidentifikasi kondisi injeksi [2].

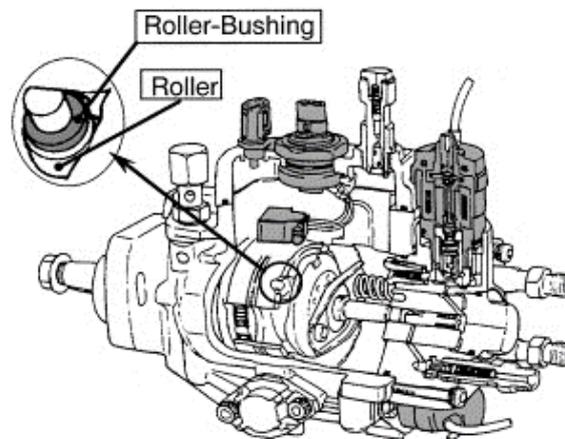
Selain itu, Alhouli et al [3]. menemukan bahwa sinyal getaran pada mesin diesel mengandung informasi yang kaya mengenai parameter operasional dan kondisi fisik mesin. Mereka menyarankan penggunaan metode Wigner Trispectrum untuk menganalisis sinyal getaran yang bersifat non-linear dan non-stationary [4]. Wang dan Duan [5] mengusulkan metode baru yang menggabungkan dekomposisi gelombang lokal dan wavelet denoising untuk ekstraksi fitur sinyal getaran mesin diesel, yang terbukti efektif dalam menilai kondisi kerusakan mesin. Penelitian oleh Jin et al [6]. menunjukkan bahwa kombinasi sinyal getaran dengan tekanan silinder dan sinyal kecepatan putaran dapat digunakan untuk mendiagnosis kesalahan pembakaran dan kebocoran katup, dengan metode dekomposisi wavelet digunakan untuk ekstraksi fitur dalam penelitian ini. Di sisi lain, Zabihi-Hesari et al [7]. berhasil membedakan kondisi normal dan rusak pada mesin diesel dengan menggunakan fast Fourier transform, transformasi wavelet diskrit, dan jaringan saraf tiruan. Dalam konteks teknik diagnostik yang lebih sederhana, Liu, Gu, dan Ball [8] mengembangkan metode partial sampling dan feature averaging (PSFA), yang terbukti efisien dan mudah

diterapkan. Huda dan Anggriawan [9] juga menunjukkan bahwa analisis sinyal suara dapat memberikan informasi mengenai kondisi motor induksi, memungkinkan deteksi kerusakan tanpa kontak fisik. Huda dan Darman [10] memperlihatkan bahwa sinyal suara dapat digunakan untuk mendeteksi fenomena chatter pada proses turning, sedangkan Huda bersama [11] menunjukkan bahwa analisis sinyal suara juga dapat digunakan untuk mendiagnosis keausan pahat pada mesin perkakas. Penelitian terbaru sinyal suara dapat mendeteksi unbalance pada rotor dinamik [12] dan kerusakan cam plate pada pompa injeksi tipe VE [13]. Berdasarkan latar belakang tersebut, tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan metode analisis sinyal getaran dan suara yang lebih efektif dalam mendeteksi kerusakan pada mesin diesel, dengan fokus pada pendeteksian

kerusakan roller pada *distributor Injection Pump VE-Type* menggunakan sinyal suara.

METODOLOGI

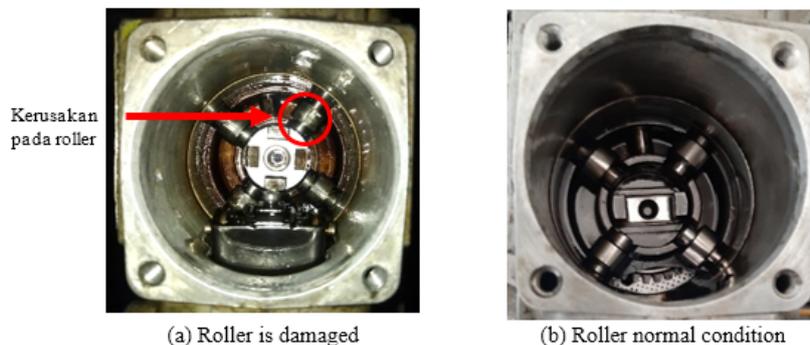
Pompa injeksi distributor tipe VE dirancang dengan plunger tunggal untuk mengatur banyaknya bahan bakar yang diinjeksikan dengan tepat dan membagi pemberian bahan bakar ke setiap silinder mesin sesuai dengan urutan penginjeksiannya [14]. Keuntungan dari pompa injeksi distributor tipe VE yaitu membutuhkan tempat yang lebih sempit karena bendanya kecil dan pembagian bahan bakar ke semua silinder rata karena menggunakan 1 plunger. Struktur pompa injeksi distributor tipe VE dapat dilihat dengan jelas pada Gambar 1, yang menunjukkan posisi roller pada pompa injeksi distributor tipe VE.



Gambar 1. Struktur pompa injeksi distributor tipe VE

Pada penelitian ini untuk mendeteksi kerusakan yang terjadi pada roller adalah dengan membandingkan karakteristik sinyal suara yang dihasilkan oleh pompa

injeksi distributor tipe VE kondisi normal dengan pompa injeksi kondisi roller mengalami kerusakan. Posisi kerusakan/kerusakan yang terjadi di roller dapat dilihat pada gambar 2, sebagai berikut.

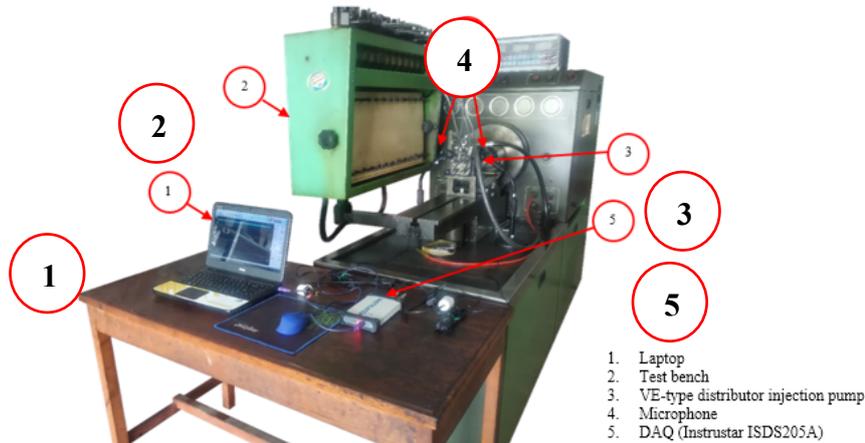


Gambar 2. Pemasangan pelat bubungan pada pompa injeksi distributor tipe VE

Test Set Up

Pada penelitian ini, dilakukan pendeteksian kerusakan yang terdapat pada pompa injeksi distributor tipe VE. Kerusakan yang diberikan yaitu kerusakan pada permukaan roller. pengujian dilakukan dengan cara meletakkan pompa injeksi di mesin test bench ditampilkan pada Gambar 3. Pengujian dilakukan dengan menggunakan mikrofon sebagai penangkap sinyal suara dari pompa injeksi. Microphone merupakan salah satu sensor penangkap sinyal suara

dengan harga yang murah serta penggunaannya tanpa harus kontak terhadap alat yang akan diuji [15]. PC (Personal Computer) memiliki fungsi untuk mengolah data sinyal suara dan digunakan untuk wadah penyimpanan sinyal suara yang telah diterima dari pompa injeksi distributor tipe VE. Pengolahan sinyal suara ini menggunakan metode transformasi FFT (Fast Fourier Transform) dimana domain waktu memandang getaran sebagai amplitudo terhadap waktu, yang memberikan fenomena getaran secara fisik [16], WT (Wavelet Transform) dan scalogram untuk menggambarkan data dan menganalisa data. Data domain waktu ditransformasikan menjadi data domain frekuensi menggunakan metode Fast Fourier Transform (FFT) [17].



Gambar 3. Set-up uji pompa injeksi distributor tipe VE [13]

Injection Pump Testing Under Normal Conditions

Sebelum pengujian untuk pompa injeksi kondisi normal dilakukan proses kalibrasi terlebih dahulu. Proses kalibrasi dilakukan dengan memasang pompa injeksi pada alat kalibrasi (test bench) dan menghubungkan pompa injeksi dengan motor penggerak, kemudian menghubungkan solenoid dengan listrik bertegangan 12 V agar solenoid membuka dan bahan bakar bisa mengalir. Proses kalibrasi dilakukan pada putaran pompa injeksi tertentu sesuai dengan standar pengujian lalu diamati pada gelas ukur jumlah minyak yang didistribusikan oleh pompa injeksi. Setelah pompa injeksi selesai dikalibrasi, selanjutnya adalah pengujian pompa injeksi kondisi normal. Pencuplikan data sinyal suara dari pompa injeksi kondisi normal dilakukan pada variasi kecepatan putaran pompa injeksi 300, 400, 600 dan 800 rpm.

Pengujian Kondisi 2 Roller Mengalami Kerusakan

Pengujian pompa injeksi kondisi 2 roller mengalami kerusakan, roller diberikan kerusakan dalam bentuk coak dengan dimensi, yakni panjang 7 mm, lebar 2 mm dengan kedalaman 1 mm. Adapun tahapan pengujian pada kondisi 2 roller mengalami kerusakan sama dengan pengujian kondisi normal. Kondisi 2 roller kerusakan, ditampilkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Kerusakan di 2 roller

Pengujian Kondisi 4 Roller Mengalami Kerusakan

Pengujian pompa injeksi kondisi 4 roller mengalami kerusakan, roller diberikan kerusakan dalam bentuk

coak, yakni memiliki dimensi yang sama dengan kerusakan pada 2 roller sebelumnya. Kondisi 4 roller kerusakan, ditampilkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Kerusakan di 4 roller

HASIL DAN PEMBAHASAN

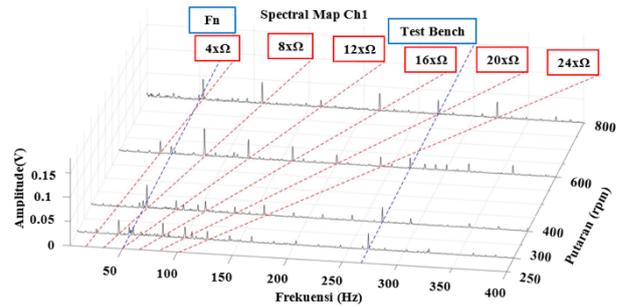
Analisis hasil dan pembahasan pada bagian ini merupakan hasil data yang diperoleh sesuai dengan yang disajikan pada bagian metodologi. Pengambilan data diawali dengan mempersiapkan set up pengujian berupa pompa injeksi distributor tipe VE, PC-Oscilloscope, mikrofon dan tachometer. Selanjutnya dilakukan pengambilan data untuk setiap variasi pengujian, kemudian data diolah dengan menerapkan metode FFT, envelope, wavelet transform dan scalogram setelah itu dianalisis sesuai dengan kondisi pengujian yang dilakukan. Durasi pencuplikan data dilakukan selama 3 detik untuk semua kondisi pompa injeksi.

Pengujian pada kondisi normal

Hasil pencuplikan data sinyal suara dari pompa injeksi dalam kondisi normal pada kecepatan putaran 300, 400, 600, dan 800 rpm diolah menggunakan metode windowing hanning, FFT, envelope, wavelet transform, dan scalogram. Data hasil pengujian yang telah melalui proses windowing hanning dan envelope digabungkan dalam sebuah *spectral map* yang menampilkan amplitudo dan frekuensi sinyal suara pada berbagai kecepatan putaran pompa injeksi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

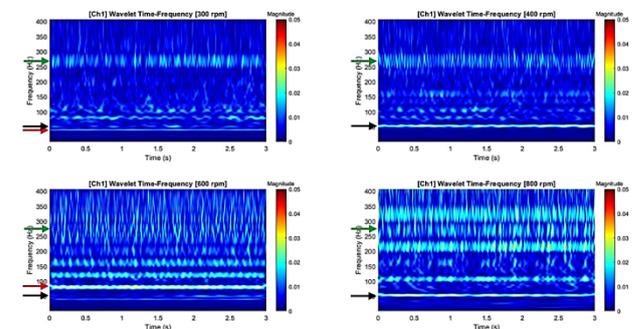
Untuk memahami sinyal suara yang terganggu pada kecepatan putaran tertentu, dapat dilihat pada sumbu putaran (rpm), dengan frekuensi pada sumbu horizontal (Hz) dan amplitudo pada sumbu vertikal (v). Dari spectral map mesin test bench pada kondisi normal, terlihat puncak-puncak sinyal pada frekuensi tertentu yang berubah sesuai kecepatan putaran pompa, muncul pada harmonik $4n \times \Omega$. Frekuensi dengan puncak tertinggi selalu muncul pada $8 \times \Omega$,

sementara amplitudo pada frekuensi harmonik lainnya lebih besar dibandingkan $1 \times \Omega$.



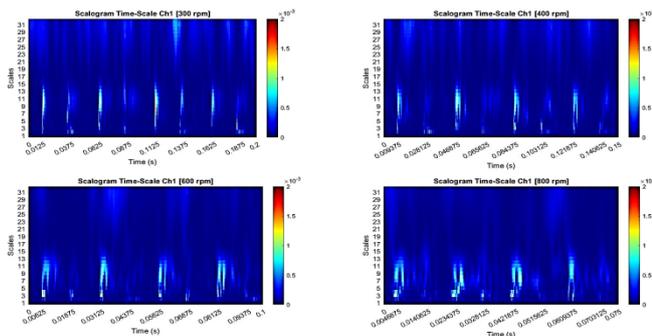
Gambar 6. *Spectral map* sinyal suara pompa injeksi kondisi normal

Hal ini disebabkan oleh delapan dentuman yang dihasilkan oleh cam plate yang bergerak di atas roller pada pompa injeksi distributor tipe VE, empat saat roller menaiki puncak cam dan empat saat roller menggelinding menuju dasar cam plate.



Gambar 7. Tampilan waktu-frekuensi transformasi wavelet sinyal suara pompa injeksi normal untuk setiap variabel kecepatan rotasi pompa injeksi

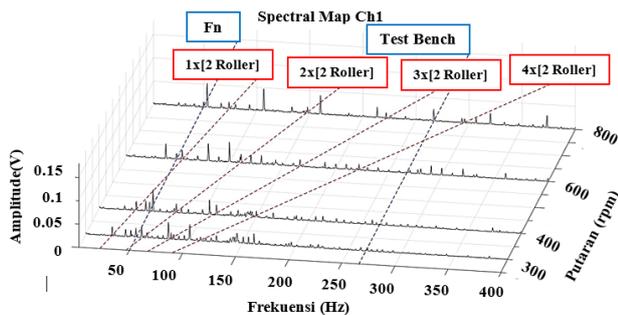
Ini menunjukkan bahwa pompa injeksi dalam kondisi normal. Pada spectral map, panah hitam menunjukkan natural frequency (50 Hz), panah merah menunjukkan frekuensi dengan amplitudo tertinggi, dan panah hijau menunjukkan frekuensi dari mesin test bench (266,67 Hz). Hasil wavelet transform pada mesin test bench ditampilkan di Gambar 7. Scalogram pada Gambar 8 menunjukkan bahwa dalam satu putaran pompa injeksi, terjadi delapan dentuman, terbagi dalam dua karakteristik, dengan empat dentuman memiliki magnitudo lebih tinggi karena perbedaan karakteristik sinyal suara saat roller menaiki dan meninggalkan puncak cam. Magnitudo tinggi berada pada skala 2 hingga 13 dengan nilai $0,5 \times 10^{-3}$ hingga $0,8 \times 10^{-3}$.



Gambar 8. Skalogram sinyal suara pompa injeksi pengujian kondisi normal pada kendaraan untuk setiap kecepatan putaran pompa injeksi yang divariasikan

Pengujian Pompa Injeksi Kondisi 2 Roller Mengalami Kerusakan

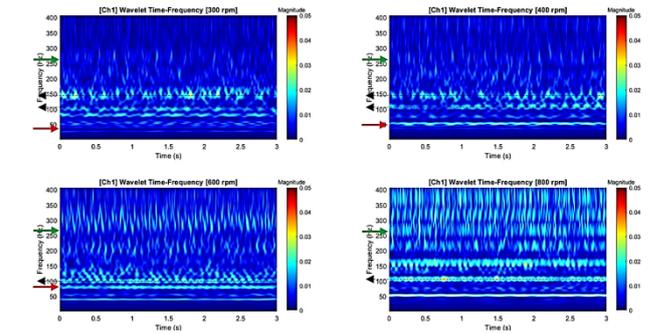
ada spectral map kondisi pompa injeksi dengan kerusakan pada 2 roller, terlihat frekuensi harmonik pada 27,73 Hz untuk putaran 300 rpm, 37,69 Hz pada 400 rpm, 55,46 Hz pada 600 rpm, dan 73,97 Hz pada 800 rpm, semuanya disertai frekuensi harmoniknya. Pada putaran 300 dan 400 rpm juga muncul frekuensi baru dalam rentang 140-150 Hz. Frekuensi 106,67 Hz dengan amplitudo tinggi muncul pada putaran 300 dan 600 rpm, dan meningkat pada 400 dan 800 rpm. Grafik wavelet transform view untuk kondisi ini ditampilkan di Gambar 9.



Gambar 9. Spectral map sinyal suara pompa injeksi kondisi 2 roller mengalami kerusakan pengujian pada mesin test bench untuk tiap kecepatan putaran pompa injeksi yang divariasikan

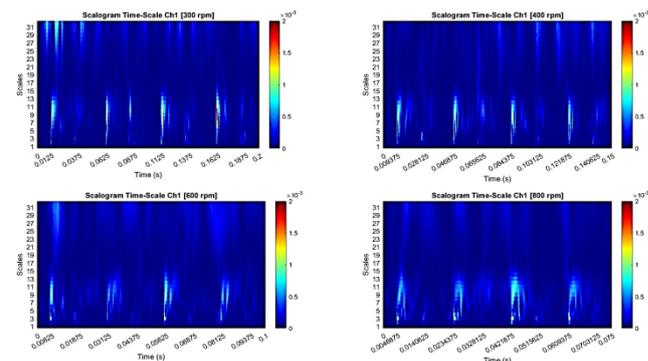
Pada wavelet transform view time-frequency pompa injeksi dengan kerusakan pada 2 roller, puncak tertinggi tidak berada pada $8 \times \Omega$, menunjukkan bahwa pompa tidak dalam kondisi normal. Amplitudo tinggi terdeteksi pada skala wavelet yang lebih tinggi. Frekuensi 27,73 Hz (300 rpm), 37,69 Hz (400 rpm), 55,46 Hz (600 rpm), dan 73,97 Hz (800 rpm) kurang jelas karena amplitudo rendah. Panah hitam menunjukkan frekuensi 80 Hz dan 146 Hz, panah merah menunjukkan $8 \times \Omega$, dan panah hijau menunjukkan frekuensi mesin test bench (266,67 Hz) di Gambar 10a. Gambar 10b menunjukkan frekuensi 100,67 Hz dan $4 \times \Omega$ dengan amplitudo tertinggi saat

pompa dalam kondisi normal. Scalogram untuk kondisi kerusakan ditampilkan di Gambar 10.



Gambar 10. Sinyal suara pompa injeksi kondisi roller 2 frekuensi waktu-tampilan transformasi wavelet rusak untuk setiap kecepatan putaran pompa injeksi yang bervariasi

Karakteristik sinyal suara pompa injeksi pada kondisi 2 roller mengalami kerusakan, dapat dilihat dari *wavelet transform view time-frequency* bahwa puncak tertinggi tidak berada pada $8 \times \Omega$. Hal ini menunjukkan pompa injeksi tidak dalam kondisi normal, pada gambar sinyal kondisi 2 roller mengalami kerusakan dari *wavelet transform* dimana semakin tinggi nilai skala *wavelet*, maka amplitudo yang terjadi memiliki nilai yang tinggi. Untuk frekuensi 27,73 Hz pada putaran 300 rpm, frekuensi 37,69 Hz pada putaran 400 rpm, frekuensi 55,46 Hz pada putaran 600 rpm dan frekuensi 73,97 Hz pada putaran 800 rpm tidak begitu tampak dengan jelas pada *wavelet transform view time-frequency* hal ini disebabkan karena pada frekuensi tersebut memiliki amplitudo yang rendah. Panah berwarna hitam menunjukkan frekuensi 80 Hz dan frekuensi 146 Hz, panah berwarna merah menunjukkan frekuensi $8 \times \Omega$ dan panah warna hijau menunjukkan frekuensi dari mesin *test bench*, yaitu pada 266,67 Hz yang terdapat pada Gambar 13 bagian a. Bagian b pada Gambar 13 panah berwarna hitam menunjukkan frekuensi 100,67 Hz dan panah berwarna merah menunjukkan frekuensi $4 \times \Omega$ yang merupakan frekuensi dengan amplitudo tertinggi ketika pompa injeksi dalam kondisi normal. *Scalogram* untuk sinyal suara pompa injeksi kondisi 2 roller mengalami kerusakan untuk tiap kecepatan putaran pompa injeksi yang divariasikan pada Gambar 11.

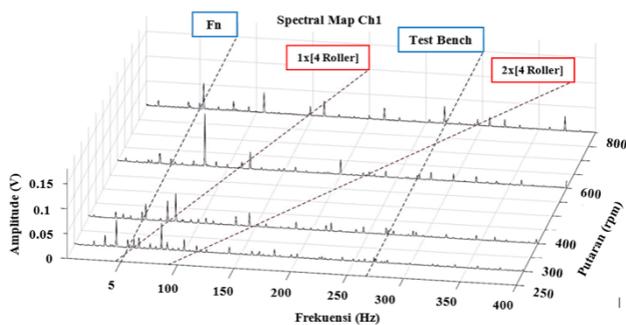


Gambar 11. Scalogram sinyal suara pompa injeksi kondisi 2 roller mengalami kerusakan untuk tiap kecepatan putaran pompa injeksi yang divariasikan

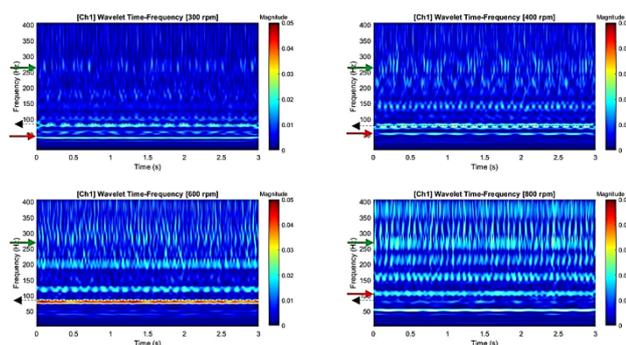
Dari *scalogram time-scale* kondisi pompa injeksi mengalami kerusakan pada 2 roller yang ditampilkan Gambar 11 dapat diamati pada rentang skala 2 sampai 13 terlihat mengalami peningkatan *magnitude* jika dibandingkan dengan kondisi normal. Dengan besar nilai *magnitude* berada pada rentang $0,8 \times 10^{-3}$ hingga $1,75 \times 10^{-3}$ untuk hasil pengujian pada mesin *test bench* sedangkan untuk pengujian pada kendaraan berada pada rentang $0,6 \times 10^{-3}$ hingga $1,2 \times 10^{-3}$.

Pengujian Pompa Injeksi Kondisi 4 Roller Mengalami Kerusakan

Pada spectral map pompa injeksi dengan kerusakan pada 4 roller, terdeteksi frekuensi dan harmoniknya yang berubah sesuai kecepatan putaran. Pada 300 rpm, muncul frekuensi 55,46 Hz dan harmoniknya; pada 400 rpm, frekuensi 72,42 Hz; pada 600 rpm, frekuensi 112,67 Hz; dan pada 800 rpm, frekuensi baru 147,89 Hz dan harmoniknya. Frekuensi 80 Hz muncul dengan amplitudo tertinggi dari 300 rpm hingga 600 rpm, tetapi tidak pada 800 rpm. Pada kondisi kerusakan yang sama, frekuensi 58,23 Hz (300 rpm), 69,70 Hz (400 rpm), 116,42 Hz (600 rpm), dan 146,96 Hz (800 rpm) muncul dengan harmoniknya. Spektral map kerusakan 4 roller dapat dilihat pada gambar 12. Grafik *wavelet transform view time-frequency* untuk sinyal suara pompa injeksi kondisi 4 roller mengalami kerusakan untuk tiap kecepatan putaran pompa injeksi yang divariasikan, ditampilkan pada Gambar 13.

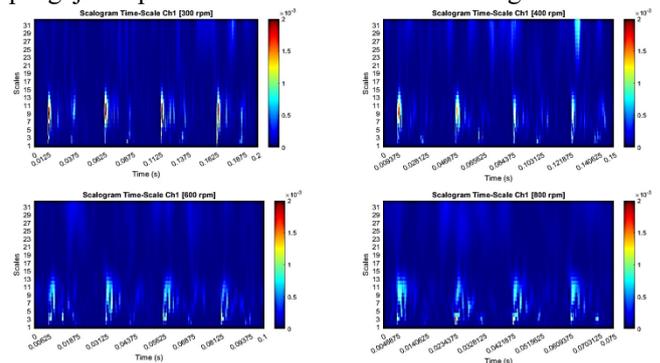


Gambar 12. Spectral map sinyal suara pompa injeksi kondisi roller mengalami kerusakan untuk tiap kecepatan putaran pompa injeksi yang divariasikan



Gambar 13. Tampilan wavelet transform waktu-frekuensi sinyal suara pompa injeksi kondisi 4 roller rusak untuk setiap kecepatan putaran pompa injeksi yang divariasikan

Pada wavelet transform view time-frequency pompa injeksi dengan kerusakan pada 4 roller, puncak tertinggi tidak hanya muncul pada $8 \times \Omega$ atau $4 \times \Omega$, tetapi juga pada frekuensi 80 Hz, menunjukkan bahwa pompa tidak dalam kondisi normal. Frekuensi 58,23 Hz (300 rpm), 69,70 Hz (400 rpm), 116,46 Hz (600 rpm), dan 146,96 Hz (800 rpm) kurang jelas karena amplitudo rendah. Gambar 18a menunjukkan frekuensi 80 Hz (hitam), $8 \times \Omega$ (merah), dan frekuensi mesin test bench (266,67 Hz, hijau), sementara Gambar 18b menunjukkan frekuensi 80 Hz (hitam) dan $4 \times \Omega$ (merah). Scalogram untuk kondisi ini ditampilkan di Gambar 13. Dari *scalogram time-scale* kondisi 4 roller mengalami kerusakan dapat diamati besar nilai *magnitude* berada pada rentang $0,8 \times 10^{-3}$ hingga $1,9 \times 10^{-3}$ ketika pengujian pada mesin *test bench* sedangkan untuk



pengujian pada kendaraan nilai *magnitude* berada pada rentang $0,8 \times 10^{-3}$ hingga $1,3 \times 10^{-3}$.

Gambar 13. Skalogram sinyal suara pompa injeksi kondisi 4 roller rusak untuk setiap kecepatan putaran pompa injeksi yang divariasikan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen dan pengolahan data yang telah dilakukan, penelitian ini menyimpulkan bahwa kerusakan pada pompa injeksi distributor tipe VE, khususnya pada komponen cam plate dan roller, dapat dideteksi dengan membandingkan sinyal suara yang dihasilkan oleh pompa injeksi dalam kondisi normal dengan sinyal suara yang dihasilkan saat mengalami kerusakan. Metode yang digunakan dalam analisis ini adalah Fast Fourier Transform, wavelet transform, dan scalogram.

Kerusakan pada cam plate ditandai dengan meningkatnya amplitudo pada frekuensi harmonik $4 \times \Omega$, yang disertai dengan peningkatan amplitudo pada frekuensi 80 Hz. Sementara itu, kerusakan pada roller ditandai dengan munculnya frekuensi harmonik baru yang merupakan frekuensi aktif, di mana frekuensi kerusakan akan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan putaran pompa injeksi.

Kerusakan pada cam plate ditandai dengan meningkatnya amplitudo pada frekuensi harmonik $4 \times \Omega$, yang disertai

dengan peningkatan amplitudo pada frekuensi 80 Hz. Sementara itu, kerusakan pada roller ditandai dengan munculnya frekuensi harmonik baru yang merupakan frekuensi aktif, di mana frekuensi kerusakan akan meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan putaran pompa injeksi.

Karakteristik sinyal suara juga berbeda tergantung pada kondisi pemasangan pompa injeksi. Ketika pompa injeksi dipasang pada mesin test bench, frekuensi dengan amplitudo tertinggi berada pada $8 \times \Omega$, sedangkan ketika pompa injeksi dipasang pada kendaraan, frekuensi dengan amplitudo tertinggi berada pada $4 \times \Omega$.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Ftoutou, M. Chouchane, N. Besbès, and R. Ouali, "Detection of diesel engine misfire by vibration analysis in the time domain," *positions*, vol. 6, pp. 2–4, 2020.
- [2] Z. Wang, "Study on fault diagnosis of fuel injection based on vibration signal analysis of high-pressure fuel injection pipe," *Applied Physics Research*, vol. 1, no. 2, p. 102, 2009.
- [3] Y. Alhouli, A. Alkhaledi, A. Alzayedi, M. Alardhi, and A. I. Abed, "Study of diesel engine vibration condition monitoring," *Global Journal of Researches in Engineering*, vol. 15, no. 6, pp. 37–44, 2015.
- [4] S. Xiaochun and H. Hongying, "Diesel engine fault diagnosis and classification," in *2006 8th international Conference on Signal Processing*, IEEE, 2006.
- [5] F. Wang and S. Duan, "Fault diagnosis of diesel engine using vibration signals," in *International Conference on Intelligent Computing and Information Science*, Springer, 2011, pp. 285–290.
- [6] C. Jin, W. Zhao, Z. Liu, J. Lee, and X. He, "A vibration-based approach for diesel engine fault diagnosis," in *2014 International Conference on Prognostics and Health Management*, IEEE, 2014, pp. 1–9.
- [7] A. Zabihi-Hesari, S. Ansari-Rad, F. A. Shirazi, and M. Ayati, "Fault detection and diagnosis of a 12-cylinder trainset diesel engine based on vibration signature analysis and neural network," *Proc Inst Mech Eng C J Mech Eng Sci*, vol. 233, no. 6, pp. 1910–1923, 2019.
- [8] S. Liu, F. Gu, and A. Ball, "Detection of engine valve faults by vibration signals measured on the cylinder head," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*, vol. 220, no. 3, pp. 379–386, 2006.
- [9] F. Huda, A. Anggriawan, and M. Rusli, "The using of sound signal and simple microphone to detect damages in induction motor," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, 2019. doi: 10.1088/1757-899X/539/1/012034.
- [10] F. Huda, D. Darman, and M. Rusli, "Chatter detection in turning process using sound signal and simple microphone," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, May 2020. doi: 10.1088/1757-899X/830/4/042027.
- [11] F. Huda, K. Karjuni, and M. Rusli, "Cutting tool wear analysis using sound signal and simple microphone," in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Institute of Physics Publishing, May 2020. doi: 10.1088/1757-899X/830/4/042028.
- [12] F. Huda, A. Saputra, M. Akbar, and M. Rusli, "The potential use of sound signals in the balancing of rotordynamics," in *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing, 2023.
- [13] F. Huda, R. Farezi, and M. Rusli, "The experimental study of Cam plate damage detection on VE-type distributor injection pump by using sound signal," in *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing, 2024.
- [14] R. Syahyuniar, "Kalibrasi Pompa Injeksi Tipe Distributor Dalam Persamaan Aliran Bahan Bakar Terhadap Konsumsi Tiap Silinder Engine Diesel," *Jurnal Elemen*, vol. 4, no. 2, p. 61, 2017, doi: 10.34128/je.v4i2.49.
- [15] A. Saputra *et al.*, "Balancing rotor dinamik menggunakan sinyal suara," *Jom FTEKNIK*, pp. 1–8, 2018.
- [16] F. D. Junianto *et al.*, "Deteksi kelonggaran baut dengan menggunakan sinyal suara 1)," vol. 5, pp. 1–5, 2018.
- [17] M. H. Silalahi and F. Huda, "Deteksi kerusakan pada plat dengan menggunakan sinyal suara," *Jom FTEKNIK*, vol. 7, no. 2, pp. 1–5, 2020.