

## Gear fault detection using Wavelet Transformation Method/Morlet Wavelet

R. Lullus Lambang G Hidayat<sup>1,\*</sup> dan Budi Santoso<sup>1</sup>

Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret - Surakarta

\*Korespondensi: lulus\_l@staff.uns.ac.id

**Abstract.** Detection of machine component failure is very important to be properly applied in a maintenance program in industries. The objective of this research is to detect gear fault based on an acoustic emission signal. The signal generated by a pairs of gear rotated at 1200 RPM. A spur gear with 28 teeth is employed. Continuous Wavelet Transforms (CWT) is used to obtain time-frequency signal representation (scalogram). Furthermore gear fault detection is performed by observing pattern in scalogram. Unlike gear fault detection based on high or low amplitudes of gear mesh frequency corresponding to severity of gear fault, scalogram shows spatial data pattern correspond to the severity of gear fault. In addition, the severity level (gear with 25%, 50%, 75% and 100% tooth-cut) is able to be detected qualitatively. The results have showed that CWT is able to detect gear fault and the corresponding severity level so that it can be a complement of condition based maintenance program based on vibration signal.

**Abstrak.** Deteksi kegagalan komponen mesin sangat penting dilakukan dengan tepat dalam program perawatan mesin di industri. Penelitian ini bermaksud untuk mendeteksi kerusakan roda gigi berdasarkan sinyal emisi akustik. Sinyal emisi akustik berasal dari struktur 2 buah roda gigi lurus yang bertautan yang diputar pada kecepatan konstan 1200 rpm. Tiap roda gigi mempunyai 28 gigi. Continuous Wavelet Transform (CWT) digunakan untuk menampilkan sinyal dalam domain waktu-frekuensi. Selanjutnya deteksi kerusakan roda gigi dilakukan dengan mengamati pola-pola yang ditampilkan oleh scalogram. Tidak seperti pada deteksi kerusakan gigi roda gigi berdasarkan signature getaran yang menampilkan frekuensi gearmesh dan amplitudo yang rendah atau tinggi sesuai dengan tingkat kerusakan, pola pada scalogram memungkinkan untuk mengamati data spatial ketika frekuensi yang berkaitan dengan kerusakan terjadi. Selain itu besarnya tingkatan kerusakan (gigi roda gigi patah 25%, 50%, 75% dan 100%) juga dapat dideteksi secara kualitatif. Hasil penelitian telah menunjukkan bahwa CWT dapat digunakan untuk deteksi kerusakan roda gigi dan tingkatan kerusakannya sehingga dapat digunakan untuk melengkapi kegiatan perawatan berbasis kondisi (condition based maintenance) yang menggunakan data getaran mesin.

**Kata kunci:** CWT, emisi akustik (EA), scalogram, roda gigi

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

### Pendahuluan

Mesin rotasi banyak digunakan untuk pembangunan daya dan transmisi dalam pabrik industri. Unit roda gigi terdapat pada mesin-mesin yang berfungsi untuk meneruskan kecepatan dan torsi antar-poros. Roda gigi juga banyak digunakan dalam bidang otomotif, *wind turbine*, turbin uap dan mesin helikopter mengandalkan roda gigi [1, 2, 3]. Selama digunakan, roda gigi mengalami kerusakan seperti aus, patah dan retak. Hal tersebut sebaiknya dapat dideteksi dalam perawatan. Pemantauan kondisi roda gigi sangat diperlukan karena untuk meningkatkan keamanan dan pengurangan biaya pengoperasian dan perawatan mesin [4, 5].

Ada bermacam-macam teknik yang diterapkan dalam mendeteksi kegagalan pada roda gigi, seperti metode getaran, *acoustic emissions*, *oil debris*, dan sebagainya. Saat ini, metode emisi akustik (EA) telah menjadi alternatif untuk mendeteksi kegagalan

pada roda gigi selain daripada teknik analisis getaran yang paling banyak digunakan dalam industri [6].

Pada penelitian ini, dibuat suatu *gear rig setup*. *Setup* terdiri dari 2 poros dengan masing-masing terdapat 1 roda gigi. Satu roda gigi dalam kondisi normal, sedangkan roda gigi pasangannya adalah roda gigi yang mempunyai satu gigi yang patah sebagian atau semua. *Setup* digerakkan oleh motor dengan kecepatan 1200 RPM. Pada penelitian ini, sinyal adalah emisi akustik dari rangkaian roda gigi yang berputar. Selanjutnya emisi akustik yang dihasilkan *gear train* ini diambil menggunakan mikrophone yang dipasang di atas rangkaian roda gigi. Analisis terhadap emisi akustik ini menggunakan metode domain waktu dan transformasi wavelet. Metode domain frekuensi (FFT) tidak digunakan dan belum banyak dikembangkan untuk analisis emisi akustik karena jangkauan *range*

frekuensi yang lebar dan frekuensi yang berkaitan dengan kondisi cacat roda gigi harus diketahui terlebih dahulu. Kelemahan lainnya yaitu sinyal suara mempunyai rasio sinyal- *noise* (S/N) yang rendah sehingga deteksi kegagalan (*fault*) tidak dapat dilakukan dengan baik [7].

Selanjutnya tujuan analisis emisi akustik menggunakan transformasi wavelet adalah untuk menampilkan pola-pola kerusakan roda gigi. Pola berupa tampilan scalogram yang dapat menunjukkan adanya kerusakan dan derajat keparahan kerusakan secara kualitatif pada roda gigi. Dengan penelitian ini maka dimungkinkan untuk melakukan deteksi awal (*early detection*) kerusakan roda gigi karena derajat keparahan ditunjukkan sebagai ‘pola tumbuh’ pada scalogram. Aplikasi teknik berbasis wavelet untuk deteksi kegagalan roda gigi berbasis sinyal emisi akustik antara lain dikerjakan oleh [3, 8-12] dan dengan sinyal getaran dikerjakan oleh [5, 13].

## Landasan Teori

### a. Emisi Akustik

Aplikasi metode emisi akustik untuk pemantauan kondisi diantaranya adalah untuk mendeteksi adanya kerusakan berupa retak atau patah pada suatu komponen. Selain untuk mendeteksi adanya patahan atau retakan, metode emisi akustik juga bisa mendeteksi adanya kebocoran pada komponen seperti pipa minyak. Sensor emisi akustik dapat digunakan dalam mengamati kinerja dari suatu mesin dan mendiagnosis kegagalan dari mesin tersebut [3,5].

Emisi akustik yang berasal dari komponen-komponen mesin yang berputar direkam menggunakan *microphone* dan alat akuisisi data. Data emisi akustik berupa sinyal domain waktu ini, selanjutnya diterapkan metode statistik, yaitu menghitung indikator kondisi emisi akustik yang berupa [3] :

#### 1. RMS :

*Root Mean Square (RMS)* adalah nilai yang dihitung dalam rentang waktu tertentu. Nilai RMS hampir sama untuk semua mesin yang bekerja dalam kondisi normal. Perubahan terhadap nilai ini harus dianggap sebagai telah terjadi kerusakan. Nilai RMS dihitung dengan:

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i^2)} \quad (1)$$

#### 2. Peak to peak (P2P)

Puncak ke puncak (*peak to peak*) ditentukan terhadap set data yang diambil pada rentang waktu tertentu.  $Max(x)$  dan  $Min(x)$  masing-masing menyatakan nilai maksimal dari set data  $x$ . P2P dihitung dengan:

$$P2P = \frac{Max(x) - Min(x)}{2} \quad (2)$$

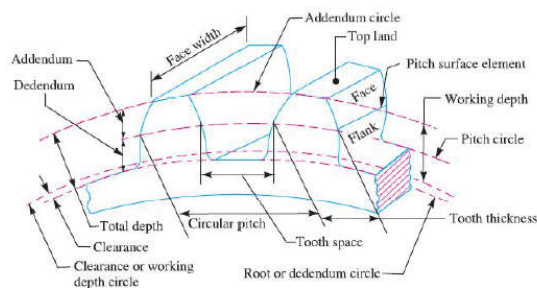
#### 3. Kurtosis

*Kurtosis* didefinisikan sebagai momen keempat dari distribusi dan ukuran kelancipan dan kedataran relatif sebuah distribusi terhadap distribusi normal. Kurtosis juga merupakan ukuran *tail distribution* dan digunakan sebagai indikator puncak utama dalam sebuah set data. Kurtosis digunakan sebagai parameter untuk mendeteksi kerusakan roda gigi. Kurtosis ( $K$ ) dihitung dengan:

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^4}{[\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2]^2} \quad (3)$$

### b. Roda Gigi

Roda gigi merupakan suatu elemen mesin yang mempunyai fungsi untuk meneruskan transmisi daya dan putaran poros untuk menjadikan mekanisme mesin dapat bekerja sesuai dengan fungsinya. Roda gigi digunakan pada hampir semua sistem transmisi, sistem tenaga dan otomotif [3, 5].



Gambar 1. Istilah dalam roda gigi.

Gambar 1. menunjukkan struktur roda gigi dan beberapa istilah yang sering digunakan dalam pembahasan roda gigi. Istilah tersebut diantaranya sebagai berikut *pitch circle diameter* yaitu diameter dari *pitch circle*; *diameter pitch* adalah jumlah gigi pada roda gigi dibagi dengan *pitch circle diameter*; *circular pitch* yaitu jarak dari gigi-gigi pada lingkaran pada *pitch circle*; *working depth* adalah jarak ujung pada gigi diukur secara radial dari roda gigi dengan roda gigi yang lain yang bersentuhan; *addendum* adalah selisih dari *pitch circle* dengan diameter terluar dari roda gigi; *dedendum* adalah selisih dari jari-jari akar roda gigi dengan jari-jari *pitch circle*

Roda gigi sebaiknya berputar dengan kecepatan konstan. Jika roda gigi berputar pada kecepatan yang tidak konstan maka salah satu roda gigi akan berputar cepat dan akan menghasilkan getaran dan *noise* yang merupakan indikasi dari kerusakan sebuah roda gigi.

#### Kerusakan Roda Gigi

Secara umum cacat roda gigi dibagi menjadi dua bagian yaitu cacat permukaan dan cacat kerusakan

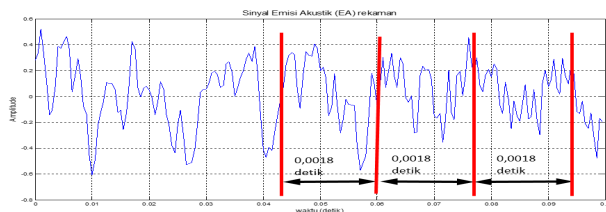
gigi. Cacat permukaan meliputi: aus yaitu cacat pada roda gigi yang disebabkan karena terkikisnya bagian permukaan roda gigi ketika bersentuhan dengan roda gigi yang lain; *plastic flow* adalah cacat yang disebabkan ketika roda gigi berputar dengan beban yang berat; *pitting* (pembentukan kawah) yaitu kerusakan lelah pada roda gigi yang terjadi pada awal pertukaran beban; *spalling* merupakan suatu keadaan kerusakan dimana terjadi pada roda gigi yang dikeraskan permukaannya dengan cara *heat treatment*; *burning* adalah cacat yang disebabkan berkurangnya sifat kekerasan pada roda gigi. Sedangkan cacat kerusakan gigi meliputi : rusak lelah adalah keadaan dimana roda gigi mengalami kerusakan yang disebabkan oleh tegangan *bending* yang berulang pada batas ketahanan material roda gigi; *quenching crack* merupakan suatu keadaan dimana roda gigi mengalami kerusakan yang disebabkan oleh tegangan dalam yang berlebih karena perlakuan panas dan *overload breakage* merupakan suatu keadaan dimana roda gigi mengalami kerusakan karena beban kejut yang berlebih menimpa roda gigi.

**Sistem roda gigi**

Roda gigi sebagai penggerak juga memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan menggunakan penggerak roda gigi adalah dapat menggerakkan daya yang besar, kaku, dapat bergerak tanpa slip, akurat, dan dapat berputar dengan kecepatan tinggi. Sedangkan kekurangan yang timbul jika menggunakan penggerak roda gigi adalah dibutuhkan pelumas, kedua poros harus dipasang dengan kesejajaran yang tinggi dan transmisi roda gigi menimbulkan suara bising.

**c. Sumber emisi akustik roda gigi**

Sumber dari emisi akustik roda gigi adalah pada saat gear mesh, terjadi kontak antara 2 gigi roda gigi. Amplitude yang berubah-ubah pada sinyal emisi akustik disebabkan *asperity contact* yang berubah-ubah. Gear mesh terjadi antara 2 roda gigi yang tidak sama/indentik dan jumlah gigi yang berbeda [3, 7].



**Gambar 2.** Sinyal emisi akustik. Sinyal diperoleh dari gear mesh 2 roda gigi lurus dengan jumlah gigi masing-masing 28 gigi. Putaran poros 1200 RPM.

Gambar 2 menunjukkan data emisi akustik rekaman dalam domain waktu yang diperoleh dari rig roda

gigi pada penelitian ini. Dari gambar dapat dilihat bahwa puncak-puncak berkaitan dengan jumlah gigi roda gigi (28 buah) dan putaran poros (1200 RPM), yaitu periode antara puncak-puncak adalah  $T = 0.0018$  detik ( $1/((1200/60) \times 28 = 1/560)$ ). Pengamatan yang sama juga ditunjukkan pada [7].

**d. Transformasi Wavelet**

Transformasi wavelet dari sinyal merupakan alat yang menarik dan relatif baru (mulai tahun 1998). Ide dasar dari transformasi wavelet yaitu meng-ekspansikan suatu sinyal berdasarkan parameter skala dan parameter dilatasi *spatial*. Secara matematis transformasi wavelet merupakan hasil perkalian sinyal dengan suatu fungsi yang disebut fungsi wavelet.

Fungsi wavelet melibatkan 2 variabel, yaitu skala  $\sigma$ , dan translasi,  $\tau$ . Nilai skala dan translasi tidak sama dengan nol. Fungsi wavelet dinyatakan sebagai :

$$\psi_{\sigma,\tau}(t) = \psi(\sigma, \tau) = \frac{1}{\sqrt{\sigma}} \psi\left(\frac{t-\tau}{\sigma}\right) \quad (4)$$

Transformasi wavelet menggunakan dua fungsi penting yaitu fungsi skala (*scale function*) dan fungsi wavelet (*wavelet function*). Penjelasan fungsi-fungsi ini adalah sebagai berikut :

- a. Fungsi wavelet: sebagai *highpass filter*, melewatkan sinyal dengan intensitas yang tinggi sedangkan intensitas yang rendah dikurangi atau dibuang.
- b. Fungsi skala: sebagai *lowpass filter*, melewatkan sinyal dengan intensitas yang rendah sedangkan intensitas yang tinggi dikurangi atau dibuang.

**Continuous Wavelet Transform (CWT)**

CWT didefinisikan sebagai *inner product* dari sinyal  $f(t)$  dan fungsi wavelet  $\psi$  pada pers. (4). Apabila  $\sigma$  semakin besar maka mengakibatkan frekuensi menurun dan fungsi *wavelet* mengembang. Transformasi wavelet dapat dituliskan yaitu

$$F_w(s, t') = \langle f(t), \psi_{s,t'}(t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \frac{1}{\sqrt{s}} \bar{\psi}\left(\frac{t-t'}{s}\right) dt' \quad (5)$$

dimana simbol  $s$  dan  $t'$  masing-masing menunjukkan parameter skala dan parameter translasi. Wavelet disimbolkan dengan  $\psi$ . Transformasi wavelet kontinyu menggunakan wavelet dengan dua parameter (skala parameter  $\sigma$  dan translasi parameter  $\tau$ ) yang berubah. Jika kita menguraikan sinyal menggunakan CWT, maka sinyal akan diproyeksikan menjadi dua dimensi, yaitu sinyal dinyatakan dalam bidang waktu-skala (*scalogram*).

Bidang waktu-skala dapat diubah ke peta distribusi waktu-frekuensi. Hubungan skala  $s$  dan

frekuensi perkiraan (*approximate frequency*),  $f_a$  dapat dinyatakan sebagai [2]

$$f_a = \frac{f_c}{s \cdot T_s} \quad (6)$$

dengan  $f_c$  adalah frekuensi sentral dari wavelet dan  $T_s$  = periode sampling. Pada penelitian ini ditentukan  $f_c = 2,5$  Hz dan  $T_s = 1/20000$  detik.

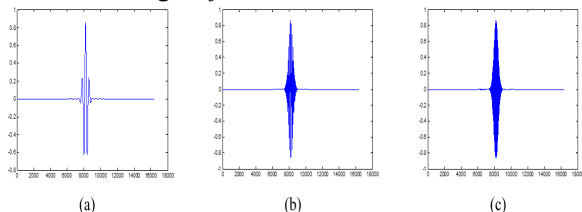
Peta distribusi waktu-frekuensi sinyal menunjukkan distribusi energi sinyal dalam domain waktu dan frekuensi, sehingga dapat digunakan untuk mengenali (*identify*) kegagalan komponen mesin (roda gigi).

### Wavelet Morlet

Wavelet Morlet telah banyak digunakan dalam analisis sinyal getaran. Pada penelitian ini digunakan bagian real dari wavelet Morlet kompleks yaitu [14]:

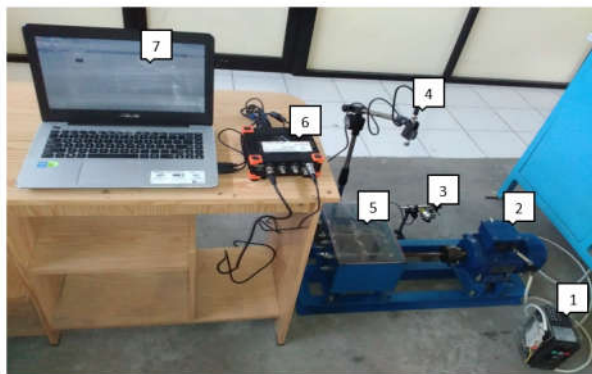
$$\psi(t) = \left( \frac{\beta}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\beta^2 t^2 / 2} \right) \cdot \cos(\omega_c t) \quad (7)$$

Suku dalam tanda kurung adalah fungsi distribusi Gauss  $N(\mu, \sigma)$ , dengan  $\mu = 0$  dan  $1/\sigma = \beta$ . Suku kedua adalah suku harmonik dengan  $\omega_c (=2 \pi f_c)$  yang menentukan jumlah osilasi wavelet Morlet ini. Gambar menunjukkan bagian real wavelet Morlet untuk nilai  $\beta = 0.5$  dan masing-masing nilai frekuensi tengah,  $f_c = 0,3, 1,5$  dan  $3$ .



Gambar 3. Wavelet Morlet untuk nilai a)  $f_c = 0,3$ , b)  $1,5$  dan c)  $3$ .

### Metode Penelitian



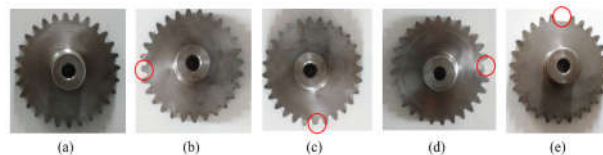
Gambar 4. Rig pengujian, 1) Inverter, 2) Motor AC, 3) Tachometer, 4) Microphone, 5) Gearbox, 6) Data akuisisi, 7) Laptop

Penelitian dilakukan pada alat rig roda gigi yang ada di Laboratorium Getaran Mekanik dan Perawatan Program Studi Teknik Mesin Fakultas

Teknik Mesin UNS. Setup alat ditunjukkan pada Gambar 4. Roda gigi penggerak (*driver*) dan roda gigi yang digerakkan (*driven*) adalah sama. Roda gigi dipasang pada dua poros sejajar dengan salah satu poros dihubungkan dengan motor penggerak menggunakan kopling fleksibel.

#### a. Roda gigi

Roda gigi yang digunakan adalah roda gigi lurus dengan jumlah gigi 28. Pada penelitian ini ditentukan kondisi roda gigi yaitu normal, cacat roda gigi yaitu gigi yang dipotong 25%, 50%, 75% dan 100% seperti ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. a) roda gigi normal, roda gigi patah b) 25%, c) 50%, d) 75%, dan e) 100%.

#### b. Inverter

*Inverter* digunakan untuk mengatur kecepatan putar dari motor listrik, menggunakan pengaturan frekuensi.

#### c. Microphone

Sensor untuk merekam sinyal suara yang berasal dari rig roda gigi. Sensor dipasang di atas *gearbox* seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Spesifikasi *microphone* yaitu tipe PCB 426E01, dimensi 12,7 x 80,7 mm dan berat 38 g.

#### d. Data Akuisisi

Data Akuisisi yang digunakan adalah alat data akuisisi Dewesoft. Alat ini untuk merekam dan menampilkan data sinyal EA yang diperoleh dari *microphone*. Spesifikasi yaitu Dewesoft Sirius, input V/A analog 4 *channel*,

#### e. Komputer dengan Software Matlab

Komputer berfungsi untuk menyimpan dan mengolah data sinyal suara dari alat akuisisi data. Data sinyal rekaman disimpan sebagai file dengan ekstensi *dsa* (\*.dxd) dan dapat diekspor sebagai file ekstensi (\*.mat) File ini dapat dibaca oleh script MATLAB.

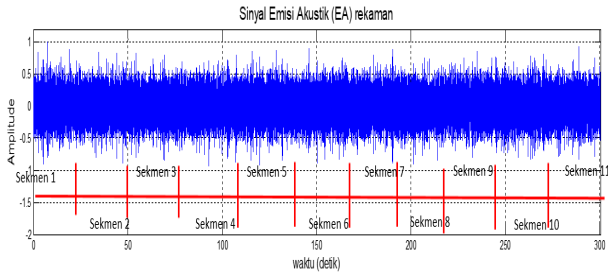
#### f. Tahapan Penelitian

Pengumpulan data dilakukan sebagai berikut: memasang sensor microphone di atas *gearbox* pada ketinggian 30 cm; menghidupkan motor listrik dengan putaran konstan 1200 RPM; merekam sinyal EA pada frekuensi sampling 20000 Hz; proses pengambilan data diulang dengan mengganti roda gigi *driven* mulai dari roda gigi normal, roda gigi patah 25%, 50%, 75%, dan 100%.

### Hasil dan Pembahasan



**A. Indeks kondisi emisi akustik**

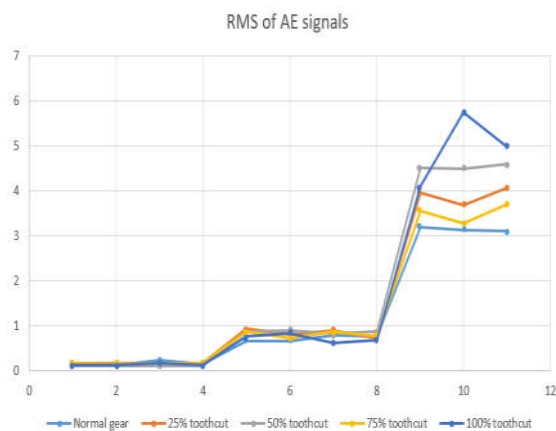


**Gambar 6.** Sinyal emisi akustik domain waktu dan pembagian sekmen (11 sekmen)

Roda gigi driver diputar 1200 RPM. Rekaman sinyal emisi akustik dalam domain waktu ditunjukkan pada Gambar 6. Gambar menunjukkan sinyal selama 0.01 detik. Sinyal memuat puncak-puncak yang disebabkan *asperity contact*. Permukaan gigi roda gigi dengan kekasaran permukaan tertentu menentukan jumlah kontak yang terjadi pada saat pertemuan antara gigi 2 buah roda gigi

Gambar 6 menunjukkan sinyal rekaman emisi akustik dari roda gigi dengan satu gigi terpotong 50%. Data sinyal rekaman dibagi menjadi 11 sekmen dengan tiap sekmen memuat jumlah data yang sama. Indeks kondisi sinyal emisi akustik yang digunakan dalam penelitian ini adalah RMS, P2P dan Kurtosis, dihitung untuk tiap sekmen ini. Gambar 7 sampai dengan Gambar 9 masing-masing menunjukkan grafik nilai RMS, P2P, dan Kurtosis dari set data untuk roda gigi normal dan roda gigi patah 25%, 50%, 75% dan 100%.

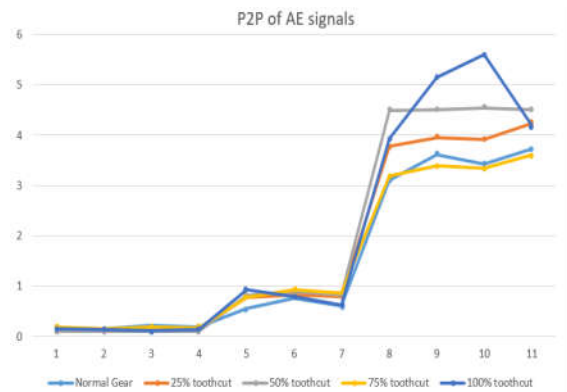
RMS sinyal emisi akustik roda gigi normal dan roda gigi patah ditunjukkan pada Gambar 7. Gambar 7 menunjukkan nilai RMS roda gigi patah lebih besar daripada roda gigi normal. Hasil ini menunjukkan RMS semakin tinggi disebabkan tingkat patah roda gigi yang semakin besar, tetapi tidak dapat menunjukkan beda tingkat patah untuk roda gigi patah 25% dengan 75%.



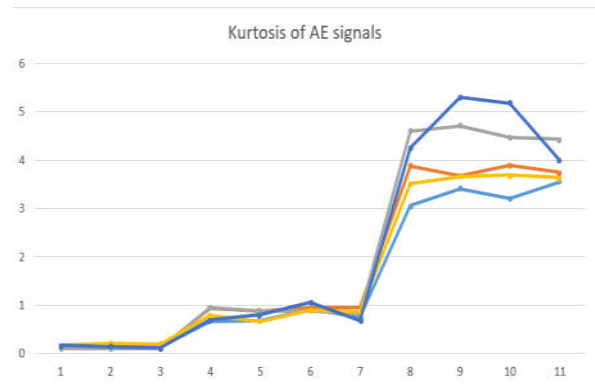
**Gambar 7.** RMS sinyal emisi akustik. RMS dihitung menggunakan pers. (1)

Gambar 8 menunjukkan nilai *peak to peak* dari sinyal emisi roda gigi normal dengan roda gigi patah

25% sampai dengan 100%. Gambar 8 menunjukkan nilai P2P untuk roda gigi dengan *toothcut* yang lebih besar dibandingkan roda gigi normal kecuali untuk roda gigi patah 75%.



**Gambar 8.** *Peak to peak* sinyal emisi akustik. P2P dihitung menggunakan pers. (2)



**Gambar 9.** Kurtosis sinyal emisi akustik. Kurtosis dihitung menggunakan pers.(3)

Gambar 9 menunjukkan nilai Kurtosis dari sinyal emisi akustik roda gigi normal dan roda gigi patah. Nilai Kurtosis untuk roda gigi patah 25% dan 75% hampir berimpitan, sehingga Kurtosis tidak dapat digunakan untuk deteksi tingkat kerusakan roda gigi menggunakan sinyal emisi akustik. Selanjutnya penelitian ini mengembangkan metode untuk mendeteksi kerusakan roda gigi patah dengan menggunakan transformasi wavelet yaitu menampilkan scalogram sinyal emisi akustik.

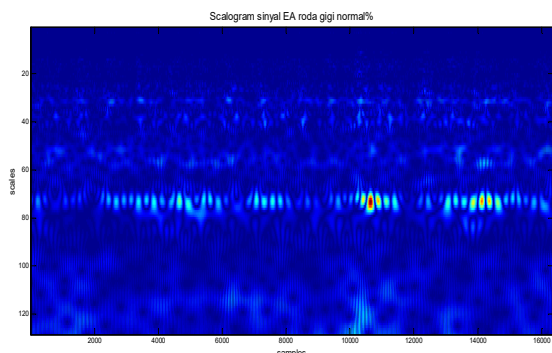
**B. Scalogram sinyal emisi akustik**

Scalogram menampilkan sinyal dalam bidang parameter skala dan translasi. Scalogram diperoleh dengan menerapkan *continuous wavelet transform* dari suatu sinyal. Scalogram adalah representasi dari set nilai  $F_w(\sigma, \tau)$  untuk nilai  $\sigma$  dan  $\tau$  yang berubah secara kontinu (sangat rapat). Wavelet Morlet digunakan untuk analisis emisi akustik telah banyak digunakan dalam analisis sinyal getaran. Penelitian ini membandingkan scalogram dari roda gigi dengan tingkat kerusakan yang semakin besar

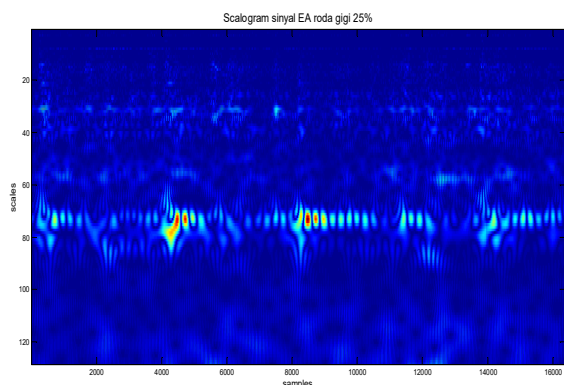
untuk menentukan tingkat patah gigi roda gigi secara kualitatif.

Scalogram ditunjukkan pada gambar 10 untuk sinyal emisi akustik roda gigi normal dan pada gambar 11 sampai dengan 14, masing-masing untuk roda gigi patah 25%, 50%, 75% dan 100%. Gambar 10 menunjukkan bahwa sinyal memuat range frekuensi tertentu. Nilai amplitude dari komponen-komponen sinyal dinyatakan secara kualitatif dengan warna biru untuk amplitude rendah dan warna merah untuk amplitude tinggi. Scalogram menunjukkan bahwa terdapat komponen sinyal amplitude tinggi pada skala  $s = 77$ , maka frekuensi perkiraannya adalah  $f_a = 649,4,7$  Hz. Frekuensi ini mendekati frekuensi gear mesh: jumlah gigi x RPM/60 =  $28 \times 1200/60 = 560$  Hz.

Gambar 11 dan 12 adalah scalogram untuk roda gigi patah 25% dan 50%. Scalogram mirip dengan scalogram gambar 10 tetapi terdapat lebih banyak bagian terang pada skala 77. Perubahan ini menunjukkan tingkat kerusakan gigi yang terjadi pada roda gigi, yaitu bagian terang lebih banyak menunjukkan patah yang semakin banyak. Selanjutnya diperoleh suatu ‘pola tumbuh’ dengan melihat gambar 10, 11 dan 12, yang secara kualitatif meng-hubungkannya dengan tingkat patah roda gigi.



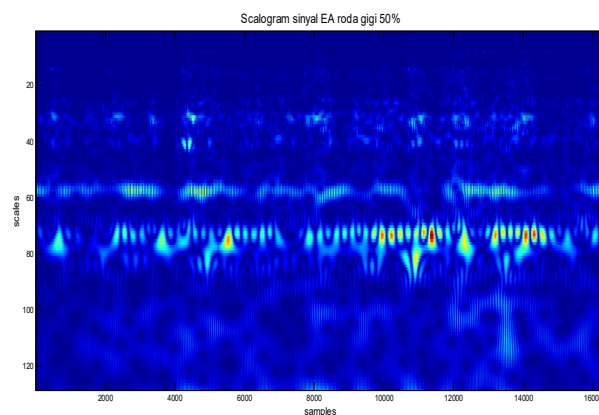
Gambar 10. Scalogram roda gigi normal



Gambar 11. Scalogram roda gigi patah 25%.

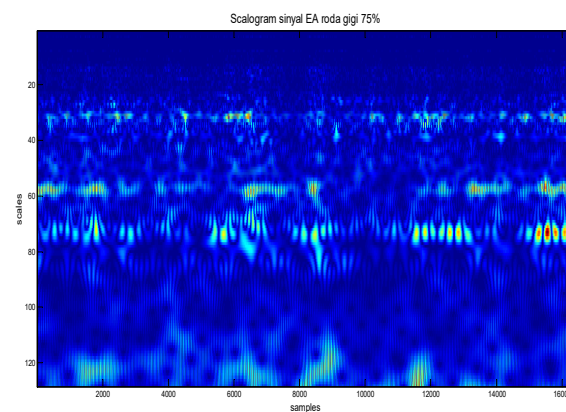
Gambar 13 adalah scalogram untuk roda gigi patah 75%. Scalogram mempunyai lebih banyak bagian terang pada skala 77 dibandingkan dengan gambar 12. Selain itu juga terdapat bagian terang pada skala  $s = 58$  (862,1 Hz) dan  $s = 30$  (1666,7 Hz).

Nilai-nilai frekuensi ini secara kualitatif sebanding dengan noise dan impact yang disebabkan backlash yang besar pada saat pertautan roda gigi. Hal ini menunjukkan bahwa sensor emisi akustik sensitif terhadap energi impact.

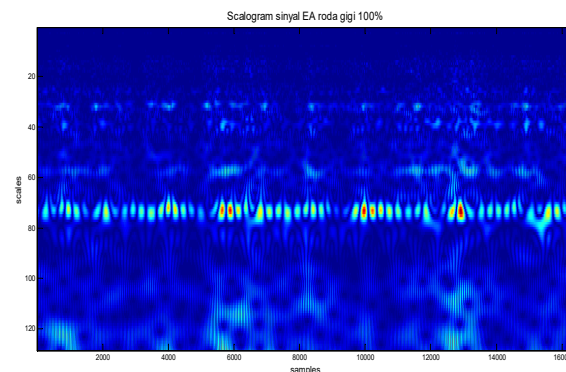


Gambar 12. Scalogram untuk sinyal emisi akustik roda gigi patah 50%.

Gambar 14 adalah scalogram untuk roda gigi patah 100%. Gambar menunjukkan bahwa pada skala  $s = 77$  terdapat bagian berwarna merah yang lebih banyak dibandingkan gambar 13. Hal ini menunjukkan impact yang lebih besar pada frekuensi  $f_a = 649,4,7$  Hz. Bagian yang terang pada scalogram menunjukkan noise dan impact yang dideteksi oleh sensor emisi akustik. Roda gigi dengan patah 100% mempunyai backlash yang besar dan rasio kontak yang kecil.



Gambar 13. Scalogram roda gigi patah 75%.



Gambar 14. Scalogram roda gigi patah 100%.

## Kesimpulan

Penelitian ini telah mengembangkan cara mendeteksi kerusakan roda gigi menggunakan sinyal emisi akustik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kerusakan yang semakin besar pada roda gigi (25%, 50%, 75% dan 100%) dapat dideteksi dengan menggunakan scalogram. Indikator kondisi sinyal emisi akustik yang digunakan dalam penelitian ini (RMS, P2P dan Kurtosis) belum dapat menentukan tingkat kerusakan roda gigi secara kuantitatif dan kualitatif.

Penelitian menunjukkan bahwa transformasi wavelet dengan wavelet Morlet pada sinyal emisi akustik menghasilkan scalogram yang dapat digunakan untuk mengamati tingkat kerusakan roda gigi. Penelitian ini menunjukkan bahwa wavelet Morlet sesuai digunakan untuk analisis sinyal emisi akustik.

Selanjutnya disarankan untuk mengembangkan penelitian ini untuk deteksi awal tingkat kerusakan komponen mesin dan digunakan dalam prediksi umur kerusakan suatu komponen mesin.

## Referensi

- [1] Abouel-seoud, S., Elmorsy, M.S., 2012. Enhancement of signal denoising and fault detection in wind turbine planetary gearbox using wavelet transform, *International Journal of Science and Advanced Technology*, Vol. 2 No.5.
- [2] Zhao, G., Jiang, X., Diao, J., Qian, L., 2004. Application of wavelet time - frequency analysis on fault diagnosis for steam turbine, *SURVEILLANCE 5 CETIM Senlis*.
- [3] Qu, Y., He, D., Yoon, J., Van Heckle, B., Bechhofer, E., and Zu, J., 2014, Gearbox tooth cut fault diagnostic using acoustic emission and vibration sensors – a comparative study, *Sensor*, 14, 1372-1393, doi: 10.3390/s140101372. ISSN 1424-8220
- [4] Vernekar, K., Kumar, H., Gangadharan, K.V., 2014, Gear fault detection using vibration analysis and continuous wavelet transform, *International Conference on advances in manufacturing and material Engineering AMME*, *Procedia material science* 5 (2014) 1846-1852.
- [5] Gupta, P., Wedkar, S.B., 2008, Comparative vibration and noise signature analysis by spectral, cepstral and wavelet techniques, *Advances in Vibration Engineering*, 7(2) 181-195.
- [6] Sharma, V., Parey, A., 2016, A review of gear fault diagnosis using various condition indicators, *12th International Conference on Vibration Problems, ICOVP 2015*, *Procedia engineering* 144, pp. 255-263
- [7] Tan, C.K., Mba, D., 2004, The source of acoustic emission during meshing of spur gear, *DGZIP-Proceeding BB 90-CD. Lecture 40*, EWGAE.
- [8] Sharina, R. B., Parey, A., 2017, Condition monitoring of gearbox using experimental investigation of acoustic emission technique, *11th International Symposium on plasticity and impact mechanism, Implast, 2016*. *Procedia Engineering* 173, pp. 1575-1579
- [9] He, P., Li, P., Sun, H., 2011, Feature extraction of acoustic signal based on complex Morlet wavelet, *Advanced in control engineering and information science*, *Procedia Engineering* 15, pp. 464-468
- [10] Scheer, C., Reimche, W., and Bach, F-W., 2007, Early fault detection at gear units by acoustic emission and wavelet analysis, *J. Acoustic emission*, 25, pp. 331-340
- [11] Rao Subha, SV., Subramanyam, 2008, Analysis of acoustic emission signals using wavelet transformation technique, *Defence Science Journal*, vol 58 No. July 4, pp. 559-564
- [12] Ulus, S., Erkaya, S., 2016, An experimental study on gear diagnosis by using acoustic emission technique, *International Journal of Acoustics and Vibration*. Vol. 21. No. 1, pp.103-111.
- [13] Wirtz, S.F., Beganovic, N., Tenberge, P., Soffker, D., 2016 Frequency-based damage detection of spur gear using wavelet analysis. *8th European Workshop on Structural Health Monitoring (EWSHM 2016) July 5-8, Spain, Bilbao*
- [14] Vass, J., Cristall, C., 2005, Optimization of Morlet wavelet for mechanical fault diagnosis, *Twelfth International Congress on Sound and Vibration*, Lisbon, July 11-14.