

Studi Pengukuran Kekerasan Benda dengan Analisa Spektral

Kevin Herman¹, Judi Prajetno Sugiono²

Departemen Teknik Elektro, Institut Sains dan Teknologi Terpadu Surabaya^{1,2}

Corresponding Author: Judi Prajetno Sugiono (jpsugiono@stts.edu)

ARTICLE INFO

Date of entry:

02 April 2023

Revision Date:

27 April 2023

Date Received:

30 April 2023

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan alat uji kekerasan menggunakan analisis getaran untuk mengukur kekerasan material dan metode *Rockwell* sebagai pemukulnya serta referensinya. Metode yang digunakan adalah dengan memanfaatkan getaran resonansi yang dihasilkan oleh benda uji saat diberikan tekanan dengan indenter. Getaran resonansi ini kemudian dianalisis menggunakan teknik pengolahan sinyal untuk mengestimasi nilai kekerasan material. Proses rancang bangun melibatkan pemilihan komponen yang sesuai, seperti pemilihan indenter yang tepat, sensor getaran, dan sistem pengolahan sinyal. Alat uji kekerasan ini juga dilengkapi dengan tampilan visual yang memudahkan pengguna dalam membaca dan menginterpretasi hasil pengujian. Data getaran resonansi dikumpulkan dan dianalisis dengan metode pemrosesan sinyal untuk mendapatkan nilai kekerasan yang akurat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa alat uji kekerasan dengan analisis getaran dapat memberikan estimasi kekerasan material dengan tingkat akurasi yang tinggi. Metode ini juga memungkinkan pengujian kekerasan yang non-destruktif, sehingga mengurangi kerusakan pada benda uji. Penemuan ini memiliki potensi aplikasi yang luas dalam berbagai industri, seperti manufaktur, konstruksi, dan rekayasa material. Dengan menggunakan alat uji kekerasan ini, pengguna dapat dengan cepat dan efisien mengukur kekerasan material untuk memastikan kualitas dan kecocokan material dalam aplikasi mereka. Sehingga rancang bangun alat uji kekerasan dengan analisis getaran ini berhasil dikembangkan dan menunjukkan potensi mengukur kekerasan material.

Keywords: Hardness test, Rockwell, Getaran Resonansi, Spektrum, Transformasi Fourier



Cite this as: Herman, K., & Sugiono, J. P. (2023). Studi Pengukuran Kekerasan Benda dengan Analisa Spektral. *Journal of Informatics Development*, 1(2), 65-74. <https://doi.org/10.30741/jid.v1i2.1091>

PENDAHULUAN

Kekuatan bahan adalah salah satu factor penting dalam pemilihan bahan yang dipergunakan dalam bangunan, mesin atau benda lainnya, yang harus menanggung beban besar. Bentuk beban yang harus ditanggung kadang tidak terduga. Sebagai contoh pembuangan air dari lantai 10 sebuah Gedung. Satu (1) liter air memiliki berat sekitar satu (1) kilogram tetapi tatkala jatuh dari ketinggian lantai

10 sebuah gedung akan memberikan penetrasi yang berlipat pada benda yang ditimpanya. Pertambahan penetrasi ini kita ketahui sebagai pertambahan gaya gravitasi atau energi potensial yang terjadi dan berdampak besar (Rizal & Ismardi -, 2017).

Beberapa jenis pengukuran telah dikembangkan dengan berbagai macam pendekatan yang sesuai, misalnya pengukuran kekerasan bahan logam (*Hardness test*) (Rauf et al., 2018). Tujuan pengukuran ini adalah menghitung kemampuan material menerima penetrasi gaya yang diberikan sampai patah. Kekerasan adalah kemampuan suatu material untuk menerima penetrasi benda runcing, goresan, kikisan tanpa mengalami deformasi (ASME - *American Standard of Mechanical Engineer*, 2004).

Akan tetapi ada beberapa kesulitan dalam pelaksanaan teknis. Pertama alat ukur yang dipakai menguji cukup besar (tidak memungkinkan untuk dipindah-pindah. Kedua, harga yang dibayarkan terlalu mahal bagi beberapa tipe pengguna – seperti mesin yang menggunakan pemukul – jumlah material yang harus disediakan menjadi banyak. Ketiga, material standar cukup langka, terkadang harus dicari material lain yang kira-kira sesuai (Moaveni., 2010). Tentunya bahan ini harus diuji terlebih dahulu.

Dengan mempertimbangkan kebutuhan akan ketelitian yang memadai – batas toleransi yang tidak kritis, pengukuran dapat dilakukan dengan mengamati spektrum. Spektrum adalah pernyataan lain dari Transformasi Fourier (Brigham., 1988). Pengukuran dilakukan dengan mengukur getaran yang terjadi. Pengujian benda uji dilakukan dengan memberikan pukulan sesaat dan merekam getaran yang terjadi. Hasil rekaman kemudian dimanipulasi dengan Transformasi Fourier untuk mendapatkan spektrumnya. Perhitungan Transformasi Fourier secara diskrit dihitung dengan algoritma *Fast Fourier Transform* yang dibuat oleh Cooley dan Tukey (Johnson, 2006).

METODE

Ada 3 macam metode hardness test yang digunakan untuk menguji kekerasan material yaitu metode Rockwell, metode Brinell dan metode Vickers (*ASTM International - ASTM E18-16 - Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials | GlobalSpec*, 2016). *Hardness rockwell test* adalah pengujian dengan cara menekan permukaan benda uji dengan suatu *indenter*. Pengujian metode Brinell adalah dengan menekan bola baja atau tungsten karbida ke permukaan bahan dengan beban yang telah ditentukan. Pengujian metode Vickers adalah dengan menekan indenter piramida bersegi lima ke permukaan beban. Setelah beban ditekan pada permukaan bahan selama beberapa detik, indenter akan dilepaskan dan bekas goresan pada permukaan bahan akan diukur menggunakan mikroskop (Nakra et al., 1985).

Dari tiga metode yang dipelajari hanya metode *rockwell* yang memberikan peluang analisis dengan getaran yang direkam. Ada dua data yang dapat dipergunakan, yaitu data dalam bentuk sinyal dan dalam bentuk *image* atau foto dari keretakan obyek (Ferjadi et al., 2019). Tapi untuk analisa dengan gambar tidak mudah ditangani, karena benda uji telah patah sebelum dilakukan pemotretan.

Hardness rockwell test dilakukan dengan cara menekan permukaan benda uji dengan suatu *indenter*. Penekanan *indenter* tersebut dilakukan dengan menekan beban pendahuluan (beban minor), kemudian ditambah dengan beban utama (beban mayor), kemudian beban mayor dilepaskan sedangkan beban minor masih dipertahankan. Prinsip uji kekerasan *Rockwell* berdasarkan kedalaman permukaan setelah dilakukan penetrasi atau pemberian gaya tekan pada saat beban sudah diterapkan. Dalam kasus *Rockwell*, kekerasan dibaca pada skala kekerasan, seperti pada Tabel 1 Sedangkan indenter yang digunakan berupa bola karbida, kerucut dengan sudut 120 derajat dan radius ujung 0,2 mm.



Gambar 1. Prinsip uji kekerasan Rockwell
Sumber: *Struers Hardness Testing*

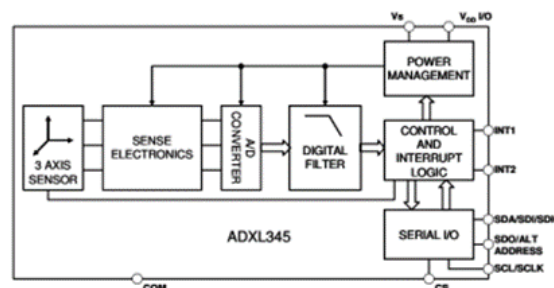
Tabel 1. Tabel Skala Rockwell

Scale	Name	Indenter	Load (
A	HRA	120° diamond spheroconical	60
B	HRB	1/16-inch-diameter (1.588 mm) steel sphere	100
C	HRC	120° diamond spheroconical	150
D	HRD	120° diamond spheroconical	100
E	HRE	1/8-inch-diameter (3.175 mm) steel sphere	100
F	HRF	1/16-inch-diameter (1.588 mm) steel sphere	60
G	HRG	1/16-inch-diameter (1.588 mm) steel sphere	150

Sumber : *Ames – the Rockwell Metal Hardness Scales*

Pada pengujian *rockwell*, angka kekerasan yang ditunjukkan merupakan kombinasi antara beban dan indenter yang dipakai, maka perlu diberikan awalan huruf pada angka kekerasan yang menunjukkan kombinasi beban dan penumbuk tertentu untuk skala beban yang digunakan, skala yang sering digunakan adalah A dengan beban 60 kgf, B beban 100 kgf, dan C beban 150 kgf

Pada penelitian ini akan menggunakan transduser accelerometer, yaitu transduser yang dirancang untuk menghasilkan sinyal listrik sebagai respons terhadap percepatan. Karena itu dipilih sensor ADXL345 yang banyak dipakai dan mudah didapat (Fentje, 2018).



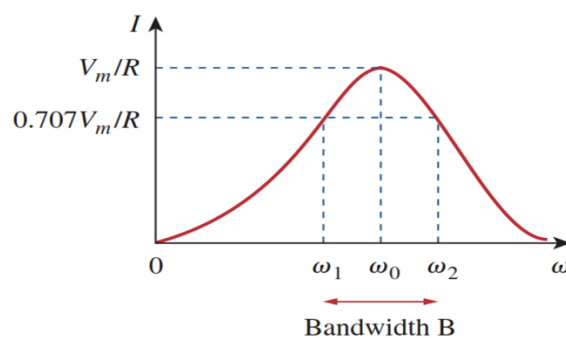
Gambar 2. blok diagram ADXL 345

Sumber: *Analog Device ADXL345 Datasheet*

ADXL345 seperti pada gambar 2 termasuk golongan MEMS (*Micro electronic mechanical Systems*) yang terdiri dari massa mikro, pegas mikro, dan kapasitor-kapasitor. Sensor ini mengukur percepatan linier pada sumbu X, Y, dan Z dengan resolusi hingga 13-bit (Feriadi, 2019). Selain itu, sensor ini juga memiliki berbagai fitur yang memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan pengaturan sensor sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

Secara ringkas ADXL345 mengumpulkan data percepatan pada sumbu X, Y, dan Z dikumpulkan, kemudian diproses dan dikonversi menjadi bentuk digital oleh ADC, Dari sini data dikirim ke perangkat eksternal melalui antarmuka komunikasi.

Frekuensi resonansi adalah frekuensi di mana suatu benda atau sistem osilasi tertentu bergetar secara maksimal dengan amplitudo tertinggi pada suatu titik atau mode tertentu (ISO 2039-2., 1987). Ketika benda atau sistem osilasi diberi impuls atau dorongan yang sesuai dengan frekuensi resonansi, maka amplitudo getaran akan meningkat dan benda atau sistem osilasi akan bergetar dengan lebih intens.



Gambar 3. Frequency Resonansi

Sumber: *Engineering Circuit Analysis*, Hyat Kemerly Durbin, 2012

Dalam pengukuran kekerasan material dengan metode getaran, frekuensi resonansi adalah frekuensi di mana benda uji tertentu bergetar secara maksimal saat didorong dengan gaya periodik pada mode tertentu (Ludwik., 1908). Frekuensi resonansi ini tergantung pada sifat-sifat mekanik benda uji seperti massa, densitas, modulus elastisitas, dan dimensi geometris benda uji. Oleh karena itu, frekuensi resonansi dapat digunakan untuk mengukur kekerasan benda uji dengan memanfaatkan konstanta geometris dan rumus yang menghubungkan frekuensi resonansi dengan sifat-sifat mekanik benda uji.

Frekuensi resonansi dengan sifat-sifat mekanik benda uji seperti modulus elastisitas, densitas, dimensi geometris, dan rasio Poisson (Santoso Putra et al., 2018). Rasio Poisson mengukur kemampuan benda uji untuk menyusut atau membesar pada arah tegak lurus terhadap arah tekanan. Kekerasan benda uji dapat dihitung dengan memasukkan nilai frekuensi resonansi ke dalam rumus yang sesuai dengan konstanta geometris benda uji.

Pada uji kekerasan material, frekuensi resonansi dapat digunakan untuk menentukan kekerasan material dengan mengukur frekuensi resonansi yang dihasilkan saat material dihantam oleh sebuah bola yang jatuh dengan kecepatan yang konstan atau dengan menggunakan metode lainnya. Semakin keras material, maka frekuensi resonansi akan semakin tinggi (Hyat et al., 2002). Oleh karena itu, frekuensi resonansi dapat digunakan sebagai salah satu metode untuk mengukur kekerasan material.

Beberapa parameter lain dapat ditambahkan untuk menambah feature, seperti Modulus Elastisitas. Modulus elastisitas (*elastic modulus*) adalah sebuah parameter material yang menggambarkan kemampuan material untuk mengalami deformasi elastis (kembali ke bentuk semula) ketika diberikan tegangan (gaya atau tekanan). Modulus elastisitas sering digunakan dalam perhitungan desain struktur untuk memprediksi deformasi suatu material ketika diberikan beban tertentu. Semakin tinggi modulus elastisitas suatu material, semakin sulit material tersebut untuk mengalami deformasi elastis dan semakin kuat material tersebut. Modulus elastisitas dapat dihitung dengan mengukur perubahan dimensi suatu material ketika diberikan tegangan atau tekanan tertentu.

Kekayaan informasi sebuah sinyal tidak bisa dilihat dengan mengamati langsung bentuk gelombang yang tersaji, terutama pada gelombang non periodik. Karena itu dibutuhkan ekstraksi informasi dengan menggunakan perubahan dari fungsi waktu $f(t)$ menjadi fungsi frekuensi $F(\omega)$. Perubahan ini disebut dengan Transformasi Fourier yang didefinisi sebagai:

$$F(\omega) = \int_0^{+\infty} f(t)e^{-j\omega t} dt \dots\dots\dots (1)$$

Beberapa ahli mengembangkan penyelesaian integral ini dengan berbagai cara, termasuk mengatasi kendala keterbatasan jumlah memori dan lama waktu yang dipergunakan untuk menyelesaikan fungsi penjumlahan dan pengali. Metode ini dikenal dengan sebutan Discrete Fourier Transform (DFT) yang dirumuskan sebagai (Nakra, 1988):

$$F(k) = \sum_0^{N-1} f(n) W_N^{nk} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

$$W_N^{nk} = e^{-j\frac{2\pi}{N}nk} \dots\dots\dots (3)$$

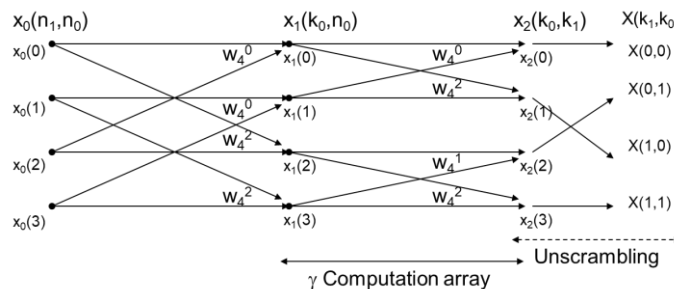
```
function [Fk] = dft(fn)
% Discrete Fourier Transform
% ditulis oleh Ingle & Proakis

N = length(fn); % Panjang dari Data
n = [0:1:N-1]; % vector baris n
k = [0:1:N-1]; % vector baris k

% membuat matrik NxN dari vector nk
WN = exp(-j*2*pi/N);
nk = n'*k;
WNnk = WN .^ nk;

% Fk = DFT dari xn
Fk = fn * WNnk;
```

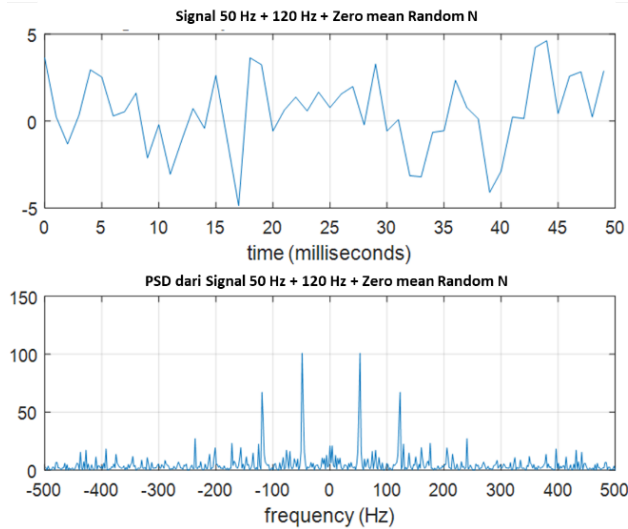
Bila proses perhitungan diatas digambarkan dalam bentuk matrik bilangan biner maka diperoleh gambar mirip dengan sayap kupu-kupu. Metode ini ditemukan oleh Cooley & Tukey dua orang ahli di IBM. Metode ini dikenal dengan nama *Fast Fourier Transform* (FFT), karena lebih cepat dibanding dengan DFT. Kecepatan ini diperoleh dengan mengeliminasi perhitungan ganda yang terjadi di DFT



Gambar 4. Diagram kupu-kupu FFT dengan $N=4=2^2$
Sumber: *The Fast Fourier Transform and its Application*, 1988

Hasil perhitungan dari Transformasi Fourier biasa disajikan dalam bentuk spektrum yang dirumuskan sebagai *Power Spectral Density* (PSD) sebagai:

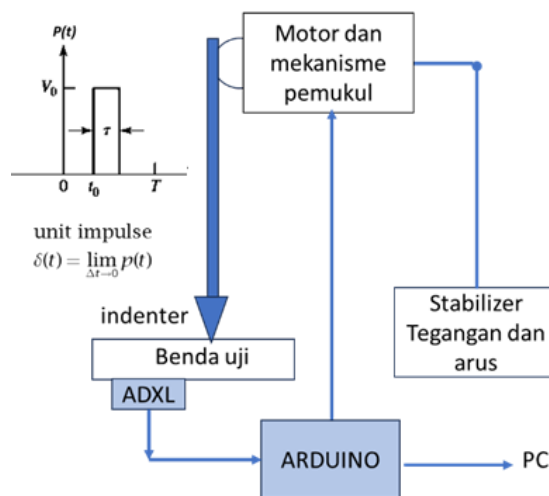
$$PSD F(\omega) = \frac{1}{N} |F(\omega)|^2 \dots\dots\dots (4)$$



Gambar 5. PSD sebuah gelombang yang tercampur noise
Sumber: Dokumen Pribadi

HASIL DAN PEMBAHASAN

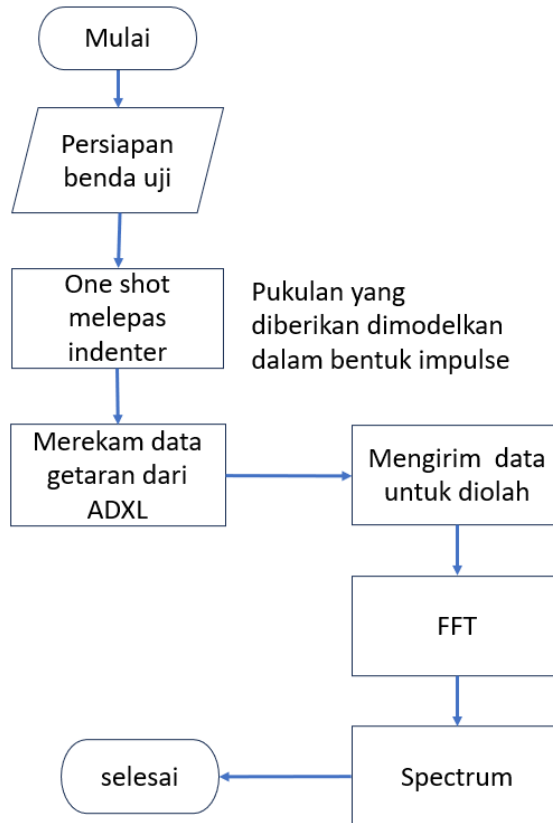
Dalam tahap ini dilakukan proses desain mekanik, dimana prinsip kerjanya seperti dynamometer dengan metode Pony Brake.



Gambar 6. Stuktur mekanik
Sumber: Dokumen pribadi

Indenter dipegang oleh clammer, kemudian lama waktu p(t) diinputkan sesuai dengan kebutuhan. Sesaat setelah tombol release ditekan pemukul dilepas dalam selang waktu Δt. Getaran yang terjadi

pada benda uji direkam oleh sensor ADXL345. Proses ini menjadi kritis karena data yang direkam menentukan akurasi yang didapat.

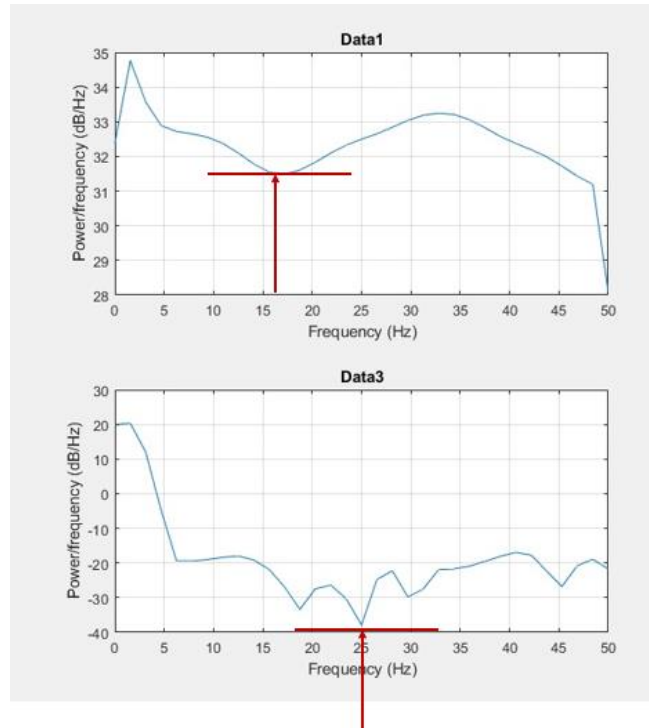


Gambar 7. Flowchart Pengoperasian Alat
Sumber: Dokumen Pribadi

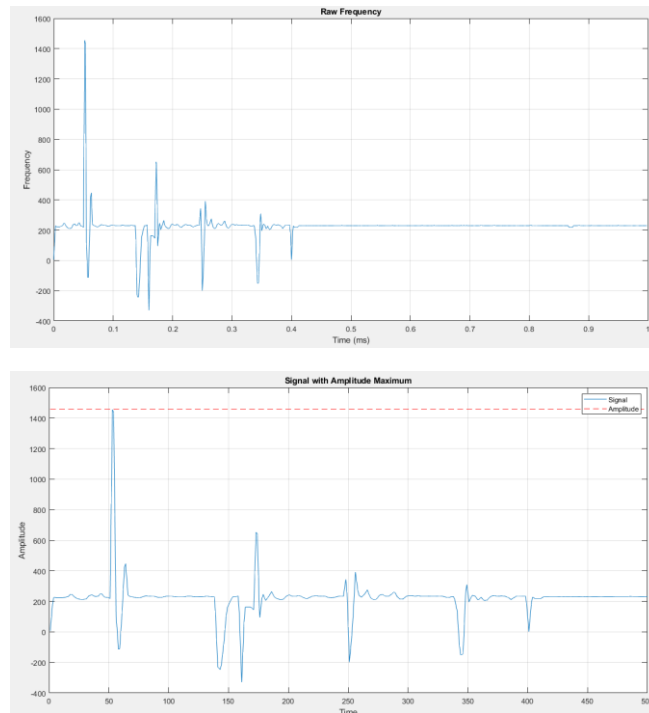
Bab ini menjelaskan tentang uji coba pada pembuatan dynamometer dengan metode prony brake. Pengujian dilakukan pada Benda Uji SS400



Gambar 8. Hasil Tumbukan Pada SS400
Sumber: Dokumen Pribadi, Hasil uji Laboratorium



Gambar 9. Power Spectral Density dari gambar 7 dan 8
Sumber: Dokumen Pribadi, Hasil Eksperimen



Gambar 10. Hasil Dari Pembacaan ADXL 345
Sumber: dokumen pribadi, hasil eksperimen

Seperti pada gambar 9 dan gambar 10 adalah amplitude dari getaran resonansi yang ditujukan pada bagian tengah pengujian dengan benda uji SS400 pada titik tengah dengan dimensi 100mm x 100mm x 10mm. Hasil tumbukan dapat dilihat pada gambar 9.

Level terendah pertama seperti pada gambar 9 pada grafik PSD dari data accelerometer dapat memberikan indikasi tentang frekuensi dominan atau komponen frekuensi terendah dari getaran atau kejutan yang dialami oleh material. Hal ini menunjukkan batas kekerasan pada benda uji di posisi paling rendah pertama.

Grafik PSD menunjukkan intensitas atau kekuatan getaran pada rentang frekuensi 10Hz – 25Hz. Biasanya, level terendah pertama pada grafik PSD digunakan untuk mengidentifikasi getaran atau kejutan dengan frekuensi rendah yang mempengaruhi ketahanan material. Komponen frekuensi rendah pada grafik PSD dapat dianggap sebagai "level terendah pertama" jika intensitasnya lebih tinggi dibandingkan dengan komponen frekuensi lainnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan analisis, indenter pada pemukul harus memiliki tingkat kekerasan lebih tinggi dari pada benda uji. Pengujian getaran resonansi dapat memberikan informasi tentang konsistensi kekerasan material di seluruh permukaan benda uji. Jika material memiliki variasi kekerasan yang signifikan, ini dapat mengindikasikan adanya ketidaksempurnaan dalam material atau proses manufaktur level terendah pertama pada grafik PSD menunjukkan intensitas atau kekuatan getaran pada rentang frekuensi 10Hz – 25Hz.

REFERENCES

- Fentje Abdul Rauf, Frans P. Sappu, Arwanto M. A. Lakat, "Uji Kekerasan Dengan Menggunakan Alat Microhardness Vickers Pada Berbagai Jenis Material Teknik," Tekno Mesin, vol. 5 Nomor 1, pp. 21-14, 2018.
- ASME, "Stainless Steel Pipe", New York: The American Society Of Mechanical Engineers, 2004.
- Prakash Jeet singh, Lestari Said, Puri Wijayanti, "Analisis Pressure Transiet Dan Deliverability Test Menggunakan Software Ecrin Dan Metode Manual Pada Sumur AI-01 Lapangan Snl," Seminar Nasional Cendekiawan ke 4, no. PROSIDING SEMINAR NASIONAL CENDEKIAWAN 2018 BUKU I, p. 599, 25 Oktober 2018.
- Yose Rizal, Ismardi, "Pengaruh Perlakuan Panas Terhadap Sifat Kekerasan (Hardness) Pada Roda Gigi Tarik Sepeda Motor Honda,," Fakultas Teknik Universitas Pasir Pengaraian , pp. 139 - 144.
- R. H. S. Putra, "Karakteristik Pada Logam Baja Paduan Dengan Menggunakan Metoda X-Ray Fluoresence (XRF) Dan Optical Emission Spectroscopy (OES)," Yogyakarta, 2018.
- S. Moaveni, "Engineering Fundamentals An Introduction to Engineering, Fourth Edition," Christopher M. Shortt, 2010.
- Feriadi, F. Aswin, and M. I. Nugraha, "Analisis Sistem Pengukuran Getaran Mems Accelerometer ADXL345", Manutech, vol. 9, no. 02, pp. 63-67, May 2019.
- Ludwik, P. "Die Kegelprobe—Ein neues Verfahren zur Ha`rtebestimmung von Materialien Springer, Berlin (1908)
- ISO 6508-1: "Metallic Materials—Rockwell Hardness Test—Part 1: Test Method." International Organization for Standardization, Geneva (2016)
- ASTM E18 - 16: "Standard Test Methods for Rockwell Hardness of Metallic Materials, ASTM International, West Conshohocken (2016)
- ISO 2039-2: "Plastics—Determination of Hardness—Part 2: Rockwell Hardness. International Organization for Standardization", Geneva (1987)

- Nakra, B.C., K K Chaudry, "Instrumentation Measurement And Analysis", Delhi: McGraw-Hill, (1985)
- Hyat, W. H., & J. E., "Kemerly, & S. M., Durbin, Engineering Circuit Analysis 8e", McGraw Hill, (2012)
- Brigham, E. O., "The Fast Fourier Transform & its Application", Pentice Hall Inc., (1988)
- Johnson, C., "Process Control Instrumentation Technology 8th ed." Pearson (2014)