

**KEBISINGAN DAN DOMAIN FREKUENSI SEBAGAI INDIKATOR
TERHADAP KUALITAS PRODUK PADA
PROSES BUBUT**

DISERTASI

**PROGRAM DOKTOR TEKNIK MESIN
MINAT MATERIAL DAN MANUFAKTUR**

**Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Doktor Teknik**



**SUDJATMIKO
NIM . 127060200111019**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG**

2019

Identitas Tim Penguji Disertasi

JUDUL DISERTASI

Kebisingan dan Domain Frekuensi Sebagai Indikator terhadap Kualitas Produk Pada Proses Bubut.

Nama Mahasiswa : **SUDJATMIKO**

N I M : **127060200111019**

Program Studi : **Teknik Mesin**

Minat : **Teknik Material dan Manufaktur**

KOMISI PEMBIMBING

Ketua : **Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng. Sc.**

Anggota 1 : **Prof. Ir. Agus Suprpto, M.Sc., Ph.D.**

Anggota 2 : **Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT.**

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : **Prof. Dr. Ir. Pratikto, MMT.**

Dosen Penguji 2 : **Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT**

DOSEN PENGUJI TAMU : **Prof.Dr.Ir. Djoko Koestono,M.Pd.**

Sidang Komisi Proposal Disertasi : **12 Januari 2015**

Ujian Proposal Disertasi : **22 Juni 2015**

Ujian Komisi Hasil Disertasi : **16 Mei 2019**

Ujian Tertutup Disertasi : **29 Mei 2019**

PERNYATAAN ORIGINALITAS DISERTASI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah DISERTASI ini adalah asli dari pemikiran saya, tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah DISERTASI ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia DISERTASI dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku. (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan pasal 70)

Malang, 29 Mei 2019

Mahasiswa,

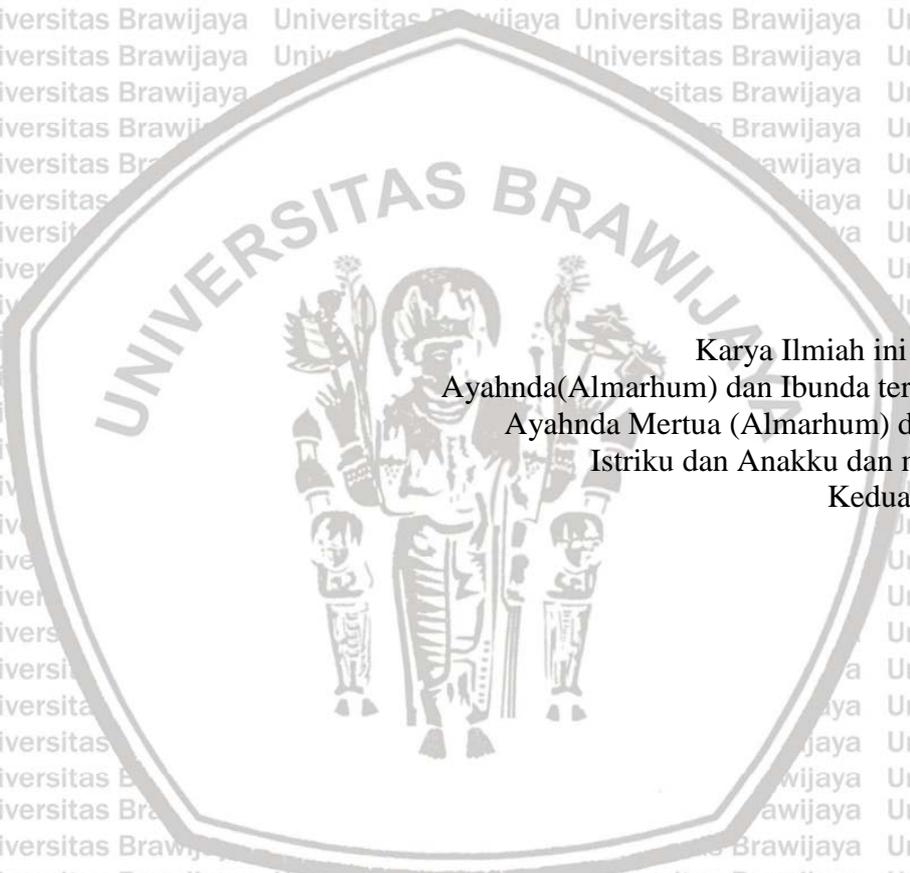


Sudjatmiko
127060200111019

LEMBAR SERTIPIKAT PLAGIASI



LEMBAR PERUNTUKAN



Karya Ilmiah ini kutujukan kepada
Ayahnda(Almarhum) dan Ibunda tercinta (Almarhum)
Ayahnda Mertua (Almarhum) dan Ibunda Mertua
Istriku dan Anakku dan menantu tersayang
Kedua cucuku tersayang

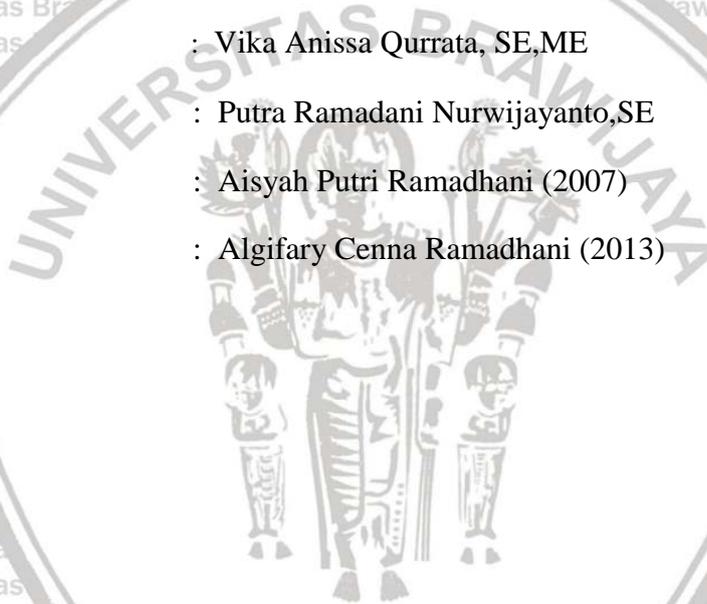


RIWAYAT HIDUP

Sudjatmiko, Tulungagung, 25 Juni 1957 anak ke 5 dari 9 bersaudara dari almarhum ayah H. Tomodihardjo Bin Surodikromo dan almarhum Ibu Hj. Taminen Binti Kerto Mochammad Yusuf, SD sampai SMP di Kota Tulungagung dan STMN di kota Blitar, lulus STM tahun 1976, lulus program sarjana teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 1984, lulus program magister teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya tahun 2011. Masuk program Doktor teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas tahun 2012 dan lulus tahun 2019. Pengalaman kerja sebagai Dosen Tetap Yayasan Perguruan Tinggi Merdeka Malang, Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang tahun 1986 hingga sekarang.

Malang, Juli 2019
Penulis

Istri : Dr. Ir. Pudji Purwanti, MP
Anak : Vika Anissa Qurrata, SE, ME
Menantu : Putra Ramadani Nurwijayanto, SE
Cucu : Aisyah Putri Ramadhani (2007)
: Algifary Cenna Ramadhani (2013)



RINGKASAN

Sudjatmiko, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Mei 2019, *Kebisingan Dan Domain Frekuensi Sebagai Indikator Terhadap Kualitas Produk Pada Proses Bubut*, Dosen Pembimbing : Rudy Soenoko, Agus Suprpto, Moch. Agus Choiron.

Fenomena dinamis yang terjadi proses bubut adalah proses pemotongan logam, dimana getaran pada mesin bubut merupakan sistem induksi gelombang tekanan ke udara yang berdekatan dapat diukur dari konten sinyal suara, frekuensi proses bubut. Penelitian ini mengukur sinyal suara dari perilaku proses bubut yang menghasilkan respon kebisingan (tingkat tekanan suara/SPL), domain frekuensi, tujuan memprediksi kualitas produk, berupa kekasaran permukaan (SR) dan kebulatan (RE). Menggunakan metode Taguchi $L_9(3^4)$, parameter pemotongan ditetapkan ; radius pojok pahat (r_n), kecepatan spindle (n), kecepatan makan (vf) dan kedalaman potong (a), dengan respon tingkat tekanan suara/SPL, frekuensi, kekasaran permukaan (SR), kebulatan (RE), keausan tepi pahat (V_b), dan rasio kerampingan geram (δ). Analisis *Fast Fourier Transform* (FFT) digunakan untuk menghasilkan data frekuensi dari sinyal suara. *Principal component analysis method* (PCA) digunakan untuk memperoleh persamaan regresi kekasaran permukaan (SR), kebulatan (RE), dan untuk memprediksi kisaran frekuensi. Metode pohon keputusan digunakan untuk memprediksi parameter pemotongan terhadap kisaran frekuensi. Temuan desain optimum berdasarkan kekasaran permukaan dengan $n_s = 1,2 \text{ mm}$, $n = 1250 \text{ rpm}$, $vf = 56 \text{ mm/menit}$, dan $a = 0,50 \text{ mm}$ dipilih sebagai parameter proses putaran optimal menghasilkan nilai pengamatan optimal (kekasaran permukaan = $0,65 \mu\text{m}$ dan kebulatan = $5,64 \mu\text{m}$). Kontribusi masing-masing faktor terhadap output ditentukan oleh ANOVA akan diperoleh model multi regresi. Temuan model persamaan regresi luas permukaan area keausan tepi pahat $V_b = 0,320370 - 0,073704 n_s - 0,021481 n - 0,041481 vf - 0,032593 a$, dan model persamaan regresi rasio kerampingan geram $\delta = 7,18889 - 1,17556 n_s - 0,59222 n - 0,60222 vf - 0,09111 a$. Pengaruh korelasi nilai R^2 sangat kuat terhadap respon rasio $\delta = 94,45 \%$, dan $V_b = 67,30 \%$. Temuan kebisingan nilai SPL range (80,37 – 84,00) dB, frekuensi range (11440 – 12143) Hz, dengan kondisi pemotongan $n_s 1,2$; $n 1250$; $vf 58$; $a 0,25$ dan $n_s 0,4$; $n 1000$; $vf 56$, $a 0,25$. Menurut standardisasi kesehatan untuk tingkat kebisingan/SPL 80 – 100 dBA dan standardisasi frekuensi (5000 – 12500) Hz. Asumsi rata-rata per hari 8 jam kerja proses bubut, pada penelitian ini tidak termasuk yang membahayakan bagi pendengaran khususnya gendang telinga. Temuan model persamaan regresi PCA, $SR_{\text{model}} = 0,95487 + 0,0015747 K_2 + 0,0012907 K_3 + 0,0035823 K_4$, hasil tren error SR sebesar 9,55%, dan regresi kebulatan $RE_{\text{model}} = 5,6166 - 0,0015691 K_3 - 0,0012662 K_4 + 0,00095288 K_5 - 0,0013742 K_6 - 0,0018274 K_7$, hasil tren error rata-rata RE sebesar 1,1 %, dari kedua capaian model regresi dapat digunakan untuk memprediksi nilai frekuensi suara terhadap hasil kualitas produk. Temuan pengaruh parameter pemotongan terhadap domain frekuensi menggunakan metode pohon keputusan adalah ; (a). radius pojok (n_s) 0,4 mm, frekuensi 11791 Hz, dan SPL 80,65 dB; (b). putaran spindle (n) 1000 rev/min, frekuensi 11615 Hz, dan SPL 83,74 dB; (c). kecepatan makan (vf) 56 mm/menit, frekuensi 11615 Hz, dan SPL 80,65; (d). kedalaman potong (a) 0,35 mm, frekuensi 11263 Hz, SPL 80,37 dB.

Kata kunci : Taguchi, Kekasaran permukaan, *Fast Fourier Transform*, *Principal Component Analysis method*, *desicion tree method*, noise

Summary

Sudjatmiko, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya, Interest Material and Manufacturing, May 2019, The noise and frequency domains as indicator on the quality of products in lathe process. Academic Supervisor : Rudy Soenoko, Agus Suprpto, and Moch. Agus Choiron.

The dynamic phenomenon that occurs in the lathe process is the process of cutting metal, where the vibration on the lathe is a system of induction pressure waves into adjacent air that can be measured from the content of the frequency and amplitude of the lathe process.

In this study to measure the sound signal from the behavior of the lathe process produces a frequency domain response, amplitude (noise) to predict product quality, in the form of surface roughness (SR) and roundness (RE). Using the Taguchi L9 (34) method, the cutting parameter is set; tool nose radius (nr), spindle speed (n), feeding speed (vf) and cut depth (a), with sound pressure / SPL level response, frequency, surface roughness (SR), roundness (RE), surface area of flank wear tool (Vb), and the chip slenderness ration (δ). Frequency analysis Fast Fourier Transform (FFT) is used to generate sound signal data. Principal component analysis method (PCA) is used to obtain surface roughness (SR) and roundness (RE) regression, and to predict the frequency range. Decision tree method is used to predict the cutting parameters of the frequency range. Decision tree method is used to predict the cutting parameters of the frequency range. The optimum design findings based on surface roughness with ns = 1.2 mm, n = 1250 rpm, vf = 56 mm / minute, and a = 0.50 mm were selected as optimal rotation process parameters resulting in optimal observation values (surface roughness = 0.65 μ m and roundness = 5.64 μ m). The contribution of each factor to the output is determined by ANOVA, a multi regression model will be obtained. The findings of the regression equation model of the surface area of flank wear tool (Vb) = 0.320370 - 0.073704 ns - 0.021481 n - 0.041481 vf - 0.032593 a, and the chip slenderness ration regression equation model δ = 7.18889 - 1s, 17556 ns - 0.59222 n - 0,60222 vf - 0,09111 a. The effect of the correlation value of R² is very strong on the response ratio δ = 94.45%, and Vb = 67.30%. Findings of noise SPL values range (80.37 – 84.00) dB, frequency range (11440 - 12143) Hz, with conditions for cutting ns 1.2; n 1250; vf 58; a 0.25 and ns 0.4; n 1000; vf 56, a 0.25. According to health standardization for noise level / SPL 80 - 100 dBA and frequency standardization (5000 - 12500) Hz. The average assumption per day 8 working hours of the lathe process in this study does not include those that are harmful to hearing, especially the eardrum. The findings of PCA regression model, $SR_{\text{model}} = 0,95487 + 0,0015747 K_2 + 0,0012907 K_3 + 0,0035823 K_4$, hasil tren error SR sebesar 9,55%, and roundness RE_{model} regression $RE_{\text{model}} = 5.6166 - 0.0015691 K_3 - 0.0012662 K_4 + 0.00095288 K_5 - 0.0013742 K_6 - 0.0018274 K_7$, the result of the average trend of RE error is 1.1%, from the two results of the regression model it can be used to predict the value of the frequency of the sound against the product quality. The findings of the effect of cutting parameters on the frequency domain using the decision tree method are; (a). nose radius (ns) 0.4 mm, frequency 11791 Hz, and SPL 80.65 dB; (b). spindle rotation (n) 1000 rev / min, frequency 11615 Hz, and SPL 83.74 dB; (c). feeding speed (vf) 56 mm / minute, frequency 11615 Hz, and SPL 80.65; (d). depth of cut (a) 0.35 mm, frequency 11263 Hz, SPL 80.37 dB.

Keywords: Taguchi, Surface Roughness, Fast Fourier Transform, Principal Component Analysis method, Decision Tree Method.

UCAPAN TERIMA KASIH

Bismillahirrahmanirrahiem

Syukur Alhamdulillah. Segala puji bagi Alloh.SWT dan salawat tercurah pada junjungan kita Nabi Muhammad.SAW sehingga disertasi ini terselesaikan. Banyak hambatan yang dialami penulis dalam menjalani proses perkuliahan dan penyelesaian disertasi ini, namun atas bantuan banyak pihak maka penulis mampu menyelesaikan disertasi ini. Untuk itulah, maka penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada :

1. Prof. ING. Ir. Wardana, M.Eng., Ph.D., selaku ketua Program Doktor Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah banyak membantu selama penulis menyelesaikan studi di Program Doktor Teknik Universitas Brawijaya.
2. Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc, selaku promotor yang banyak memberi arahan, bimbingan dan semangat dalam disertasi dan penulisan hingga accepted..
3. Prof. Ir. H. Agus Suprpto, MSc., Ph.D., selaku pendamping promotor yang telah banyak memberikan masukan mengenai hal-hal kecil yang terlepas dari perhatian penulis. Selain itu juga banyak memberikan motivasi dan semangat selama proses pengerjaan disertasi dan penulisan paper hingga accepted.
4. Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT, selaku selaku pendamping promotor yang membantu saya dalam memberikan ide-ide mengenai apa yang ditulis, memeriksa setiap paper yang akan saya submit, hingga accepted, meneliti sampai per kata disertasi yang saya kerjakan dan tak lupa selalu memberi motivasi serta saran agar senantiasa berdoa dalam melakukan segala sesuatunya.
5. Prof. Dr. Ir. Pratikto, MMT, yang bertindak sebagai penguji atas masukan dan sarannya.
6. Dr. Ir. Achmad As,ad Sonief, MT, yang bertindak sebagai penguji atas masukan dan sarannya.
7. Dekan Fakultas Teknik UB, Wakil Dekan I,II, III, Ketua Jurusan beserta Sekretaris Jurusan serta seluruh dosen dan staf jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang banyak membantu sehingga memudahkan penulis menyelesaikan studi.
8. Bapak Ketua Yayasan Perguruan Tinggi (YPTM) Merdeka Malang yang telah mengijinkan menempuh pendidikan S3 dan memberi motivasi dan dorongan doa, sehingga memudahkan penulis menyelesaikan studi.
9. Rektor Universitas Merdeka Malang yang telah mengijinkan menempuh pendidikan S3 dan banyak memfasilitasi secara administrasi biaya BPPS dari RistekDikti sehingga memudahkan penulis menyelesaikan studi.
10. Dekan Fakultas Teknik UnMer Malang, Wakil Dekan I,II, Ketua Jurusan beserta Sekretaris Jurusan serta seluruh dosen dan staf jurusan Teknik Mesin UnMer Malang yang banyak membantu dorongan doa, sehingga memudahkan penulis menyelesaikan studi.
11. Istriku yang tercinta Dr.Ir. Pudji Purwanti,MP dan Putriku Vika Annisa Q, SE,ME, cucuku ; Aisyiah Putri.R dan Avicenna Alghiffari.R, dan menantu Putra Ramadani. N,SE yang memberi motivasi, semangat dan dorongan doa tiada putus sehingga memudahkan penulis menyelesaikan studi.
12. Ibunda Mertua Hj. Subaidijah, A. Rochman dan adik-adik dari keluarga besar A. Rochman yang memberikan dorongan doa tiada putus sehingga memudahkan menyelesaikan studi.

13. Teman-teman PMD MMTI 12 : bpk. Purnomo, bpk. Heru Harsono bpk, I. Komang Astana Widi, ibu. Putu Hadi Setyarini, ibu Nelly Budiharti, bpk. Mastiadji Tamjidillah, bpk. Sugiarto, bpk Helmy Purwanto, Ibu Murti Astuti, bpk Yurianto, bpk.Aladin Eko Purkuncoro, bpk.Moh. Hartono, bpk. Achmad Taufik, bpk. Harry Sudjono, ibu (Almr) HJ. Chris Nuraini, yang saling support memberi semangat kebersamaan.
14. Sdr sejawat rekan Dosen dari Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang, Bpk : H. Darto,ST,MT, Ir.H.Abdul Rabi'i, Mkom, Samsudin,Ssi,MT, Dr. H.Eng,Dani Yuniawan, ST,M.M.T yang telah banyak membantu pengambilan/pengolahan dan analisa data, dorongan doa dan motivasi sehingga memudahkan penulis menyelesaikan studi.
15. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu dalam tulisan ini, yang telah membantu saya dengan dorongan doa dan ikhlas serta membantu memotivasi.

Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan berkah dan rahmad-Nya bagi kita semua, terima kasih untuk bantuannya selama ini, semoga juga dapat menjadi amal ibadah dihadapan-Nya, Amin

Malang, Juli 2019

Penulis,



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala Rahmat, Rahmat, Hidayah dan KaruniaNya, penulis dapat menyelesaikan disertasi dengan judul ” Kebisingan Dan Domain Frekuensi Sebagai Indikator Terhadap Kualitas Produk Pada Proses Bubut “. Sebagai salah satu syarat Program Doktor Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya atas terselesainya Disertasi ini kepada Komisi Pembimbing :

1. Prof. ING. Ir. Wardana, M. Eng, Ph.D, selaku Ketua Program Doktor Teknik Mesin Universitas Brawijaya yang telah banyak membantu selama penulis menyelesaikan studi di Program Doktor Teknik Universitas Brawijaya.
2. Prof. Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng. Sc, selaku Promotor penelitian disertasi, yang telah banyak membantu, memberikan bimbingan dalam penyusunan perencanaan, pelaksanaan, publikasi dan penyusunan laporan disertasi.
3. Prof. Ir. Agus Suprpto, MSc., Ph.D, selaku pendamping Promotor yang telah banyak memberikan bimbingan dalam penyusunan perencanaan, pelaksanaan, publikasi dan penyusunan laporan disertasi.
4. Dr. Eng. Moch. Agus Choiron, ST., MT, selaku pendamping Promotor yang telah banyak memberikan arahan/bimbingan dalam penyusunan perencanaan, pelaksanaan, publikasi dan penyusunan laporan disertasi.
5. Prof. Dr. Ir. Pratikto, MMT, yang bertindak sebagai Tim penguji
6. Dr. Ir. Achmad As,ad Sonief, MT, yang bertindak sebagai Tim penguji
7. Rekan-rekan mahasiswa Material dan Manufaktur Program Doktor Teknik Mesin 2012/2013 Universitas Brawijaya yang memberi dukungan dan telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis dalam proses penyelesaian disertasi, dijadikan amalan yang berkah, dan akhirnya diharapkan saran demi kesempurnaan disertasi. Amin.

Malang, Juli 2019

Penulis,





DAFTAR ISI

Halaman

LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR IDENTITAS TIM PENGUJI	ii
LEMBAR PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
LEMBAR SERTIPIKAT PLAGIASI	iv
LEMBAR PERUNTUKAN	v
LEMBAR RIWAYAT HIDUP PENULIS	vi
LEMBAR RINGKASAN	vii
LEMBAR SUMMARY	viii
LEMBAR UCAPAN TERIMA KASIH	ix
LEMBAR KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR LAMPIRAN	xx

BAB I PENDAHULUAN 1

- 1.1. Latar Belakang 1
- 1.2. Perumusan Masalah 4
- 1.3. Tujuan Penelitian 4
- 1.4. Manfaat Penelitian 5
- 1.5. Batasan Masalah 5

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6

- 2.1. Temuan Peneliti sebelumnya 6
- 2.2. Teori Bunyi 9
- 2.3. Jenis Kebisingan 13
- 2.4. *Signal Processing* 15
 - 2.4.1. *Transformasi Fourier* 15
 - 2.4.2. *Fast Fourier Transform (FFT)* 15
 - 2.4.3. *Discrete Cosine Transform (DCT)* 19
 - 2.4.4. *Wavelet Transformation (WT)* 19
 - 2.4.5. *Short Time Fourier Transform (STFT)* 22
- 2.5. Teori *Nyquist* 22
- 2.6. Tekstur Permukaan dan *Surface Finish* dalam pemesinan 23
- 2.7. Rasio Kerampingan Pemotongan (*Slenderness ratio of the cut*) 26
- 2.8. Kerusakan dan Tipe Keausan, Pertumbuhan Keausan Pahat 27
- 2.9. Mekanisme dan Pertumbuhan Keausan 29



2.10.	Metode Analisis komponen utama (<i>Principal Component Analysis Method</i>)	29
2.11.	Metode Pohon Keputusan (<i>Desicion Tree Method</i>)	33
2.12.	Metoda <i>Taguchi</i>	37
2.12.1.	Definisi Kualitas Menurut <i>Taguchi</i>	37
2.12.2.	Tahapan dalam desain Produk	40
2.12.3.	<i>Orthogonal Array</i> (OA)	40
2.12.4.	Karakteristik Kualitas	41
2.13.	<i>Cause and Effect Diagram</i>	43
2.14.	Diagram <i>Road Map</i> penelitian	45
BAB III KERANGKA KONSEP PENELITIAN		56
3.1.	Kerangka Berpikir Penelitian	56
3.2.	Hipotesis Penelitian	58
3.3.	Definisi Operasional	58
BAB IV METODE PENELITIAN		59
4.1.	Tempat dan Waktu Penelitian	59
4.2.	Bahan dan Pahat	59
4.3.	Peralatan Penelitian	60
4.4.	Prosedur Pengujian pada proses pemesinan	67
4.5.	Parameter Penelitian	69
4.6.	Rancangan Experimental	70
4.7.	Diagram Alir Penelitian	75
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		76
5.1.	Data Hasil Penelitian	77
5.2.	Pengolahan Data	78
5.2.1	Analisa optimasi paramater proses pemotongan menggunakan Metoda <i>Taguchi</i>	78
5.2.2	Pengaruh parameter pemotongan terhadap keausan Pahat (Vb) dan rasio kerampingan geram (δ)	84
5.2.3	Kebisingan/amplitudo dari sinyal suara menggunakan tingkat tekanan bunyi (SPL)	90
5.2.4	Analisa kebisingan menggunakan tingkat tekanan bunyi (<i>Sound pressure level</i>)	95
5.2.5	Analisa data dengan Metode <i>Principal Component Analysis</i> (PCA).	100
5.2.6	Analisa kisaran frekuensi suara proses bubut menggunakan metoda <i>Principal Component Analysis</i> (PCA)	104
5.2.7	Uji hipotesa model regresi kekasaran permukaan dan kebulatan menggunakan metoda <i>Principal</i>	108

Component Analysis (PCA)

5.2.8 Analisa Spektrum sinyal suara menggunakan metode *Principal Component Analysis (PCA)* 111

5.2.9 Uji hipotesa paramet pemotongan dengan metode pohon keputusan 119

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 127

6.1. Kesimpulan 127

6.2. Saran 128

DAFTAR PUSTAKA 129

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Nilai Kekasaran berdasarkan ISO-1994	25
Tabel 2.2	Orthogonal Array L9	41
Tabel 2.3	Matrik Review Jurnal Peneliti terdahulu	47
Tabel 4.1	Data Material	60
Tabel 4.2	Komposisi Kimia Pahat Karbida tidak berlapis	60
Tabel 4.3	Sifat Mekanis Pahat Karbida	60
Tabel 4.4	Orthogonal Array L9	72
Tabel 4.5	Domain Eksperimen (Faktor dan Level Eksperimen)	73
Tabel 4.6	Desain eksperimental (L9[34]) Orthogonal array (OA)	73
Tabel 5.1	Faktor dan Level Eksperimen	76
Tabel 5.2	Hasil penelitian Sinyal Suara (<i>Sound Signal</i>) proses bubut	77
Tabel 5.3	<i>Response for Means Surface Roughness (SR)</i>	78
Tabel 5.4	<i>Response for Means Roundness (Re)</i>	79
Tabel 5.5	<i>Desain optimasi produk proses bubut</i>	80
Tabel 5.6	<i>Konfirmasi hasil Uji Eksperimen</i>	81
Tabel 5.7	<i>Analysis of Variance for Surface area flank wear (Vb)</i>	84
Tabel 5.8	<i>Response for mean area flank wear (Vb)</i>	85
Tabel 5.9	<i>Analysis of Variance for rasio kerampingan geram (δ)</i>	87
Tabel 5.10	<i>Response for mean rasio kerampingan geram (δ)</i>	87
Tabel 5.11	Hasil nilai kebisingan sinyal suara proses bubut terhadap kekasaran permukaan (SR)	97
Tabel 5.12	Hasil nilai kebisingan sinyal suara proses bubut terhadap kebulatan (RE)	100
Tabel 5.13	Proporsi ragam frekuensi sinyal suara [Xf] dengan matrik 27 x 115	105
Tabel 5.14	Skor komponen utama (KU)	105
Tabel 5.15	Matrik korelasi skor komponen utama K1-K7 untuk SR27 x 115	107
Tabel 5.16	<i>Regression Model for Surface Roughness (SR) measurement of Frequency</i>	108
Tabel 5.17	<i>Anova Summary for Surface Roughness (SR)</i>	109
Tabel 5.18	Matriks korelasi skor kopmonen utama K ₂ , K ₃ , dan K ₄ untuk <i>Surface Roughness (SR)</i>	109
Tabel 5.19	Perbandingan hasil kekasaran permukaan uji experimental dan prediksi PCA	109
Tabel 5.20	<i>Estimated Model Coefficients for Means Roundness (RE) measurement of Frequency</i>	110
Tabel 5.21	Anova Summary for Roundness (RE)	110
Tabel 5.22	Matriks korelasi skor komponen utama K ₃ , K ₄ , K ₅ , K ₆ , dan K ₇ untuk <i>Roundness (RE)</i>	111
Tabel 5.23	Perbandingan hasil Roundness uji experimental dan prediksi PCA	111
Tabel 5.24	K ₂ didominasi oleh X ₃ , X ₄ , X ₅₈ , X ₆₇ , X ₆₈ , X ₆₉	112
Tabel 5.25	K ₃ didominasi oleh X ₄ , X ₂₈ , X ₂₉ , X ₃₀	114

Tabel 5.26	K ₄ didominasi oleh X ₄₄ , X ₄₅ , X ₅₈ , X ₆₄ , X ₆₅ , X ₆₆	117
Tabel 5.27	Hasil prediksi sinyal suara dan noise dengan metode PCA terhadap kualitas produk	119
Tabel 5.28	K ₁ didominasi oleh X ₅ , X ₁₆ , X ₂₉ , X ₃₀ , X ₆₆ , X ₆₇	121
Tabel 5.29	K ₅ didominasi oleh X ₂ , X ₄₂ , X ₄₃	123
Tabel 5.30	K ₇ didominasi oleh X ₁₇ , X ₁₈ , X ₁₉ , X ₂₀ , X ₂₇ , X ₂₉ , X ₆₄	124
Tabel 5.31	K ₆ didominasi oleh X ₄₁ , X ₄₂ , X ₄₃ , X ₄₅ , X ₄₆ , X ₄₇ , X ₆₄	125
Tabel 5.32	Hasil prediksi metode pohon keputusan terhadap parameter pemesanan	126



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Pola level kebisingan dengan evaluasi jangkauan waktu dan contoh pengukuran yang dipilih dan divisi waktu	12
Gambar 2.2	Contoh Penerapan FFT	16
Gambar 2.3	Sinyal Suara (<i>Sound</i>)	17
Gambar 2.4	Hasil FFT	18
Gambar 2.5	<i>Window</i> pada FFT	20
Gambar 2.6	Pengurangan <i>noise</i> dengan <i>Wavelet</i>	21
Gambar 2.7	Terminologi tekstur permukaan Terminology, 2009	24
Gambar 2.8	Profil kekasaran permukaan (JIS B 0031, 1994)	24
Gambar 2.9	Grafik hubungan antara proses pemesinan dengan kekasaran	25
Gambar 2.10	Tipikal profil keausan tepi (<i>flank wear</i>)	28
Gambar 2.11	Keausan kawah (<i>crater wear</i>)	28
Gambar 2.12	Evolusi konfigurasi keausan tepi (<i>flank wear</i>) (V_B)	29
Gambar 2.13	Tampilan pohon Berakar, sebagai konvensi, tanda panah dapat dibuang	35
Gambar 2.14	Tampilan pohon keputusan untuk mengurutkan 3 buah bilangan 1, b, dan c	37
Gambar 2.15	<i>Nominal the best</i>	42
Gambar 2.16	<i>Smaller the best</i>	42
Gambar 2.17	<i>Large the better</i>	43
Gambar 2.18	<i>Cause & Effect Diagram</i> penelitian <i>Surface Roughness</i> (Kualitas Produk pada proses Bubut)	44
Gambar 2.19	<i>Cause & Effect Diagram</i> penelitian Kebisingan (<i>noise</i>) secara umum pada mesin perkakas	45
Gambar 2.20	<i>Cause & Effect Diagram</i> penelitian faktor kebisingan (<i>noise</i>) secara spesifik pada mesin bubut	46
Gambar 2.21	<i>Road Map</i> penelitian	47
Gambar 3.1	Alur Kerangka Pikir Penelitian	57
Gambar 4.1	Geometri Pahat Karbida	59
Gambar 4.2	Mesin Bubut TU – CNC - 2A dan alat ukur suara GT-S6310.	61
Gambar 4.3	<i>Tool Holder dan Insert Tool Carbide</i>	62
Gambar 4.4	<i>Mobile Phone Android</i>	62
Gambar 4.5	Jangka Sorong	63
Gambar 4.6	Pengukuran kebulatan (<i>Dial indicator & Vee Block</i>)	63
Gambar 4.7	Setting posisi spesimen pada <i>Deviding Head</i>	63
Gambar 4.8	Mikrometer	63
Gambar 4.9	<i>Tachometer Digital</i> kontrol putaran Spindel bubut	64
Gambar 4.10	Meja rata dan <i>Surface Roughness</i>	64
Gambar 4.11	Digital <i>Microscope Dino lite</i>	65
Gambar 4.12	Spesimen AA-6061 Sebelum dibubut	65

Gambar 4.13	Spesimen AA-6061 Setelah dibubut	66
Gambar 4.14	Diagram Skematik Setting penelitian	67
Gambar 4.15	Proses Konversi Sinyal Suara dengan FFT menghasilkan Spektrogram Domain Frekuensi (Hz) dan Amplitudo (dB)	68
Gambar 4.16	Diagram alir penelitian	73
Gambar 5.1	<i>Grafik Main Effect Plot for Means Surface Roughness</i>	79
Gambar 5.2	<i>Grafik Interaction Plot Means Roundness</i>	80
Gambar 5.3	Diagram sketsa pengaruh radius pojok pahat terhadap kekasaran permukaan dan bentuk chips	81
Gambar 5.4	Model rasio kerampingan pemotongan	82
Gambar 5.5	Jenis chip kontinyu pada radius pojok yang berbeda untuk berbagai kondisi level	82
Gambar 5.6	Gaya yang bekerja pada pahat bermata tunggal pada proses bubut	83
Gambar 5.7	<i>Grafik Main Effect Plot for Means Area keausan tepi pahat (Vb)</i>	85
Gambar 5.8	Memperlihatkan hasil pengukuran permukaan Area keausan tepi dengan verifikasi model 7 pada radius pojok 1,2 dengan area surface 0,51 mm ²	86
Gambar 5.9	<i>Grafik Main Effect Plot for means rasio kerampingan geram (δ)</i>	88
Gambar 5.10	Lebar geram setelah terpotong dengan verifikasi model 7	89
Gambar 5.11	Lebar geram setelah terpotong dengan verifikasi model 7	89
Gambar 5.12	Chip tipe kontinyu dengan verifikasi model 7	90
Gambar 5.13	Sinyal suara periodik domain waktu dan domain frek.	91
Gambar 5.14	Contoh bagaimana mengubah getaran menjadi frek.	92
Gambar 5.15	Contoh pengambilan sampling hasil sinyal suara menggunakan FFT diubah menjadi domain frekuensi	93
Gambar 5.16	Hasil sinyal suara menggunakan FFT diubah menjadi domain frekuensi	94
Gambar 5.17	Menggunakan PSD (Power spectral density)	95
Gambar 5.18	Contoh analisa spektrum kebisingan tingkat tekanan suara (SPL)	95
Gambar 5.19	Spektrum kebisingan kebisingan tingkat tekanan suara (SPL) dB observasi KU 2	96
Gambar 5.20	Spektrum kebisingan kebisingan tingkat tekanan suara (SPL) dB observasi KU 3	97
Gambar 5.21	Spektrum kebisingan kebisingan tingkat tekanan suara (SPL) dB observasi KU 4	97
Gambar 5.22	Spektrum kebisingan kebisingan tingkat tekanan suara (SPL) dB observasi KU 5	98
Gambar 5.23	Spektrum kebisingan kebisingan tingkat tekanan suara (SPL) dB KU 6	99
Gambar 5.24	Spektrum kebisingan kebisingan tingkat tekanan suara (SPL) dB observasi KU 7	99

Gambar 5.25	Diagram alir pengolahan <i>Principal Component Analysis (PCA) Method</i> dan Metode Pohon keputusan (<i>tree desicion method</i>)	101
Gambar 5.26	Spektrogram sinyal suara dalam bentuk Biner pengamatan ke 1	102
Gambar 5.27	Visualisasi Pola proporsi frekuensi sinyal suara proses bubuk (X_{frek}) dari 27 kali pengamatan	103
Gambar 5.28	Spektrogram sinyal suara dalam bentuk Biner pengamatan ke 27	103
Gambar 5.29	Diagram hubungan jumlah komponen utama (KU) terhadap Variabilitas (%)	107
Gambar 5.30	Spektrogram sinyal suara dalam bentuk Biner di observasi run ke 2	112
Gambar 5.31	Visualisasi Pola proporsi frekuensi sinyal suara (X_{frek}) komponen utama yang mendominasi pengamatan KU2.	114
Gambar 5.32	Spektrogram sinyal suara dalam bentuk Biner di observasi run ke 7	115
Gambar 5.33	Visualisasi Pola proporsi frekuensi sinyal suara (X_{frek}) komponen utama yang mendominasi pengamatan KU3	116
Gambar 5.34	Spektrogram sinyal suara dalam bentuk Biner di observasi run ke 9	117
Gambar 5.35	Visualisasi Pola proporsi frekuensi sinyal suara (X_{frek}) komponen utama yang mendominasi pengamatan KU4	118
Gambar 5.36	Diagram pohon keputusan (ns) dengan paduan frekuensi komponen utama (K1,K2, dan K4)	121
Gambar 5.37	Diagram pohon keputusan (n) dengan paduan frekuensi komponen utama (K5,K4,K2, dan K1)	122
Gambar 5.38	Diagram pohon keputusan (f) dengan paduan frekuensi komponen utama (K4,K7,K5)	123
Gambar 5.39	Diagram pohon keputusan (a) dengan paduan frekuensi komponen utama (K6 dan K7).	125

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
Lampiran 1	Acceptance and invitation to the mechanical Engineering post graduate international conference 2016 (Mespic'16) on 28 th – 29 th september 2016	135
Lampiran 2	Acceptance of manuscript for publication	137
Lampiran 3	Transfer of copyright agreement	138
Lampiran 4	Certificated of Participation UtI Mara MLA	139
Lampiran 5	Journal of Mechanical Engineering Vol.14(1),87-96,2017	140
Lampiran 6	EEJET Submission Acknowledgement	141
Lampiran 7	The article was accepted for consideration of the possibility of publication in (No.4.2019).EEJET We Request you the editored variant of the article send 23.03.2019	142
Lampiran 8	From EEJET –Sudjatmiko ((No.4.2019 August)	143
Lampiran 9	Data hasil uji penelitian S3 (2016-2017) Lab CNC UnMer Malang	144
Lampiran 10	Konvert Dari Getaran menjadi frekuensi (2015-2016)	145
Lampiran 11	Data Sound signal proses bubut L9. 2016-2017	146



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas produk yang digunakan standarisasi untuk menentukan apakah suatu produk dapat diterima atau tidak, dengan menilai tingkat persesuaian suatu hal terhadap acuannya seperti, karakteristik geometrik diantaranya adalah nilai kekasaran permukaan dan nilai penyimpangan kebulatan.

Jirapattarasilp Komson., and Choobunyen Kuptanawin (2012) meneliti tentang proses bubut untuk spesimen Stainless steel JIS: SUS 303, menggunakan pahat karbida sisipan yang dilapisi dan fluida cairan pendingin dan kering. Hasil yang dicapai menggunakan cairan pendingin dengan parameter kecepatan potong dan gerak makan berpengaruh terhadap nilai kekasaran permukaan, akan tetapi tidak mempengaruhi terhadap penyimpangan nilai kebulatan (*Roundness*).

Abhang, LB and M Hameedullah (2014) meneliti tentang proses bubut untuk baja En-31 dengan cairan pendingin dilakukan Abhang, LB and M Hameedullah (2014) dengan model matematika cukup signifikan mewakili kekasaran permukaan (SR). Dengan meningkatnya kecepatan potong dan radius pojok, maka nilai SR menurun.

Adee H. Suhail et al (2010) ; Chou Kevin.Y, Hui Song (2004); Endres William J, Raja K. Kountonya (2002) meneliti tentang penggunaan radius pojok konstan dan kedalaman potong meningkat secara signifikan berpengaruh menurunkan nilai kekasaran permukaan, kebulatan. Radius ujung pahat yang besar dan kedalaman potong konstan menghasilkan permukaan yang lebih baik dibandingkan radius pojok pahat kecil.

Rajesh Kumar et al (2012) meneliti tentang proses bubut menggunakan baja EN 24 yang dikembangkan menggunakan statistik metode Taguchi, temuan bahwa optimasi laju penghasilan geram (MRR) pada kedalaman potong semakin besar, dengan putaran spindle, konstan, gerak makan besar maka nilai kekasaran permukaan makin besar.

K. Sundara Murthy, I. Rajendran (2012) meneliti tentang proses mengefraisi untuk benda kerja paduan Aluminium 6063, menggunakan model prediksi hybrid ; jaringan saraf tiruan (JST); komponen utama (KU); analisis relasional abu-abu dan metode Taguchi. Parameter pemesinan yang mempengaruhi adalah kecepatan potong, gerak makan, kedalaman potong dan laju aliran pelumas. Temuan menunjukkan bahwa diperoleh karakteristik kualitas optimal nilai kekasaran permukaan (SR) dan keausan tepi pahat (V_b).

Hocheng, H & M.L. Hsieh (2004) meneliti tentang proses bubut dengan parameter radius pojok pahat kecil, gerak makan, dan kedalaman potong konstan. Kecepatan spindle yang kecil akan menghasilkan intensitas getaran frekuensi (Hz) dan amplitudo (d_B) yang rendah, berpengaruh terhadap penurunan kekasaran permukaan. Besar kecilnya frekuensi tergantung dari bidang kontak benda kerja terhadap pahat yang mempunyai radius pojok tertentu. Secara signifikan bahwa frekuensi (Hz) dapat digunakan untuk menaksir kualitas produk.

Rafezi Hamed (2012); Gok Arif (2012) meneliti berbagai proses penggurdian dan milling yang dilakukan untuk benda kerja dengan kemiringan permukaan cekung dan cembung. Frekuensi sinyal suara yang keluar dari pahat dicatat dan dianalisis dalam domain waktu ke domain frekuensi melalui proses penyaringan suara, menggunakan *Fast Fourier Transform (FFT)* penelitian ini bertujuan untuk mendeteksi sinyal suara pada efek keausan pahat gurdi dan milling pada Aluminium paduan 7075. Hasil temuan menunjukkan semakin tinggi nilai *Acoustic Sound Pressure (ASP)* dengan frekuensi sinyal suara yang tinggi (range 2,75 - 3,75 KHz), maka nilai kekasaran permukaan (SR) akan semakin baik.

Boyko L. Stoimenov (2004) meneliti tentang sliding kering pada dua benda bersentuhan menghasilkan suara dan berbagai efek ; gesekan, keausan, panas. Terjadinya suara tingkat tekanan tinggi pada frekuensi gesekan tanpa suara yang dihasilkan pada kontak geser flat *stainless* datar lentur dengan flat *stainless* datar mempunyai frekuensi 2,377 kHz dengan nilai kekasaran permukaan kisaran Rz : 0,8 -12,4 μm . Pada flat *stainless* lentur terhadap flat lentur dengan menggosok *cross-section* mempunyai nilai kekasaran permukaan maksimum Rz : 10,4 – 3,4 μm , kisaran frekuensi 3,0 kHz – 4,5 kHz.

Seemuang, T. McLeay & T. Slatter (2016) meneliti tentang proses bubut pada perubahan frekuensi dan besarnya kebisingan spindle ditransformasi menggunakan *Fast Fourier Transform (FFT)*, diperoleh nilai 5,86 kHz. Ini menunjukkan bahwa tidak ada korelasi yang signifikan antara frekuensi kebisingan spindle terhadap keausan pahat, akan tetapi perubahan parameter kecepatan potong dan gerak makan secara responsif mempengaruhi besarnya spektrum daya kebisingan.

Hassan, N & Hussain, A. (2009) meneliti tentang proses milling, hasil temuan dengan variasi kedalaman potong, dan kecepatan spindle konstan, memiliki efek yang lebih besar pada pengurangan getaran amplitudo. Dengan menurunkan variabel kecepatan spindle, maka secara langsung dapat mengurangi gaya pemotongan, yang berdampak pada tingkat suara pada proses pemesinan menurun.

M. Arbi Hadiyat (2012) meneliti tentang proses bubut menggunakan material *Polyacetal* digunakan parameter *cutting speed*, *feed rate*, dan *nose radius*. Menggunakan *Principal component analysis* (PCA) merupakan salah satu teknik reduksi multivariabel yang dikombinasikan dengan eksperimen taguchi (*Hybrid PCA Taguchi*) untuk mendapatkan optimasi multirespon. Hasil temuan *cutting speed* dan *feed rate* yang optimal, kecenderungannya berlawanan terhadap faktor *nose radius* untuk respon MRR (respon cenderung menurun sesuai level) dan Ra (respon cenderung meningkat sesuai level) menyebabkan sulitnya menentukan level optimalnya secara serentak.

Alessandra Caggiano (2018) meneliti tentang proses bubut untuk material Ti 6Al-4V tanpa cairan pendingin (*cutting fluid*), pemrosesan gaya potong melalui emisi akustik dengan sensor getaran. Menggunakan jaringan saraf tiruan (JST) pada fitur PCA dapat mengurangi dimensi besar dari fitur sensorial, dapat digunakan untuk memprediksi nilai keausan pahat (VB) dan diagonis yang akurat nilai keausan pahat (VB).

Gangadhar. N, (2018) meneliti tentang proses bubut menggunakan pahat karbida sisipan tungsten dengan teori *multilayer perceptron* (MLP) digunakan untuk mendiagnosis kesalahan melalui fitur histogram diambil dari sinyal getaran dari titik terpilih pada pahat potong bubut dengan kondisi yang baik dan rusak. Sinyal getaran diperoleh dari kondisi mesin yang baik menggunakan pahat potong bekas menghasilkan fitur-fitur yang diekstraksi. Analisis komponen utama (PCA) digunakan untuk memilih fitur ekstraksi. Algoritma jaringan syaraf tiruan (ANN) digunakan untuk mengklasifikasi dan mengetahui kesalahan kondisi pahat potong. Hasil temuan dengan pendekatan metode MLP secara efektif dapat dipergunakan untuk memvalidasi kesalahan titik terpilih pahat potong karbida sisipan tungsten dengan tingkat validasi 82,5 %.

Ghorbani. S,N. I (2017) meneliti tentang proses gurdi konvensional untuk material komposit dan proses milling dengan material (AISI 1045 Steel, paduan aluminium AA 2024, besi cor abu-abu A 48 - kelas 30). Parameter pemotongan yang digunakan ; kecepatan spindel (630 - 1000 rpm), gerak makan (0,05-0,075 mm/rev), kedalaman potong (0,05-0,15 mm) dan *overhang* pahat (41-65 mm). Rancangan 81 pengamatan dengan respon nilai kekasaran permukaan (SR), menggunakan metode satu pohon keputusan (*single decision tree method*) tujuannya untuk mengidentifikasi faktor-faktor dan menaksir model nilai kekasaran permukaan. Algoritma *Classification and Regression Trees* (CART) digunakan untuk membangun dan mengevaluasi pohon regresi, hasil temuan menunjukkan bahwa satu pohon keputusan lebih baik daripada model regresi tradisional dengan tingkat akurasi nilai yang tinggi dan taksiran yang lebih tinggi.

Penelitian substansial dilakukan untuk menyelidiki parameter pemotongan pada proses bubut dengan memanfaatkan mobile phone android. Pada penelitian proses bubut CNC TU-2A menggunakan material paduan aluminium - AA. 6061, untuk memprediksi kebisingan/amplitudo (d_B), domain frekuensi (Hz) terhadap kualitas produk berupa kekasaran permukaan (SR), kebulatan.

Kebaruan (*Novelty*) penelitian ini adalah :

1. Memperoleh persamaan multiregresi permukaan area keausan tepi pahat (V_b), dan rasio kerampingan pemotongan geram (*cutting slenderness rasio*) (δ).
2. Memperoleh : (a). nilai kebisingan/amplitudo(d_B) pada kondisi parameter pemotongan tertentu, (b). persamaan multiregresi kekasaran permukaan (SR), kebulatan (RE), pada domain frekuensi menggunakan *principal component analysis method* (PCA).
3. Memperoleh nilai taksiran parameter pemotongan menggunakan metode pohon keputusan (*decision tree method*) terhadap frekuensi dan kebisingan/noise (d_B).

1.2 Perumusan Masalah

Untuk menindak lanjuti dan mengembangkan studi proses bubut permasalahan yang timbul sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh parameter pemotongan terhadap kualitas produk berupa kekasaran permukaan (SR) dan kebulatan pada proses bubut menggunakan metode Taguchi ?.
2. Bagaimana pengaruh parameter pemotongan terhadap luas area permukaan keausan tepi pahat (V_b) dan rasio kerampingan geram (δ) pada proses bubut menggunakan metode Taguchi ?.
3. Bagaimana pengaruh kebisingan/amplitudo (d_B), domain frekuensi (Hz) terhadap kualitas produk menggunakan metode *regresi principal component analysis* (PCA), dan menaksir parameter pemotongan terhadap kualitas produk menggunakan metode pohon keputusan (*decision tree method*) dapat dijadikan indikator ?.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang hendak dicapai adalah:

1. Untuk untuk mendapatkan parameter proses pemotongan yang optimum.

2. Untuk mendapatkan persamaan model permukaan luas area keausan tepi pahat (V_b) dan rasio kerampingan geram (δ).
3. Untuk mendapatkan nilai kebisingan/amplitudo (d_B) sesuai dengan batasan standar kebisingan, dan persamaan model regresi *principal component analysis* (PCA), domain frekuensi (Hz), dan mendapatkan taksiran parameter pemotongan menggunakan statistik metode pohon keputusan (*decision tree method*).

1.4 Manfaat Penelitian

Diharapkan penelitian ini dapat bermanfaat :

1. Sebagai indikator kualitas pada proses bubut menggunakan metode Taguchi.
2. Sebagai indikator luas area permukaan keausan tepi pahat (V_b) dan rasio kerampingan geram (δ).
3. Sebagai indikator standar nilai kebisingan/amplitudo (d_B), domain frekuensi (Hz) untuk kualitas produk berupa produk kekasaran permukaan (SR), kebulatan, dan taksiran parameter pemotongan.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang diambil dalam pelaksanaan penelitian spesimen paduan alumunium (AA) - 6061 dan material pahat Karbida tidak berlapis, *Tool Holder* standar, proses pemesinan dilakukan dengan CNC TU-2A tanpa menggunakan fluida (*dry cutting*).

Penelitian ini tidak mengamati getaran yang terjadi saat proses pemesinan dan pengukuran temperatur pahat saat melakukan proses bubut.

Peralatan bantu menggunakan mobile phone android dengan kondisi standar dan diasumsikan telah dikalibrasi kebisingan/amplitudo dan frekuensi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Temuan peneliti sebelumnya.

Chu, Eleanor, Alan George (2000) melakukan penelitian fenomena kebocoran sinyal selalu muncul pada *Discrete Fourier Transformation (DFT)* dan *Fast Fourier Transform (FFT)* disebabkan oleh tidak adanya tempat bagi frekuensi yang lebih halus.

Dari hasil temuan sinyal akan lebih mudah dilakukan pada domain frekuensi, besaran yang paling menentukan sinyal adalah frekuensi. Mentransformasikan sinyal yang semula analog menjadi diskret dalam domain waktu (detik), kemudian diubah ke dalam domain frekuensi (Hz), dengan menggunakan (*FFT*).

Dimla D.E (2000) melakukan penelitian pada mesin frais respon dari emisi akustik dan getaran terhadap perubahan kondisi mesin bubut melakukan. AE dan getaran sinyal yang ditransformasi menggunakan FFT menjadi menjadi domain waktu dan domain frekuensi. Diamati bahwa komponen vibrasi pada arah X, Y dan Z akan meningkat dengan meningkatnya gerak makan dan kedalaman potong, kecepatan potong. Temuan penelitian sebuah korelasi yang baik dengan pengamatan AE terhadap keausan pahat. Komponen vibrasi ke arah gerak makan secara representatif dapat dipergunakan untuk memonitor kekasaran permukaan benda kerja.

O.B. Abouelatta, J. Madl (2001) meneliti proses frais hubungan antara umur pahat, kekasaran permukaan dan getaran, variabel yang harus diperhatikan ; kecepatan potong, laju pemakanan , kedalaman potong, radius pojok pahat, overhang pahat, sudut potong utama pahat, panjang pemotongan benda kerja, diameter benda kerja dan percepatan arah radial dan arah umpan. Hasil temuan sinyal akselerasi ditransformasi menggunakan *Fast Fourier Transform (FFT)* yang menghasilkan file ASCII, sehingga data eksperimen dianalisis menghasilkan model regresi.

Suhail Ade H (2010) ; Y. Kevin Chou, Hui Song (2004) meneliti proses bubut menggunakan variabel parameter pemotongan ; variabel gerak makan dan kedalaman potong merupakan faktor yang paling signifikan berpengaruh menurunkan kekasaran permukaan. Hasil temuan kekasaran permukaan menurun, untuk mencapai kebulatan yang diinginkan radius pojok pahat dibuat lebih besar menghasilkan permukaan yang lebih baik dibandingkan radius pahat kecil.

Hocheng,H dan M.L.Hsieh (2004) melakukan penelitian proses bubut dengan menggunakan pahat *Diamond* menghasilkan kekasaran permukaan yang diukur dalam domain waktu (detik) menggunakan alat ukur Talysurf, kemudian berubah menjadi domain frekuensi (Hz) menggunakan *Fast Fourier Transform (FFT)*. Hasil temuan berdasarkan besarnya intensitas, geometri pahat bervariasi dengan gerak makan, kecepatan spindle dan radius pojok pahat, getaran frekuensi rendah dari hasil pengukuran diidentifikasi sebagai faktor utama yang mempengaruhi kekasaran permukaan yang dihasilkan.

Boyko L. Stoimenov (2004) meneliti tentang sliding kering pada dua benda bersentuhan menghasilkan suara dan berbagai efek ; gesekan, keausan, panas. Terjadinya suara tingkat tekanan tinggi pada frekuensi gesekan tanpa suara yang dihasilkan pada kontak geser flat *stainless* datar lentur dengan flat *stainless* datar mempunyai frekuensi 2.377 kHz dengan nilai kekasaran permukaan kisaran $Rz : 0,8 - 12,4 \mu m$. Pada flat *stainless* lentur terhadap flat lentur dengan menggosok *cross-section* mempunyai nilai kekasaran permukaan maksimum $Rz : 10,4 - 3,4 \mu m$, kisaran frekuensi 3,0 kHz – 4,5 kHz.

Hili, Molka Attia (2005) melakukan penelitian pemasangan poros komponen mesin yang bertumpu pada bearing, terdapat gaya vibrasi pada komponen mesin diteruskan ke *bearing*. Pengamatan yang dilakukan meliputi ; arus, tegangan, daya listrik, dan putaran motor pada rumah *bearing* menghasilkan sinyal vibrasi dalam domain waktu. Dengan transformasi *Fast Fourier Transform (FFT)*, dan *Wavelet Transform (WT)* menghasilkan nilai getaran amplitudo dan frekuensi (Hz). Temuan hasil analisis vibrasi yaitu *perbandingan* konsumsi energi saat *alignment* dan *misalignment* diantara kedua bearing yang bertumpu pada poros.

Mahdavejad RA, H. Sharifi Bidgoli (2009) melakukan penelitian proses bubut untuk kualitas produk kekasaran permukaan dan kebulatan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan dan kebulatan antara lain : Parameter pemesinan (*Machining Parameters*), Spesifikasi pahat potong (*Cutting tool Specifications*), Spesifikasi benda kerja (*Workpiece Specifications*), dan Proses pemotongan (*Cutting Process*). Sifat gesekan yang terjadi interaksi saat proses bubut berlangsung akan mempengaruhi geometri kekasaran permukaan (*Surface Roughness*) dan penyimpangan kebulatan produk (*Roundness product*).

Hassan, N & Hussain, A. (2009) meneliti tentang proses milling, hasil temuan dengan variasi kedalaman potong, dan kecepatan spindle konstan, memiliki efek yang lebih besar pada pengurangan amplitudo getaran. Dengan menurunkan variabel kecepatan

spindel, secara langsung dapat mengurangi gaya pemotongan, yang berdampak pada tingkat suara pada proses pemesinan menurun.

Gaintonde, V.N (2009); Krishankant (2012) meneliti proses *Milling* dengan menggunakan parameter laju pemakanan, kecepatan potong, dan kedalaman potong. Dua karakteristik kinerja ; kekasaran permukaan dan kecepatan penghasilan geram dikembangkan menggunakan *Taguchi method* untuk menghasilkan optimasi minimum. Hasil temuan menunjukkan bahwa parameter laju pemakanan, kecepatan potong, dan kedalaman potong digunakan dengan variabel yang berlainan sangat berpengaruh pada kekasaran permukaan yang baik dan penghasilan geram yang minim.

Abuthakker.S.S (2011) meneliti proses bubut pada proses pemotongan dari kebisingan (*noise*) merupakan langkah maju yang luar biasa dalam manufaktur proses dengan inovasi teknologi, dalam rangka untuk meningkatkan produktivitas, kualitas dan mengurangi biaya. Hasil temuan kerusakan akibat proses bubut amplitudo getaran yang tinggi merupakan salah satu faktor terjadinya kerusakan pahat potong dan penurunan kualitas produk.

Rafezi Hamed (2012), meneliti proses gurdi (*drilling machine*) untuk Alumunium paduan Al-7075 yang terkait dengan keausan pahat gurdi akan menghasilkan kualitas produk yang jelek. Proses penggurdian sinyal suara penggurdian dicatat dan dianalisis dalam domain waktu ke domain frekuensi. Sinyal suara yang keluar dari pahat gurdi telah mengalami proses penyaringan suara, frekuensi sinyal suara spektrum ditransformasi menggunakan *Fast Fourier Transform (FFT)*. Hasil temuan sinyal suara efek keausan menggunakan pahat gurdi dengan kisaran nilai frekuensi suara antara 2.75 - 3,75 KHz, (range 20-20.000 Hz).

Gok Arif (2012) meneliti *Machining Center (Milling)* menggunakan pengukuran *Acoustic Sound Pressure (ASP)*, parameter yang digunakan kecepatan pemotongan, gerak makan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui hubungan sinyal suara domain frekuensi yang dihasilkan terhadap kekasaran permukaan (SR) dengan kemiringan pahat pada permukaan cekung dan cembung. Hasil temuan menunjukkan bahwa terdapat kenaikan nilai kekasaran permukaan (SR) sebanding dengan kenaikan nilai ASP.

K. Manivannan and Devendiran. S (2012), menelaah penelitian proses penggerindaan dilakukan pendekatan secara *online monitoring* mempergunakan batu gerinda baru untuk mendeteksi keausan. Menggunakan *Acoustic Emission (AE)* sinyal yang diproses dengan metoda *Wavelet* diskrit transformasi dan ekstraksi. Hasil temuan akurasi dapat diklasifikasikan ; 96,70% (kedalaman potong 10 μm), 98,95% (kedalaman

potong 20 μm) dan 99,15 % (kedalaman potong 30 μm). Untuk beberapa kondisi penggerindaan akurasi 95,25%. Menunjukkan bahwa metode pemantauan yang diusulkan memiliki kinerja yang baik dapat digunakan untuk memprediksi keausan batu gerinda.

Peng cheng Huo, (2014) melakukan penelitian sinyal suara secara keseluruhan pada proses pemotongan, menggunakan *End milling* secara umum meliputi : (1). Total suara dasar proses pemotongan dengan latar belakang lingkungan kebisingan seperti transmisi mesin bubut, sistem kelistrikan, dan faktor lainnya, (2). Suara pemotongan murni yang dihasilkan yaitu getaran sistem pemotongan meliputi : sinyal emisi akustik (AE) dan sinyal suara dalam ambang terdengar (20 Hz – 20 kHz). Temuan karakteristik peletakkan instalasi sensor AE yang kurang memadai terhadap benda kerja dan pahat potong, mengakibatkan terjadinya kebisingan, sehingga menimbulkan frekuensi tinggi (di atas 2000 Hz). Selama proses pemesinan audio mengalami gangguan getaran, untuk menghindari interferensi yang relatif kuat mengakibatkan timbulnya frekuensi rendah.

2.2 Teori Bunyi

Bunyi merupakan salah satu bentuk energi yang dapat didengar. Bunyi dihasilkan oleh benda yang bergetar. Menurut Gabriel, (1996) bunyi atau suara didefinisikan sebagai serangkaian gelombang yang merambat dari suara sumber getar sebagai akibat perubahan kerapatan dan juga tekanan udara. Suara adalah fenomena fisik yang dihasilkan oleh getaran benda atau getaran suatu benda kerja yang berupa sinyal analog dengan amplitudo yang berubah secara kontinu terhadap waktu. Suara berhubungan erat dengan rasa “mendengar”. Suara atau bunyi biasanya merambat melalui udara. Suara atau bunyi tidak bias merambat melalui ruang hampa. Suara dihasilkan oleh getaran suatu benda. Selama bergetar, perbedaan tekanan terjadi di udara sekitarnya. Menurut Wardhana, (2001) kualitas suara, ditentukan oleh Frekuensi dan Intensitas. Tinggi rendahnya bunyi ditetapkan oleh Frekuensi. Sifat dari bunyi ditentukan oleh frekuensi dan intensitasnya. Sedangkan intensitas merupakan perbandingan tegangan suara yang datang dan tegangan suara standar yang dapat didengar oleh manusia dengan pendengaran normal pada Frekuensi 1000 Hz, dinyatakan dalam desibel (dB).

Medium dan suhu mempengaruhi kecepatan rambatan suara yang bervariasi, tetapi untuk kecepatan, perambatan suara pada medium udara pada suhu 20°C berkisar 344 m/s, pada kondisi tersebut maka panjang gelombang suara berkisar 13 inch (0,344 m) pada frekuensi 1000 Hz.

Menurut teori yang dikembangkan Weck Manfred, (1980) kebisingan didefinisikan sebagai suara yang tidak dikehendaki yang timbul dari berbagai peralatan – peralatan, baik peralatan industri ataupun rumah tangga yang dapat menimbulkan gangguan pada kesehatan, kenyamanan, dan gangguan pada pendengaran bahkan dapat dapat menimbulkan ketulian. Bising dalam kesehatan kerja diartikan sebagai suara yang dapat menurunkan pendengaran baik secara kuantitatif (peningkatan ambang pendengaran) maupun secara kualitatif (penyempitan spektrum pendengaran), berkaitan dengan faktor intensitas, frekuensi, durasi dan pola waktu. Intensitas diartikan sebagai banyaknya arus energi yang diterima oleh pendengaran per satuan luas, biasanya disebut desibel atau ditulis d_B . Frekuensi diartikan sebagai jumlah getaran dalam tekanan suara yang diterima oleh pendengaran dalam satuan cycles per second (cls) atau Hertz (Hz). Durasi diartikan sebagai waktu dari suatu sumber suara atau bunyi yang diterima oleh pendengaran. Berdasarkan frekuensinya suara dibagi menjadi 4, yaitu :

- (1). Infrasonid : 0 Hz -20 Hz,
- (2). Pendengaran manusia : 20 Hz – 20 kHz,
- (3). Ultrasound : 20 kHz – 1 GHz,
- (4). Hypersound : 1 GHz – 10 THz.

Sedangkan pola waktu adalah seberapa sering pendengaran menerima suara atau bunyi. Namun secara sederhana kebisingan dapat didefinisikan sebagai suatu suara yang mengganggu orang yang sedang membaca atau mendengarkan musik, maka suara itu adalah kebisingan bagi orang itu meskipun mungkin orang lain tidak terganggu oleh suara tersebut.

Weck Manfred, (1980) melakukan penelitian kebisingan suatu gangguan suara yang dapat mempengaruhi kenyamanan dan kesehatan terutama yang berasal dari kegiatan operasional peralatan industri. Sedangkan operator atau karyawan yang mengoperasikan peralatan industri merupakan komponen lingkungan yang terkena pengaruh disebabkan adanya peningkatan kebisingan. Pada sisi lain, polusi kebisingan merupakan salah satu studi yang diperhatikan dengan mengangap radiasi suara dari berbagai macam sumber tertentu, misal : mesin perkakas dengan tujuan untuk menghasilkan perbandingan kesimpulan dengan kondisi metode akustik. Menurut kajian fisika suara atau bunyi tergolong sebagai gelombang mekanik yang memindahkan informasi dari satu tempat ke tempat lainnya lewat medium tertentu. Permukaan yang tegak lurus terhadap arah rambatan gelombang bunyi.

Dalam hal intensitas bunyi, semakin lebar permukaan yang dapat menangkap gelombang bunyi, maka dengan energi bunyi yang kecil dapat ditangkap dengan baik. Sebaliknya makin kecil luasan yang dapat menangkap sumber bunyi memerlukan energi bunyi yang semakin besar. Apabila luas penampang dinyatakan dengan (A), gelombang bunyi merambat di udara dengan cepat rambat (v), amplitudo tekanan (P) dan massa jenis udara (ρ_0) maka besarnya intensitas bunyi berbanding lurus dengan kuadrat amplitudo dan berbanding terbalik dengan cepat rambat bunyi.

Suara dapat didefinisikan sebagai getaran mekanik dari benda padat, fluida atau substansi gas pada frekuensi sekitar 16 Hz – 16 kHz. Pada jangkauan frekuensi tertentu manusia dapat mendeteksi getaran suara tersebut. Dasar pengukuran adalah dengan mengukur tekanan suara, hal tersebut dilakukan dengan berdasarkan pada waktu getar tekanan yang berlapis pada kondisi tekanan atmosfer (tingkat terbesar 10^{-2} sampai dengan 10^{-5} Nm⁻²).

Desibel adalah satuan yang menggambarkan suatu perbandingan atau Rasio. Secara definisi, Desibel yang sering disingkat dengan “dB” ini dapat diartikan sebagai “Perbandingan antara dua besaran dalam skala Logaritma”. Desibel pada dasarnya merupakan turunan dari besaran Bel, dimana 1 desibel sama dengan 1/10 Bel atau 0,1 Bel.

Dalam prakteknya, para engineer maupun fisikawan cenderung lebih nyaman menggunakan satuan desi Bel (desibel) daripada satuan Bel. Hal ini dikarenakan untuk menghindari kebanyakan angka dibelakang koma dalam menghitungnya. Telinga manusia mempunyai sensitivitas yang logaritmik, oleh karena itu besaran yang dipakai merupakan logaritma dari rasio tekanan terhadap suatu tekanan acuan. Rasio yang dipakai tersebut biasanya dikenal dengan nama tingkat tekanan bunyi (*Sound Pressure Level*).

Faktor level tekanan suara dan daya akustik mempunyai panduan yang didefinisikan sebagai besaran level suara yang digunakan dalam teknologi studi akustik seperti ditunjukkan pada persamaan 2.1.

$$\text{Sound Pressure Level (SPL)} = 20 \log (p/p_0) \text{ (dB)} \quad (2-1)$$

dengan

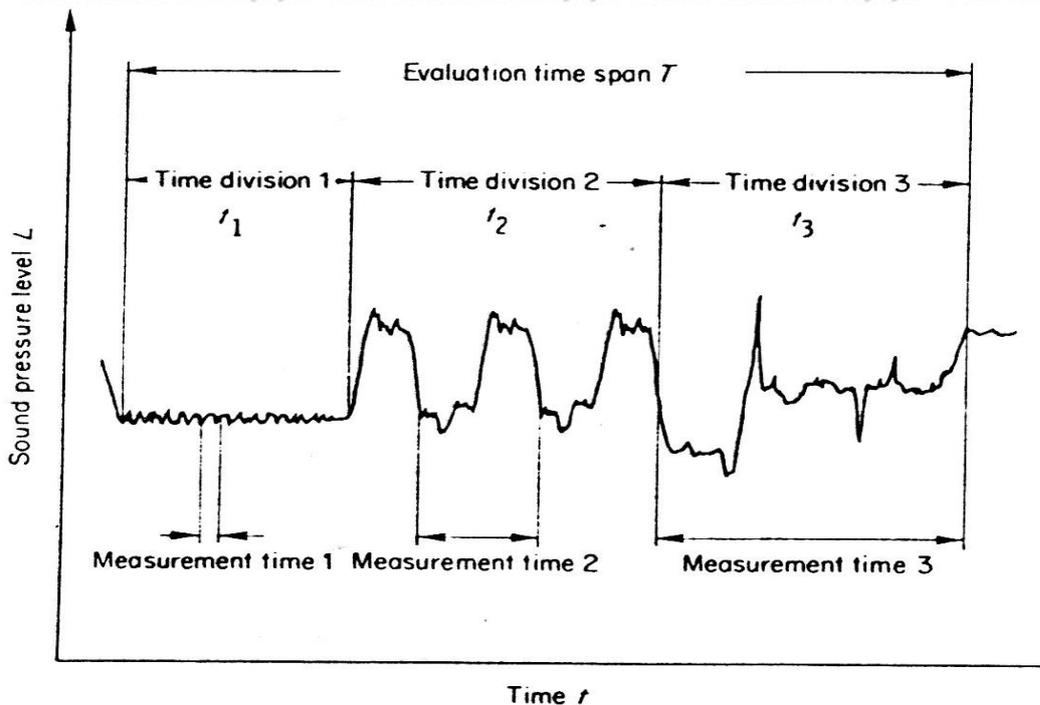
p = tekanan bunyi yang akan dinyatakan dalam dB

p_0 = tekanan bunyi acuan yang besarnya $2 \cdot 10^{-5}$ Pa,

yaitu besarnya tekanan bunyi terlemah berfrekuensi 1000 Hz yang masih dapat didengar telinga manusia pada umumnya. Telinga manusia lebih sensitif terhadap suara rentang frekuensi dari suara frekuensi sangat rendah atau sangat tinggi 1 kHz sampai 4 kHz.

Kebisingan lebih tinggi dari tekanan suara, oleh karena itu lebih dapat diterima pada frekuensi yang lebih rendah dan lebih tinggi daripada diantara rendah dan tinggi.

Menurut penelitian Weck Manfred, (1980) dengan pengukuran waktu dengan mengatur divisi waktu yang secara konsisten menjaga level tekanan suara.



Gambar 2.1

Pola level kebisingan dengan evaluasi jangkauan waktu dan contoh pengukuran yang dipilih dan divisi waktu.

Sumber : Weck Manfred, (1980).

Gambar 2.1 diperlihatkan pengukuran waktu yang pendek cukup dalam 1 divisi waktu sebab level tekanan suara hampir konstan. Dalam 2 divisi waktu yang lebih lengkap maka siklus bisa lebih dicakup. Pengukuran waktu tersebut dalam kasus ketiga adalah identik dengan 3 divisi waktu sebab level tekanan suara lebih tidak teratur selama waktu ditunjukkan pada persamaan 2.2 menurut Weck Manfred, (1980).

$$L_{mT} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{H} \sum_{i=1}^n 10^{L_i / 10} \cdot t_i \right) \quad (2-2)$$

Dengan menggunakan prosedur perhitungan nilai rata-rata energi yang diperoleh dari berbagai level kebisingan dan efektifitas waktu periode, yang mana dibandingkan dari dengan nilai batas yang ditentukan.

$$L_m = 10 \log \left(\frac{1}{Tt} \sum_{i=1}^n 10^{(L_{mi} - K_i) / 10} \cdot t_i \right) \quad (2-3)$$

Pada persamaan 2.3 merupakan level evaluasi dihitung dengan menggunakan tipe yang sama dari formula level rata-rata. Kadangkala, level tekanan suara L_{mi} bisa ditambahkan K, untuk mendapatkan nada dan waktu pulsa atau sebagian waktu dari siang atau malam menjadi perhitungan selama mempertimbangkan data pengukuran. Situasi kebisingan individu dipertimbangkan dengan penambahan level rata-rata dalam level evaluasi.

Metode sederhana lain untuk mengevaluasi waktu suara yang telah lalu adalah dengan teknik level siklus maksimum. Dengan menggunakan divisi waktu, jumlah waktu dari level tekanan suara maksimum yang dicari dengan menyimpan level rata-rata sehingga dapat dihitung dengan persamaan 2.4 berikut :

$$L_{mT} = 10 \cdot \log \left(\frac{1}{H} \sum_{i=1}^n 10^{L_i / 10} \right) \quad (2-4)$$

2.3 Jenis Kebisingan

Menurut teori yang dikembangkan Niosh, (1973) tingkat kebisingan adalah ukuran energi bunyi yang dinyatakan dalam satuan desibel disingkat dB dan kebisingan memiliki baku tingkat kebisingan dimana adalah batas maksimal tingkat kebisingan yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan dari usaha atau kegiatan sehingga tidak menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan. menyatakan, pada umumnya kebisingan yang terjadi di pabrik memiliki kualitas dan kuantitas tertentu, biasanya irama gelombang bunyi yang dihasilkan bersifat tetap ataupun periodik. Sehingga dapat dikatakan bising yang terjadi di lingkungan kerja khususnya pabrik atau industri ialah kumpulan bunyi yang didasarkan atas gelombang-gelombang akustik dengan berbagai macam frekuensi serta intensitasnya.

Menurut teori yang dikembangkan Patrick, Cunniff F, (2007) sifat dan spektrum frekuensi bunyi, sumber bunyi bising dapat di bagi atas :

- Kebisingan yang kontinyu dengan spektrum frekuensi yang luas (*Wide Spectrum*). Kebisingan ini relatif tetap dalam batas kurang lebih 5 dB, untuk periode 0,5 detik berturut-turut. Misalnya mesin tenun, kipas angin.
- Kebisingan yang kontinyu dengan spektrum frekuensi yang sempit (*Narrow Spectrum*). Kebisingan ini juga relatif tetap, akan tetapi ia mempunyai frekuensi

yang tertentu saja (pada frekuensi 500, 1000, 4000 Hz). Misalnya gergaji serkuler, katup gas.

- Kebisingan yang terputus-putus (*Intermitten*). Kebisingan ini tidak terjadi secara terus menerus, melainkan ada periode relatif tenang. Misalnya kebisingan lalu lintas, kebisingan di lapangan terbang.
- Kebisingan impulsif. Kebisingan jenis ini memiliki perubahan tekanan suara melebihi 40 dB dalam waktu cepat dan biasanya mengejutkan pendengaran.

Misalnya suara tembakan, ledakan petasan, bom, atau meriam.

- Kebisingan impulsif berulang. Sama dengan kebisingan impulsif hanya saja terjadi secara berulang-ulang. Misalnya mesin tempa.

Kebisingan berdasarkan pengaruhnya terhadap manusia dapat di bagi menjadi :

(1). Kebisingan yang mengganggu (*Irritating Noise*), (2). Kebisingan yang intensitasnya tidak terlalu keras. Misalnya mendengkur, (3). Kebisingan yang menutupi (*Masking Noise*). Merupakan bunyi yang menutupi pendengaran yang jelas. Secara tidak langsung bunyi ini akan membahayakan kesehatan dan keselamatan kerja, karena teriakan atau isyarat tanda bahaya tertutupi oleh kebisingan yang berasal dari suara lain. Kebisingan yang merusak (*Damaging / Inforious Noise*). Adalah bunyi yang intensitasnya melampaui NAB. Bunyi jenis ini akan merusak atau menurunkan fungsi pendengaran. Misalnya suara ledakan.

Kebisingan menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup nomor No. 48/MENLH/11/1996 , menyatakan, “kebisingan adalah bunyi yang tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan”, dan No. 51 Tahun 1999 “kebisingan yaitu semua suara yang tidak dikehendaki yang bersumber dari alat-alat proses produksi dan atau alat-alat kerja pada tingkat tertentu dapat menimbulkan gangguan pendengaran”.

Daerah Bising menjadi 3 bagian, yaitu:

1) Daerah Aman Bising (DAB)

- Daerah dengan lebar 21 s/d 30 m dari tepi perkerasan jalan.
- Tingkat kebisingannya kurang dari 65 dBA (Leq)
- Lama waktu paparan (60 – 65 dBA) maksimum 12 jam perhari.

2) Daerah Moderat Bising (DMB)

- Daerah dengan lebar 11s/d 20 m dari tepi perkerasan jalan
- Tingkat kebisingan antara 65 s/d 75 dBA (Leq)
- Lama waktu paparan (65 - 75 dBA) maksimum 10 jam perhari

Daerah Resiko Bising (DRB)

- Daerah dengan lebar 0 s/d 10 m dari tepi perkerasan jalan.

- Tingkat kebisingannya lebih dari 75 dBA (Leq).

- Lama waktu paparan (75 - 90 dBA) maksimum 10 jam perhari.

2.4 *Signal Processing*

2.4.1. *Transformasi Fourier*

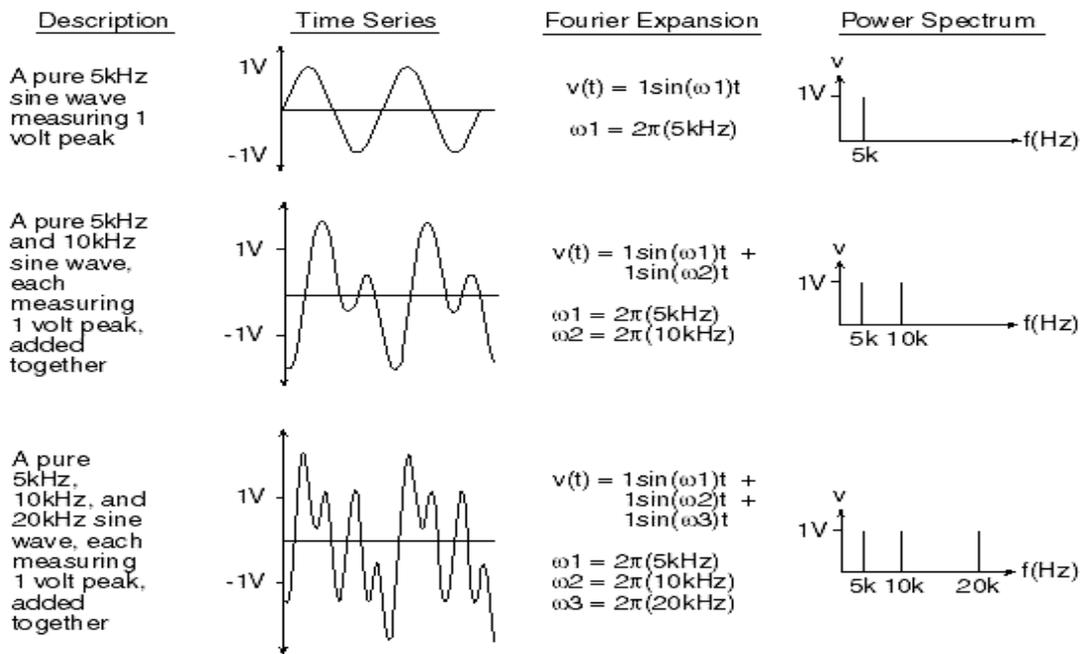
Diperkenalkan pertama kali oleh Jean Baptiste Joseph Fourier pada tahun 1807. Menurut Mustafa Kurt et al., (2012); K.Manivannan (2012), semua sinyal periodik yang kontinyu dapat dinyatakan sebagai jumlah dari sinyal-sinyal sinusoidal dengan frekuensi, amplitudo, dan fasa yang tertentu.

Dengan *Fourier transform*, suatu sinyal dalam domain waktu dapat direpresentasikan ke dalam domain frekuensi. Nilai-nilai frekuensi dari sinyal tersebut dapat diketahui setelah direpresentasikan ke dalam domain frekuensi. Namun dalam domain frekuensi tidak terdapat informasi waktu kapan frekuensi-frekuensi tersebut muncul. Karena hal inilah maka *Fourier transform* hanya cocok untuk sinyal stasioner dan tidak cocok untuk sinyal *non-stasioner*. Hal ini disebabkan *Fourier transform* menganalisa sinyal dalam keseluruhan waktu dari awal sampling hingga akhir sampling) sehingga muncul asumsi bahwa informasi frekuensi sinyal tersebut terjadi dalam setiap waktu. Padahal belum tentu frekuensi-frekuensi tersebut terjadi dalam setiap waktu pada sinyal tersebut. Inilah yang menjadi kekurangan dari *Fourier transform* dalam menganalisa suatu sinyal.

2.4.2 *Fast Fourier Transform (FFT)*

Menurut Bracewell (1989) dengan metode *Fast Fourier Transform* (FFT) dapat diketahui frekuensi-frekuensi yang muncul. *Fast Fourier Transformation* (FFT) adalah algoritma matematika yang dikomputerisasi untuk mentransformasi sinyal *sound* (vibrasi) dari domain waktu (*time wave form*) ke domain frekuensi, FFT menghasilkan gambaran amplitudo *sound* (vibrasi) terhadap frekuensi Fungsi jendela (*window*) adalah untuk memotong sinyal sehingga hanya sebagian sinyal diambil untuk dianalisa, adapun penerapan FFT ditunjukkan pada gambar 2.2. *Fast Fourier Transformation* digunakan untuk menghasilkan sinyal spektrum yang menampilkan nilai-nilai frekuensi tertentu dari sinyal suara getaran.

Menurut Richard TRW, Lyons (1998) transformasi sinyal menggunakan fasilitas FFT pada Lab VIEW. FFT mengubah sinyal yang dihasilkan oleh sensor dari domain waktu menjadi domain frekuensi. Jendela (*window*) yang digunakan adalah *Hanning*.



Gambar 2.2
Contoh penerapan *Fast Fourier Transformation*.
Sumber : Bracewell, (1989).

Sebuah contoh penggunaan umum dari *transformasi Fourier* adalah untuk menemukan komponen sinyal domain frekuensi sinyal dan sinyal domain waktu terkubur (komponen frekuensi sinyal terkubur dalam waktu sinyal domain berisik) (Mathwork.<http://www.mathworks.com/help/matlab/ref/fft.html> R 2014b).

Mempertimbangkan data sampel pada 1000 Hz. Bentuk sinyal yang mengandung sinusoidal 50 Hz amplitudo 0,7 dan 120 Hz sinusoidal amplitudo 1 dan pengurangan dengan beberapa arti nilai nol random kebisingan, hasilnya diperlihatkan pada gambar 2.3.

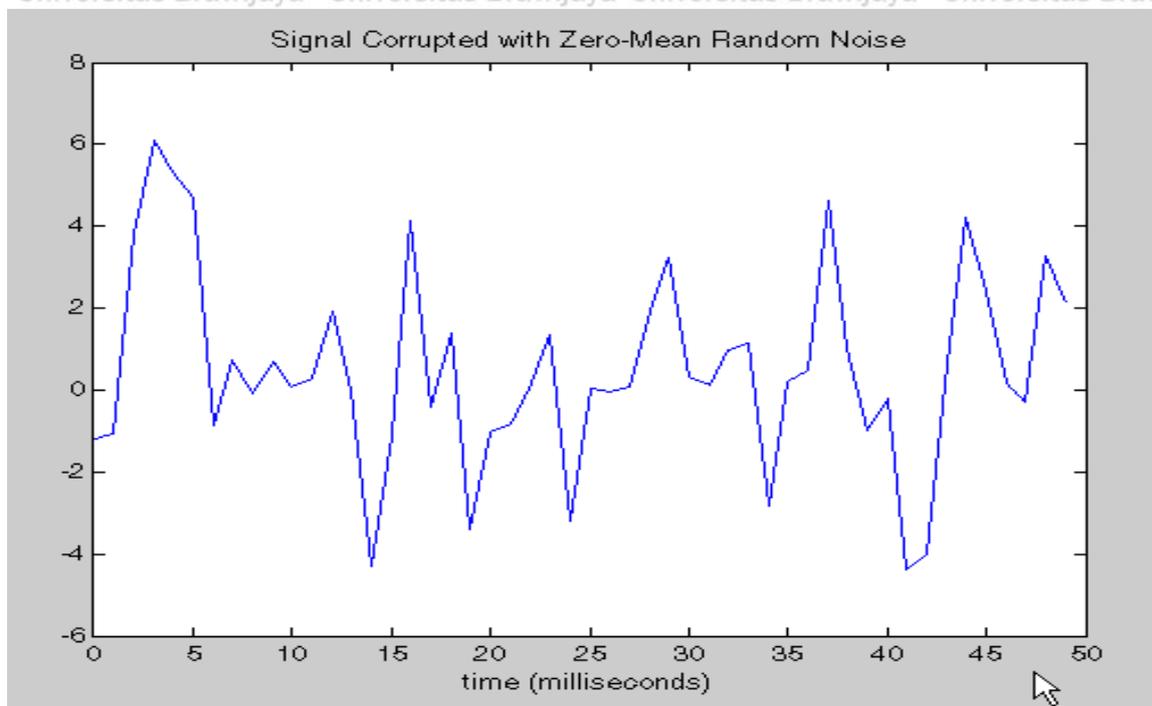
```

Fs = 1000;           % Sampling frequency
T = 1/Fs;           % Sample time
L = 1000;           % Length of signal
t = (0:L-1)*T;      % Time vector
% Sum of a 50 Hz sinusoid and a 120 Hz sinusoid
x = 0.7*sin(2*pi*50*t) + sin(2*pi*120*t);
y = x + 2*randn(size(t)); % Sinusoids plus noise
    
```

```

plot(Fs*t (1:50),y (1:50))
title ('Signal Corrupted with Zero-Mean Random Noise')
xlabel ('time (milliseconds)').

```



Gambar 2.3

Sinyal *Sound*.

Sumber : Mathworks, 2015.

Alasan utama amplitudo tidak tepat pada 0,7 dan 1 karena kebisingan, beberapa eksekusi kode ini (termasuk rekompulasi y) akan menghasilkan perkiraan yang berbeda untuk 0,7 dan 1. Alasan lain memiliki sinyal panjang yang terbatas. Peningkatan L 1.000 - 10.000 dalam contoh di atas akan menghasilkan perkiraan rata-rata yang lebih baik dan sulit untuk mengidentifikasi komponen-komponen frekuensi dengan melihat sinyal asli.

Konversi ke domain frekuensi, diskrit *Fourier transform* dari sinyal Y bising ditemukan dengan mengambil *Fast Fourier Transform* (FFT), hasilnya diperlihatkan pada gambar 2.4.

```
NFFT = 2^nextpow2(L); % Next power of 2 from length of y
```

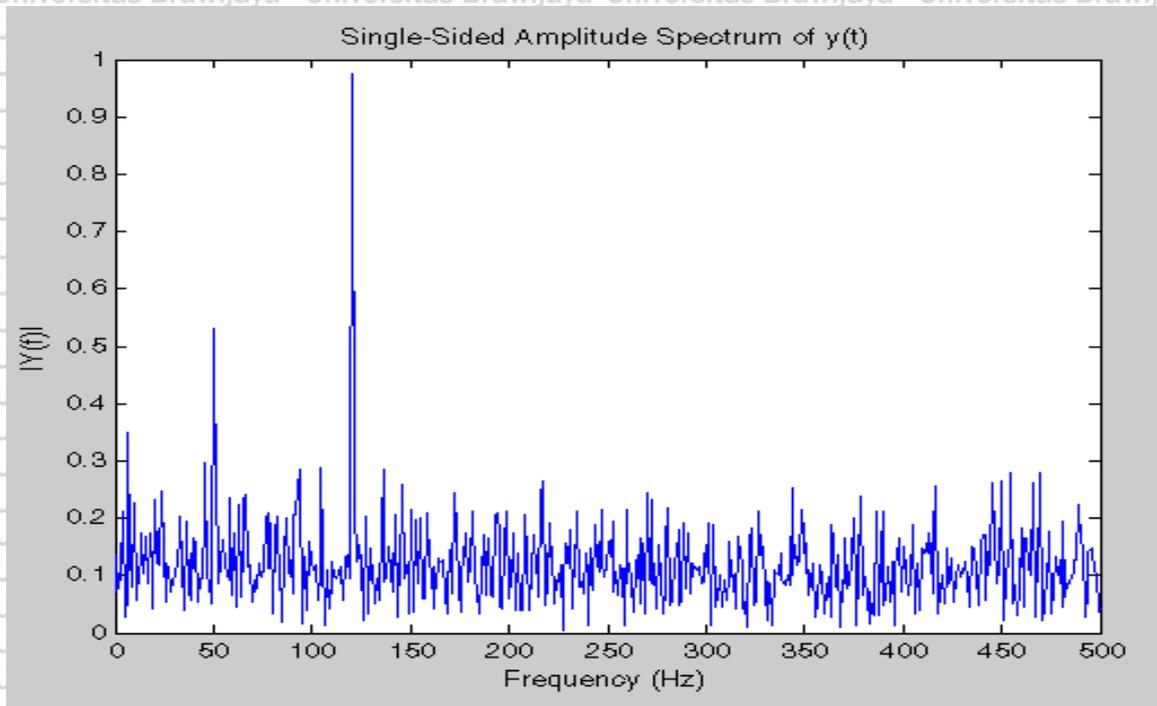
```
Y = fft(y,NFFT)/L;
```

```
f = Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
```

```
% Plot single-sided amplitude spectrum.
```

```
plot (f,2*abs(Y(1:NFFT/2+1)))
```

```
title('Single-Sided Amplitude Spectrum of y(t)')
x label('Frequency (Hz)')
y label('|Y(f)|')
```



Gambar 2.4
 Hasil *Fast Fourier Transformation* (FFT).
 Sumber : Mathworks, (2015).

Fast Fourier Transformation (FFT) merupakan sebuah kelas khusus yang mengimplementasikan *Algoritma Transform Fourier* dengan cukup dalam waktu komputasi. Dalam FFT biasanya yang dilakukan setelah gelombang telah diperoleh dan digital, FFT ditransformasikan ke frekuensi dominan. Hasil FFT bias dalam bentuk nyata imajiner, atau magnitude dan fasa, fungsi frekuensi, pemilihan format output milik pengguna.

Menurut Smith (1997) karena menghasilkan FFT spektrum frekuensi untuk waktu domain gelombang, beberapa harmonik, distorsi analisis, analisis getaran, dan modulasi pengukuran. Wilayah penting lainnya bahwa dari estimasi respons frekuensi. Sebuah linier, sistem invarian waktu dapat dirangsang dengan fungsi impuls, kemudian dapat diperoleh dengan cepat *Fourier* ditransformasikan ke frekuensi domain. FFT dari respons impuls, yang disebut sebagai fungsi respon frekuensi, sepenuhnya menjadi ciri sistem. Sekali sistem fungsi respons frekuensi dikenal, maka dapat memprediksi bagaimana sistem itu akan bereaksi terhadap setiap bentuk gelombang, hal ini dilakukan dengan konvolusi.

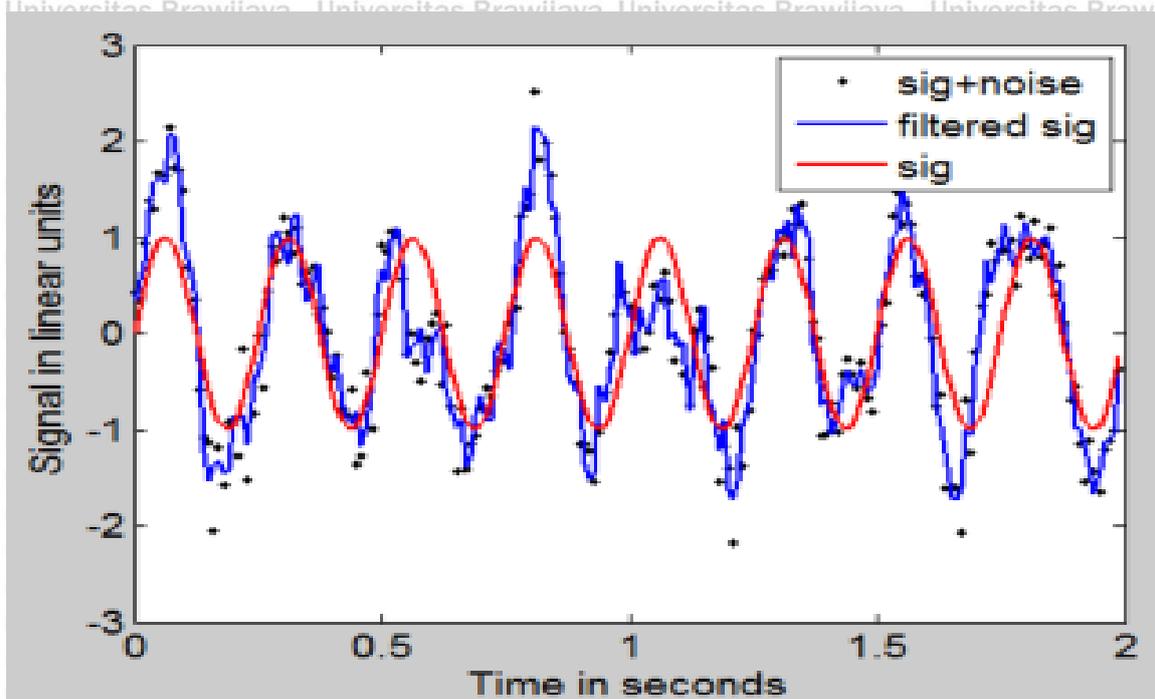
2.4.3. *Discrete Cosine Transform (DCT)*

Discrete Cosine Transform (DCT) merupakan suatu teknik yang digunakan untuk melakukan konversi sinyal ke dalam komponen frekuensi pembentuknya dengan cara memperhitungkan nilai riil dari hasil transformasinya. Dari namanya dapat diketahui bahwa DCT hanya menggunakan gelombang kosinus (*cosine waves*). DCT merupakan transformasi yang berhubungan dengan *Fourier transform*, namun DCT hanya menggunakan bilangan-bilangan riilnya. DCT dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu DCT maju dan DCT balik.

2.4.4. *Wavelet Transformation (Transformasi Wavelet)*

Transformasi *Wavelet* merupakan perbaikan dari transformasi *Fourier*. Transformasi *Fourier* hanya dapat menangkap informasi apakah suatu sinyal memiliki frekuensi tertentu atau tidak, tapi tidak dapat menangkap kapan frekuensi itu terjadi ditunjukkan penerapan FFT pada gambar 2.5. Jika Transformasi *Fourier* hanya memberikan informasi tentang frekuensi suatu sinyal, maka transformasi wavelet memberikan informasi tentang kombinasi skala dan frekuensi.

Menurut Paul S. Addison (2002) metode Transformasi berbasis *Wavelet* merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menganalisis sinyal-sinyal vibrasi. Transformasi *Fourier* hanya menampilkan resolusi frekuensi saja dan tidak memiliki resolusi waktu. Dengan transformasi *Fourier* frekuensi dapat dideteksi tapi kapan dan berapa lama terjadinya frekuensi tersebut tidak dapat diketahui transformasi *Wavelet* merupakan pengembangan dari *Transformasi Fourier* yang mampu menampilkan sinyal dalam domain frekuensi dan waktu secara bersamaan. *Wavelet* juga memiliki resolusi waktu dan resolusi frekuensi sehingga disebut multiresolusi.



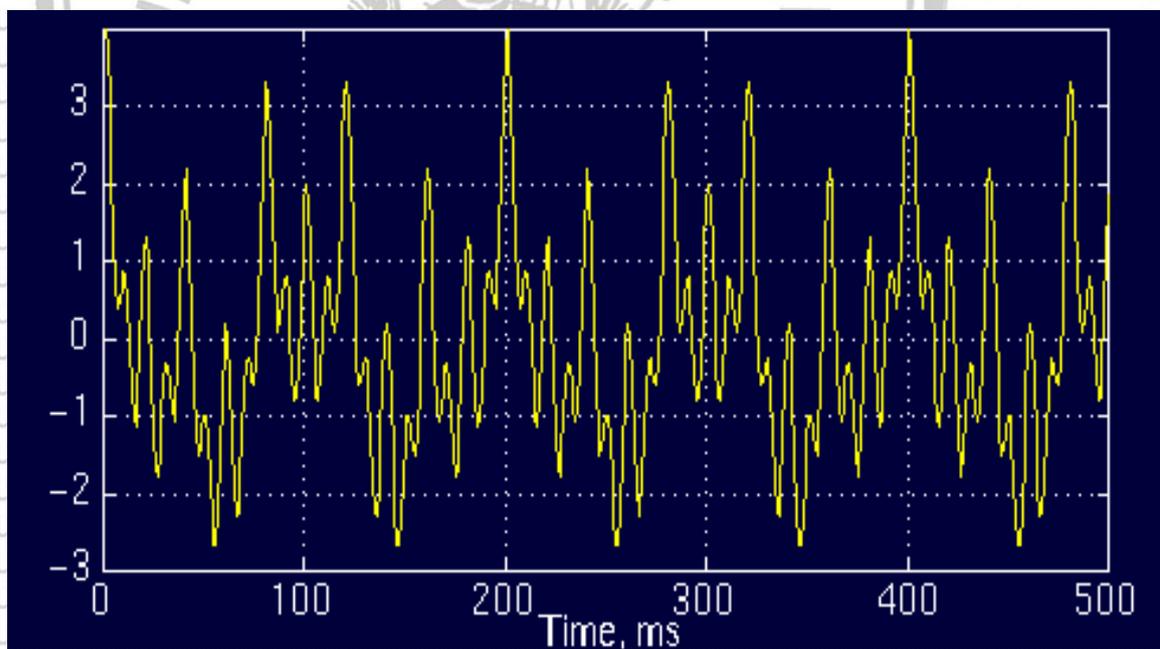
Gambar 2.5
Window pada *Fast Fourier Transformation* (FFT).
Sumber : Brikena Xhaja, (2015).

Dengan berkembangnya teknik-teknik analisa sinyal maka muncullah suatu konsep baru yang dapat mengatasi kekurangan dari *for fourier transm* dan teknik analisa sinyal tersebut dinamakan dengan *Wavelet Transform*. *Wavelet transform* mulai diperkenalkan pada tahun 1980-an oleh *Morlet* dan *Grossman* sebagai fungsi matematis untuk merepresentasikan data atau fungsi sebagai alternatif transformasi-transformasi matematika yang lahir sebelumnya untuk menangani masalah resolusi. Sebuah *Wavelet* merupakan gelombang singkat (*small wave*) yang energinya terkonsentrasi pada suatu selang waktu untuk memberikan kemampuan analisis transien, ketidakstasioneran, atau fenomena berubah terhadap waktu (*time varying*). Karakteristik dari *Wavelet* antara lain adalah beresolusi singkat, translasi (pergeseran), dan diatasi (skala) *Wavelet transform* memiliki kemampuan untuk menganalisa suatu data dalam domain waktu dan domain frekuensi secara bersamaan. Analisa data pada *Wavelet transform* dilakukan dengan mendekomposisikan suatu sinyal ke dalam komponen-komponen frekuensi yang berbeda-beda dan selanjutnya masing-masing komponen frekuensi tersebut dapat dianalisa sesuai dengan skala resolusinya atau level dekomposisinya.

Menurut penelitian Ulfiana Andi, (2010) hal ini seperti proses *filtering*, dimana sinyal dalam domain waktu dilewatkan ke dalam *low-pass filter* (LPF) dan *high-pass filter*

(HPF) untuk memisahkan komponen frekuensi tinggi dan frekuensi rendah. Tahap pertama analisis *Wavelet* adalah menentukan tipe *Wavelet* atau *Mother Wavelet* yang akan digunakan. Hal ini perlu dilakukan karena fungsi *Wavelet* sangat bervariasi. Beberapa contoh *Mother Wavelet* adalah *Haar*, *Daubechies*, *Biorthogonal*, *Coiflets*, *Symlets*, *Morlet*, *Mexican Hat*, dan *Meyer*. Setelah pemilihan *Mother Wavelet*, tahap selanjutnya adalah membentuk basis *Wavelet* yang akan digunakan untuk mentransformasikan sinyal. Berdasarkan jenis sinyal yang diprosesnya, *wavelet transform* dapat dibagi menjadi dua bagian besar, yaitu *Continuous Wavelet Transform* (CWT) dan *Discrete Wavelet Transform* (DWT).

Metode Transformasi *Wavelet* ini dapat digunakan untuk mengurangi *noise* atau meningkatkan kualitas data. Transformasi *Wavelet* juga dapat digunakan untuk analisis sinyal-sinyal *non-stasioner* (yaitu sinyal yang kandungan frekuensinya bervariasi terhadap waktu), karena berkaitan dengan kemampuannya untuk memisah-misahkan berbagai macam karakteristik pada gambar 2.6 ditunjukkan transformasi *wavelet* dilakukan dengan memotong-motong sinyal dengan jendela waktu (*Time window*) yang sangat pendek, kemudian potongan-potongan sinyal tersebut dianalisa.



Gambar 2.6
Pengurangan *noise* dengan *Wavelet*.
Sumber : Ulfiana Andi, (2010).

Metode ini menghasilkan resolusi waktu yang baik untuk frekuensi tinggi dan resolusi frekuensi yang baik untuk frekuensi rendah berbagai skala. Konsep Transformasi

Wavelet telah dirumuskan sejak awal 1980-an oleh beberapa ilmuwan seperti *Morlet*, *Grosmann*, *Daubechies* dan lain-lain.

Transformasi *Wavelet* merupakan proses dekomposisi yang menawarkan berbagai kemungkinan analisa sinyal yang lebih luas.

2.4.5. *Short Time Fourier Transform* (STFT)

Menurut *National Instrument*, (2005) pada penelitian penggunaan *wavelet transform* untuk mengubah sinyal suara dan atau vibrasi dari domain waktu menjadi domain waktu - frekuensi. Dengan transformasi *Wavelet* selain diketahui pada frekuensi berapa sinyal tersebut muncul juga dapat diketahui kapan dan berapa lama sinyal tersebut muncul. Dengan metode *Short Time Fourier Transform* (STFT) dan *Wavelet Transform* (WT) selain frekuensi, juga dapat diketahui kapan dan berapa lama frekuensi tersebut muncul. *Wavelet* dapat melokalisasi waktu-frekuensi (*time-frequency localization*). Kelebihan dari analisis sinyal menggunakan *wavelet* adalah karakteristik sinyal dapat dipelajari secara lokal dan detil. Sifat ini sangat berguna untuk sinyal-sinyal non-stasioner atau memiliki komponen transien dengan waktu-hidup (*life time*) yang pendek. Transformasi data menggunakan *Wavelet* dilakukan dengan cara ekspansi dari *Wavelet* yang diulur dan digeser. *Wavelet* merupakan fungsi matematik yang membagi-bagi data menjadi beberapa komponen frekuensi yang berbeda-beda, kemudian dilakukan analisis untuk masing-masing komponen menggunakan resolusi yang sesuai dengan skalanya.

Dengan Transformasi *Wavelet* akan diperoleh resolusi waktu dan frekuensi yang jauh lebih baik daripada metode-metode lainnya seperti *Transformasi Fourier* maupun *Transformasi Fourier* Waktu Pendek, selain itu analisis data pada domain waktu dan frekuensi penting dan harus dilakukan untuk mempelajari sifat sinyal-sinyal non-stasioner dalam analisa *Wavelet*, sebuah sinyal didekomposisi menjadi bagian aproksimasi dan detil, kemudian bagian aproksimasi ini dibagi lagi menjadi tingkat kedua aproksimasi dan detil, kemudian proses ini diulang-ulang.

2.5. Teori Nyquist

Menurut K.R. Rao et al., (2010) dan Michael Corinthios (2009) dalam dunia pemrosesan sinyal digital, ada suatu proses untuk mendapatkan data digital melalui proses pencuplikan sinyal (*aliasing process signal*), artinya sinyal analog dicuplik secara diskrit dengan periode T_s atau frekuensi cuplik F_s agar tidak terjadi

kesalahan, *Mr. Nyquist* memberikan aturan bahwa frekuensi cuplik minimal harus 2 (dua) kali lipat frekuensi maksimum yang dikandung sinyal yang bersangkutan.

Untuk memperoleh representasi akurat dari suatu sinyal analog secara loss less, amplitudonya harus diambil sample-nya setidaknya pada kecepatan (rate) sama atau lebih besar dari 2 kali lipat komponen frekuensi maksimum yang akan didengar.

Menurut penelitian K.R.Rao et al., (2010) dan Michael Corinthios, (2009), teorema *Shannon - Nyquist* menyatakan agar tidak ada informasi yang hilang ketika pencuplikan sinyal (*aliasing process signal*), maka kecepatan pencuplikan harus minimal dua kali dari lebar pita sinyal tersebut. Syarat proses sampling adalah $f_s > 2 f_i$, dimana: f_s = frekuensi sinyal sampling, f_i = frekuensi sinyal informasi yang akan disampel.

Pada kebanyakan aplikasi, termasuk kamera digital video dan citra, nilai *Nyquist-rate* sangat tinggi sehingga menghasilkan jumlah data yang banyak sehingga pemampatan sangat diperlukan sebelum data disimpan atau dikirimkan.

Pada aplikasi-aplikasi lain seperti pencitraan medis dan *highspeed Analog-to-digital conversion* (ADC) meningkatkan kecepatan pencuplikan memerlukan biaya yang sangat mahal.

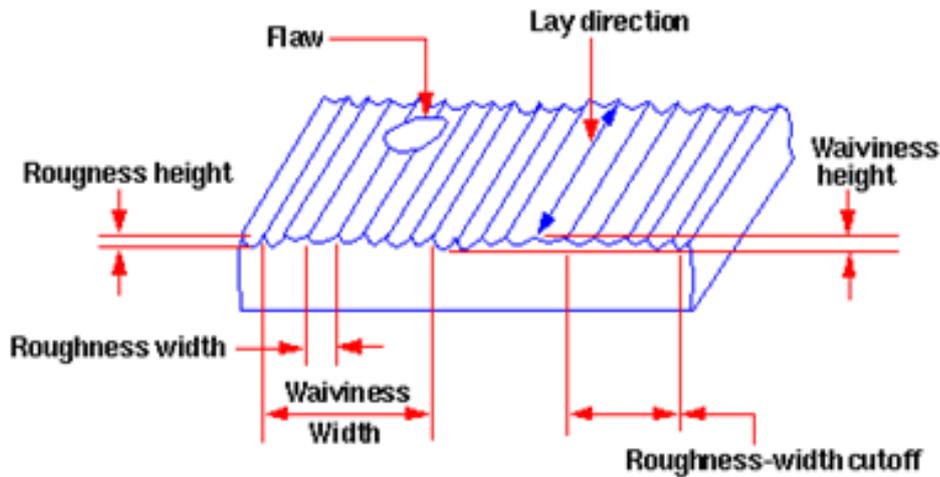
Misalnya diketahui sinyal analog: $X_a(t) = \sum_{i=1}^N A_i \cos(2\pi F_i t + \phi_i)$. Sinyal ini adalah superposisi (penjumlahan) dari sinyal $S_i(t) = \cos(2\pi F_i t + \theta_i)$, yang disebut komponen frekuensi, karena setiap $S_i(t)$ memiliki frekuensi distink sebesar F_i .

Berarti frekuensi tertinggi dari $X_a(t)$ adalah $F_{\max} = \max(F)$, frekuensi sampling harus memenuhi kriteria *Nyquist*, yaitu $F_s > 2 F_{\max}$. Angka $2 F_{\max}$ ini didefinisikan sebagai *Nyquist rate* (contoh : untuk sinyal analog dengan bandwidth 15 Hz – 10 KHz, sampling rate = $2 \times 10 \text{ kHz} = 20 \text{ kHz}$).

2.6. Tekstur permukaan dan *Surface Finish* pada proses Pemesinan

Tekstur permukaan adalah gambaran bentuk kekasaran permukaan terakhir dari suatu pengerjaan pemesinan. Metoda-metoda produksi memerlukan kekasaran dari suatu permukaan digambarkan fitur untuk memastikan fungsi kegunaannya.

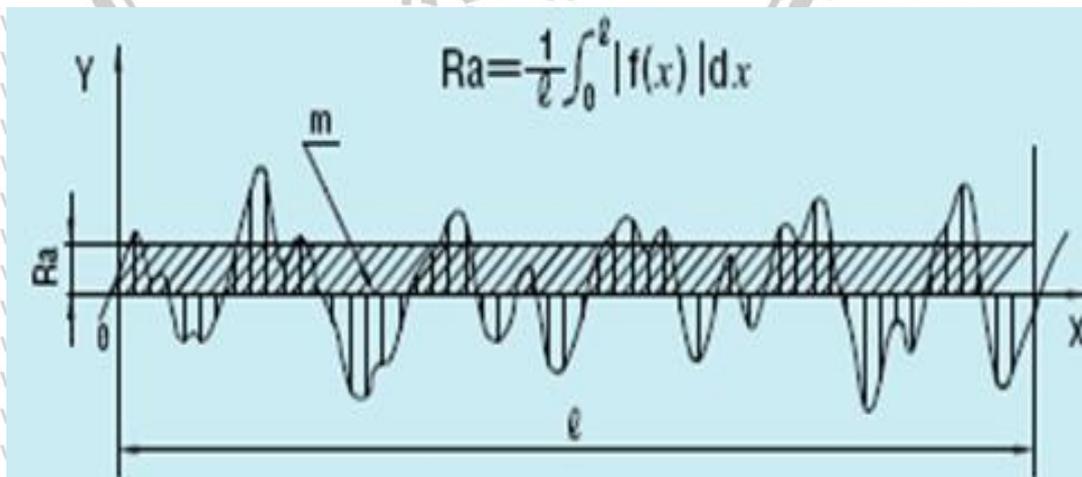
Ditunjukkan pada gambar 2.7, standar terminologi untuk tekstur kekasaran permukaan. Ketentuan khusus penyelesaian permukaan sesuai spesifikasi yang diinginkan dalam produksi. Simbol hanya diberikan pada permukaan, dan tampilan fitur mempunyai ukuran yang jelas dalam bidang produksi.



Gambar 2.7 Terminologi tekstur permukaan Terminology. Sumber : JIS B 0031, (1994).

Ketentuan khusus penyelesaian permukaan sesuai spesifikasi yang diinginkan dalam produksi. Simbol hanya diberikan pada permukaan, dan tampilan fitur mempunyai ukuran yang jelas dalam bidang produksi. Kekasaran permukaan pada benda merupakan suatu bentuk tingkat kekasaran hasil dari proses pemesinan akhir. Kekasaran ideal dapat diukur secara rata-rata permukaan atau dapat ditulis R_a dengan satuan μm atau $\mu inch$.

Gambar 2.8 menunjukkan rerata luasan dari potongan kurva kekasaran. R_a ini juga dikenal sebagai nilai rata-rata arithmatik dari kekasaran permukaan, atau rata-rata garis tengah.



Gambar 2.8 Profil kekasaran permukaan Sumber : JIS B 0031, (1994).

Nilai kekasaran permukaan dihubungkan dengan proses pemesinan yang ada di dalam dunia manufaktur Jiao Yue et al., (2004) untuk kekasaran permukaan (R_a) ideal dapat dihitung dari persamaan 2.5 berikut :

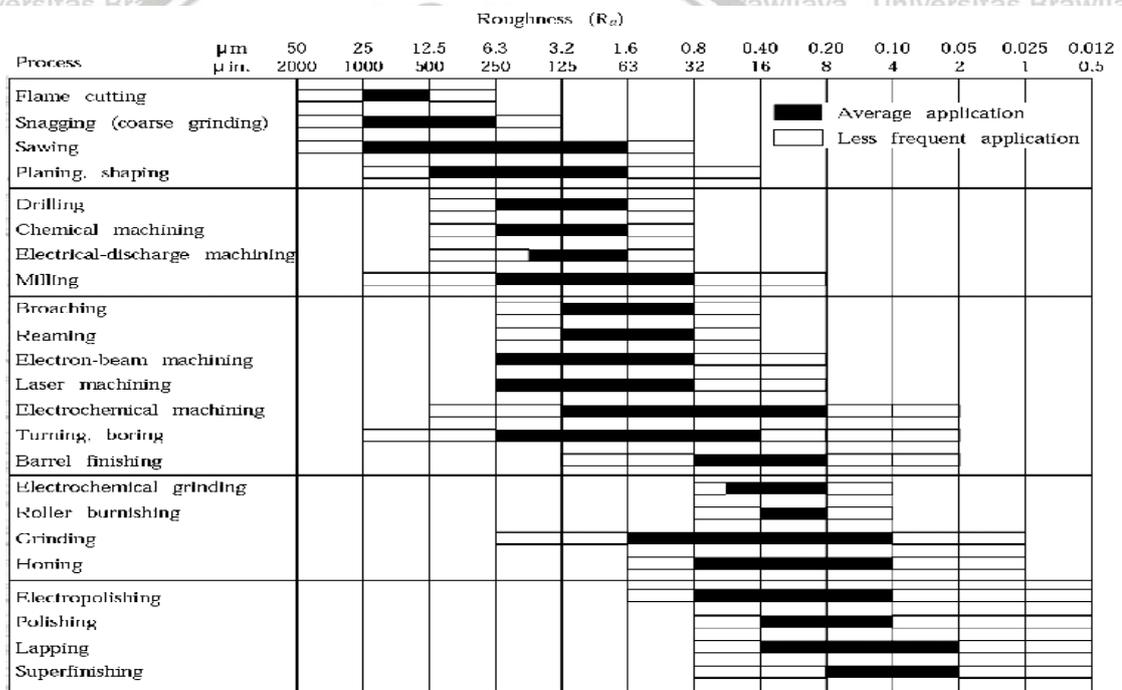
$$R_a = \frac{0,0321 \cdot f^2}{r_e} \mu m \tag{2-5}$$

dengan

f = gerak makan (mm/rev)

r_e = radius pahat (mm)

Pada gambar 2.9 menunjukkan harga proses pemesinan terhadap nilai kekasaran permukaan, dengan tujuan untuk mempermudah identifikasi hasil pengerjaan pada batasan yang dapat dicapai dengan batasan yang tidak dapat dicapai pada angka kekasaran permukaan.



Gambar 2.9. Grafik hubungan antara proses pemesinan dengan kekasaran. Sumber : Kalpakjian, (2001)

ISO telah mengklasifikasi harga kekasaran R_a menjadi 12 angka kelas kekasaran seperti terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1
 Nilai Kekasaran berdasarkan

NILAI KEKASARAN		
Nilai kekasaran (Ra)		Nomor tingkat kekasaran
μm	$\mu inch$	
50	2000	N 12
25	1000	N 11
12,5	500	N 10
6,3	250	N 9
3,2	125	N 8
1,6	63	N 7
0,8	32	N 6
0,4	16	N 5
0,2	8	N 4
0,1	4	N 3
0,05	2	N 2
0,025	1	N 1

Sumber : (<http://www.astonseals.com>) ISO-1994

2.7 Rasio Kerampingan Pemotongan (*Slenderness ratio of the cut*)

Menurut Rochim Taufik (p.228-232,2007), melalui pendekatan yang berbeda dalam cara menangani masalah penentuan rumus gaya potong untuk proses membubut beberapa peneliti sampai pada kesimpulann yang berlainan. Dari berbagai bentuk rumus empirik yang diusulkan tersebut dua bentuk rumus, pemilihan kedua rumus tersebut berdasarkan atas bentuknya yang khusus. Rumus pertama mengandung faktor rasio kerampingan pemotongan (*Slenderness ratio of the cut*) (δ) yang kiranya perlu untuk dibahas lebih lanjut jauh karena pengaruhnya terhadap bentuk geram yang dihasilkan. Rumus kedua memperkenalkan konsep tebal geram ekivalen (*equivalent chip thickness*) dimana selain gerak makan (f), dalam pemotongan (a) sudut potong utama (Kr), juga dimasukkan pula pengaruh dari radius pojok (ns) dan sudut bantu (Kr') terhadap penampang geram sebelum terpotong (A). Untuk setiap proses pemotongan, harga kedalaman potong (a) dan gerak makan (f) yang dapat dipilih dapat menghasilkan rasio kerampingan pemotongan (δ) yang tertentu harganya pada persamaan (2-6) yaitu :

$$\delta = b/h \text{ atau } a/f(\sin Kr)^2 \quad (2-6)$$

dengan

b : lebar geram (mm)

h : tebal geram (mm)

a : kedalaman potong (mm)

f : gerak makan (mm/putaran)

Kr : sudut potong utama ($^{\circ}$)

Harga tersebut bervariasi tergantung pada pemilihan harga a dan f serta sudut potong utama (Kr) yang digunakan. Pada umumnya, sesuai dengan pengamatan dalam praktek, operator mesin perkakas cenderung untuk memilih harga δ sebesar 5, atau kecil $\delta = 1$ dan terbesar (δ) = 50 (jarang ditemukan). Harga δ yang dicapai karena pemilihan a dan f yang tertentu, akan mempengaruhi bentuk geram terutama dalam proses pemotongan baja atau metal yang ulet yang pada umumnya mempunyai bentuk geram kontinyu. Ditinjau dari kemudahan pengumpulan dan pembuangan geram dari mesin perkakas, maka bentuk geram yang beruap serpihan lebih diinginkan. Oleh sebab itu dipilih harga rasio kerampingan pemotongan (δ) sebagai berikut :

$\delta = 20$, batas atas

$\delta = 5$, harga terbaik

$\delta = 2$, batas bawah

2.8 Kerusakan dan Tipe Keausan, Pertumbuhan Keausan Pahat

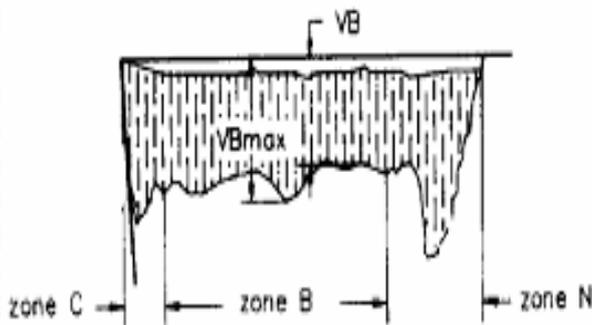
Berbagai penelitian yang dilakukan Rochim Taufiq,(2007) pada prakteknya umur pahat tidak hanya dipengaruhi oleh geometri pahat saja melainkan juga oleh semua faktor yang berkaitan dengan proses pemesinan, yaitu antara lain jenis material benda kerja dan pahat, kondisi pemotongan (kecepatan potong, kedalaman potong, dan gerak makan), cairan pendingin dan jenis proses pemesinan. Kerusakan atau keausan pahat akan terjadi dan penyebabnya harus diketahui untuk menentukan tindakan koreksi sehingga dalam proses pemesinan selanjutnya umur pahat diharapkan menjadi lebih tinggi. Selama proses pembentukan geram berlangsung, pahat dapat mengalami kegagalan dari fungsinya yang normal karena berbagai sebab, diantaranya :

1. Keausan yang secara bertahap membesar (tumbuh) pada bidang aktif pahat.
2. Retak yang menjalar sehingga menimbulkan patahan pada mata potong pahat
3. Deformasi plastik yang akan mengubah bentuk/geometri pahat.

Menurut teori dan berbagai penelitian yang dilakukan J. U. Jeon and S.W.Kim,(1988). Jenis kerusakan yang terakhir di atas jelas disebabkan tekanan

temperatur yang tinggi pada bidang aktif pahat, dimana kekerasan dan kekuatan material pahat akan turun bersama dengan naiknya temperatur. Keausan dapat terjadi pada bidang geram (A_γ) atau pada bidang utama pahat (A_α). Aus pahat dapat dikarakteristikan pada beberapa jenis, yaitu:

1. Aus Tepi (*Flank Wear*), aus tepi yaitu keausan pada bidang utama/mayor. Keausan tepi $[VB]$ (mm) dapat diukur menggunakan mikroskop, dimana bidang mata potong diatur sehingga tegak lurus sumbu optik ditunjukkan pada Gambar 2.10.



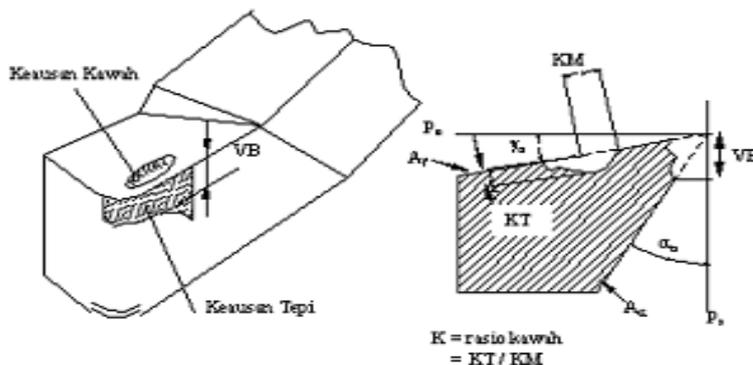
Gambar 2.10.

Tipikal profil keausan tepi (*flank wear*)

Sumber : J. u. Jeon and S..Kim, (1988)

2. Aus Kawah (*Crater Wear*), keausan pada bidang geram disebut dengan keausan kawah (*Crater Wear*).

Menurut J.U Jeon dan S.W Kim, (1988), kecepatan pertumbuhan keausan tersebut dipengaruhi oleh berbagai faktor (jenis material benda kerja, material pahat, dan pemakaian cairan pendingin). Pada Gambar 2.11, untuk suatu keadaan tertentu keausan kawah dapat bertumbuh dengan cepat, dan pada keadaan lain tidak terjadi keausan kawah.



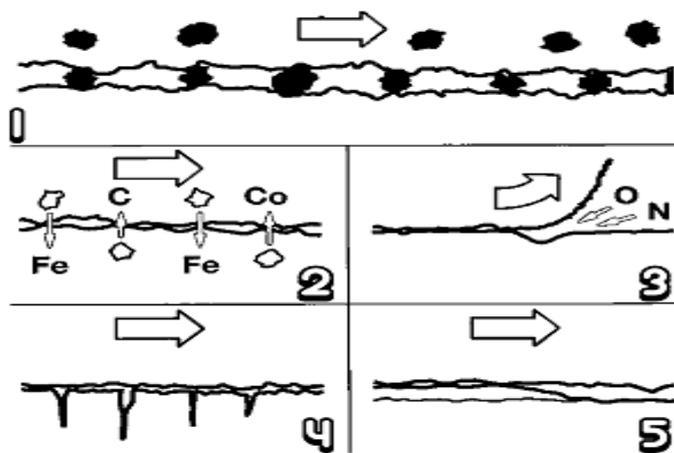
Gambar 2.11.

Keausan kawah (*crater wear*)

Rochim, Taufiq ,(2007)

2.9 Mekanisme dan Pertumbuhan Keausan

Berdasarkan hasil-hasil penelitian tertentu Astakhov, V.P.(2008) ; J. U. Jeon and S. W. Kim ,(1988), mengenai keausan dan kerusakan pahat dapat disimpulkan bahwa penyebab keausan dan kerusakan pahat dapat merupakan suatu faktor yang dominan atau gabungan dari beberapa faktor yang menyebabkan kerusakan pahat. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.12 faktor-faktor penyebab tersebut antara lain : (1). Abrasif (abrasion), (2). Difusi (*diffusion*), (3). Oksidasi (*oxidation*), (4). Kelelahan (*fatigue*), (5). Adhesi (*adhesion*).



Gambar 2.12.

Evolusi konfigurasi keausan tepi (*flank wear*) (V_B)

Sumber : Astakhov, V.P (2008)

2.10. Metode Analisis komponen utama (*Principal Component Analysis Method*)

Menurut Jolliffe, IT,(2002) Analisis komponen utama (*Principal Component Analysis*) adalah alat matematika untuk mengekstrak fitur-fitur khas yang disebut *eigenfaces* dari data gambar asli (smith, 2002). Tujuan dari *principal component analysis* untuk mereduksi dimensi data dengan cara membangkitkan variabel baru (komponen utama) yang merupakan kombinasi linear dari variabel asal sedemikian hingga varians komponen utama menjadi maksimum dan antar komponen utama bersifat saling bebas.

PCA adalah sebuah transformasi linier yang biasa digunakan pada kompresi data. PCA juga merupakan teknik yang umum digunakan untuk menarik fitur-fitur dari data pada sebuah skala berdimensi tinggi. PCA memproyeksikan data ke dalam subspace. PCA adalah transformasi linear untuk menentukan sistem koordinat yang baru dari data.

Model analisis komponen utama dari suatu data dapat ditulis sebagai berikut :

1. Transformasi *Mean-Centering*

Proses memindahkan semua data kebagian tengah, guna mendapatkan data yang lebih stabil.

Berikut langkah-langkah *mean-centering*:

A. Mencari *Mean Data*

B. Pindahkan setiap posisi data kebagian tengah, dengan cara mengurangi nilai setiap data dengan nilai mean data

Berikut contoh proses *mean-centering* pada suatu data pengamatan $X_{(n \times q)}$ berikut :

$$\mathbf{X}_{(n \times q)} = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1q} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2q} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nq} \end{bmatrix} = [\mathbf{X}_1 \ \mathbf{X}_2 \ \dots \ \mathbf{X}_q] \quad (2-7)$$

$$\boldsymbol{\mu} = \left[\frac{\sum_{i=1}^n x_{i1}}{n} \quad \frac{\sum_{i=1}^n x_{i2}}{n} \quad \dots \quad \frac{\sum_{i=1}^n x_{iq}}{n} \right] = [\mu_1 \ \mu_2 \ \dots \ \mu_q] \quad (2-8)$$

dengan

q : variabel

n : individu

X_{11} : data hasil

2. Menghitung *Covariance-Matrix*

Covariance-Matrix berisi seluruh pasangan covariance dari semua himpunan varians data yang ada. Secara umum, berikut bentuk matrixnya:

$$\boldsymbol{\Sigma} = \left(\frac{1}{n-1} \right) (\mathbf{X} - \mathbf{1}\boldsymbol{\mu})' (\mathbf{X} - \mathbf{1}\boldsymbol{\mu}) = \begin{bmatrix} \sigma_{11} & \sigma_{12} & \dots & \sigma_{1q} \\ \sigma_{21} & \sigma_{22} & \dots & \sigma_{2q} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \sigma_{q1} & \sigma_{q2} & \dots & \sigma_{qq} \end{bmatrix} \quad (2-9)$$

dengan

$$\mathbf{1} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{bmatrix}_{n \times 1}$$

3. Mencari *Eigenvalue* λ dan *Eigenvector* \mathbf{v} dari *Covariance-Matrix* Σ (berukuran $q \times q$).

Eigenvector \mathbf{v} adalah suatu vektor, yang jika dikalikan dengan matriks Σ menghasilkan kelipatan dari vektor \mathbf{v} tersebut. Nilai kelipatan tersebut merupakan *Eigenvalue*.

$$\mathbf{v}' \Sigma \mathbf{v} = \lambda$$

dengan

λ : *Eigenvalue*

\mathbf{V} : *Eigenvector*

4. Urutkan *principal components* tersebut secara menurun

5. Transformasi Data ke Sumbu *Principal Components*

Untuk mentransformasi data ke sumbu *principal components* yang ada, cukup mengalikan data tersebut dengan invers dari *principal components* yang telah didapat sebelumnya.

❖ Konsep Dasar *Principal Component Analysis (PCA)*

$$Y_1 = a_{11} X_1 + a_{12} X_2 + a_{13} X_3 + \dots + a_{p1} X_p$$

$$Y_2 = a_{21} X_1 + a_{22} X_2 + a_{23} X_3 + \dots + a_{p2} X_p$$

⋮

⋮

$$Y_j = a_{1j} X_1 + a_{2j} X_2 + a_{3j} X_3 + \dots + a_{pj} X_p$$

(2-10)

1. Komponen utama pertama adalah kombinasi linear terbobot dari variabel asal yang dapat menerangkan keragaman terbesar.
2. Komponen utama kedua adalah kombinasi linear terboboti dari variabel asal yang tidak berkorelasi dengan komponen utama pertama, serta memaksimalkan sisa keragaman data setelah diterangkan oleh komponen utama pertama.
3. Dan seterusnya.

Sebagai catatan dalam penggunaan *principal component analysis (PCA)* yaitu :

1. Apabila satuan dari variabel (X) yang digunakan dalam membangun komponen utama tidak sama, maka variabel perlu ditransformasikan terlebih dahulu kedalam angka baku (Z).
2. Ada dua jenis bentuk input dalam pemrosesan pembentukan komponen utama yaitu

matriks varians-kovarians dan matriks korelasi, matriks varians-kovarians digunakan jika satuan dari variabel sama dan matriks korelasi digunakan jika satuan dari variabel tidak sama dan variabel di transformasikan ke dalam bentuk angka baku (Z).

3. Penentuan dalam penggunaan jenis matriks sebagai input dari perhitungan komponen utama (S atau R) menentukan dalam formulasi yang digunakan dalam rangka menghitung besarnya bagian atau persentase keragaman total yang mampu diterangkan oleh komponen utama ke-j dan formulasi yang digunakan untuk mengukur keeratan hubungan (korelasi) antara variabel asal dengan komponen utama yang terbentuk.
4. Perhitungan nilai skor komponen utama diperoleh dari hasil perkalian nilai variabel (X) dengan nilai vektor *eigen* yang dihasilkan dari proses perhitungan (bukan dari hasil perkalian faktor loading dengan nilai variabel X-nya).

❖ **Kriteria Dalam *Principal Component Analysis* (PCA)**

Biasanya dalam *principal component analysis* (PCA), dari p buah komponen utama yang ada dipilih k buah komponen utama saja yang telah mampu menerangkan keragaman data cukup tinggi, katakanlah sekitar 80% s.d 90% dengan kriteria $k < p$. Misal, apabila p berukuran besar, sedangkan diketahui bahwa sekitar 80% s.d 90% keragaman total telah mampu diterangkan satu, dua atau tiga komponen utama pertama, maka komponen-komponen utama tersebut telah dapat menggantikan p buah variabel asal tanpa mengurangi informasi yang banyak.

Selanjutnya untuk menentukan variabel mana yang berkontribusi besar pada tiap komponen utama yang terbentuk, ditentukan berdasarkan nilai keeratan hubungan (nilai loading) yang dihasilkan antara variabel asal dengan komponen utama. Besar kontribusi untuk masing-masing variabel penelitian dalam komponen utama ditentukan dengan semakin tinggi nilai loading yang dihasilkan, berdasarkan kriteria korelasi di mana nilai korelasi lebih besar atau sama dengan 0.500 memiliki hubungan yang kuat dan sebaliknya untuk nilai korelasi lebih kecil dari 0.500 memiliki hubungan yang lemah.

❖ **Penentuan Banyak Komponen Utama**

Penentuan banyaknya komponen utama yang akan di ekstrak dapat ditentukan beberapa cara diantaranya:

1. Kriteria *eigen value*, ditentukan dengan memilih komponen utama yang memiliki nilai *eigen* lebih besar atau sama dengan satu (1). Komponen utama dengan nilai *eigen* kurang dari satu (1) dikeluarkan dari analisis.
2. Kriteria apriori. Dalam hal ini peneliti sudah menetapkan terlebih dahulu berapa banyak komponen utama yang akan diekstrak.
3. Kriteria persentase varians. Banyaknya komponen utama yang akan diekstrak ditentukan oleh persentase kumulatif varians (bahasan sebelumnya)
4. *Scree test*. Dilakukan dengan membuat plot *eigen value* terhadap komponen utama berdasarkan urutan perolehannya. Kurva yang diperoleh menjadi dasar penetapan banyaknya komponen utama yang akan diekstrak. Banyak komponen utama ditentukan apabila kurva menjadi datar dengan melihat pada sumbu komponen utama.

2.11. Metode Pohon Keputusan (*Decision Tree Method*)

Menurut Mitchell Tom, (1997) pohon keputusan (*Decision tree*) adalah salah satu metode klasifikasi yang paling populer karena mudah untuk diinterpretasi oleh manusia. Pohon keputusan adalah model prediksi menggunakan struktur pohon atau struktur berhirarki. Konsep dari pohon keputusan adalah mengubah data menjadi pohon keputusan dan aturan-aturan keputusan. Manfaat utama dari penggunaan pohon keputusan adalah kemampuannya untuk *membreak down* proses pengambilan keputusan yang kompleks menjadi lebih simpel sehingga pengambil keputusan akan lebih menginterpretasikan solusi dari permasalahan. Pohon Keputusan juga berguna untuk mengeksplorasi data, menemukan hubungan tersembunyi antara sejumlah calon variabel input dengan sebuah variabel target.

Pohon yang dalam analisis pemecahan masalah pengambilan keputusan adalah pemetaan mengenai alternatif-alternatif pemecahan masalah yang dapat diambil dari masalah tersebut. Pohon tersebut juga memperlihatkan faktor-faktor kemungkinan /probabilitas yang akan mempengaruhi alternatif-alternatif keputusan tersebut, disertai dengan estimasi hasil akhir yang akan didapat bila mengambil alternatif keputusan yang dimaksud.

Pohon keputusan memadukan antara eksplorasi data dan pemodelan, sehingga sangat bagus sebagai langkah awal dalam proses pemodelan bahkan ketika dijadikan sebagai model akhir dari beberapa teknik lain. Sering terjadi tawar-menawar antara keakuratan model dengan transparansi model. Dalam beberapa aplikasi, akurasi dari sebuah klasifikasi atau prediksi adalah satu-satunya hal yang ditonjolkan, misalnya sebuah

perusahaan direct mail membuat sebuah model yang akurat untuk memprediksi anggota mana yang berpotensi untuk merespon permintaan, tanpa memperhatikan bagaimana atau mengapa model tersebut bekerja.

Menurut Azmi Zulfian, (2013) kelebihan dari metode pohon keputusan adalah:

1. Daerah pengambilan keputusan yang sebelumnya kompleks dan sangat global, dapat diubah menjadi lebih simpel dan spesifik.
2. Eliminasi perhitungan-perhitungan yang tidak diperlukan, karena ketika menggunakan metode pohon keputusan maka sample diuji hanya berdasarkan kriteria atau kelas tertentu.
3. Fleksibel untuk memilih fitur dari internal node yang berbeda, fitur yang terpilih akan membedakan suatu kriteria dibandingkan kriteria yang lain dalam node yang sama.

Kefleksibelan metode pohon keputusan ini meningkatkan kualitas keputusan yang dihasilkan jika dibandingkan ketika menggunakan metode penghitungan satu tahap yang lebih konvensional.

Pohon Keputusan (*Decision tree*) merupakan metode klasifikasi dan prediksi yang sangat kuat dan terkenal. Metode pohon keputusan mengubah fakta yang sangat besar menjadi pohon keputusan yang merepresentasikan aturan.

2.11.1 Struktur Dasar pohon dan Struktur Pohon keputusan

Menurut Berry, Michael J.A., Linnof, Gordon S., (2004) sebuah pohon keputusan (*Decision tree*) adalah sebuah struktur yang dapat digunakan untuk membagi kumpulan data yang besar menjadi himpunan-himpunan record yang lebih kecil dengan menerapkan serangkaian aturan-aturan keputusan. Salah satu metode klasifikasi yang menggunakan representasi suatu struktur pohon yang berisi alternatif-alternatif untuk pemecahan suatu masalah. Pohon ini juga menunjukkan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil alternatif dari keputusan tersebut disertai dengan estimasi hasil akhir bila kita mengambil keputusan tersebut. Peranan pohon keputusan ini adalah sebagai *Decision Support Tool* untuk membantu manusia dalam mengambil suatu keputusan.

Manfaat dari *decision tree* adalah melakukan *break down* proses pengambilan keputusan yang kompleks menjadi lebih simpel sehingga orang yang mengambil keputusan akan lebih menginterpretasikan solusi dari permasalahan. Konsep yang digunakan oleh *decision tree* adalah mengubah data menjadi suatu keputusan pohon dan aturan-aturan keputusan (*rule*).

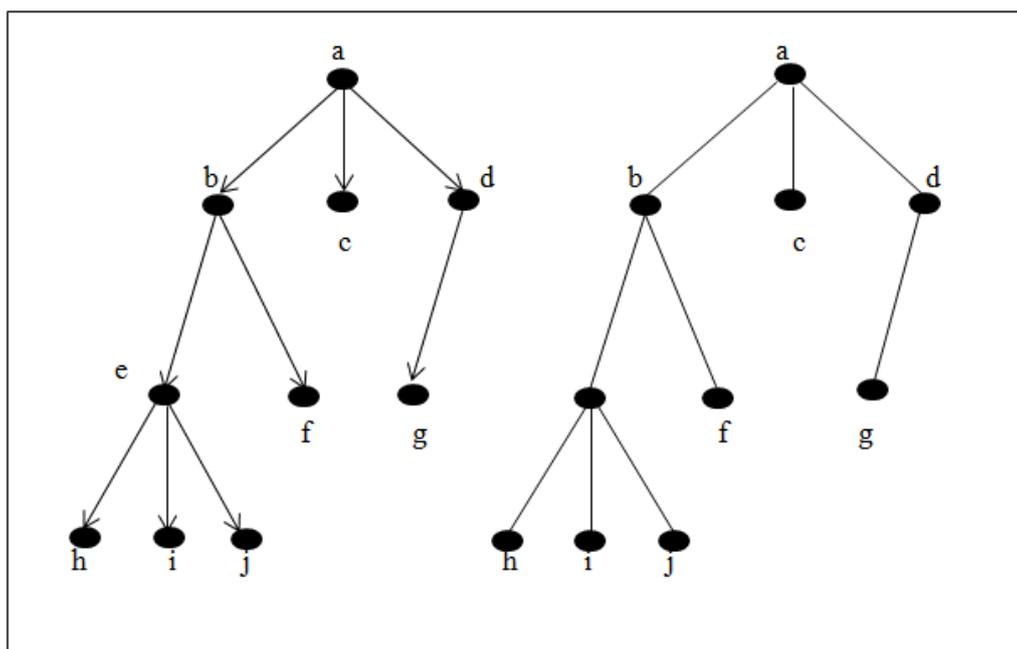
(a). Struktur Dasar pohon

Permodelan pohon yang biasa dipakai dalam pohon keputusan adalah *rooted tree* (pohon berakar).

Pohon berakar adalah pohon yang satu buah simpulnya diperlakukan sebagai akar dan sisi-sisinya diberi arah sehingga menjadi graf berarah.

Pada gambar 2.13 perhatikan pohon berderajat 3, dan beberapa terminologi dalam pohon berakar dijelaskan berikut :

Anak/*Child* atau Orangtua/*Parent* : b,c, dan d adalah anak dari a dan a adalah orangtua dari b,c,dan d. Lintasan/*Path* : lintasan dari a ke j adalah a,b,e,j. Panjang lintasan dari a ke j adalah jumlah sisi yang dilalui, yaitu 3. Saudara kandung/*Siblings* : b,c dan d adalah saudara kandung sebab mempunyai orangtua yang sama yaitu a. Derajat : derajat adalah jumlah anak yang ada pada simpul tersebut. a berderajat 3, dan b berderajat 2. Dari derajat suatu pohon adalah derajat maksimum dari semua simpul yang ada.



Gambar 2.13

Tampilan pohon Berakar, sebagai konvensi, tanda panah dapat diabaikan.

Sumber : Berry, et al (2004)

Daun (*leaf*) : daun adalah simpul yang tidak mempunyai anak, dimana c,f,h,i, dan j adalah daun.

Simpul dalam/*internal nodes* : simpul yang mempunyai anak. Simpul a,b, dan d adalah simpul dalam.

Tingkat/level : adalah 1 + panjang lintasan dari simpul teratas ke simpul tersebut. Simpul teratas mempunyai tingkat = 1

Decision tree menggunakan struktur hierarki untuk pembelajaran supervised. Proses dari *decision tree* dimulai dari *root node* hingga *leaf node* yang dilakukan secara rekursif. Di mana setiap percabangan menyatakan suatu kondisi yang harus dipenuhi dan pada setiap ujung pohon menyatakan kelas dari suatu data. Pada *decision tree* terdiri dari tiga bagian yaitu :

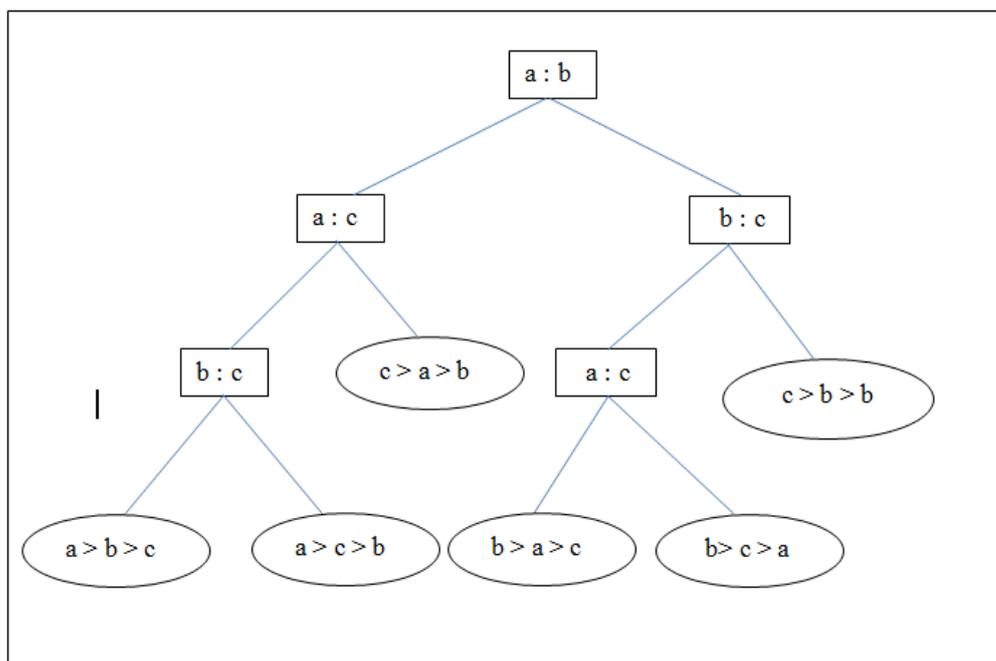
- Simpul akar (*Root node*), merupakan node yang terletak paling atas dari suatu pohon memiliki pengaruh terbesar pada kelas tertentu.
- Simpul dalam (*Internal node*), merupakan node percabangan, hanya terdapat satu input serta mempunyai minimal dua output.
- Simpul daun (*Leaf node*), merupakan node akhir, hanya memiliki satu input, dan tidak memiliki output.

(b). Struktur Pohon Keputusan

Pohon keputusan pada gambar 2.14 dibaca dari atas ke bawah. Simpul paling atas pada pohon keputusan ini adalah simpul akar (*node root*). Simpul yang ditandai dengan tanda kotak di simpul tersebut disebut dengan simpul keputusan. Cabang-cabang yang mengarah ke kanan dan ke kiri dari sebuah cabang keputusan mempresentasikan kumpulan dari alternatif keputusan yang bisa diambil. Hanya satu keputusan yang dapat diambil dalam suatu waktu.

Dalam beberapa pohon keputusan, juga sering disertakan simpul tambahan, yaitu simpul probabilitas. Simpul ini biasa ditandai dengan gambar lingkaran kecil yang disertai dengan angka pada cabang-cabang yang mengakar pada simpul probabilitas itu. Angka-angka yang terletak pada cabang-cabang tersebut merupakan probabilitas kesempatan akan munculnya keputusan yang ada di cabang tersebut dalam pilihan.

Sebagai sebuah catatan, pohon keputusan tidak hanya dapat ditulis secara vertikal, namun juga dapat secara horizontal. Pada penulisan baik secara vertikal dan secara horizontal, pembacaan pohon keputusan dimulai dari kiri ke kanan.



Gambar 2.14.

Tampilan pohon keputusan untuk mengurutkan 3 Buah bilangan a, b dan c
Sumber : Berry, et al (2004).

Selain itu, di posisi, paling bawah sebuah pohon keputusan juga dapat ditambahkan sebuah titik akhir (*endpoint*), yang merepresentasikan hasil akhir dari sebuah lintasan dari akar pohon keputusan pohon keputusan tersebut sampai ke titik akhir itu.

Simpul-simpul baru berisi pengamatan yang lebih sedikit, dan kemudian masing-masing dapat bercabang kembali menjadi simpul-simpul yang baru. Simpul akhir yang tidak mengalami pencabangan biasanya dikenal sebagai simpul daun (*leaf node*), yang pada sebagian literatur disebut dengan istilah simpul akhir (*terminal node*).

Sedangkan simpul-simpul yang bercabang dikenal sebagai simpul antara (*intermediate node*). Simpul antara dikenal juga sebagai simpul keputusan (*decision node*) karena simpul ini menentukan bagaimana pengamatan tertentu masuk ke simpul-simpul di bawahnya.

2.12 Metode Taguchi

2.12.1 Definisi Kualitas Menurut Taguchi

Metode *Taguchi* pertama kali dicetuskan oleh Dr. *Genichi Taguchi* pada tahun 1949 saat mendapat tugas memperbaiki system komunikasi di Jepang. Dr. *Genichi Taguchi* memiliki latar belakang *Engineering* juga mendalami statistika dan matematika tingkat lanjut, sehingga dapat menggabungkan teknik statistik dan pengetahuan *engineering*.

Metode *Taguchi* dikembangkan untuk melakukan perbaikan kualitas dengan metode percobaan baru.

Kualitas yang memenuhi spesifikasi dianggap lebih sempurna oleh pabrik di Amerika. Padahal analisis menunjukkan bahwa dengan merekayasa proses untuk memfokuskan pada target akan dihasilkan kualitas produk yang lebih sempurna. Melihat fenomena diatas, *Taguchi* melihat definisi kualitas dari sisi yang berbeda yaitu dengan melihat hubungan antara-kualitas dengan biaya dan kerugian (*loss*) dalam satuan moneter. Definisi ini tidak hanya memperhatikan segi manufaktur tetapi juga sisi konsumen dan masyarakat.

Secara lebih lengkap definisi *Taguchi* adalah *The quality of a product is the minimum loss imparted by the product society from the time the product is shipped.*

Dengan definisi ini, tujuan dari industri manufaktur adalah membuat produk yang sesuai harapan konsumen selama produksi itu digunakan oleh konsumen. Filosofi *Taguchi* dalam perbaikan kualitas secara terperinci menekankan pada reduksi variasi. Menurut Nair (1992) desain parameter dimaksudkan sebagai pendekatan biaya efektif (*cost-effective*) pada reduksi variasi dalam proses dan produk.

Taguchi mendefinisikan kualitas dalam cara yang negatif, yaitu kerugian pada masyarakat sejak produk dikirimkan. Kerugian ini termasuk biaya ketidakpuasan konsumen, yang akan mengakibatkan kerugian reputasi dan niat baik perusahaan. Menurut *Taguchi*, sebuah produk menimbulkan kerugian bukan hanya ketika berada di luar spesifikasi, tetapi juga ketika produk tersebut menyimpang dari nilai targetnya, kerugian ini sebanding dengan kuadrat penyimpangan dari target. Kualitas suatu produk adalah (minimasi kerugian yang diberikan oleh produk pada masyarakat sejak produk tersebut dikirimkan).

Untuk mengatasi kerugian (*loss*) karena kualitas yang tidak baik dari suatu produk, ada dua kemungkinan kerugian yang terjadi setelah produk sampai kepada konsumennya itu :

- Jika produk tersebut mendapat garansi maka kerugian tersebut ditanggung perusahaan.
- Jika produk tersebut tidak bergaransi, konsumen harus mengeluarkan biaya untuk memperbaiki.
- Ukuran yang diusulkan *Taguchi* untuk menghitung kerugian (*loss*) secara

kuantitatif adalah *quality loss function*. Pendekatan kualitas menurut *Taguchi* ini merupakan inovasi baru dalam bidang kualitas.

Dr. *Genichi Taguchi* sebagai pencetus dan metode *Taguchi* ini, mengemukakan 3 konsep yang sederhana dan mendasar yaitu :

1. Kualitas harus didesain ke dalam produk, sehingga yang diutamakan bukanlah keharusan suatu inspeksi melainkan peningkatan kualitas.
2. Pencapaian kualitas terbaik adalah dengan meminimasi deviasi produk dan suatu nilai target. Produk harus didesain sedeniikian rupa sehingga tidak terpengaruh oleh faktor-faktor lingkungan yang tidak terkontrol.
3. Biaya kualitas harus diukur berdasarkan pada fungsi deviasi terhadap nilai standar dan kerugian diukur secara keseluruhan.

Dasar metode *Taguchi* juga berasal dari 2 premis berikut ini:

1. Produk yang tidak mencapai target akan memberikan kerugian pada masyarakat.
2. Desain produk dan proses memerlukan pengembangan sistematis dan langkah-langkah progresif melalui desain sistem, desain parameter, dan akhirnya desain toleransi.

Ada tujuh point elemen dasar (*Seven Point Taguchi*) dan *Taguchi* yang membedakan pendekatan dan pendekatan tradisional dalam menjamin kualitas, yaitu :

1. *Taguchi* mendefinisikan kualitas sebagai penyimpangan dan performansi tepat target, yang pada awal pemunculannya menjadi suatu paradok. Menurut Beliau, kualitas dan produk manufaktur adalah total kerugian yang ditimbulkan oleh produk pada masyarakat sejak produk itu dikirimkan.
2. Dalam persaingan ekonomi, *Continous Quality Improvement (CQI)* atau peningkatan kualitas terus-menerus dan penurunan biaya amat penting untuk tetap bertahan dalam bisnis.
3. Sebuah program CQI melibatkan reduksi terus menerus dalam variasi karakteristik *performansi* produk dan nilai-nilai target mereka.
4. Kerugian yang diderita konsumen akibat variasi *performansi* produk seringkali proporsional dengan kuadrat penyimpangan karakteristik *performansi* dan nilai targetnya.
5. Kualitas dan biaya akhir (R & D, manufaktur, dan operasi) dan produk manufaktur bergantung pada desain rekayasa produk dan proses manufakturnya.
6. Variasi dalam suatu *performansi* produk (atau proses) dapat dikurangi dengan mengeksplotasi pengaruh-pengaruh non linier berbagai parameter produk (atau proses) pada karakteristik *performansi*.

7. Percobaan-percobaan perencanaan secara statistik dapat secara efisien dan diandalkan mengidentifikasi berbagai setting dan parameter produk (atau proses) yang akan mengurangi variasi performansi.

2.12.2 Tahapan dalam Desain Produk atau Proses Menurut *Taguchi*

Dalam metode *Taguchi* tiga tahap untuk mengoptimasi desain produk atau proses produksi yaitu Ross (1996) :

1. *System Design*.

System Design yaitu upaya dimana konsep-konsep, ide-ide, metode baru dan lainnya dimunculkan untuk memberi peningkatan produk. Merupakan tahap pertama dalam desain dan merupakan tahap konseptual pada pembuatan produk baru atau inovasi proses. Konsep mungkin berasal dari dari percobaan sebelumnya, pengetahuan alam/teknik, perubahan baru atau kombinasinya.

2. *Parameter Design*.

Tahap ini merupakan pembuatan secara fisik atau prototipe secara matematis berdasarkan tahap sebelumnya melalui percobaan secara statistik. Tujuannya adalah mengidentifikasi setting parameter yang akan memberikan performansi rata-rata pada target dan menentukan pengaruh dari faktor gangguan pada variasi dari target.

3. *Tolerance Design*.

Penentuan toleransi dari parameter yang berkaitan dengan kerugian pada masyarakat akibat penyimpangan produk dari target. Pada tahap ini, kualitas ditingkatkan dengan mengetatkan toleransi pada parameter produk atau proses untuk mengurangi terjadinya variabilitas pada performansi produk.

2.12.3 *Orthogonal Array* (OA)

Orthogonal Array (OA) merupakan salah satu bagian kelompok dari percobaan yang hanya menggunakan bagian dari kondisi total, dimana bagian ini barangkali hanya separuh, seperempat atau seperdelapan dari percobaan faktorial penuh. *Orthogonal Array* diciptakan oleh *Jacques Handmard* pada tahun 1897, dan mulai diterapkan pada perang dunia II oleh Plackett dan Burman. Matriks *Taguchi* secara matematis identik dengan matriks *Hardmard*, hanya kolom dan barisnya dilakukan pengaturan lagi. Keuntungan

Orthogonal Array adalah kemampuannya untuk mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah percobaan yang minimum. Tabel 2.2 ditunjukkan jika pada percobaan terdapat 4 faktor dengan level 3, maka jika menggunakan *full factorial* akan diperlukan 3^4 buah percobaan.

Dengan *Orthogonal Array*, jumlah percobaan yang perlu dilakukan dapat dikurangi menjadi L9 sehingga akan mengurangi waktu dan biaya percobaan. Contoh dari OA L9 dapat ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2.

Orthogonal Array L9

TRIAL	FAKTOR			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

Sumber : Montgomery.D.C, 2001

2.12.4 Karakteristik Kualitas

Setiap produk didesain untuk menghasilkan fungsi tertentu. Beberapa karakteristik pengukuran, biasanya menunjukkan karakteristik kualitas, digunakan untuk mengekspresikan sejauh mana sebuah produk menjalankan fungsinya. Di dalam banyak kasus, karakteristik kualitas biasanya merupakan kuantitas pengukuran tunggal seperti berat, panjang, jam. Beberapa pengukuran subjektif produk seperti “baik”, “buruk”, dan “rendah” juga kerap kali digunakan. Karakteristik kualitas adalah hasil suatu proses yang berkaitan dengan kualitas. Karakteristik kualitas yang terukur menurut *Taguchi* dapat dibagi menjadi 3 kategori (*Peace, 1993 : 46*).

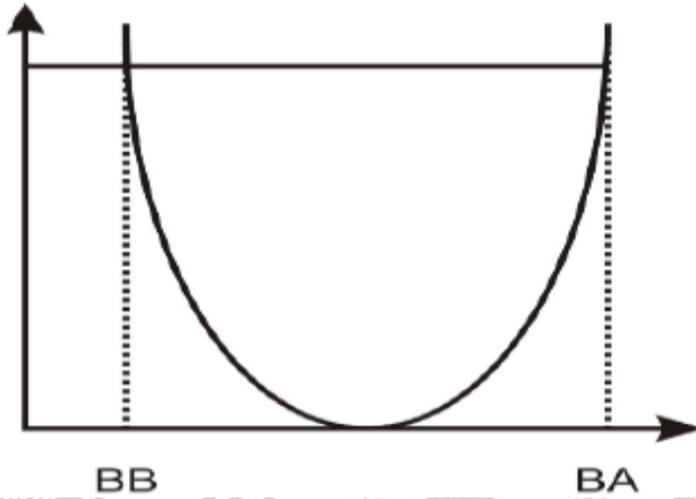
Taguchi membagi karakteristik kualitas menjadi 3 kategori, yaitu:

1. *Nominal the best*

Merupakan karakteristik Kualitas yang menuju suatu nilai target yang tepat pada suatu nilai tertentu (nilai yang dapat positif maupun negatif), seperti yang diperlihatkan ada

gambar 2.15. Contoh: ketebalan, berat, tekanan, temperatur, dimensi produk, dan sebagainya. Yang termasuk kategori ini adalah:

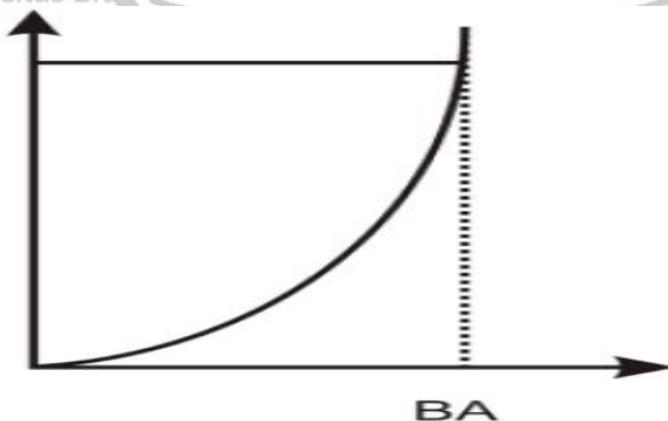
- Berat
- Panjang
- Lebar
- Kerapatan
- Ketebalan
- Diameter
- Luas
- Kecepatan
- Volume
- Jarak
- Tekanan
- Waktu



Gambar 2.15
Nominal the best
Sumber : Soejanto, (2009)

2. Smaller the better

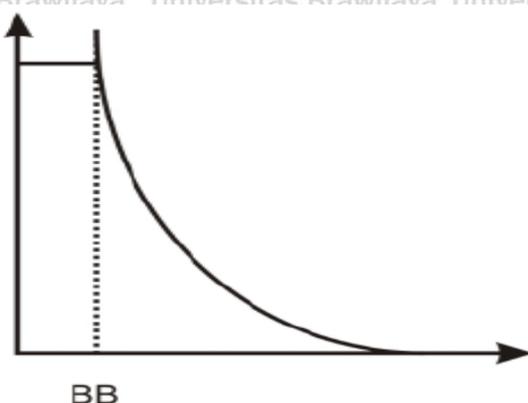
Merupakan karakteristik terukur non negatif dengan nilai ideal nol, pencapaian karakteristik dimana apabila semakin kecil (mendekati nol; nol adalah nilai ideal dalam hal ini) semakin baik, seperti yang diperlihatkan ada gambar 2.16. Contoh yang termasuk kategori ini adalah: jumlah produk cacat atau gagal, pemborosan energi, kebisingan, limbah, dan lain-lain.



Gambar 2.16
Smaller the better
Sumber : Soejanto, (2009)

3. *Large the better*

Merupakan karakteristik terukur dengan nilai non negatif dengan nilai ideal tak terhingga. Karakteristik dimana nilai dituju adalah suatu nilai terbesar, seperti yang diperlihatkan ada gambar 2.14. Contohnya: kekuatan bangunan, ketahanan terhadap korosi, pemakaian bahan bakar per kilometer, umur pemakaian produk, dan lainnya.



Gambar 2.17

Large the better

Sumber : Soejanto, (2009)

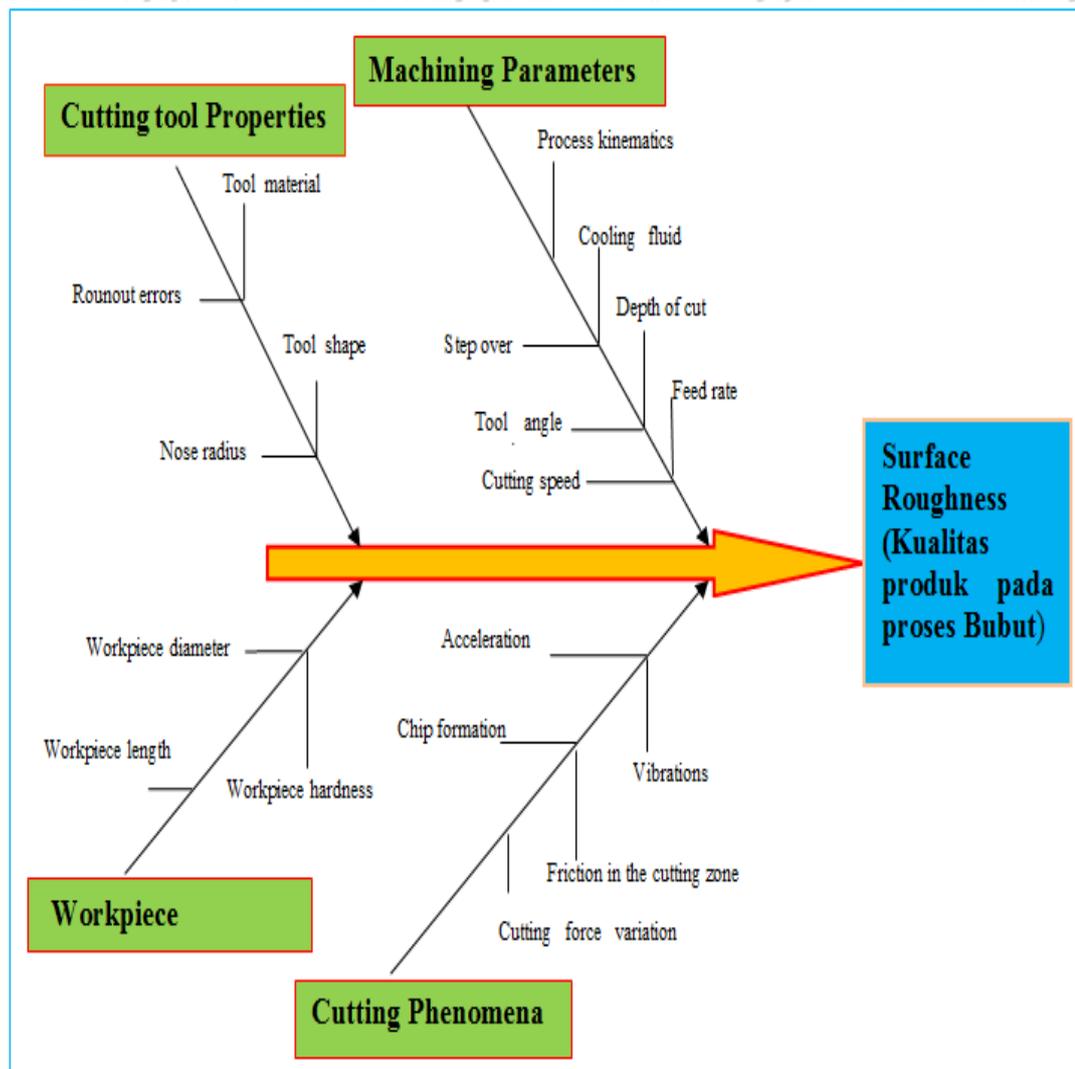
2.13 *Cause & Effect Diagram*

Diagram sebab akibat diperkenalkan oleh *Dr. Kaora Iskawa* (1943), diagram ini terdiri dari sebuah panah horizontal yang panjang dengan deskripsi masalah. Penyebab-penyebab masalah digambarkan dengan garis radial dari garis panah yang menunjukkan masalah. Diagram sebab akibat atau *Cause & Effect Diagram* adalah salah satu yang dapat membantu memecahkan masalah dengan mengidentifikasi klasifikasi atau kategori yang lebih fokus dengan sebab-sebab yang mempengaruhi karakteristik kualitas tertentu.

Menurut Purba, (2008, p. 1–6) dengan menerapkan *Cause & Effect Diagram* dapat menolong kita untuk dapat menemukan akar “penyebab” terjadinya masalah khususnya di industri manufaktur dimana prosesnya terkenal dengan banyaknya ragam variabel yang berpotensi menyebabkan munculnya permasalahan. Apabila “masalah” dan “penyebab” sudah diketahui secara pasti, maka tindakan dan langkah perbaikan akan lebih mudah dilakukan. Dengan diagram ini, semuanya menjadi lebih jelas dan memungkinkan kita untuk dapat melihat semua kemungkinan “penyebab” dan mencari “akar” permasalahan sebenarnya.

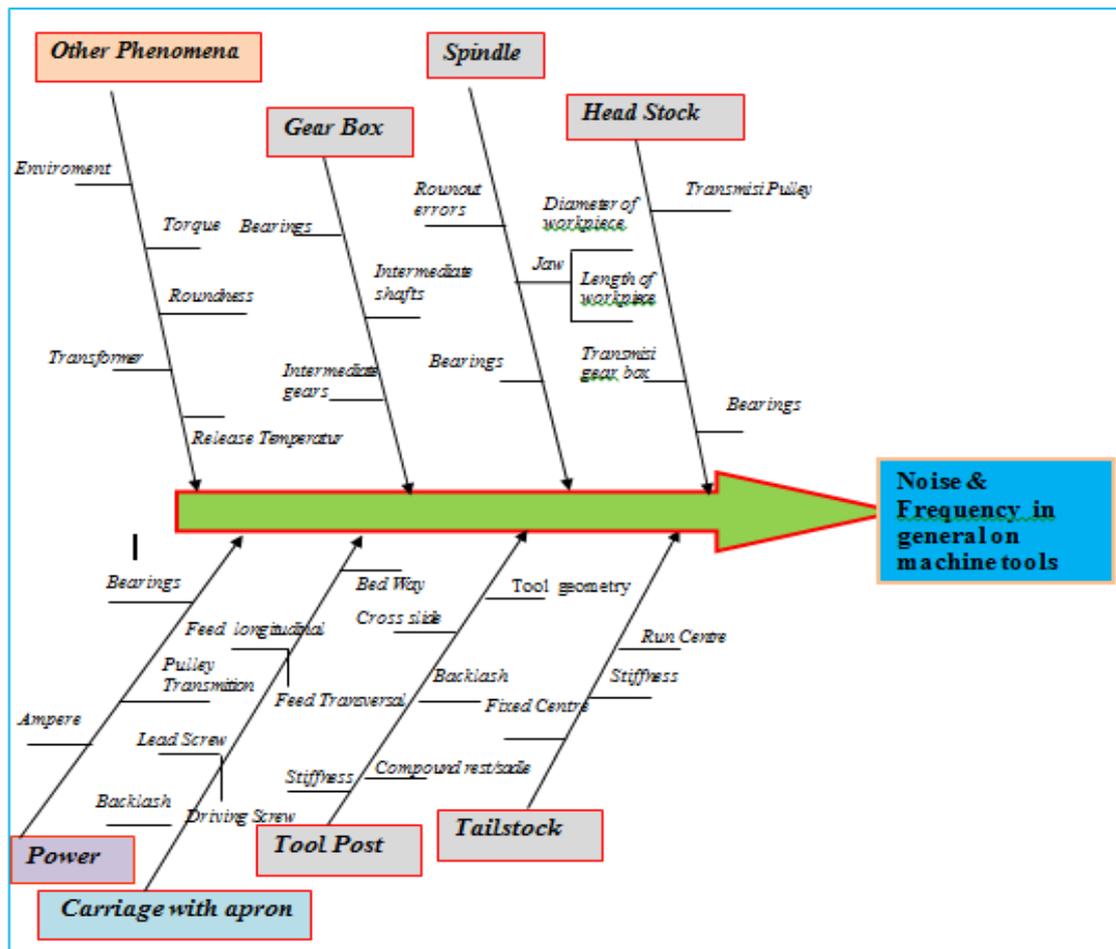
Menurut *H.L Gilmore* Kualitas adalah derajat terhadap standar atau karakteristik langsung dari produk seperti kekasaran permukaan, suatu kondisi dimana produk sesuai dengan desain atau spesifikasi tertentu.

Berikut penjelasan peranan masing-masing diagram *Cause & Effect Diagram* pada penelitian yang ditunjukkan pada gambar 2.18 mengidentifikasi sebab akibat yang terjadi pada proses bubut pada kategori tertentu, diperoleh hasil kekasaran permukaan yang sesuai standar pemesinan.



Gambar 2.18 Cause & Effect Diagram penelitian Surface Roughness (Kualitas Produk pada proses Bubut) Sumber : Smruti Ranjan Sahoo, (2011)

Diperlihatkan gambar 2.19 untuk mengidentifikasi sebab akibat yang terjadi proses pemesian secara umum yang menimbulkan kebisingan (*noise*) dan frekuensi.

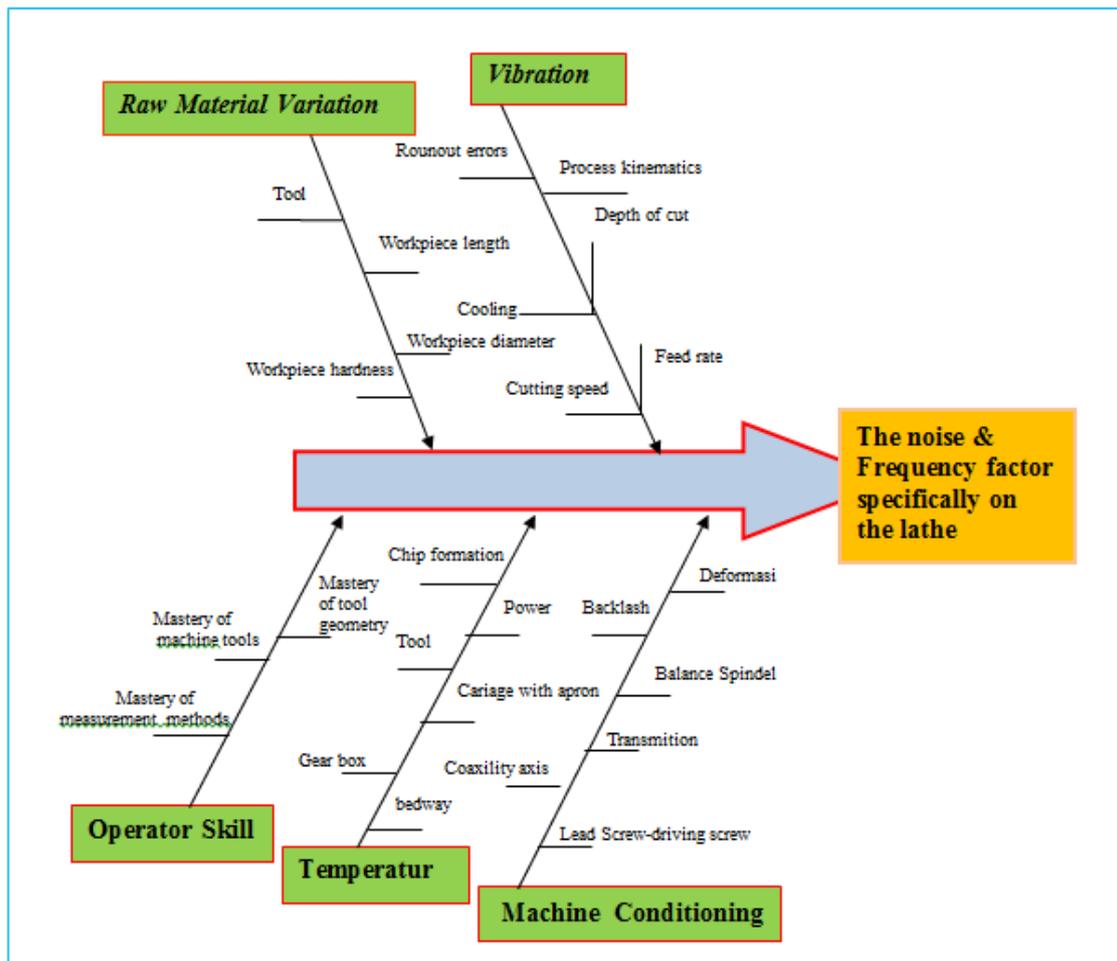


Gambar 2.19

Cause & Effect Diagram penelitian Kebisingan (*noise*) dan Frekuensi secara umum pada mesin perkakas.

Sumber : Smruti Ranjan Sahoo, (2011), dan Rochim, T, (2007)

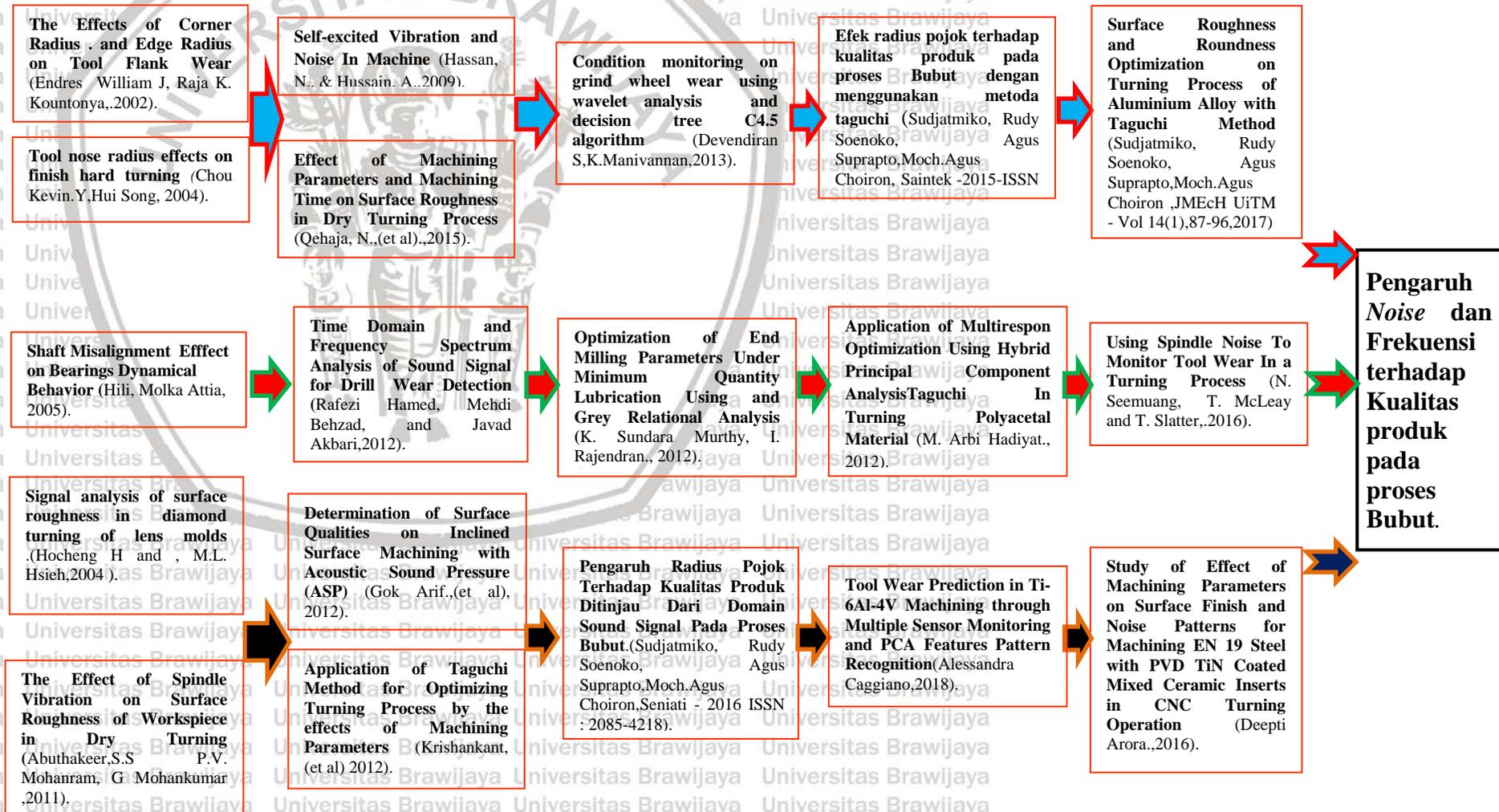
Diperlihatkan gambar 2.20 sebab akibat yang ditimbulkan faktor kebisingan (*noise*) dan frekuensi secara spesifik pada mesin bubut.



Gambar 2.20 Cause & Effect Diagram penelitian faktor kebisingan (*noise*) dan Frekuensi secara spesifik pada mesin bubut.

Sumber : Mahdavejad RA, H. Sharifi Bidgoli, (2009) dan Hocheng, H & M.L.Hsieh, (2004)

2.14. Road Map Penelitian



Gambar 2.18.

Diagram Road Map penelitian pengaruh Noise dan Frekuensi terhadap Kualitas Produk

Tabel.2.3. Matrik Review Jurnal Peneliti terdahulu yang terkait

No	Peneliti, tahun, judul	Journal/Proseding/Tesis/ <i>Dissertation</i>	Permasalahan	Temuan (<i>Finding</i>)
01	02	03	04	05
1	L B Abhang, and M Hama eedullah, 2014. <i>Parametric investigation of turning process on en-31 steel</i>	Procedia Materials Science 6 (2014) 1516 – 1523	Pada proses bubut dengan material Baja En-31 dilakukan dengan mengubah parameter permesinan yaitu kecepatan potong, laju gerak makan, kedalaman potong, radius pojok dan cairan pendingin SAE 40. Dengan model matematika kekasaran permukaan (SR) mempunyai pengaruh terhadap parameter pemesinan.	Dengan model-model matematika yang ditemukan cukup signifikan mewakili kekasaran permukaan (SR). Kekasaran permukaan meningkat dengan peningkatan laju gerak makan diikuti kedalaman pemotongan. Kekasaran permukaan menurun dengan peningkatan kecepatan potong dan radius pojok. Investigasi parametrik menetapkan bahwa kinerja cairan pendingin 10% asam borat yang dicampur dengan SAE-40 base oil lebih baik jika dibanding dengan tidak menggunakan cairan pendingin.
2	Gaitonde V.N, S.R. Karnik, and J. Paulo Davim, 2008. <i>Multiperformance Optimization in Turning of Free-Machining Steel Using Taguchi Method and Utility Concept</i>	Journal of Materials Engineering and Performance (JMEP) Volume 18(3) April 2009— 231.	Optimalkan parameter pemesinan pada pengerjaan proses bubut Baja keras : 9S Mn Pb 28 k (DIN) dengan menggunakan pahat karbida yang dilapis. Memvariasikan laju gerak makan, kecepatan potong, dan kedalaman potong, diperoleh hasil nilai kekasaran permukaan (SR) dan jumlah penghasilan geram (MRR).	Hasil kombinasi dari tingkat pemotongan kecepatan dan kedalaman potong yang lebih tinggi bersama dengan MRR dapat meminimalkan kekasaran permukaan dan untuk memaksimalkan MRR. Hasil menunjukkan kesalahan 0,65 % interaksi bahwa parameter proses yang paling signifikan adalah kecepatan potong diikuti oleh kedalaman pemotongan.
3	Krishankant, Jatin Taneja, Mohit Bector, Rajesh Kumar, 2012. <i>Application</i>	International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT) ISSN :	Optimalisasi efek proses bubut terhadap parameter pemesinan dengan	Dengan memvariasikan Baja EN 24 dengan parameter pemotongan menghasilkan MRR yang besar.

	<i>of Taguchi Method for Optimizing Turning Process by the effects of Machining Parameters.</i>	2249 – 8958, Volume-2, Issue-1, October 2012.	menggunakan Metoda Taguchi untuk meningkatkan kualitas benda kerja dan pengembangan rekayasa desain. Untuk mempelajari variasi benda kerja Baja EN 24 dengan mengoptimalkan laju penghasilan geram (MRR).	
4	Abuthakeer,S.SP.V. Mohanram,G.Mohankumar,2011. <i>The Effect of Spindle Vibration on Surface Roughness of Workpiece in Dry Turning Using Ann.</i>	International Journal of Lean Thinking (IJLT) Volume 2, Issue 2 (December 2011)	Eksperimental, Artificial Neural Network (ANN) digunakan untuk memvalidasi dan memprediksi hasil yang diperoleh pada kondisi pemotongan dalam rentang operasi dan nilai kekasaran permukaan.	Hasil yang diperoleh menunjukkan Multilayer perceptron model Jaringan saraf tiruan (JST), diperoleh efektivitas output parametrik nilai kekasaran permukaan akhir dan besarnya tingkat getaran.
5	Suhail Adee.H, N. Ismail, S.V. Wong and N. A. Abdul Jalil, 2010. <i>Optimization of Cutting Parameter Based on Surface Roughness and Assistance of Workpiece Surface Temperature in Turning Process.</i>	American Journal of Engineering and Applied (AJEA) Sciences 3 (1) : 102-108.	Optimalisasi Parameter pemotongan yang digunakan untuk mengendalikan kualitas permukaan yang dipengaruhi oleh temperatur pada proses bubut.	Hasil optimasi penelitian menunjukkan temperatur permukaan benda kerja dengan temperatur mempengaruhi kinerja pemotongan, sehingga dapat mengurangi biaya proses produksi.
6	Chou Kevin.Y,Hui Song, 2004. <i>Tool nose radius effects on finish hard turning.</i>	Journal of material processing Technology (JMPT), (148) 259-268.	Pengaruh bentuk geram akibat perubahan geometri pahat pada proses pemotongan bubut. Pengaruh gaya pemotongan triaksial (Ft,Fr,Fa) terhadap nilai kekasaran permukaan.	Hasil yang dicapai untuk pahat baru dengan lapisan putih hanya terjadi pada gerak makan (0.3 mm/rev) dan radius pojok kecil. Untuk pahat yang mengalami keausan, lapisan putih muncul pada gerak makan (0,05 mm/rev), tetapi sebaliknya, radius pojok besar dengan lapisan putih lebih tahan aus. Radius pojok kecil memberikan

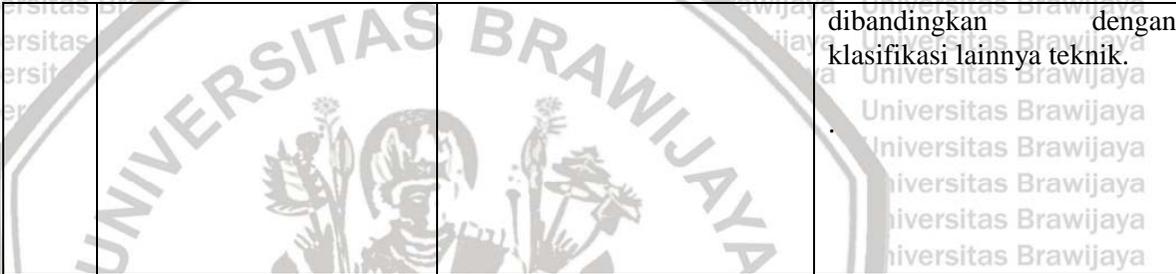
				<p>bentuk geram yang tebal dan lebar. Sumber panas yang terbesar terjadi pada bidang geser, dapat menyebabkan lapisan putih membentuk kondisi permukaan pahat baru (BUE). Secara perlahan sumber panas utama bergeser ke daerah pahat yang menyebabkan terjadinya keusan pahat. Analisis suhu yang terdapat dipermukaan benda kerja, semakin dalam penetrasi suhu, maka semakin besar radius pojok pahat mengalami keusan tepi. Dalam hal ini zona transisi panas dari radius ujung pahat ke permukaan benda kerja pada bahan lebih pendek.</p>
7	<p>Hocheng H and , M.L. Hsieh,2004. <i>Signal analysis of surface roughness in diamond turning of lens molds.</i></p>	<p>International Journal of Machine Tools & Manufacture 44-1607-1618.</p>	<p>Pahat Diamond yang digunakan terbuat dari lensa cetakan presisi tinggi merupakan proses produksi yang penting. Faktor Intensitas getaran dapat mempengaruhi kualitas,kondisi pemotongan, karakteristik mesin, getaran sekitarnya dan bahan benda kerja akan mempengaruhi kualitas cetakan.</p>	<p>Hasil temuan data profil permukaan dapat dinalisis menggunakan FFT (Matlab) mengubah fungsi menjadi ke dalam domain frekuensi. Tiga faktor yang berpengaruh terhadap kekasaran permukaan yaitu ; tingkat gerak makan yang optimum,putaran spindel dan radius pojok pahat. Kualitas dipengaruhi oleh geometri pahat, intensitas getaran frekuensi rendah, lingkungan dan alat ukur.</p>
8	<p>RiyantoSugeng,Agus Purwanto, Supardi,2009. <i>Algoritma Fast Fourier Transform (FFT) Decimation In Time (Dit) Dengan Resolusi 1/10 Hertz.</i></p>	<p>Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA Fakultas MIPA, UniversitasNegeri Yogyakarta, 6 Mei 2009.</p>	<p>Sinyal hasil treatment yang belum sesuai dengan frekuensi sesungguhnya dan tergantung pada pemilihan jenis fungsi windows. Memmbuat model persamaan DFT dan FFT dengan resolusi yang lebih tinggi.</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa resolusi yang tinggi ditentukan oleh faktor f_s/N. Efek aliasing pada daerah spektrum utama maka $f_s \geq 2f$ Nyquist. Implementasi algoritma dan listing program DFT dan FFT dengan resolusi 1/10 Hz membawa konsekuensi $N=10 f_s$. Dengan menambah N berarti memperlama waktu menyampling dari</p>

				suatu sinyal. Lamanya waktu transformasi dapat diatasi dengan meningkatkan kelas Radix FFT yang lebih tinggi.
9	Ulfiana Andi.,2010. Analisis Pengaruh <i>Misalignment</i> terhadap Vibrasi dan Kinerja Motor Induksi	Tesis MIPA-Fisika Universitas Indonesia.	Mendeteksi vibrasi pada motor induksi akibat <i>Misalignment</i> dan kondisi motor induksi dapat ditentukan besarnya vibrasi yang dihasilkan. Sinyal vibrasi dapat ditampilkan dengan memanfaatkan Lab VIEW melalui Data Acquisition (DAQ) Card. Dilakukan pengamatan tegangan, arus, daya listrik dan putaran motor.	Dari temuan analisis vibrasi yang dilakukan menggunakan <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT), <i>Short Time Fourier Transform</i> (STFT) dan <i>Wavelet Transform</i> (WT). Vibrasi dilakukan dengan mengamati amplitudo dan frekwensi sinyal vibrasi pada kondisi <i>alignment</i> dan <i>misalignment</i> , sehingga diperoleh perbandingan konsumsi energi saat <i>alignment</i> dan <i>misalignment</i> .
10	Rafezi Hamed, Mehdi Behzad, and Javad Akbari,2012. <i>Time Domain and Frequency Spectrum Analysis of Sound Signal for Drill Wear Detection.</i>	International Journal of Computer and Electrical Engineering (IJCEE), Vol. 4, No. 5, October 2012.	Waktu fitur sinyal domain diekstrak dan fitur trend ditentukan sebagai lamanya pahat pada kondisi pemotongan yang berbeda dan diameter pahat. Mempelajari pengaruh parameter, pendektasian dilakukan pada fitur sinyal. Mempelajari pengaruh kondisi pemotongan, diameter pahat dan keausan pahat pada komponen sinyal frekuensi..	Dari temuan penyebaran gerak maju kembali <i>Neural Network</i> (FBNN) dirancang dan dilatih berdasarkan ciri sinyal suara diambil dari paket <i>Wavelet</i> . FBNN mengklasifikasikan penggunaan pahat menjadi tiga kelas. Pendekatan ini memberikan strategi deteksi keausan pahat dengan kemampuan implementasi online. Dengan FBNN mampu mengklasifikasikan keausan pahat dengan akurasi sekitar 90% .
11	GokArif, Cevdet Gologlu, Ibrahim H. Demirci, Mustafa Kurt .2012. <i>Determination of Surface</i>	Journal of Mechanical Engineering (JmechE) 58,10, 587-597.	Permasalahan pada emisi akustik, keausan pahat dan deformasi, stabilitas getaran dan parameter pemotongan	Hasil penelitian pada bahan benda kerja ENX40CrMoV51, dengan Hot Work Tool Steel, menunjukkan terdapat kenaikan pada nilai kekasaran

	<i>Qualities on Inclined Surface Machining with Acoustic Sound Pressure</i>		yang terbaik. Untuk memahami hubungan antara sinyal suara yang dihasilkan dengan kekasaran permukaan pada pemesinan dengan bentuk permukaan pahat cekung dan cembung.	permukaan dengan kenaikan pada nilai tekanan suara akustik (TSA).
12	Endres William J, Raja K. Kountonya.2002. <i>The Effects of Corner Radius and Edge Radius on Tool Flank Wear.</i> ,	Departement of Mechanical Engineering Engineering, Michigan, USA, Journal Mechanical Engineering.	Permasalahan efek interaksi radius sudut pahat terhadap radius tepi. Hipotesis menerapkan radius sudut tidak meningkatkan sisi pemakaian pahat yang bersudut relatif tajam.	Interaksi radius sudut dan radius tepi pahat karbida kelas K68 (ISO C3), yang mempengaruhi kinerja proses diukur dari tepi pahat yang aus dan kekuatan pahat sampai tajam (<i>unhoned</i>). Efek dari radius sudut 0,8 mm mengurangi keausan tepi dengan gerak makan yang lebih rendah menunjukkan keausan radius sudut 1,2 mm. Dengan meminimalkan, radius sudut yang kurang sensitif untuk memberi gerak makan dibandingkan dengan radius sudut yang lainnya. Gerak makan yang rendah akan berpengaruh pada keausan pahat yang besar pada radius sudut yang diasah.
13	Devendiran S, K. Manivannan,2013. <i>Condition monitoring on grinding wheel wear using wavelet analysis and decision tree C4.5 algorithm.</i>	International Journal of Engineering and Technology (IJET), ISSN : 0975-4024 Vol 5 No 5.	Kualitas permukaan yang buruk pada proses gerinda menyebabkan kualitas pada komponen menurun, beberapa kali bahkan terjadi kesalahan proses sehingga menyebabkan cacat produk. Penggunaan pada frekuensi tinggi (kisaran 20 KHz ke 1 MHz) emisi akustik (AE) proses milling dengan menggunakan proses gerinda	Kesimpulan menunjukkan bahwa akurasi klasifikasi dapat mencapai hingga 96,70 % dgn kedalaman potong 10µm, 98,95% dengan kedalaman potong 20 µm dan 99,15% pada kedalamanpotong dari 30 µm. Untuk beberapa kondisi Grinding akurasi adalah 95,25%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan metode pohon keputusan (<i>decision tree</i>) C4.5 algorithm, memiliki kinerja yang baik untuk memprediksi pemakaian batu

			digunakan lebih dari satu decade terakhir. Analisis penerapan AE pada getaran untuk pemantauan penggunaan proses gerinda, masih belum matang.	
14	Muhammad munawar, nadeem a. Mufti, and hassan iqbal, 2012. <i>Optimization of Surface Finish in Turning Operation by Considering the Machine Tool Vibration using Taguchi Method</i>	Mehran University Research Journal of Engineering & Technology (JET), Volume 31, No. 1, January, 2012 [ISSN 0254-7821]	Optimasi kekasaran permukaan telah menjadi salah satu tujuan utama sebagian besar dalam proses pemesinan. Hasil yang jelek pada kontrol kualitas menghasilkan kekasaran permukaan yang tidak diinginkan, dan berpengaruh pada peningkatan biaya dan kerugian produktivitas hal ini disebabkan pada proses pengerjaan ulang pemesinan. Nilai Kekasaran permukaan merupakan hasil dari variabel proses antara lain kondisi mesin perkakas adalah salah satu variabel yang signifikan	Proses pemesinan dengan bubut pada material Baja Karbon AISI 1040, dengan getaran amplitudo rendah menghasilkan kekasaran permukaan yang lebih baik. Radius pojok besar, gerak makan kecil, akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang kecil. Parameter pemotongan awal terjadi peningkatan kekasaran permukaan, parameter pemotongan optimal menghasilkan nilai peningkatan kekasaran permukaan sekitar 100%.
15	Deepti Arora.,2016. <i>Study of Effect of Machining Parameters on Surface Finish and Noise Patterns for Machining EN 19 Steel with PVD TiN Coated Mixed Ceramic Inserts in CNC Turning Operation</i>	<i>A Dissertation Submitted In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of). Master of engineering In Production engineering. Department of mechanical engineering Thapar university Patiala-147004, India.</i>	Analisis spektrum frekuensi dilakukan untuk mengetahui rentang frekuensi diperoleh tingkat suara tertinggi. Usaha yang telah dilakukan untuk menemukan korelasi antara dua respon, kekasaran permukaan terhadap kebisingan (<i>noise</i>)	Dengan menggunakan desain faktorial diterapkan ANOVA. Parameter optimum telah ditentukan untuk memperoleh tingkat kekasaran permukaan terbaik dengan proses pemesinan paling rendah, sehingga dihasilkan suara terendah sebagai persyaratan yang bisa dicapai untuk memperoleh hasil finishing permukaan paling rendah.
16	Peng LIU,Jiu-hua XU,	Journal of Zhejiang	Permasalahan pengaruh	Penelitian dilakukan dengan proses

	Yu-can FU,2012. <i>Cutting force and its frequency spectrum characteristics in high speed milling of titanium alloy with a polycrystalline diamond tool</i>	University-SCIENCE A (Applied Physics & Engineering), ISSN 1673-565X (Print); ISSN 1862-1775 (Online)	parameter proses milling pada gaya potong. Meneliti pengaruh kecepatan potong dan penggunaan pahat potong PCD dengan karakteristik spektrum frekuensi gaya potong proses milling dengan kecepatan tinggi TA15.	milling (<i>machining centre</i> UCP710) pada kecepatan tinggi dengan material Ti-6.5Al-2Zr-1Mo-1V (TA15). Menggunakan pahat potong diamond polikristalin (PCD). Mempunyai karakteristik gaya potong dan gaya dinamik yang tinggi pada proses milling. Sinyal pada proses pemesinan dianalisis dengan spektrum frekuensi dengan kondisi kecepatan rendah, pemotongan yang berbeda seiring dengan tingkat keausan pahat potong yang berbeda. Aspek tren dari frekuensi domain kekuatan dinamis, menunjukkan bahwa karakteristik frekuensi pada gaya potong sebenarnya terdapat daya spektrum. Besarnya amplitudo dapat dipantau dengan kecepatan pemotongan yang tinggi dengan meningkatnya keausan pahat.
17	Ghorbani.S,N.I. Polushin.,2017. <i>An Alternative Approach for Assessing the Impact of Cutting Conditions on Surface Roughness Using Single Decision Tree.</i>	World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering Vol:11, No:4.	Permasalahan memprediksi parameter pemotongan yang signifikan untuk kekasaran permukaan tidak mudah dicapai dengan menggunakan persamaan deterministik. Dengan Metode pohon keputusan (<i>decision tree</i>) memungkinkan model hubungan antara variabel tanpa asumsi model yang kuat. Dalam metode decision tree model klasifikasi yang dihasilkan dapat dengan mudah ditafsirkan	Pohon keputusan menggunakan nilai seperangkat variabel prediktor untuk memprediksi nilai variabel. Dalam penelitian ini prediksi kekasaran permukaan dilakukan dengan menggunakan satu pohon keputusan berdasarkan bahan benda kerja, pahat potong, kecepatan spindle, gerak makan, kedalaman potong dan <i>overhang</i> pada kekasaran permukaan. Disimpulkan bahwa pohon keputusan, berbeda dengan model regresi tradisional, mewakili kaidah, dan parameter signifikan ditentukan oleh algoritma itu sendiri melalui percabangan input.



dibandingkan	dengan
klasifikasi lainnya	teknik.

Pohon keputusan tidak memerlukan asumsi parametrik tentang data pelatihan yang harus dipenuhi. Dengan mudah mengakomodasi hubungan nonlinear dengan hasil dan mudah dipahami. Pohon keputusan dapat digunakan untuk membuat kesimpulan untuk memahami "gambaran besar" model.

BAB III

KERANGKA KONSEP PENELITIAN

3.1 Kerangka Berpikir Penelitian

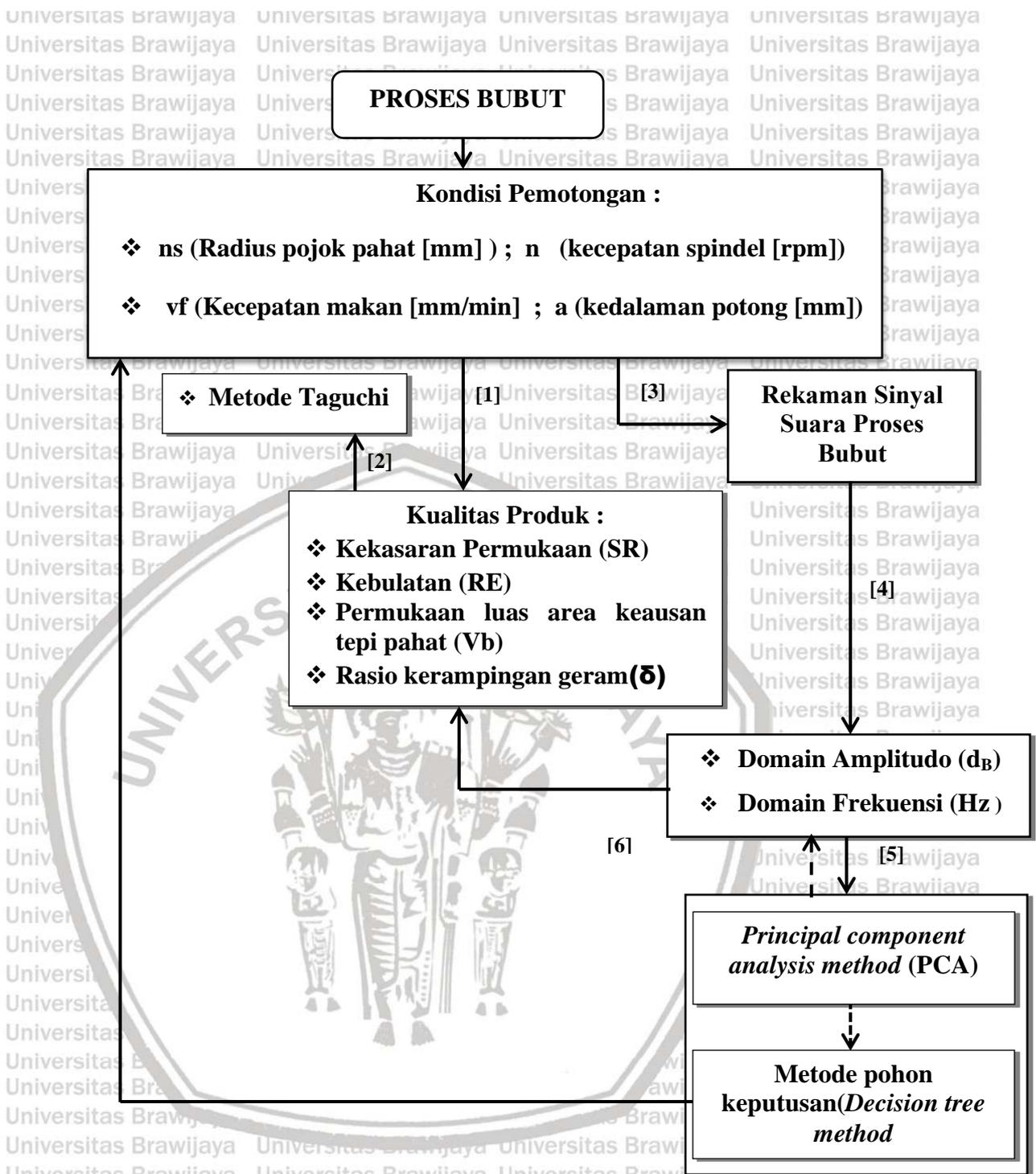
Penelitian ini mendesain pola hubungan antara variabel proses pemotongan terhadap multirespon kedalam sebuah kerangka konsep penelitian untuk mendukung kerangka konseptual penelitian yang dimaksud dapat ditunjukkan dalam gambar 3.1 dan dijelaskan secara rinci sebagai berikut :

Parameter pemotongan proses bubut terdiri (n_s , n , v_f , dan a) terhadap level eksperimen menghasilkan respon kekasaran permukaan (SR), kebulatan (RE), keausan tepi pahat (V_b), dan rasio kerampingan geram (δ) [1]. Untuk menguji hasil kualitas produk digunakan teknik statistik dan pengetahuan *engineering* yaitu metode Taguchi [2].

Hasil rekaman sinyal suara (*signal sound*) proses bubut digunakan mobile phone *android* untuk mengolah data dalam bentuk file WAV, selanjutnya dengan signal processing melalui (*Band-Pass Filtering ; Half-Wave Rectifying; Low-Pass Filtering*), menghasilkan histogram-spektogram Frekuensi dengan *Short Time Fourier Transformation (STFT)* dan terakhir *Fast Fourier Transform (FFT)* diperoleh nilai amplitudo(dB)/kebisingan dan frekuensi (Hz) [3].

Dari data FFT diperoleh respon domain amplitudo (d_B)/Kebisingan, dan frekuensi (Hz), [4]. Untuk menguji domain amplitudo (d_B)/Kebisingan dan menaksir domain frekuensi, terhadap kualitas produk (kekasaran permukaan, dan kebulatan) menggunakan statistik *principle compount analysis method (PCA)* [5].

Dengan memanfaatkan hasil olahan dari data *principle compount analysis method (PCA)* untuk menaksir kisaran parameter pemotongan (n_s, n, v_f , dan a) terhadap kisaran frekuensi, analisa perhitungan menggunakan statistik metode pohon keputusan (*decision tree method*) [6].



Gambar 3.1
Alur Kerangka Pikir Penelitian.

3.2 Hipotesis Penelitian

3.2.1 Hasil optimasi parameter pemotongan berpengaruh terhadap kekasaran permukaan (SR) dan kebulatan (RE), menggunakan metode Taguchi.

3.2.2 Model persamaan regresi permukaan luas area keausan tepi pahat ((Vb)) dan rasio kerampingan geram ((δ)) berpengaruh terhadap parameter pemotongan.

3.2.3 (a). Nilai domain amplitudo/kebisingan (dB) berpengaruh terhadap kualitas produk.

(b). Model persamaan regresi kekasaran permukaan (SR) dan kebulatan (RE), berpengaruh terhadap kualitas produk, menggunakan metode *Principal Components Analysis (PCA)*.

(c). Taksiran parameter pemotongan berpengaruh terhadap domain amplitudo (dB), domain frekuensi, menggunakan metode pohon keputusan (*Decision tree Method*).

3.3 Definisi operasional

Seperti yang tersaji pada gambar 3.1 alur kerangka berpikir terdapat variabel parameter pemotongan dan variabel multirespon.

Mengetahui indikator pada masing-masing variabel penelitian, diperlukan suatu teknik statistik metode Taguchi digunakan untuk optimasi yang dapat mempengaruhi variabel parameter pemotongan terhadap kualitas produk berupa kekasaran permukaan (SR), dan kebulatan (RE).

Mengetahui pengaruh variabel parameter pemotongan terhadap multirespon dari rekaman sinyal suara (*Sound signal*) pada proses bubut, diolah dengan signal processing (*Band-Pass Filtering ; Half-Wave Rectifying; Low-Pass Filtering*), dan FFT, diperoleh data amplitudo (dB), domain frekuensi (Hz).

Data multi respon sinyal suara amplitudo (dB), domain frekuensi (Hz), menggunakan statistik metode *principle component analysis (PCA)* diperoleh model persamaan kekasaran permukaan (SR) dan kebulatan (RE), sebagai indikator kualitas produk.

Memfaatkan data mutirespon hasil olahan dari *principle component analysis (PCA)* dikombinasikan dengan metode pohon keputusan (*decision tree method*), digunakan untuk menguji taksiran parameter pemotongan (ns , n , vf , dan a) terhadap amplitudo/kebisingan (dB), domain frekuensi (Hz),

BAB IV METODE PENELITIAN

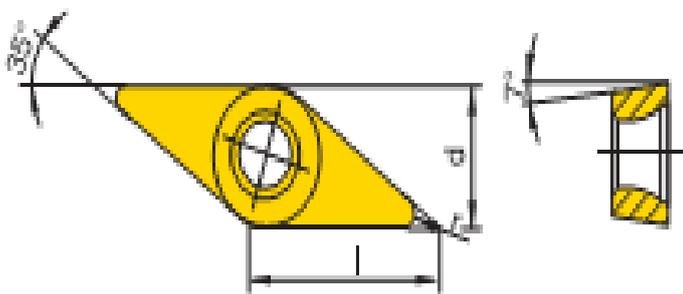
4.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium CNC Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Merdeka Malang digunakan pengambilan data suara (*sound*) - sinyal (*signal*), dan kebisingan (*noise*) pada proses Bubut. Laboratorium Komputasi dan Jaringan Komputer Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Merdeka Malang, tempat digunakan untuk analisis data *sound signal* dan pengembangan aplikasi identifikasi *sound signal* pada proses Bubut.

Penelitian dimulai dengan setting peralatan tambahan *Tool Holder* pada mesin Bubut CNC-TU 2A dan alat perekam suara Mobile Phone Android Samsung pada bulan Agustus 2016 - 2017 sampai dengan pengambilan data suara dan analisa data.

4.2. Bahan dan Pahat

Material benda kerja Aluminium Al-6061 dengan komposisi : 0.40-0.80 % Si, 0.70 % max Fe, 0.15-0.40 % Cu, 0.15 % Mn, 0.8-1.2 % Mg, 0.25 % Zn, 0.04-0.35 % Cr, 0.15 max % Ti dan sisanya (Basha,N.zeelan., 2013). *Density* : 2.70 gram/Cm³(2700 kg/m³), *Yield Strength* : 350 Mpa, *Tensile Strength* : 400 Mpa, *Strength to Weight Ratio*: 0.15, *Specific Cutting Energy* : 0.4-1.1 (W-s/mm³) (A Mathew Kuttolamadom, et al., 2010). Geometri pahat karbida seperti ditunjukkan pada gambar 4.1, dengan data material ditunjukkan pada tabel 4.1, komposisi kimia seperti pada tabel 4.2 dan tabel 4.3 sifat mekanis.



Gambar 4.1
Geometri Pahat Karbida.

Sumber : *Dorian International Tool, Turning Catalog 2013*

Tabel 4.1

Data Material

No	Jenis	Bahan	Dimensi (l x d)	Type
1	Pahat	Karbida	(7.75x6.35) mm	DCGT-070202FN-27-M20
2	Benda Kerja	Aluminium	(100 x 22) mm	Al-6061

Sumber : Lab CNC JTM UnMer Malang, 2000 dan A Mathew Kuttolamadom, et al (2010).

Tabel 4.2

Komposisi Kimia Pahat Karbida

Co	Cr ₃ C ₂	WC
6.0	0.5	93.5

Sumber : Rochim.T, 2007.

Tabel 4.3

Sifat Mekanis Pahat Karbida.

Property	Value
Hardness	1800 HK
Compression Stress (σ_c)	1050 MPa
Impact Strength	0,34 Joule
Density (ρ)	10 kg/cm ³
Melting Point	1400 ^o C
Modulus of elasticity (E)	6,95 GPa
Thermal conductivity	42 W/mk
Poisson's ratio (μ)	0,23

Sumber : A Mathew Kuttolamadom, et al (2010)

4.3. Peralatan Penelitian

1. Mesin TU - CNC-2A dan TU - CNC-3A Merk EMCO Maier & Co Friedman-mair strafe 9 A – 5400 Austria, 1990.
2. Pahat yang digunakan adalah Karbida dengan kodifikasi : DCGT-070202FN-27-M20 Sr-Tizit Plan SEE 60 T dengan radius pojok 04, 08 dan 1.2 dan Tool Holder dengan kodifikasi : SDJCR1220 D 07.
3. Mobile Phone Android Samsung, kebisingan pada intensitas 30-130 dB dan frekuensi 20-20.000 Hz.
4. Stop Watch k: 1

5. Jangka Sorong (Mistar ingsut) dengan $k : 0.05 \text{ mm}$.
6. Dial Indicator $k : 0.01 \text{ mm}$ dan Vee Block: 45°
7. Meja Rata (*Table Surface Measurement*)
8. Kepala Pembagi (*Deviding Head*), $k : 1^\circ (360^\circ)$.
9. Personal Komputer (Lap Top/ PC) dan Software Program.
10. Camera digital Merk. Kodak Retinar Asphric lens, picture size : 10.
11. Mesin gergaji Pemotong (*Cutting off*), & Roll meter kapasitas ukur 500 mm.
12. Surface Roughness (SR) tester Merk Mitutoyo Japan, SJ210, 2015.
13. Digital Microscope Tips of Using Measurement Function Merk - Dino lite dengan pembesaran 500 X.
14. Tachometer digital laser maks : 10.000 Rpm
15. Micrometer $k : 0.02 \text{ mm}$



Gambar 4.2

Mesin Bubut TU-CNC-2A dengan Mobile Phone Android Samsung (kebisingan pada intensitas 30-130 dB dan dari frekuensi 20-20.000 Hz).

Sumber : Lab. CNC UnMer Malang (2017)



Gambar 4.3
Tool Holder dan Insert Tool Carbide
Sumber : Lab. CNC UnMer Malang (2017)



Gambar 4.4
Mobile Phone Android
Sumber : Samsung, (2014)



Gambar 4.5 Jangka Sorong
Sumber : Lab. Pros-Prod,
JTM UnMer Mlg (2014)



Gambar 4.6 Pengukuran kebulatan
(Dial indicator & Vee Block)
Sumber : Lab. Pros-Prod, JTM
UnMer Mlg (2014)



Gambar 4.7 Setting posisi spesimen pada
Deviding Head
Sumber : Lab. Pros-Prod, JTM UnMer Mlg
(2014)



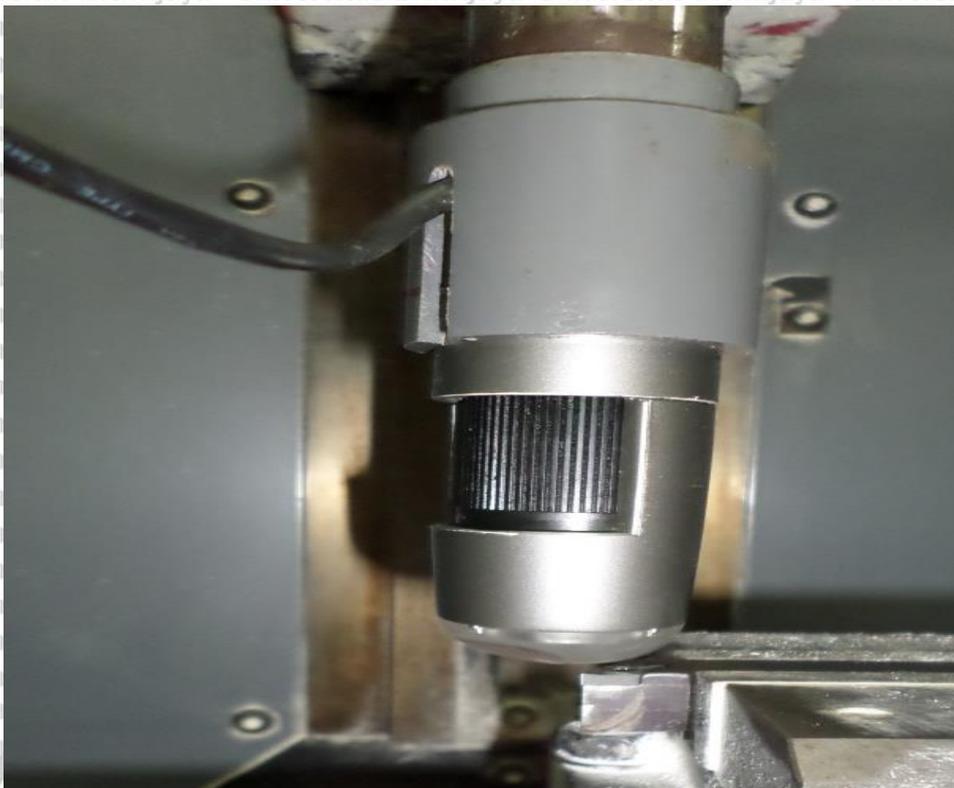
Gambar 4.8 Mikrometer
Sumber : Lab. Pros-Prod,
JTM UnMer Mlg (2014)



Gambar 4.9
Tachometer Digital untuk mengontrol kecepatan Spindel bubut.
Sumber : Lab. CNC, JTM UnMer Mlg (2014)



Gambar 4.10
Meja rata dan Surface Roughness tester.
Sumber : Lab. CNC, JTM UnMer Mlg (2014)



Gambar 4.11
Digital Microscope Dino lite.
Sumber : Lab. CNC, JTM UnMer Mlg

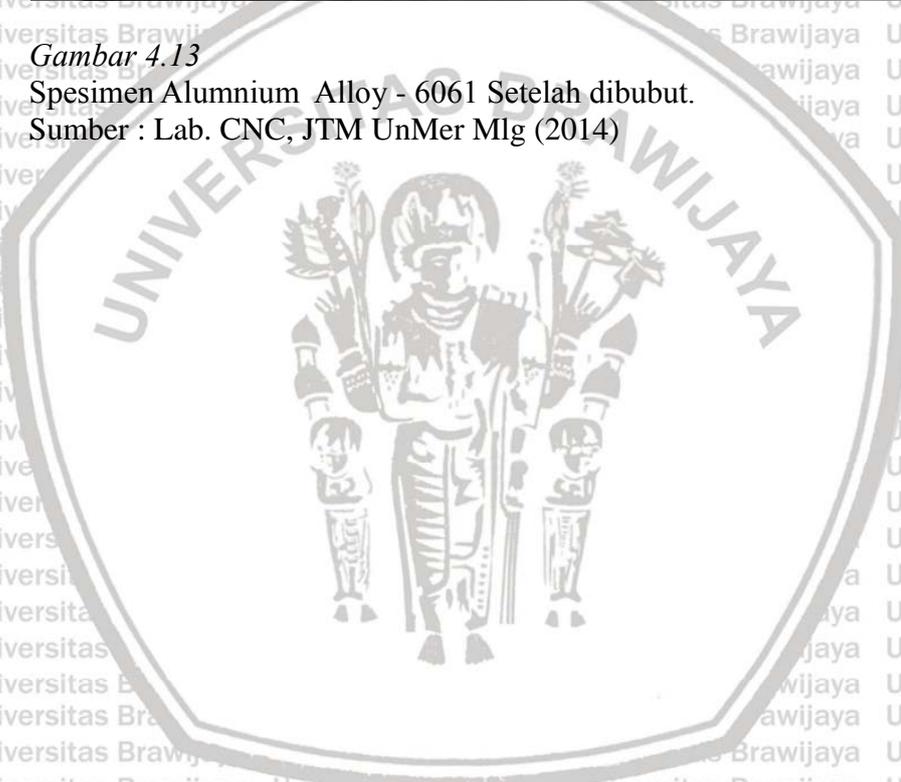


Gambar 4.12
Spesimen Alumnium Alloy - 6061. Sebelum dibubut.
Sumber : Lab. CNC, JTM UnMer Mlg (2014)



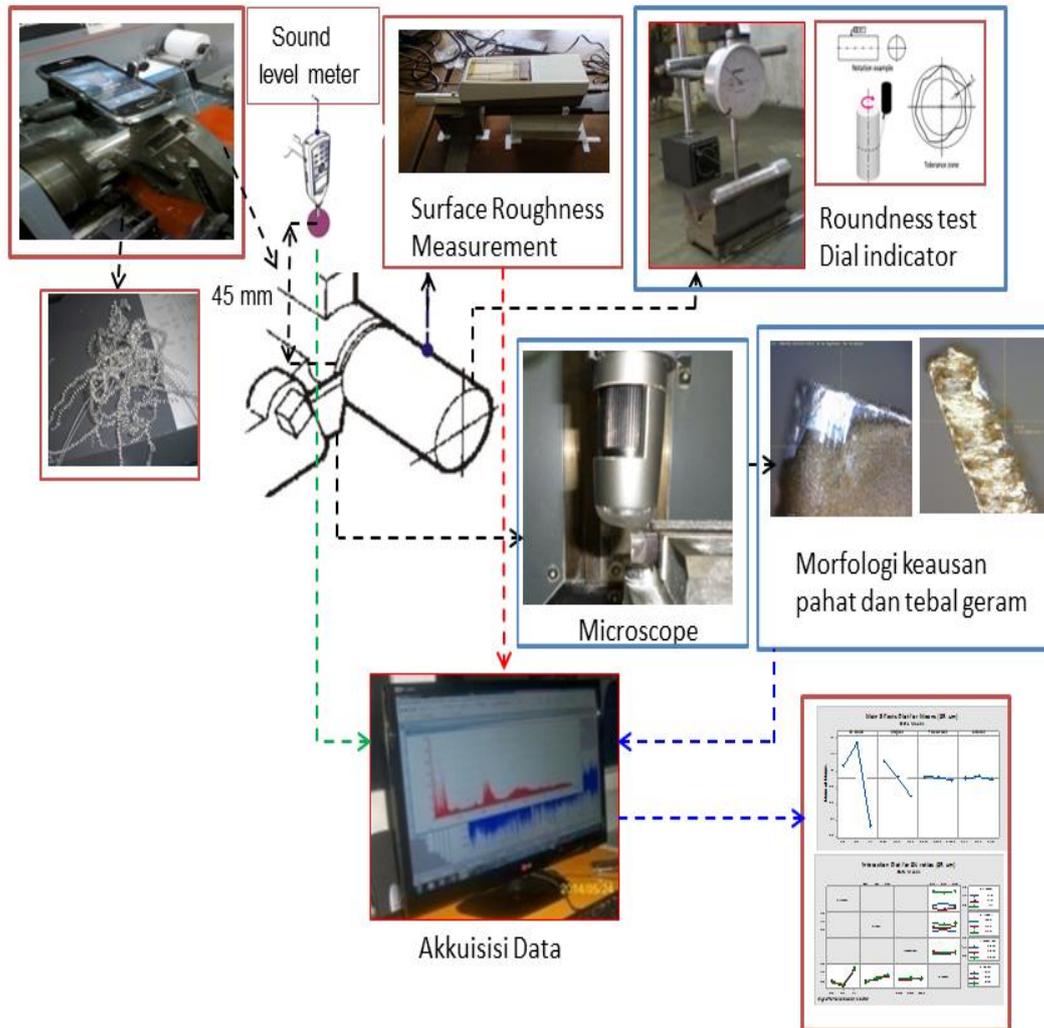


Gambar 4.13
Spesimen Aluminium Alloy - 6061 Setelah dibubut.
Sumber : Lab. CNC, JTM UnMer Mlg (2014)



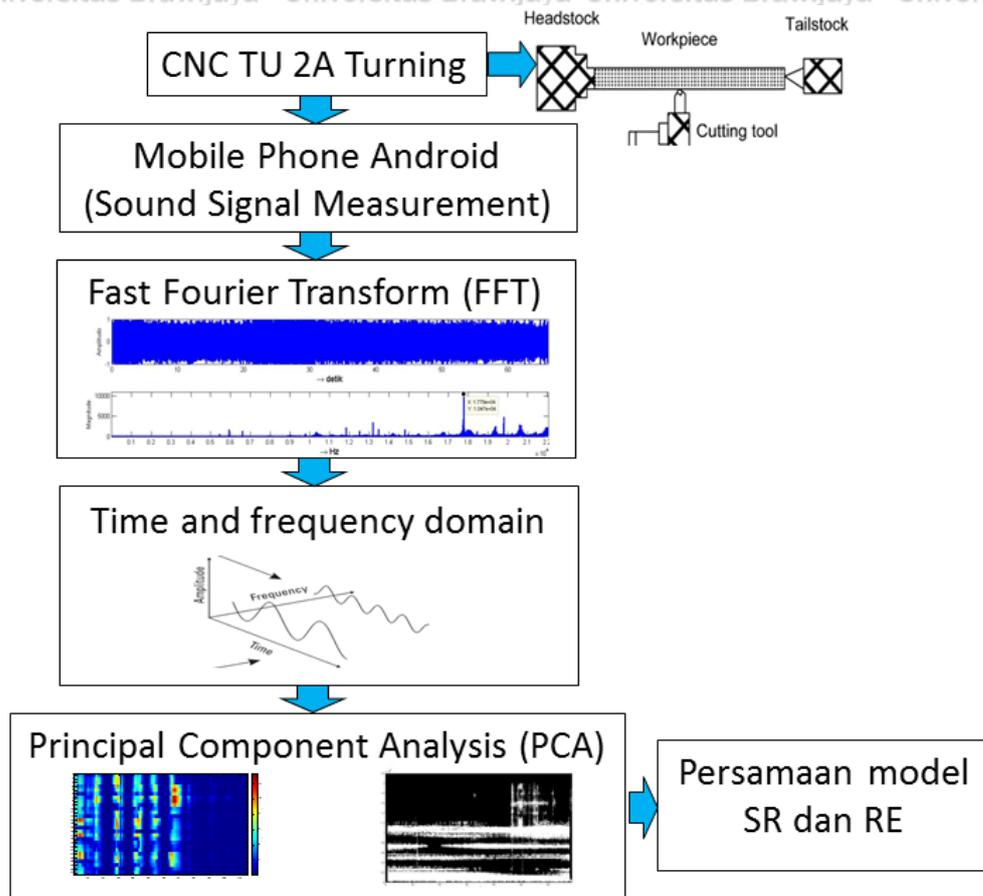
4.4. Prosedur Pengujian pada proses pemesinan

4.4.1 Skematik setting penelitian



Gambar 4.14
Diagram Skematik Setting penelitian

4.4.2 Skematik Konversi Sinyal Suara dengan FFT



Gambar 4.15. Proses Konversi Sinyal Suara dengan FFT menghasilkan Spektrogram Amplitudo (d_B), dan Domain Frekuensi (Hz)

4.4.3. Prosedur Pengambilan data penelitian

Proses pemesinan dilaksanakan dengan variasi sebanyak 9 kali (pada masing-masing proses bubut dilakukan 3 kali) sehingga terdapat 27 data yang sesuai rancangan penelitian yang ditunjukkan pada tabel 4.5 dan tabel 4.6, dengan tahapan berikut :

1. Proses Pemesinan

Setiap perubahan variasi parameter pemotongan dan *radius* pahat (*ns*) untuk masing-masing hasil bubut direkam dengan menggunakan Android Mobile Phone Samsung, sedangkan hasil kekasaran permukaan (*SR*) diukur dengan *Surface Roughness test* dan penyimpangan kebulatan (*roundness*) diukur dengan *ideal indicator*. Setiap proses bubut pada masing-masing benda uji digunakan satu pahat bubut, agar memperoleh hasil data yang signifikan.

2. Pengukuran Kebisingan dengan Android Mobile Phone ;
 - (a). Setting Mobile Phone Android Samsung diatas spindel mesin bubut dengan jarak 45 mm terhadap benda kerja untuk perekaman suara.
 - (b). Perekaman dengan Mobile Phone Android diruangan Laboratorium CNC untuk memperoleh data suara lingkungan.
 - (c). Perekaman suara dengan Mobile Phone Android , pada mesin CNC TU 2A keadaan : (1). *run*, (2). *idle run*.
 - (d). Konversi suara dengan software analysis statistik untuk memperoleh FFT dan menghasilkan nilai Amplitudo (d_B), dan Domain frekuensi (Hz)
3. Pengukuran Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness test*) (SR).
Setting *Surface Roughness Tester* dan *Vee block* terhadap benda kerja hasil bubut yang diberi tanda pengukuran pada masing-masing benda kerja dengan lokasi 3 titik, hasil diidentifikasi dan dicatat pada paper sheet.
4. Pengukuran Penyimpangan Kebulatan (*Roundness*)
Setting *Vee block* terhadap benda kerja hasil bubut yang telah diberi tanda ukur dan *dial indicator* diatas meja rata. Pengukuran dilakukan pada titik-titik ukur yang telah ditentukan dengan *dial indicator* dan dicatat pada *paper sheet* data.

4.5. Parameter Penelitian

1. Variabel Bebas :

Variabel bebas adalah variabel yang ditetapkan sebelum dilakukan penelitian meliputi :

- Radius pahat (*nose radius*) (r_s) (mm)
 - Kecepatan Spindel (n) (rpm)
 - Kecepatan makan (V_f) (mm/menit)
 - Kedalaman potong (mm).
2. Variabel terikat (Respon) adalah variabel yang diperoleh dari hasil variabel bebas dan variabel yang diperoleh setelah melakukan penelitian meliputi :
 - Domain Amplitudo (d_B), dan Domain Frekuensi (Hz)
 - Kekasaran Permukaan (SR) (μm).
 - Penyimpangan kebulatan (*roundness*) (RE) (μm).

- Permukaan luas area Keausan tepi pahat (*flank wear*) (V_b)
 - Rasio kerampingan geram (*slenderness ratio*) (δ)
3. Variabel kontrol adalah variabel yang digunakan untuk membandingkan perubahan yang terjadi pada variabel terikat akibat pengaruh dari variabel bebas.

Dalam penelitian ini variabel kontrol meliputi :

- Diameter spesimen (mm)
- Panjang pembubutan (mm)
- Jarak Mobile Phone Android terhadap spesimen benda kerja (mm)
- Waktu Pemotongan (menit)

4.6. Rancangan Experimental

Metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental nyata (*true experimental research*). Jenis penelitian ini digunakan untuk menguji pengaruh dari suatu perlakuan terhadap proses. Pengaruh dari beberapa perlakuan yang berbeda terhadap suatu percobaan akan dibandingkan sehingga diperoleh suatu kejadian yang saling berhubungan.

4.6.1. Tahapan dalam Desain Produk atau Proses Menurut *Taguchi*

Dalam metode *Taguchi* tiga tahap untuk mengoptimasi desain produk atau proses produksi yaitu (Ross, 1996) :

1. *System Design*.

System Design yaitu upaya dimana konsep-konsep, ide-ide, metode baru dan lainnya dimunculkan untuk memberi peningkatan produk. Merupakan tahap pertama dalam desain dan merupakan tahap konseptual pada pembuatan produk *System Design* yaitu upaya dimana konsep-konsep, ide-ide, metode baru dan lainnya dimunculkan untuk memberi peningkatan produk.

Merupakan tahap pertama dalam desain dan merupakan tahap konseptual pada pembuatan produk baru atau inovasi proses. Konsep mungkin berasal dari dari 4.6.1. Tahapan dalam Desain Produk atau Proses menurut *Taguchi* dalam metode *Taguchi* tiga tahap untuk mengoptimasi desain produk atau proses produksi yaitu (Ross, 1996).

2. *System Design.*

System Design yaitu upaya dimana konsep-konsep, ide-ide, metodebarudanlainnya dimunculkan untuk memberi peningkatan produk .

Merupakan tahap pertama dalam desain dan merupakan tahap konseptual pada pembuatan produk baru atau inovasi proses. Konsep mungkin berasal dari dari percobaan sebelumnya, pengetahuan alam/teknik, perubahan baru atau kombinasinya.

3. *Parameter Design.*

Tahap ini merupakan pembuatan secara fisik atau prototipe secara matematis berdasarkan tahap sebelumnya melalui percobaan secara statistik.

Tujuannya adalah mengidentifikasi *setting* parameter yang akan memberikan performansi rata-rata pada target dan menentukan pengaruh dari faktor gangguan pada variasi dari target.

4. *Tolerance Design.*

Penentuan toleransi dari parameter yang berkaitan dengan kerugian pada masyarakat akibat penyimpangan produk dari target. Pada tahap ini, kualitas ditingkatkan dengan mengetatkan toleransi pada parameter produk atau proses untuk mengurangi terjadinya variabilitas pada performansi produk.

4.6.2 *Orthogonal Array (OA)*

Orthogonal Array (OA) merupakan salah satu bagian kelompok dari percobaan yang hanya menggunakan bagian dari kondisi total, dimana bagian ini barangkali hanya separuh, seperempat atau seperdelapan dari percobaan faktorial penuh (Montgomery.D.C, 2001). *Orthogonal Array* diciptakan oleh Jacques Handmard pada tahun 1897, dan mulai diterapkan pada perang dunia II oleh Plackett dan Burman. Matriks *Taguchi* secara matematis identik dengan matriks Hardmard, hanya kolom dan barisnya dilakukan pengaturan lagi.

Keuntungan *Orthogonal Array* adalah kemampuannya untuk mengevaluasi beberapa faktor dengan jumlah percobaan yang minimum. Jika pada percobaan terdapat 4 faktor dengan level 3, maka jika menggunakan *full factorial* akan diperlukan 3^4 buah percobaan. Dengan *Orthogonal Array*, jumlah percobaan yang perlu dilakukan dapat dikurangi menjadi L9, sehingga akan mengurangi waktu dan biaya percobaan. Contoh dari OA L9 ditunjukkan pada tabel 4.4 sebagai berikut :

Tabel 4.4
Orthogonal Array L9

TRIAL	FAKTOR			
	A	B	C	D
1	1	1	1	1
2	1	2	2	2
3	1	3	3	3
4	2	1	2	3
5	2	2	3	1
6	2	3	1	2
7	3	1	3	2
8	3	2	1	3
9	3	3	2	1

4.6.3 Desain of Eksperimen (DOE) dan Parameter

Pengujian eksperimental dilakukan pada mesin bubut CNC – TU - 2A dengan alat perekam suara Android Mobile Phone untuk mendapatkan data suara dalam bentuk file WAV. Peletakan Android Mobile Phone didekatkan pada spindle mesin bubut terhadap benda kerja dengan jarak 45 mm. Data suara direkam dan diolah menggunakan personal komputer (Akuisisi data), program *analysis statistik*, untuk menghasilkan nilai domain waktu (d_B). Dan domain frekuensi (Hz).

Desain Percobaan terdiri dari serangkaian eksperimen yang akan dilakukan dalam secara berurutan untuk mengevaluasi pengukuran respon. *Orthogonal array Taguchi* desain eksperimen adalah metode ekonomi serta efektif untuk menguji efek dari parameter pemotongan melalui jumlah terbatas eksperimen. Penelitian ini difokuskan pada efek dari parameter pembubutan terhadap frekuensi dan kualitas produk, percobaan dilakukan dengan 3 level dikontrol 4 faktor tingkat dan tiga variabel respon 9 eksperimental (4 faktor dan 3 level) berjalan berdasarkan orthogonal array L9 [3^4] yang diperlukan (Montgomery.D.C, 2001).

Tabel 4.5 menyajikan 4 faktor terkendali radius pojok pahat (ns), kecepatan spindle (n), kecepatan makan (vf) dan kedalaman potong (a).

Dengan 3 tingkat untuk setiap faktor masing-masing bervariasi pada 4 parameter yang berbeda. Radius pojok pahat, kecepatan spindle, kecepatan makan dan kedalaman potong telah divariasikan dalam 3 level yang berbeda.

Pada Tabel 4.6 menunjukkan berjalan eksperimen sesuai dengan Tabel 4.7 Ortogonal yang dipilih. Setelah proses bubut dengan parameter pemotongan yang berbeda diperoleh nilai respon dari produk berupa kualitas nilai kekasaran permukaan, dan nilai kebulatan (*roundness*), permukaan luas area keausan tepi pahat (*area flank wear*)(VB), dan rasio kerampingan geram (*slenderness ratio*) (δ).

Perekaman suara pada proses bubut berlangsung dilakukan dengan menggunakan Mobile Phone Android, diperoleh hasil data berupa sinyal suara (*sound*) diolah dengan bantuan *software* program analisis menghasilkan *Fast Fourier Transform (FFT)* diperoleh nilai domain amplitudo (d_B), domain frekuensi (Hz).

Tabel 4.5
Faktor dan Level Eksperimen

Faktor	Parameter	Unit	Level 1	Level 2	Level 3
A	nsr	mm	0.4	0.8	1.2
B	n	put/menit	1000	1150	1250
C	vf	mm/menit	56	58	60
D	a	mm	0.25	0.35	0.50

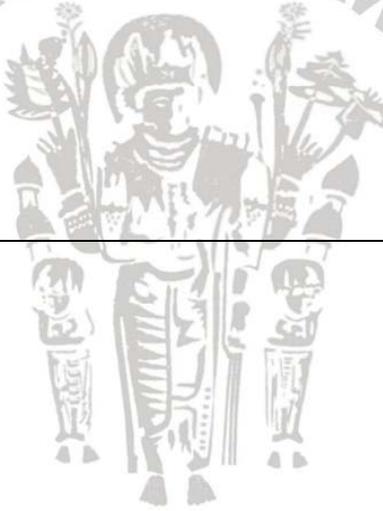
Tabel 4.6
Desain eksperimen ($L_9[3^4]$) Orthogonal array (OA)

No	A	B	C	D	ns (mm)	n (put/menit)	vf (mm/menit)	a (mm)	Pengukuran Respon			
									Frek (Hz)	Amplit (d_B)	SR (μm)	Round ness (μm)
1	1	1	1	1								
2	1	2	2	2								
3	1	3	3	3								
4	2	1	2	3								
5	2	2	3	1								
6	2	3	1	2								

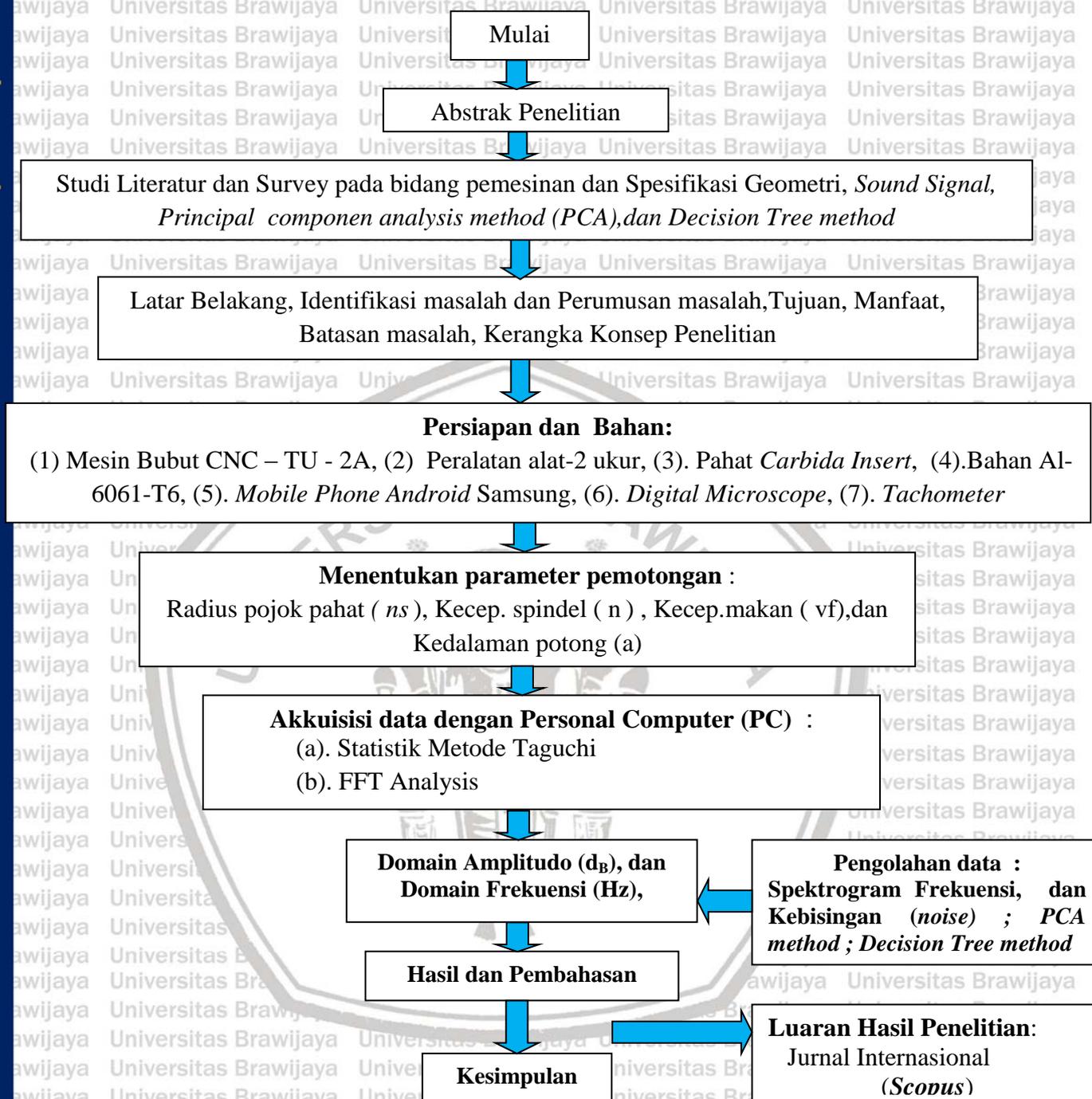
Tabel 4.6 lanjutan
Desain eksperimental (L9[3⁴]) Orthogonal array (OA)

No	A	B	C	D	ns	n	vf	a	Pengukuran Respon	
					(mm)	(put	(mm/	(mm)	Surface Area Flank wear (Vb mm ²)	Rasio kerampingan geram (δ)
1	1	1	1	1						
2	1	2	2	2						
3	1	3	3	3						
4	2	1	2	3						
5	2	2	3	1						
6	2	3	1	2						
7	3	1	3	2						
8	3	2	1	3						
9	3	3	2	1						

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



4.7. Diagram Alir Penelitian



Gambar 4.16
Diagram alir penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Data Hasil Penelitian

Pengambilan data pada proses pemesinan bubut CNC TU 2A dilaksanakan sesuai rancangan eksperimen yang ditunjukkan pada sub bab 4.6.3, tabel 4.5, dan 4.6. Data-data yang diamati merupakan respon ; amplitudo/SPL(d_B), frekuensi (Hz), suara diukur dengan Mobile phone Android kebisingan pada intensitas 30-130 dB dan frekuensi 20-20.000 Hz. Kekasaran permukaan (*SR*) diukur dengan *surface roughness test* Merk Mitutoyo : SJ-210, dan kebulatan (*Roundness*) diukur dengan *dial indicator*, permukaan area keausan tepi pahat (*flank wear*), dan rasio kerampingan geram (*slenderness ratio*) diukur dengan Digital *Microscope Dino lite*.

Penelitian ini difokuskan pada efek dari parameter pembubutan terhadap domain amplitudo/tingkat tekanan suara (SPL), frekuensi, percobaan dilakukan dengan 3 level dikontrol 4 faktor tingkat dan tiga variabel respon 9 eksperimental (4 faktor dan 3 level) berjalan berdasarkan *Orthogonal array Taguchi L9 [3⁴]* yang diperlukan (Montgomery.D.C, 2001).

Tabel 5.1 menyajikan 4 faktor terkendali radius pojok pahat (nsr), kecepatan spindel (n), kecepatan makan (vf), dan kedalaman potong (a). Dengan 3 tingkat untuk setiap faktor masing-masing bervariasi pada 4 parameter yang berbeda. Radius pojok pahat, kecepatan spindel, kecepatan makan, dan kedalaman potong telah bervariasi dalam 3 level yang berbeda.

Tabel 5.1
Faktor dan Level Eksperimen

Faktor	Parameter	Unit	Level 1	Level 2	Level 3
A	ns	mm	0.4	0.8	1.2
B	n	put/menit	1000	1150	1250
C	vf	mm/menit	56	58	60
D	a	mm	0.25	0.35	0.50

Sumber : Montgomery.D.C, 2001 dan Lab. CNC Unmer Malang, 2017

Tabel 5.2 menunjukkan hasil penelitian sinyal suara proses bubut, perlakuan pengambilan sampel dilakukan masing-masing 3 kali pengujian setiap parameter pemotongan.

Benda uji dipergunakan Aluminium 6061-T6 berbentuk silinderis dengan berat jenis (ρ_a) = 2.70 gram/cm³ [2.700 kg/m³] (Basha N.Zeelan, 2013).

Tabel 5.2
Hasil Penelitian Sinyal Suara (*Sound Signal*) Proses Bubut

No	Parameter Pemotongan				Respon			
	Radius pojok (mm) A	Putaran Spindel (rpm) B	Kecep. makan (mm/min) C	Kedalaman potong (mm) D	Freq (Hz)	SPL (dB)	Surface Roughness (SR) (μm)	Roundness (\O) (μm)
1	0.4	1000	56	0.25	12078	80.65	1.11	5.32
2	0.4	1150	58	0.35	12150	80.37	1.07	5.63
3	0.4	1250	60	0.50	12186	81.23	0.92	5.79
4	0.8	1000	58	0.50	11741	83.74	1.25	5.50
5	0.8	1150	60	0.25	11543	86.16	1.12	5.63
6	0.8	1250	56	0.35	11202	84.20	1.10	5.64
7	1.2	1000	60	0.35	11301	81.37	0.79	5.79
8	1.2	1150	56	0.50	11505	84.95	0.65	5.64
9	1.2	1250	58	0.25	11635	83.00	0.59	5.74

Sumber : Lab CNC Unmer Malang, 2017

Tabel 5.2 lanjutan
Hasil Penelitian Sinyal Suara (*Sound Signal*) Proses Bubut

No	Parameter Pemotongan				Respon	
	Radius pojok (mm) A	Putaran Spindel (rpm) B	Kecep. makan (mm/min) C	Kedalaman potong (mm) D	Surface area flank wear (mm ²)	Rasio kerampingan geram (δ)
1	0.4	1000	56	0.25	0.12	5.05
2	0.4	1150	58	0.35	0.35	6.83
3	0.4	1250	60	0.50	0.34	6.60
4	0.8	1000	58	0.50	0.43	6.62
5	0.8	1150	60	0.25	0.30	10.14
6	0.8	1250	56	0.35	0.20	4.88
7	1.2	1000	60	0.35	0.54	9.76
8	1.2	1150	56	0.50	0.43	4.71
9	1.2	1250	58	0.25	0.35	7.07

Sumber : Lab CNC Unmer Malang, 2017

5.2. Pengolahan data

Pada tabel 5.2 menunjukkan hasil penelitian sinyal suara proses bubut, data ini dianalisa dengan lima metode yaitu :

1. Metode Taguchi untuk mendapatkan parameter proses pemotongan yang Optimum terhadap nilai kekasaran permukaan(SR) dan kebulatan (RE)
2. Metode Taguchi untuk memperoleh persamaan model permukaan luas area keausan tepi pahat (V_b) dan rasio kerampingan geram (δ).
3. Kebisingan/amplitudo dari sinyal suara proses bubut menghasilkan tekanan suara pada waktu getar ditransformasi ke FFT dengan tingkat tekanan bunyi (*Sound Pressure Level/SPL*), untuk memprediksi kualitas produk.
4. Metode *Principal Component Analysis* (PCA) untuk memperoleh persamaan regresi kekasaran permukaan (SR), kebulatan (RE), dan kisaran frekuensi (Hz) untuk memprediksi kualitas produk.
5. Metode pohon keputusan (*Desicion tree*) digunakan untuk memperoleh nilai taksiran parameter pemotongan yang sesuai dengan domain frekuensi,kebisingan/amplitudo (dB).

5.2.1. Analisa Optimasi paramater proses pemotongan menggunakan Metoda Taguchi

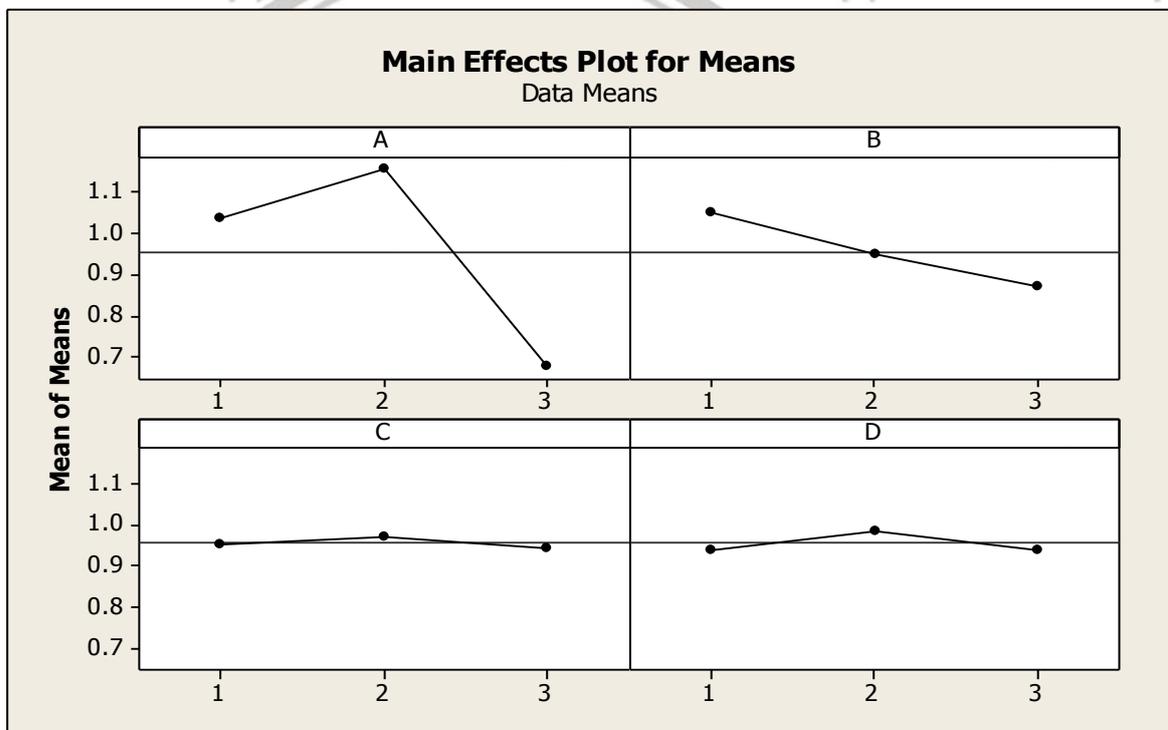
Pada tabel 5.3 dan 5.4 ditunjukkan *response mean* kekasaran permukaan dan *roundness* dengan karakteristik smaller the better, dimana respon mean parameter pemotongan yang dapat mempengaruhi kekasaran permukaan dan *roundness* adalah radius pojok pahat (A), kecepatan spindel (B), kecepatan makan (C), dan kedalaman potong (D).

Tabel 5.3
Response Table for Mean Surface Roughness (SR)

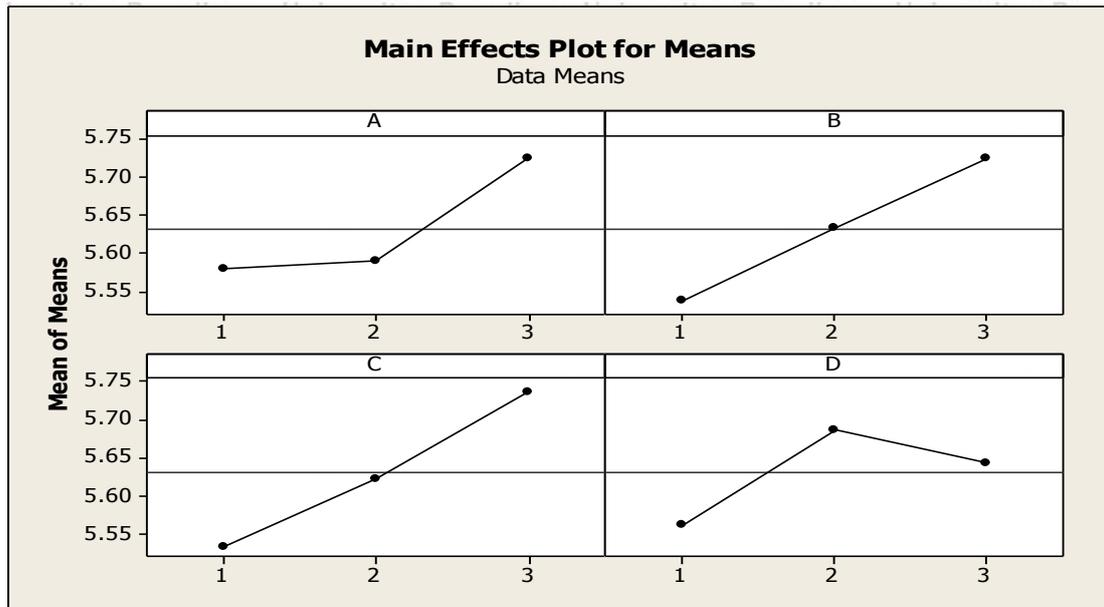
Level	A	B	C	D
1	1.0333	1.0500	0.9533	0.9400
2	1.1567	0.9467	0.9700	0.9867
3	0.6767	0.8700	0.9433	0.9400
Delta	0.4800	0.1800	0.0267	0.0467
Rank	1	2	4	3

Tabel 5.4.
Response for Mean Roundness (Re)

Level	A	B	C	D
1	5.580	5.537	5.533	5.563
2	5.590	5.633	5.623	5.687
3	5.723	5.723	5.737	5.643
Delta	0.143	0.187	0.203	0.123
Rank	3	2	1	4



Gambar 5.1
Grafik Main Effects Plot for Means Surface Roughness (SR)
Sumber : MiniTab (2017)



Gambar 5.2
Grafik Main Effects Plot for Means Roundness
Sumber : MiniTab (2017)

Desain optimasi produk proses bubuk berdasarkan hasil kondisi optimal dari masing-masing nilai yang diamati diilustrasikan pada gambar 5.1 dan 5.2. Pada tabel 5.3 respons untuk kekasaran permukaan dan tabel 5.4 kebulatan menunjukkan kondisi optimum yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.5.

Tabel 5.5

Desain optimasi produk proses bubuk

Faktor	Berdasarkan kekasaran permukaan (SR)		Berdasarkan kebulatan (RE)	
	Diskripsi Tingkat	Level	Diskripsi Tingkat	Level
A (ns)	1.2	3	0,4	1
B (n)	1250	3	1000	1
C (vf)	56	1	56	1
D (a)	0.50	3	0.25	1

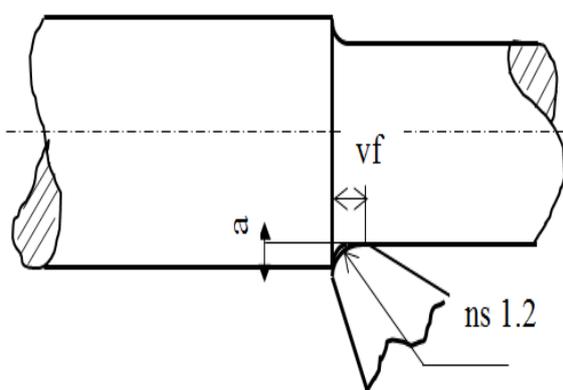
Konfirmasi hasil uji eksperimental adalah langkah terakhir dalam memverifikasi hasil yang diambil berdasarkan pendekatan desain Taguchi. Eksperimen konfirmasi adalah langkah kunci dan sangat disarankan oleh Taguchi untuk memverifikasi hasil eksperimen. Dalam penelitian ini, percobaan konfirmasi dilakukan dengan memanfaatkan level parameter desain optimal (A3B3C1D3) dan (A1B1C1D1). Hasil uji konfirmasi

eksperimental seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.6. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa kandidat desain optimal berdasarkan kekasaran permukaan dipilih sebagai parameter proses bubut yang optimal untuk penelitian ini karena menghasilkan nilai pengamatan optimal (permukaan kekasaran = $0,65 \mu\text{m}$ dan kebulatan = $5,64 \mu\text{m}$). Juga dapat ditemukan bahwa n_r memiliki pengaruh yang lebih kuat untuk nilai yang diamati berdasarkan evaluasi kekasaran permukaan.

Tabel 5.6.
Konfirmasi hasil Uji Eksperimen

Kandidat desain Optimum	Nilai pengamatan	
	Kekasaran permukaan (μm)	Kebulatan (μm)
(A ₃ B ₃ C ₁ D ₃) Berdasarkan kekasaran permukaan	0,65	5,64
(A ₁ B ₁ C ₁ D ₁) Berdasarkan kebulatan	1,11	5,32

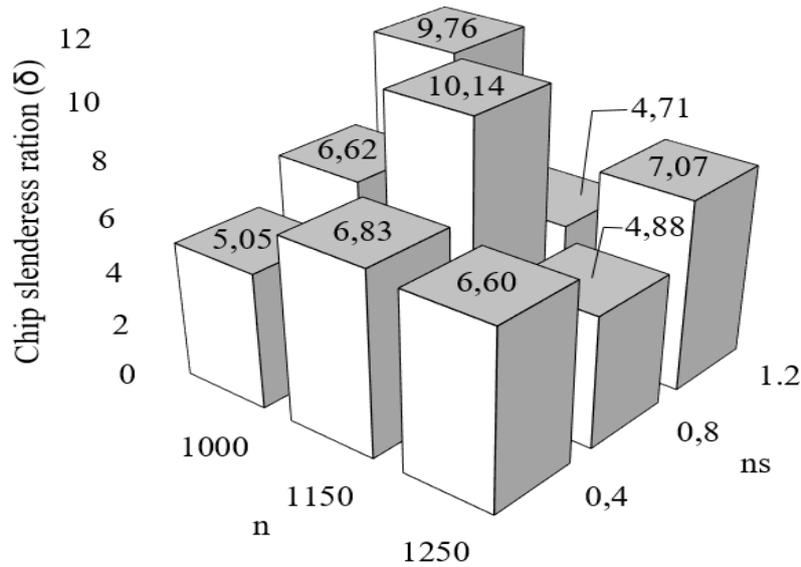
Dari hasil pengukuran, dapat dilihat bahwa kekasaran permukaan berkurang dengan meningkatnya radius pojok pahat (n_s) dan memiliki tren yang sama dengan penelitian sebelumnya menurut Campocasso et al (2014); Y Kevin Chou, Hui Song, (2004); M. Dogra, V.S.Sharma, J.Durejo, (2011). Parameter radius pojok mempengaruhi terjadinya pembentukan chip pada proses pembubutan jika radius pojok lebih kecil, jumlah bidang kontak geser meningkat dan menghasilkan kekasaran permukaan yang tinggi seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.3.



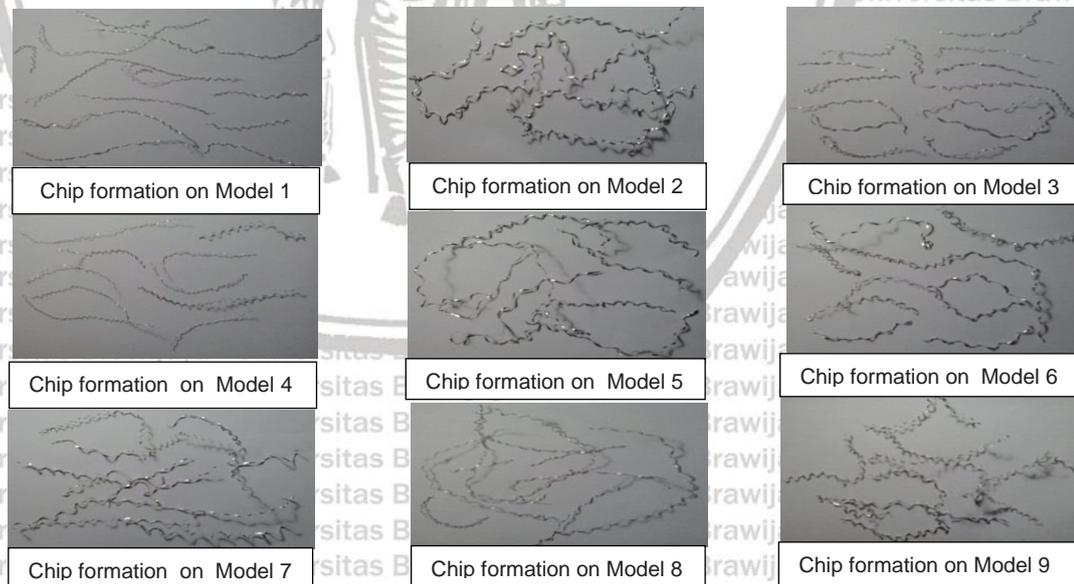
Gambar 5.3
Diagram sketsa pengaruh radius pojok pahat terhadap kekasaran permukaan dan bentuk chips

Sumber : Y Kevin Chou, Hui Song, (2004)

Menurut penelitian S.Thmizhmai and Sulaiman, (2012) tipe pembentukan chip dapat diprediksi dengan menggunakan rasio kerampingan pemotongan geram (*cutting slenderness ratio*) (δ), dengan rentang nilai $\delta = 2-20$ akan menghasilkan tipe chip kontinu. Dari gambar 5.4 dapat ditunjukkan nilai δ untuk setiap model. Dari gambar 5.5 visualisasi tipe chip, dapat membuktikan bahwa semua model menghasilkan tipe chip kontinu karena memasuki kisaran nilai δ .



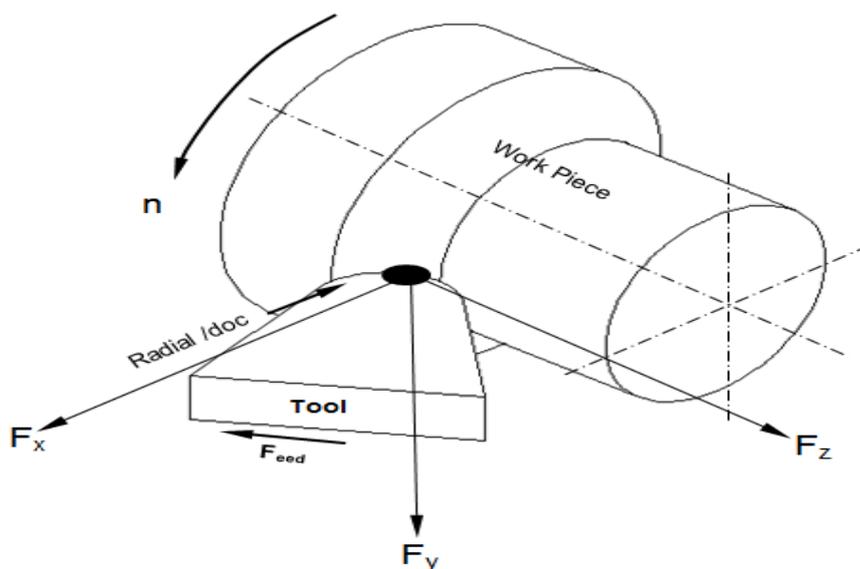
Gambar 5.4 Model Rasio kerampingan pemotongan geram
Sumber : Taguchi



Gambar 5.5 Jenis chip kontinu pada radius pojok yang berbeda untuk berbagai kondisi level
Sumber : Lab CNC Unmer Malang (2017)

Menurut penelitian S.Thmizhmai and Sulaiman, (2012), tiga gaya pemotongan bekerja pada pahat. Gaya yang bekerja pada sepanjang arah perjalanan pahat merupakan umpan dipaksa (F_x), dan gaya gerak tegak lurus ke bawah disebut sebagai gaya potong (F_y), memaksa gaya potong pada pahat searah dengan normal untuk benda kerja sumbu disebut sebagai gaya radial (F_z), seperti yang ditunjukkan pada gambar 5.6. Dalam penelitian ini, gaya potong (F_y) dipertimbangkan untuk analisis.

Gaya radial yang mendorong sayatan menjauh dari permukaan pemotongan menjadi lebih aksial dengan meningkatnya kedalaman pemotongan; lebih disukai untuk memiliki lebih banyak gaya aksial daripada radial, yang memiliki efek negatif pada aksi pemotongan, misal dengan lebih banyak kecenderungan untuk getaran dan kekasaran permukaan akhir yang buruk dengan peningkatan gaya radial.



Gambar 5.6

Gaya yang bekerja pada pahat bermata tunggal pada proses bubut

Sumber : S. Thmizhmai and Sulaiman, (2012)

Berdasarkan data eksperimen, dapat disimpulkan bahwa desain optimum berdasarkan kekasaran permukaan dengan $ns = 1,2$ mm, $n = 1250$ rpm, $vf = 56$ mm/menit, dan $a = 0,50$ mm dipilih sebagai parameter proses putaran optimal untuk penelitian ini karena menghasilkan nilai pengamatan optimal (kekasaran permukaan = $0,65$ μm dan kebulatan = $5,64$ μm).

Hubungan antara radius pojok dengan kekasaran permukaan berbanding terbalik, hal ini disebabkan singkatnya proses pemesinan, jalan pintas proses pemesinan pada benda

kerja, kekakuan meningkat, yang akan mempengaruhi nilai kekasaran permukaan dan kebulatan pada produk.

5.2.2. Analisa pengaruh parameter pemotongan terhadap permukaan area keausan tepi pahat (Vb) dan rasio kerampingan pemotongan geram (*cutting slenderness ratio*) (δ).

1. Permukaan area keausan tepi pahat (Vb)

Tabel 5.7 menunjukkan hasil ANOVA rata-rata area permukaan keausan tepi (Vb), yang signifikan pada keausan tepi (Vb), kedalaman potong (a) hasil $R^2 = 67,30\%$ hasil uji $P < F$ test ($0,117 < 3,13$) dan ($0,577 < 0,60$). Faktor pengaruh parameter pemotongan yang lain kecepatan makan (vf) dan kedalaman potong (a), terjadi interaksi antara radius pojok (ns) terhadap kedalaman potong (a), kecepatan spindel (n) terhadap kedalaman potong (a), dan kecepatan makan (vf) terhadap vs kedalaman potong (a). Persamaan multiregresi (5-1) terdapat hubungan dengan parameter (ns,n,vf,dan a) seperti berikut :

$$Y_{Vb} = 0,320370 - 0,073704 ns - 0,021481 n - 0,041481 vf - 0,032593 a \quad (5-1)$$

Tabel 5.7
ANOVA untuk area keausan tepi pahat (Vb)

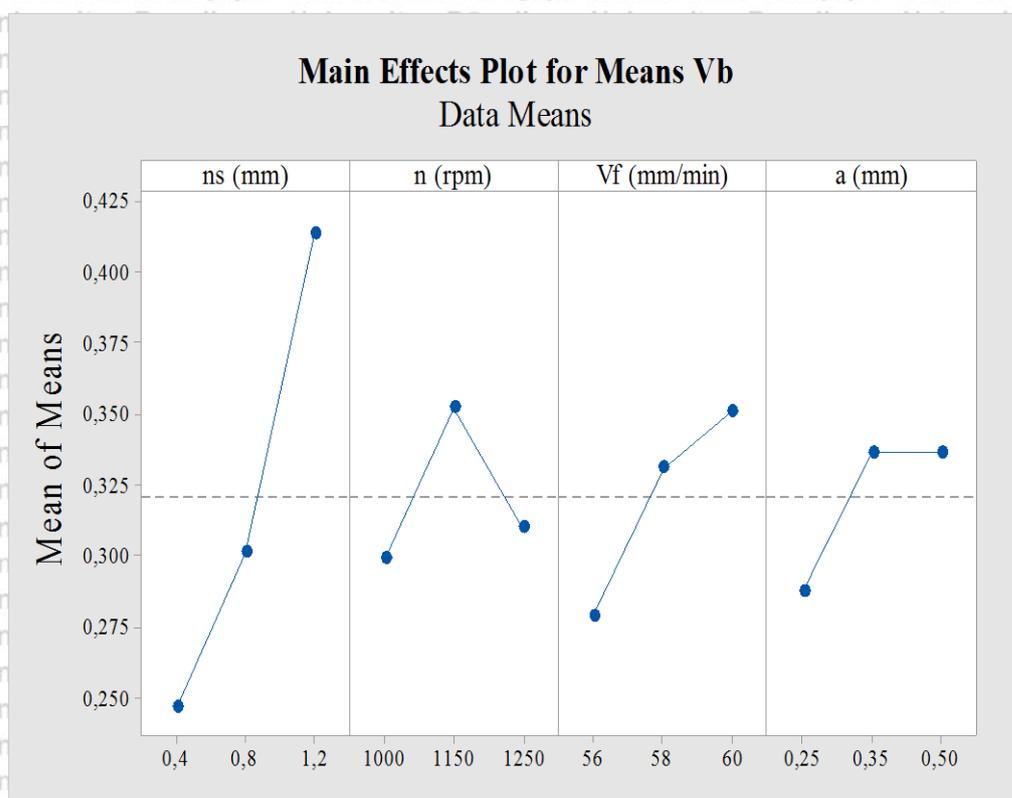
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ns (mm)	2	0,13001	0,13001	0,065004	3,13	0,117
n (rpm)	2	0,01425	0,01425	0,007126	0,34	0,723
f (mm/rev)	2	0,02503	0,02503	0,012515	0,60	0,577
a (mm)	2	0,01434	0,01434	0,007170	0,35	0,721
ns (mm)*a (mm)	4	0,01621	0,01621	0,004054	0,20	0,932
n (rpm)*a (mm)	4	0,02657	0,02657	0,006643	0,32	0,855
f (mm/rev)*a (mm)	4	0,02993	0,02993	0,007481	0,36	0,829
Residual Error	6	0,12456	0,12456	0,020759		
Total	26	0,38090				
S = 0,1441		$R^2 = 67,30\%$		R (adjust) = 0,00%		

Pada tabel 5.8 ditunjukkan response mean permukaan area keausan tepi pahat (Vb) dengan karakteristik *smaller the better*, dimana respon mean parameter pemotongan yang dapat mempengaruhi permukaan area keausan tepi pahat (Vb) adalah radius pojok pahat (ns), kecepatan makan (vf), putaran spindel (n), dan kedalaman potong (a).

Tabel 5.8

Response Table for Mean area surface flank wear (V_b)

Level	ns (mm)	n (rpm)	vf (mm/min)	a (mm)
1	0,2467	0,2989	0,2789	0,2878
2	0,3011	0,3522	0,3311	0,3367
3	0,4133	0,3100	0,3511	0,3367
Delta	0,1667	0,0533	0,0722	0,0489
Rank	1	3	2	4



Gambar 5.7

Grafik Main Effects Plot for Means permukaan area keausan tepi pahat (V_b)

Sumber : Taguchi

Pada Gambar 5.7 menunjukkan plot efek utama hasil luas permukaan keausan pahat (V_b) merupakan bentuk keausan pahat dari proses bubut. Radius pojok (ns) 0.4 mm, putaran spindel, 1000 rpm, kecepatan makan (vf) 56 mm/min, kedalaman potong (a) 0.25 mm, pada kondisi rata-rata menghasilkan permukaan luas permukaan keausan tepi (V_b) 0.12 mm². Jika dibanding dengan parameter proses yang lain menurut penelitian Endres Wiliam J, et al (2002) dengan radius pojok yang kecil mempunyai efek terjadinya luasan bidang pahat yang menyayat benda kerja sangat kecil.



Gambar 5.8

Memperlihatkan hasil pengukuran permukaan area keausan tepi dengan verifikasi model 7 pada radius pojok 1,2 dengan area keausan tepi $0,54 \text{ mm}^2$
 Sumber : Lab CNC Unmer Malang, (2016)

Gambar 5.8 memperlihatkan hasil pengukuran area permukaan keausan tepi verifikasi pada model 7 radius pojok pahat 1.2 mm, pengukuran dengan pembesaran 1000 X menghasilkan area $5451,0835 \mu\text{m}^2 (0.54 \text{ mm}^2)$, lama waktu proses bubut 210 detik dengan 3 x proses (70 detik/proses). Verifikasi nilai kekasaran permukaan (SR) $0,79 \mu\text{m}$ dan rasio kerampingan geram (δ) 9,76. Memperlihatkan kenaikan keausan radius pojok, hal ini disebabkan jumlah bidang kontak geser antara pahat terhadap benda kerja meningkat, sehingga menghasilkan permukaan area keausan tepi yang besar. Menurut (Y Kevin Chou, Hui Song (2004), M. Dogra, et al, (2011), Sudhansu Ranjan Das, et al (2017). [2,5,6,10,dan11].] jika radius pojok meningkat, luas bidang kontak geser meningkat akan menghasilkan permukaan luas permukaan area keausan tepi yang besar (Vb).

2. Rasio kerampingan pemotongan geram (cutting slenderness ratio) (δ)

Tabel 5.9 menunjukkan hasil ANOVA rata-rata Chip Slenderness Ratio (δ) dimana hasil signifikansinya adalah radius pojok (nsr), dengan hasil $R^2 = 94,45 \%$ dan hasil uji $P < F$ test ($0,013 < 9,74$). Tidak terdapat faktor yang berpengaruh pada parameter pemotongan, akan tetapi terjadi interaksi radius pojok (ns) terhadap kedalaman potong

(a), kecepatan spindel (n) terhadap kedalaman potong (a), dan kecepatan makan (vf) terhadap kedalaman potong (a). Persamaan multiregresi (5-22) terdapat hubungan dengan parameter (ns, n, vf, dan a) seperti berikut :

$$Y(\delta) = 7,18889 - 1,17556 ns - 0,59222 n - 0,60222 vf + 0,09111 a \quad (5-2)$$

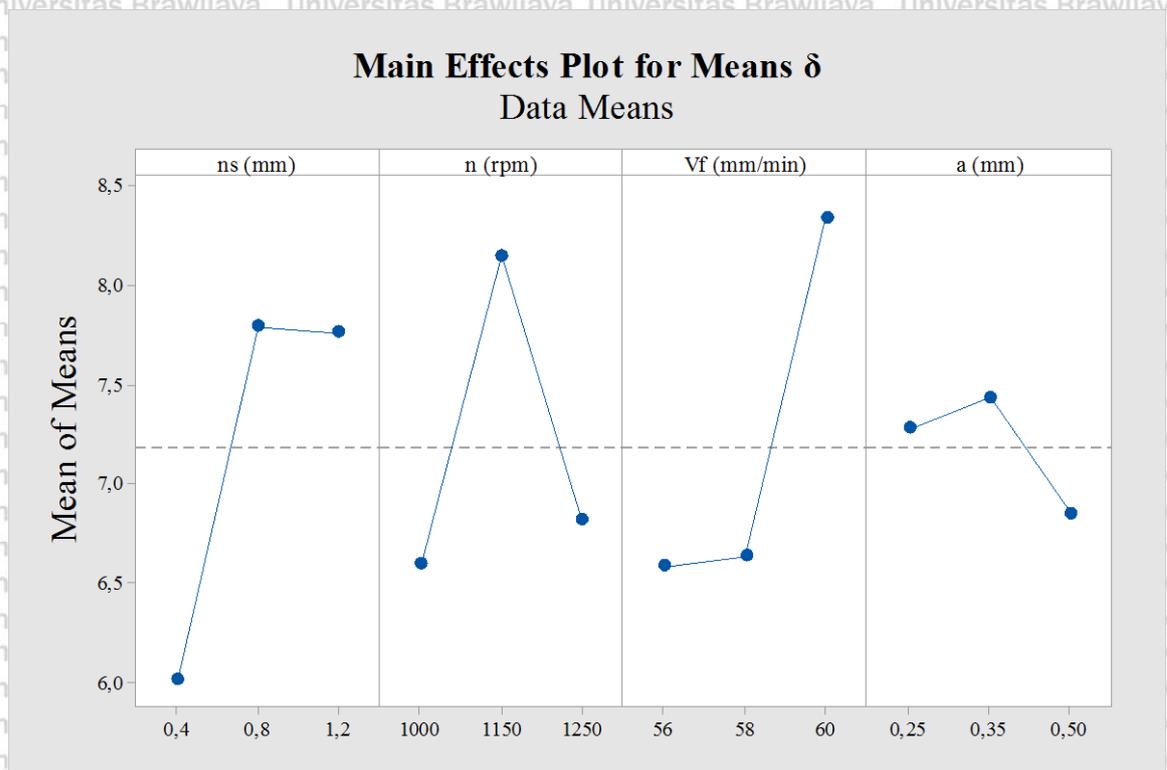
Tabel 5.9
ANOVA untuk rasio kerampingan geram (δ)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ns (mm)	2	18,661	18,661	9,3305	9,74	0,013
n (rpm)	2	12,721	12,721	6,3607	6,64	0,030
f (mm/rev)	2	17,969	17,969	8,9846	9,38	0,014
a (mm)	2	1,649	1,649	0,8246	0,86	0,469
ns (mm)*a (mm)	4	10,584	10,584	2,6459	2,76	0,128
n (rpm)*a (mm)	4	14,467	14,467	3,6169	3,77	0,072
f (mm/rev)*a (mm)	4	21,836	21,836	5,4590	5,70	0,031
Residual Error	6	5,750	5,750	0,9583		
Total	26	103,637				
S = 0,9789		R ² = 94,45 %		R (adjust) = 75,96 %		

Pada tabel 5.10 ditunjukkan response mean rasio kerampingan geram (δ) dengan karakteristik *smaller the better*, dimana respon mean parameter pemotongan yang dapat mempengaruhi area keausan tepi pahat (Vb) adalah radius pojok pahat (ns), kecepatan makan (vf), putaran spindel (n), dan kedalaman potong (a).

Tabel 5.10
Response Table for Means rasio kerampingan geram (δ)

Level	ns (mm)	n (rpm)	vf (mm/min)	a (mm)
1	6,013	6,597	6,587	7,280
2	7,793	8,151	6,638	7,436
3	7,760	6,819	8,342	6,851
Delta	1,780	1,554	1,756	0,584
Rank	1	3	2	4

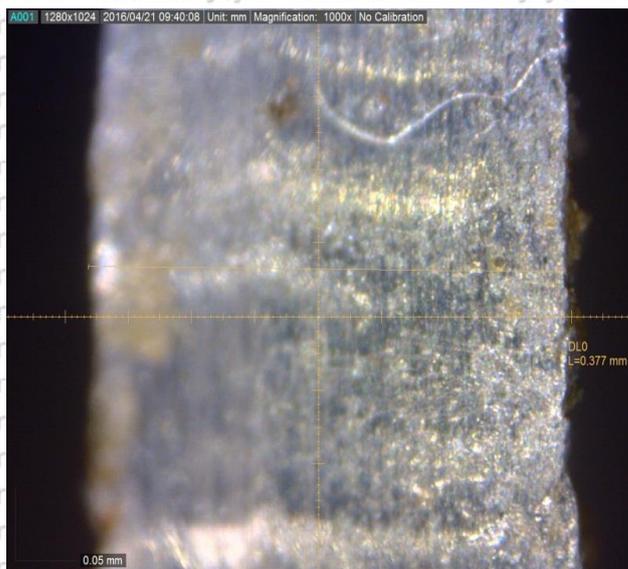


Gambar 5.9

Grafik Main Effects Plot for rasio kerampingan geram (δ)

Sumber : Taguchi

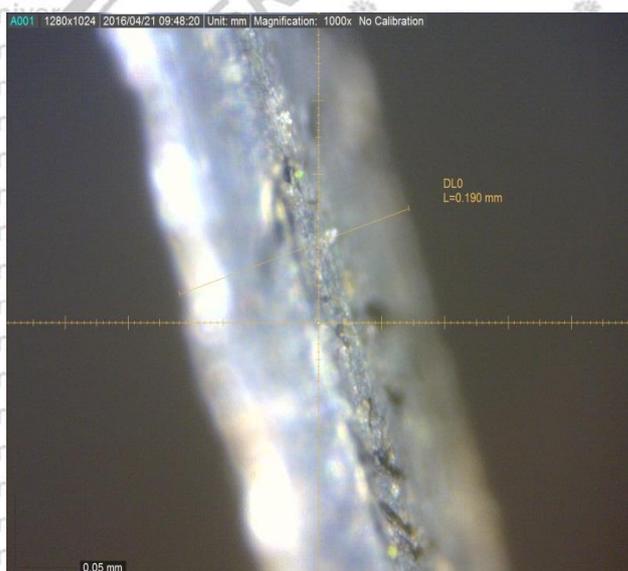
Pada gambar 5.9 menunjukkan plot efek utama hasil rasio kerampingan geram (δ). Radius pojok (ns) 1,2 mm, kecepatan spindel 1150 rpm, kecepatan makan (vf) 56 mm/min, dan kedalaman potong (a) 0.50 mm pada kondisi rata-rata menghasilkan rasio kerampingan geram (δ) 4,71. Pada kasus ini tidak terjadi pengaruh yang signifikan terhadap parameter pemesinan. Terjadi interaksi radius pojok (ns) terhadap kedalaman potong (a), n terhadap kedalaman potong (a), dan kecepatan makan (vf) terhadap kedalaman potong (a).



Gambar 5.10

Lebar geram setelah terpotong dengan verifikasi model 7

Sumber : Lab CNC UnMer Malang, (2016)



Gambar 5.11

Tebal geram setelah terpotong dengan verifikasi model 7

Sumber : Lab CNC UnMer Malang, (2016)

Pada gambar 5.10 dan 5.11 memperlihatkan hasil rasio kerampingan geram (δ) 9,76 dengan nilai kekasaran permukaan (SR) 0,79 μm pada radius pojok (ns) 1,2, menurut Demir Zulkuf and Rifat Yakut, (2018), Jika radius pojok meningkat, jumlah bidang kontak geser meningkat akibat kedalaman potong yang besar. Menurut S.Thmizhmaii and Sulaiman, (2012) (p. 1320-1322) rasio kerampingan geram (δ) dipengaruhi pemilihan

sudut potong utama radius pojok yang kecil (r_s), putaran spindel (n), kecepatan makan, (v_f) dan kedalaman potong (a) dapat mempengaruhi bentuk geram.



Gambar 5.12

Chip tipe kontinu dengan verifikasi model 7
Sumber : Lab. CNC UnMer Malang, (2016)

Gambar 5.12 memperlihatkan chip kontinu pada hasil riset nilai minimum $\delta = 4,71$ dan maksimum $\delta = 10,14$ tidak melebihi ketentuan (rentang nilai $\delta = 2-20$).

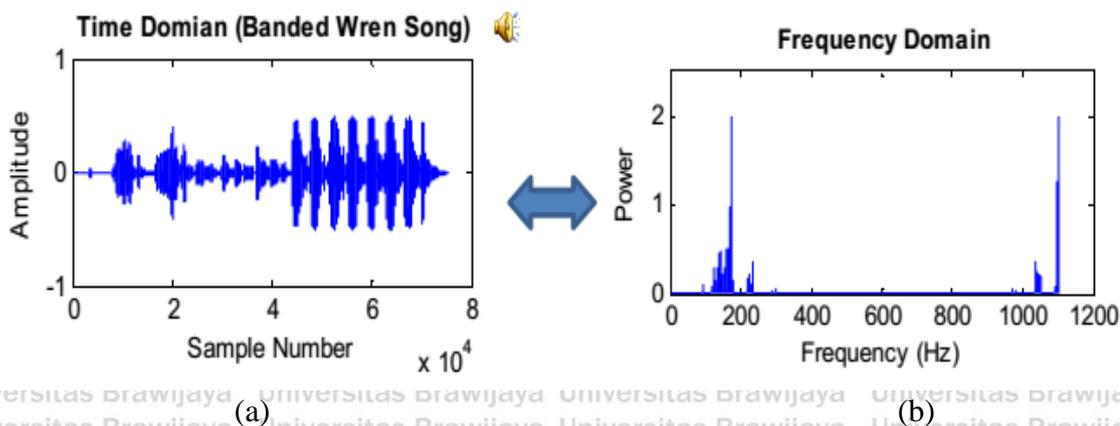
5.2.3. Kebisingan/amplitudo dari sinyal suara menggunakan tingkat tekanan bunyi (*Sound Pressure Level/SPL*).

5.2.3.1. Uraian domain waktu dan domain frekuensi

Menurut Corinthios, Michael (2009) sebuah sinyal memiliki satu atau lebih frekuensi di dalamnya, dan dapat dilihat dari dua sudut pandang yang berbeda: sinyal suara periodik Domain Waktu dan Domain Frekuensi diperlihatkan pada gambar 5.13. Domain Frekuensi merupakan gambar berapa banyak sinyal terletak dalam setiap diberikan pita frekuensi pada rentang frekuensi, hal ini bertujuan untuk menguraikan sinyal yang kompleks menjadi bagian-bagian yang lebih sederhana untuk memudahkan analisis.

Sebuah Transformasi *Fourier* mengubah sinyal dalam domain waktu ke domain frekuensi (spektrum). Dinyatakan dalam teori bahwa antara domain waktu dan domain frekuensi dengan di transformasi menggunakan alat yang disebut transformasi Fourier.

Diferensial dan perbedaan persamaan dan operasi konvolusi dalam domain waktu menjadi operasi aljabar dalam domain frekuensi.



Gambar 5.13

Sinyal suara periodik Domain Waktu (a) dan Domain Frekuensi (b)

Sumber : Corinthios, Michael (2009)

Menurut Ingle Vinay K., John G. Proakis (2012), jika selama ini hanya melihat sinyal melalui osiloskop atau alat sejenis lainnya, itu adalah visualisasi sinyal dalam ranah waktu (*time domain*), sumbu horisontal-nya waktu (t) dan sumbu vertikal-nya adalah amplitudo (A).

Pada penelitian ini sinyal suara pada proses bubut merupakan sinyal dengan karakteristik waktu-domain yang berbeda memiliki karakteristik frekuensi-domain dengan waktu terus menerus sinyal periodik, karena komputer hanya dapat mengambil sinyal waktu yang terbatas diskrit spektrum non-periodik.

Gambar 5.14 memperlihatkan contoh mengkonvert sinyal suara proses bubut saat terjadi getaran menjadi frekuensi dengan kondisi pemesinan : ns.0.4, n.1000,vf 56, dan a 0.25, deret *Fourier* suatu deret berbentuk sinus dan kosinus yang dapat memperpresentasikan fungsi periodik, dengan Transformasi *Fourier* sinyal dalam Domain waktu dapat dipresentasikan dalam Domain Frekuensi. Dalam Matriks Laboratory (MatLab) telah disediakan fungsi untuk melakukan Transformasi *Fourier* tersebut yang dikenal dengan *Fast Fourier Transform* (FFT).

Satu bentuk transformasi yang umum digunakan untuk merubah sinyal dari domain waktu ke domain frekuensi adalah dengan transformasi *Fourier*, persamaan 5-1 merupakan bentuk transformasi *Fourier* yang siap dikomputasi secara langsung dari bentuk sinyal $x(t)$.

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) e^{-j\omega t} dt \quad (5-1)$$

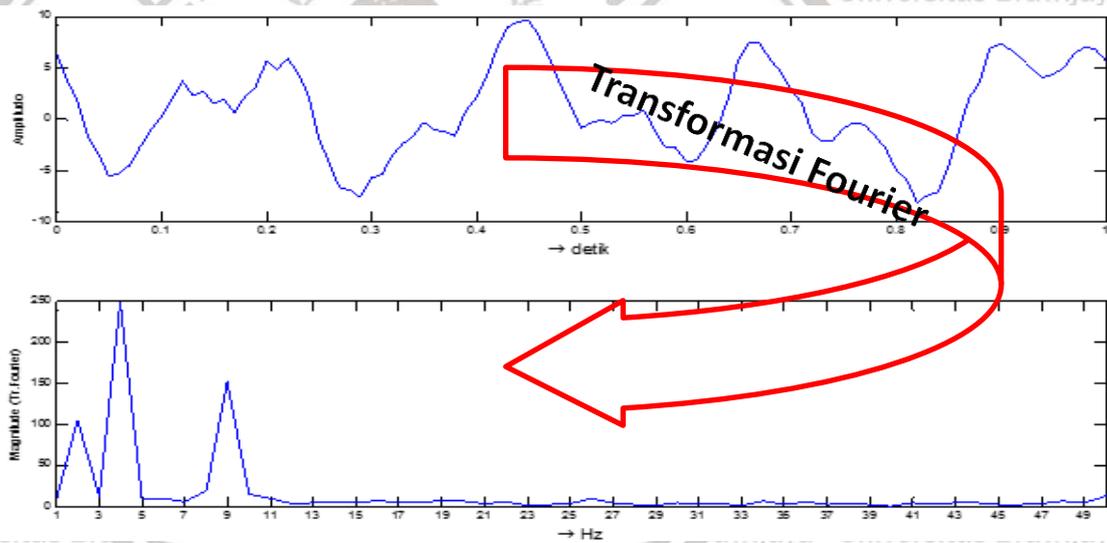
5.2.3.2 Uraian sinyal suara proses bubuk (getaran) menjadi Frekuensi dan SPL (*sound pressure level*)

Pada penelitian ini sinyal suara (*signal sound*)(vibrasi) proses bubuk direkam menggunakan Mobile Phone Android, dari domain waktu (*time wave form*) ke domain frekuensi, FFT menghasilkan gambaran amplitudo *sound* (vibrasi) terhadap frekuensi fungsi jendela hal ini digunakan untuk memotong sinyal sehingga hanya sebagian sinyal yang diambil untuk dianalisa.

Pada gambar 5.14 merupakan contoh menjabarkan FFT digunakan untuk menghasilkan sinyal spektrum yang menampilkan nilai-nilai frekuensi tertentu dari sinyal suara getaran, FFT mengubah sinyal yang dihasilkan oleh sensor dari domain waktu menjadi domain frekuensi, jendela (*window*) yang digunakan adalah *hanning*.

➤ Suara 086,0.4,1000,56, 0.25 .1.1

$$y = 2 \cos[2\pi(2t)] - 5 \sin[2\pi(4t)] + 3 \cos[2\pi(9t)]$$



Frekuensi dominan = 2, 4, dan 9

Gambar 5.14

Contoh bagaimana mengubah getaran menjadi frekuensi

Sumber : Personal computer (PC) (2016)

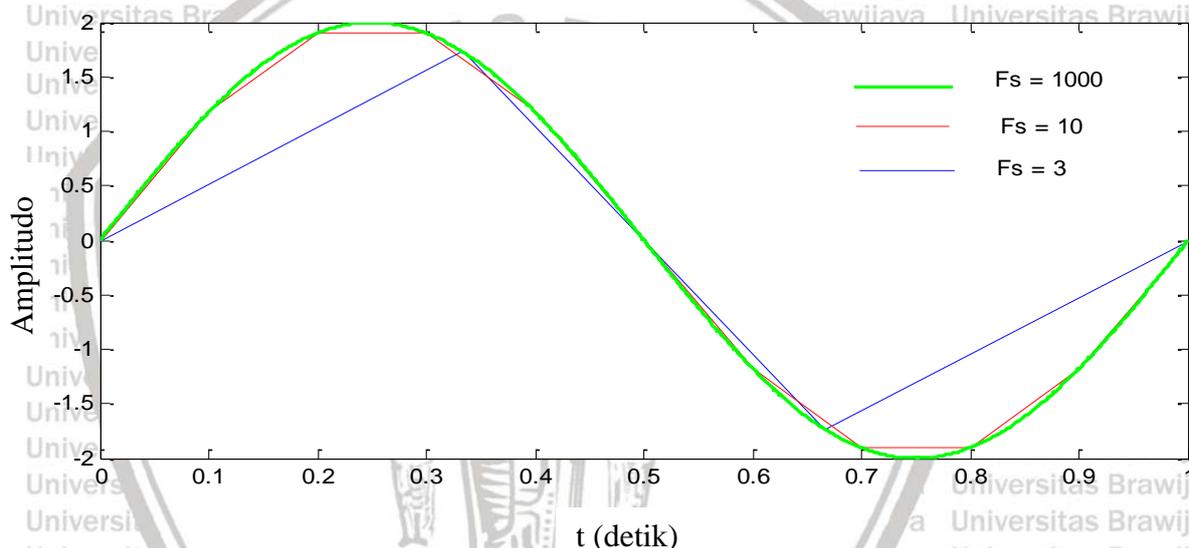
Menurut **Teorema Nyquist** kaidah sampling kecepatan pengambilan sampel (frekuensi sampling) dari sinyal analog yang akan dikonversi haruslah memenuhi kriteria **Nyquist** yaitu:

$$F_s > 2 f_{in \max} \quad (5-2)$$

dengan frekuensi sampling (F_s) minimum adalah 2 kali frekuensi sinyal analog yang akan dikonversi (Frekuensi maksimum), dengan kata lain $F_s > F$. Gambar 5.15 diperlihatkan contoh dicuplik dengan F_s berturut-turut (1000, 10, dan 3) Hz, ternyata frekuensinya < 22050 Hz tidak berbeda signifikan.

Misalnya bila sinyal analog yang akan dikonversi mempunyai frekuensi sebesar 100Hz maka frekuensi sampling minimum dari ADC (*Analog-to-digital conversion*) adalah 200 Hz. Atau bila dibalik, bila frekuensi sampling ADC sebesar 200 Hz maka sinyal analog yang akan dikonversi harus mempunyai frekuensi maksimum 100 Hz.

Apabila **kriteria Nyquist** tidak dipenuhi maka akan timbul efek. Disebut *aliasing* karena frekuensi tertentu terlihat sebagai frekuensi yang lain (menjadi alias dari frekuensi lain).



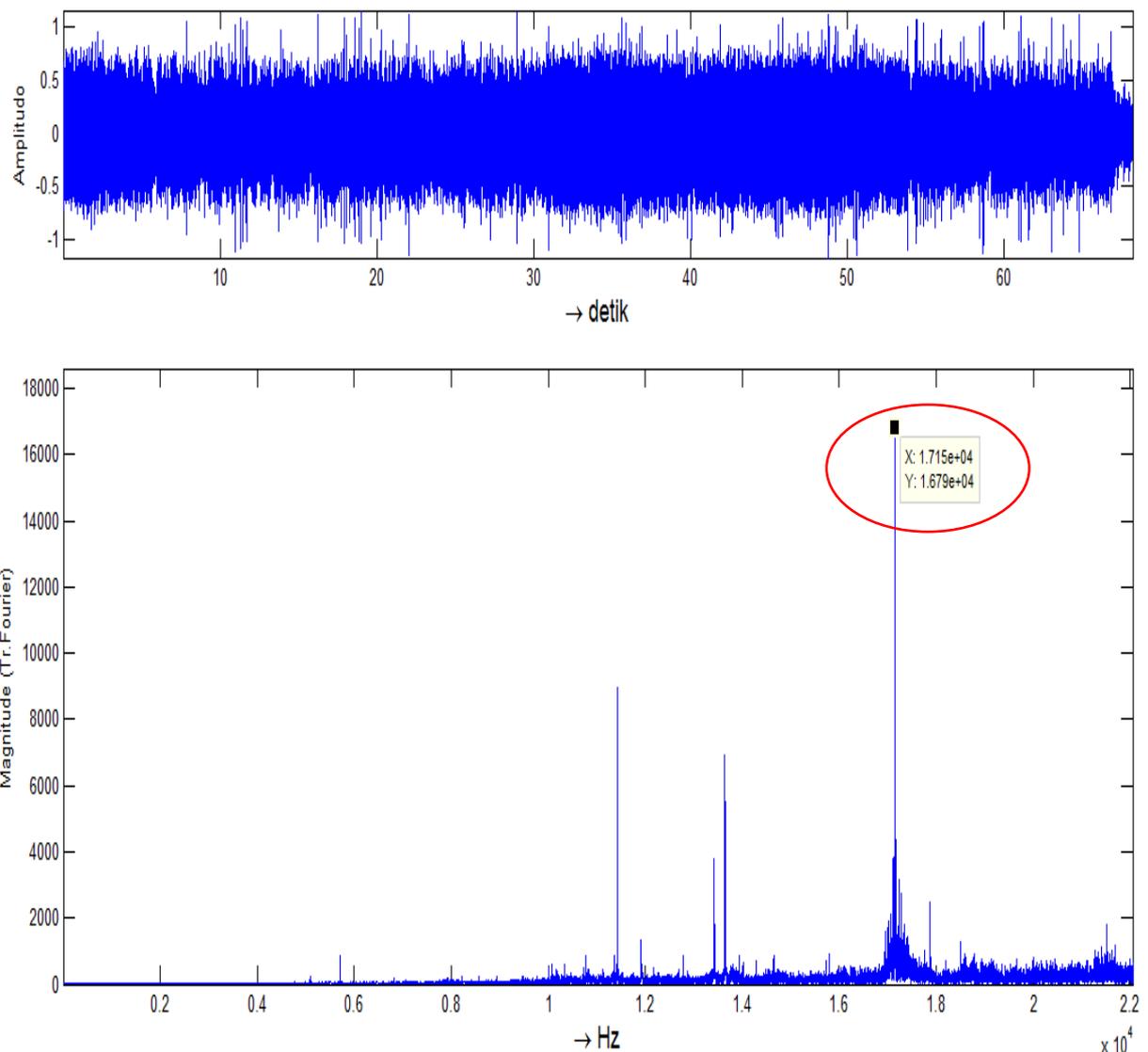
untuk $y = 2 \sin(2\pi t)$ dicuplik dengan F_s berturut-turut (1000, 10, dan 3) Hz

Gambar 5.15

Contoh pengambilan sampling hasil sinyal suara menggunakan FFT diubah menjadi domain frekuensi

Sumber : Personal computer (PC) (2016)

Gambar 5.16 contoh memperlihatkan hasil sinyal suara menggunakan FFT diubah menjadi domain frekuensi (Hz) selanjutnya untuk mengubah domain frekuensi ke amplitudo (dalam satuan $m.s^2$) menggunakan PSD (power spectral density) (dalam satuan watt/Hz), sehingga akan diperoleh tingkat tekanan suara atau SPL (*sound pressure level*) (dalam satuan dB), dimana SPL merupakan bilangan Imaginer + bilangan real.

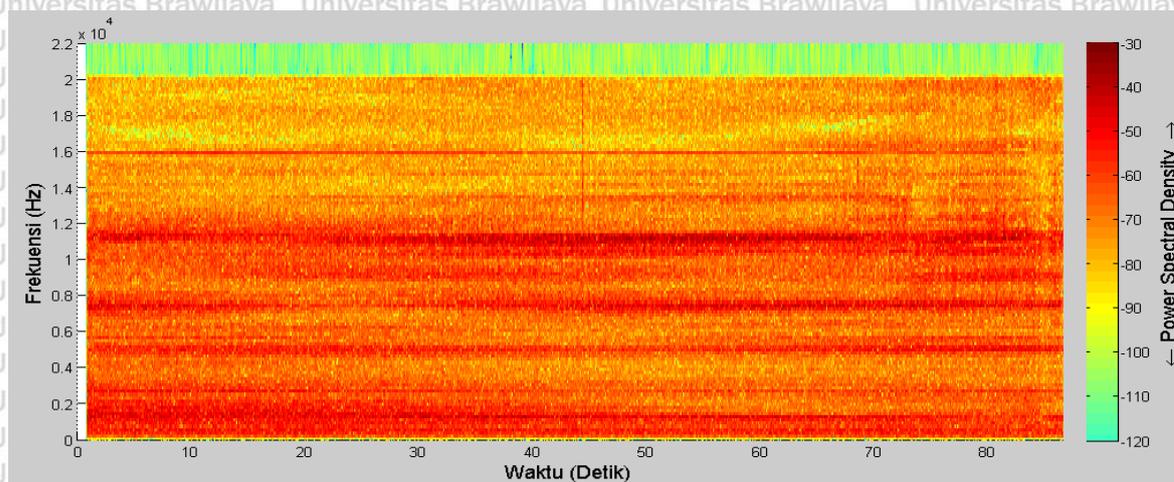


Gambar 5.16

Hasil sinyal suara menggunakan FFT diubah menjadi domain frekuensi

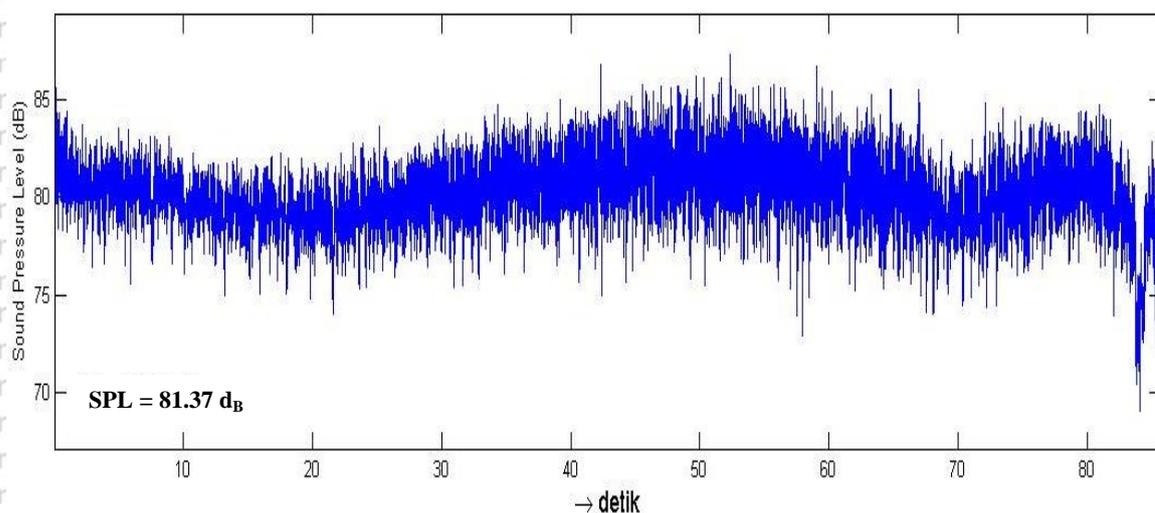
Sumber : Personal computer (PC) (2016)

Gambar 5.17 memperlihatkan hasil sinyal suara penelitian proses bubuk hasil FFT ditransformasikan ke PSD (*power spectral density*) (satuan watt/Hz) merupakan hubungan PSD terhadap waktu dan frekuensi diubah menjadi tingkat tekanan suara (SPL) (dalam satuan dB), pada penelitian ini digunakan untuk menganalisa tingkat kebisingan terhadap kualitas produk berupa kekasaran permukaan (SR) dan kebulatan (RE), nilai SPL ditunjukkan pada tabel 5.1.



Gambar 5.17
Menggunakan PSD (*power spectral density*) (dalam satuan watt/Hz)
Sumber : Personal computer (PC) (2016)

Gambar 5.18 hasil penelitian dengan kondisi pemotongan; n_s 0.4, n 1000, v_f 56, dan a 0.25 memperlihatkan transformasi dari PSD (*power spectral density*) (satuan watt/Hz) ke SPL (*sound pressure level*) (dalam satuan d_B), hasil penelitian ini di identikan dengan amplitudo dipergunakan untuk mengidentifikasi tingkat kebisingan pada proses bubut.

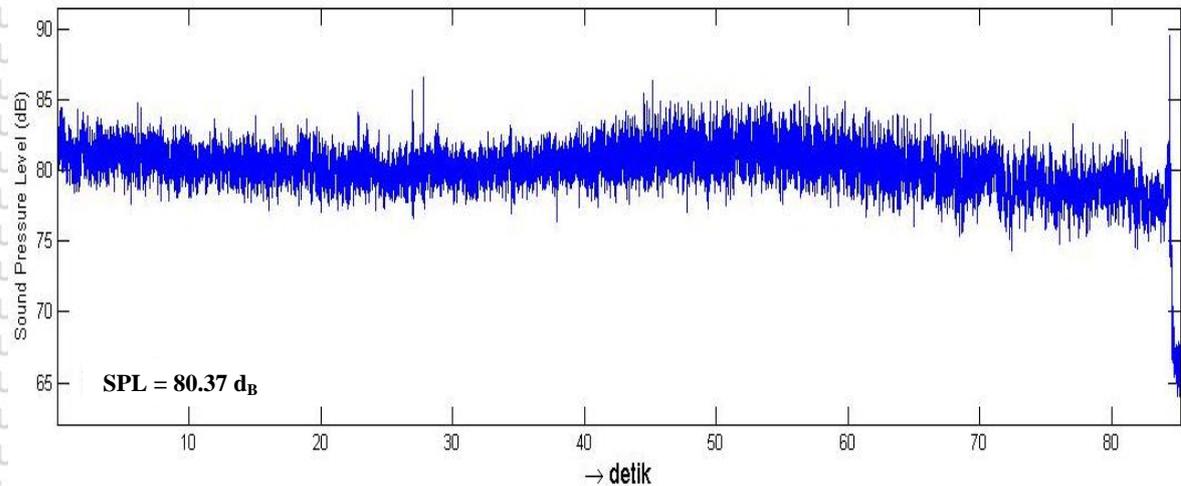


Gambar 5.18
Contoh analisa spektrum kebisingan tingkat tekanan suara (SPL) d_B observasi run ke 1 dengan nilai frekuensi 11616 – 11791 Hz.
Sumber : Personal computer (PC) (2016)

5.2.4 Analisa Kebisingan/amplitudo menggunakan tingkat tekanan bunyi (*Sound Pressure Level/SPL*).

Gambar 5.19 hasil penelitian dengan kondisi pemotongan ; n_s 0.4, n 1150, v_f 58,

dan a 0.35, nilai *sound pressure level* (SPL) 80.37 dB, taksiran frekuensi (11968 – 12143) Hz, dengan nilai kekasaran permukaan (SR) 1.07 μm dan kebulatan (RE) 5.63 μm .

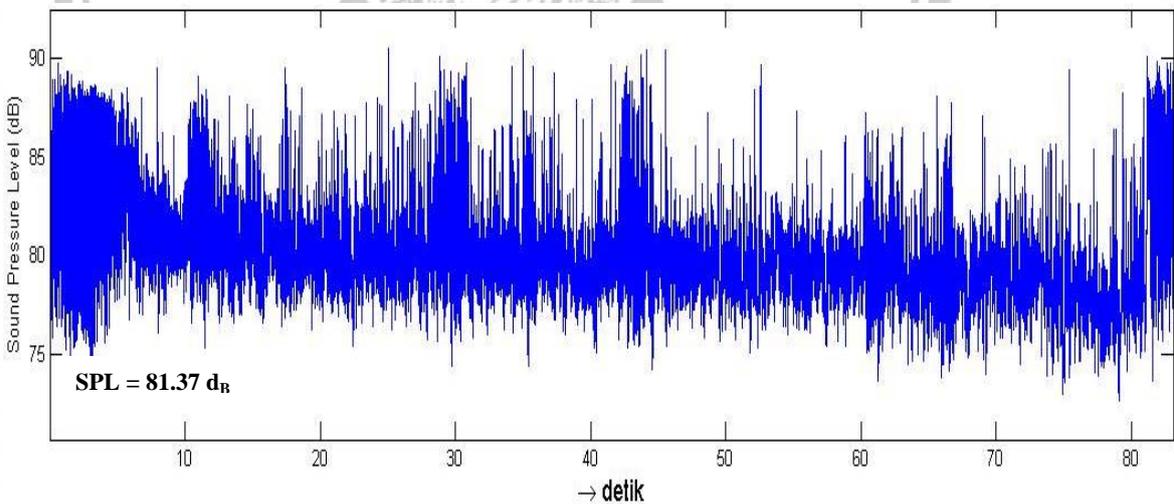


Gambar 5.19

Spektrum kebisingan tingkat tekanan suara (SPL) dB observasi run ke 2/KU.2

Sumber : Personal computer (PC) (2016)

Gambar 5.20 hasil penelitian dengan kondisi pemotongan ; ns 1.2, n 1000, vf 60, dan a 0.35, nilai *sound pressure level* (SPL) 81.37 dB, taksiran frekuensi (5104 – 5279) Hz, dengan nilai kekasaran permukaan (SR) 0.79 μm dan kebulatan (RE) 5.79 μm .



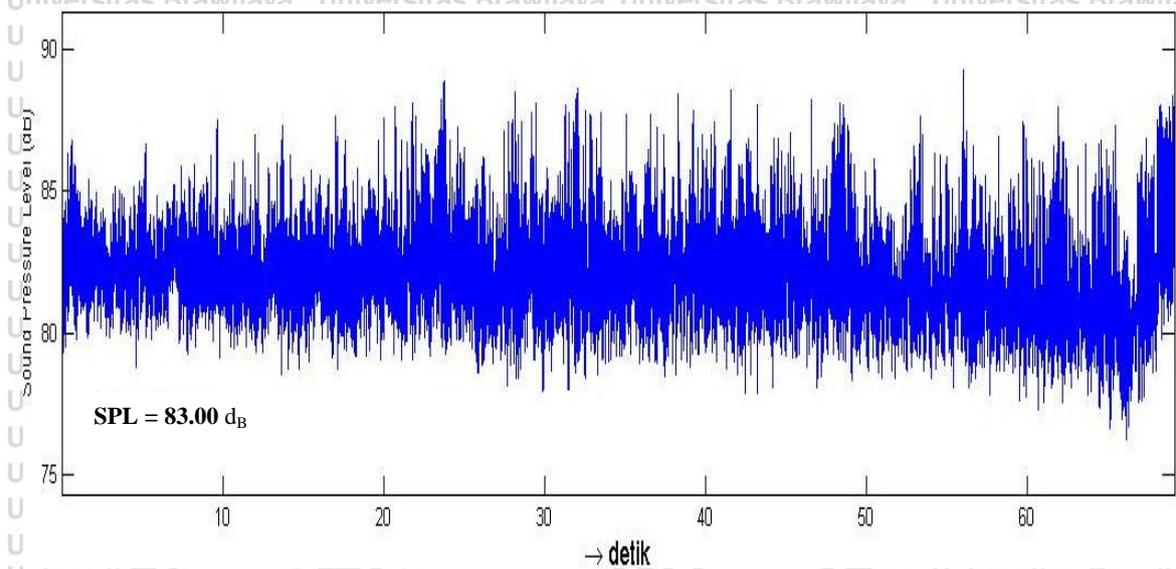
Gambar 5.20

Spektrum kebisingan tingkat tekanan suara (SPL) dB observasi run ke 3/ KU.3

Sumber : Personal computer (PC) (2016)

Gambar 5.21 hasil penelitian dengan kondisi pemotongan ; ns 1.2, n 1250, vf 58, dan a 0.25, nilai *sound pressure level* (SPL) 83.00 dB, taksiran frekuensi (1140-11615) Hz, dengan nilai kekasaran permukaan (SR) 0.59 μm dan kebulatan (RE) 5.79 μm . Nilai

frekuensi subyektif dengan analisis komponen utama (KU) adalah 5104-5279 Hz, sehingga pada kasus ini tidak signifikan.



Gambar 5.21

Spektrum kebisingan tingkat tekanan suara (SPL) dB observasi run ke 4/KU.4

Sumber : Personal computer (PC) (2016)

Tabel 5-11

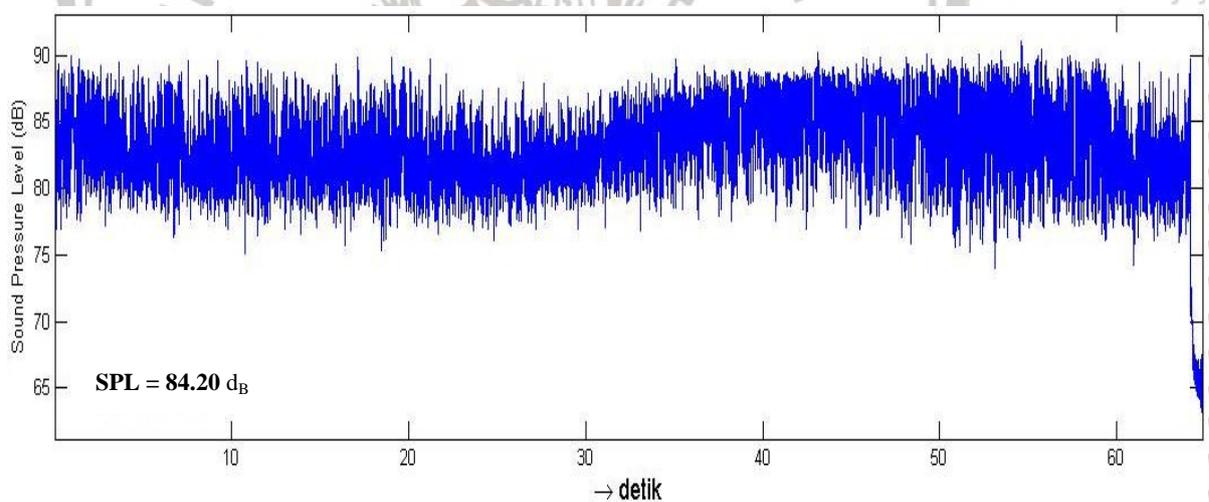
Hasil nilai kebisingan sinyal suara proses bubut terhadap kekasaran permukaan (SR)

KU	Parameter Pemotongan				SPL/ noise (dB)	Range Frek (Hz)	SR Data (μm)	Catatan
	nr	n	vf	a				
2	0,4	1150	58	0,35	80,37	11968- 12143	1,07	Signifikan Tidak signifikan
3	1,2	1000	60	0,35	81,37	5104 - 5279	0,79	
4	1,2	1250	58	0,25	83,00	11440- 11615	0,59	Signifikan

Menurut teori yang dikembangkan Weck Manfred, (1980) kebisingan suatu gangguan suara yang dapat mempengaruhi kenyamanan dan kesehatan terutama yang berasal dari kegiatan operasional peralatan industri. Kebisingan yang tetap (*steady noise*), merupakan kebisingan dengan frekuensi terputus (*discrete frequency noise*), kebisingan ini merupakan nada-nada murni pada frekuensi yang beragam. Contohnya suara mesin, suara

kipas dan sebagainya. Durasi diartikan sebagai waktu dari suatu sumber suara atau bunyi yang diterima oleh pendengaran *Infrasound* : 0 Hz -20 Hz. Tabel 5-11 hasil penelitian menggunakan sinyal suara dengan dasar pengukuran mengukur tekanan suara (SPL) termasuk kebisingan eksterior dan kontinu dengan spektrum frekuensi yang sempit (*Narrow Spectrum*) dan relatif tetap, diperoleh range (80 – 90)_{dB}, dengan kualitas produk bubuk yang paling halus SR 0.59 μm /83 _{dB} (standarisasi tingkat kebisingan 80 -100 _{dB}-A) pada frekuensi 11440-11615 Hz (standarisasi frekuensi range (5000 – 12000) Hz), dengan kecepatan spindel 1250 rpm. Besarnya rata-rata 85 _{dB}-A untuk batas waktu kerja terus-menerus tidak lebih dari 8 jam atau 40 jam seminggu, termasuk kategori tidak membahayakan bagi kesehatan terutama gendang telinga.

Gambar 5.22 hasil penelitian dengan kondisi pemotongan ; ns 0.8, n 1250, vf 56, dan a 0.35, nilai *sound pressure level* (SPL) 84.20 _{dB}, taksiran frekuensi (1140-11615) Hz, dengan nilai kekasaran permukaan (SR) 1.10 μm dan kebulatan (RE) 5.64 μm . Nilai frekuensi subyektif dengan analisis komponen utama (KU) adalah 1140-11615 Hz, sehingga pada kasus ini tidak signifikan.

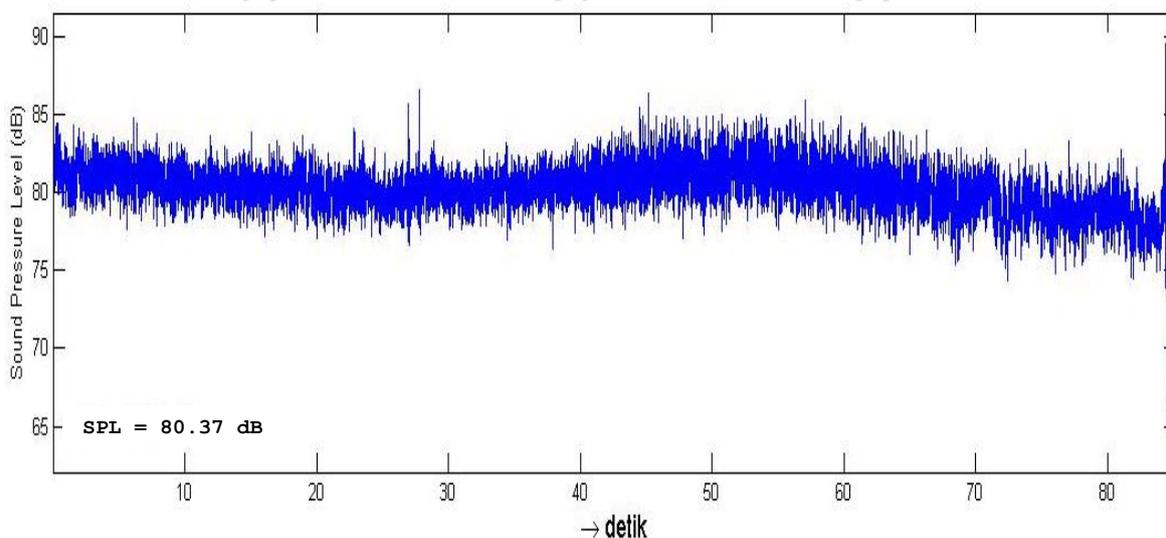


Gambar 5.22

Spektrum kebisingan tingkat tekanan suara (SPL) _{dB} observasi run ke 18/KU.5

Sumber : Personal computer (PC) (2016)

Gambar 5.23 hasil penelitian dengan kondisi pemotongan ; ns 1.2, n 1000, vf 60, dan a 0.35, nilai *sound pressure level* (SPL) 81.37 _{dB} taksiran frekuensi (11088-11263) Hz, dengan nilai kekasaran permukaan (SR) 0.79 μm dan kebulatan (RE) 5.79 μm .

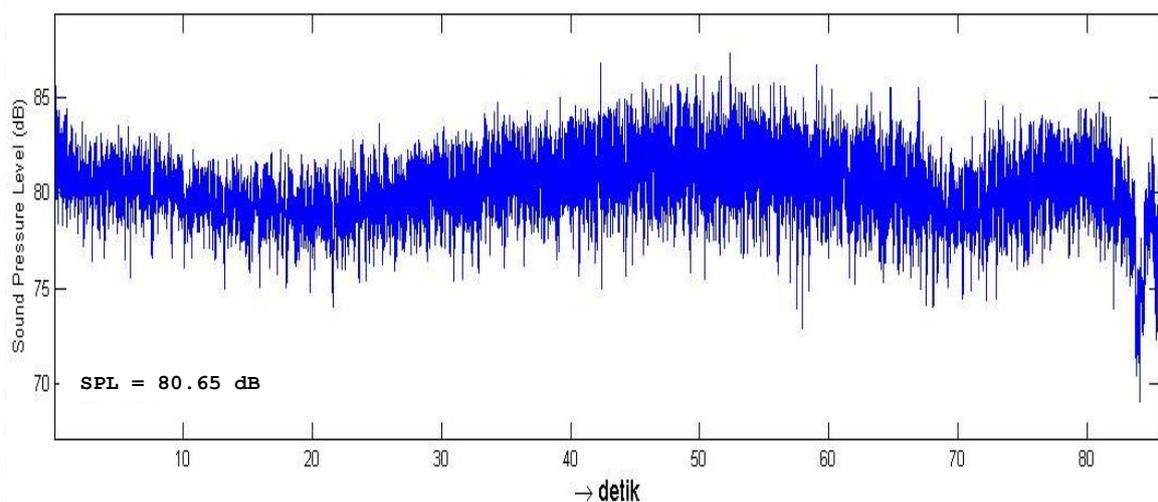


Gambar 5.23

Spektrum kebisingan tingkat tekanan suara (SPL) dB observasi run ke 20/KU.6

Sumber : Personal computer (PC) (2016)

Gambar 5.24 hasil penelitian dengan kondisi pemotongan ; ns 0.4, n 1000, vf 56, dan a 0.25, nilai *sound pressure level* (SPL) 80.65 dB, taksiran frekuensi (11088-11263) Hz, dengan nilai kekasaran permukaan (SR) 1.10 μm dan kebulatan (RE) 5.32 μm .



Gambar 5.24

Spektrum kebisingan tingkat tekanan suara (SPL) dB observasi run ke 1 /KU.7

Sumber : Personal computer (PC) (2016)

Tabel 5-12 diperoleh seperti halnya tabel 5-11 hasil penelitian menggunakan sinyal suara dengan dasar pengukuran mengukur tekanan suara (SPL) termasuk kebisingan eksterior dan kontinyu dengan spektrum frekuensi yang sempit (*Narrow Spectrum*) dan relatif tetap, diperoleh range (80 – 90)dB, dengan kualitas produk bubut yang paling kecil

kebulatan RE 5,32 μm /80,65 dB (standardisasi tingkat kebisingan 80 -100 dB-A) pada frekuensi 11088-11263 Hz (standardisasi frekuensi range (5000 – 12000) Hz), dengan kecepatan spindle 1000 rpm. Pada penelitian ini diasumsikan pada proses bubut CNC TU - 2A dilakukan rata-rata per hari 8 jam termasuk kategori tidak membahayakan bagi kesehatan terutama gendang telinga.

Tabel 5-12

Hasil nilai kebisingan sinyal suara proses bubut terhadap Kebulatan (RE)

KU	Parameter Pemotongan				SPL/ noise (dB)	Range Frek (Hz)	RE Data (μm)	Catatan
	nr	n	vf	a				
3	1,2	1000	60	0,35	81,37	5104 - 5279	5,78	Tidak signifikan
4	1,2	1250	58	0,25	83,00	11440- 11615	5,74	Signifikan
5	1,2	1000	60	0,35	84,20	11440- 11615	5,64	Tidak signifikan
6	1,2	1000	60	0,35	81,37	11088- 11263	5,79	Signifikan
7	0,4	1000	56	0,25	80,65	11088- 11263	5,32	Signifikan

5.2.5. Perhitungan data dengan Metode *Principal Component Analysis* (PCA).

Deskripsi Spectral PCA dapat ditemukan dari berbagai sumber, fitur baru dari PCA spektral adalah bahwa baris dari matriks data, X, adalah satu-sisi Spektrum daya P (f) dari sinyal-sinyal di atas suatu rentang dari permintaan ulang sampai ke frekuensi Nyquist (setengah frekuensi).

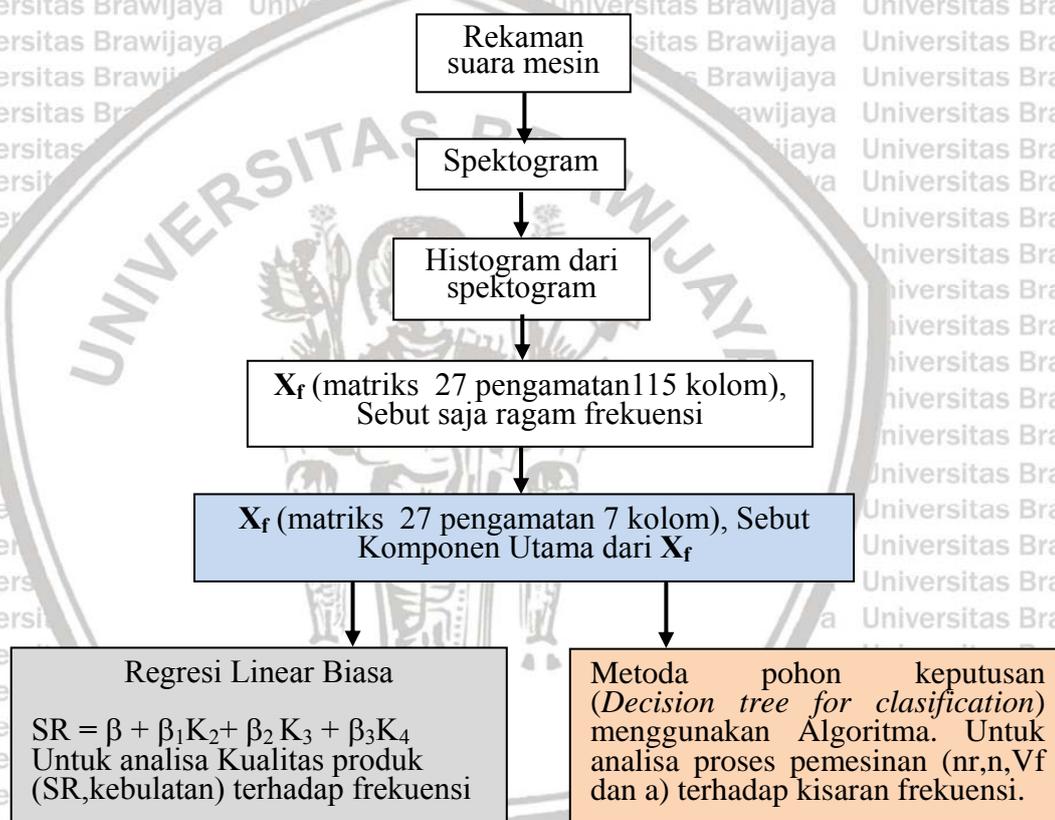
Dalam hal ini jumlah saluran frekuensi, N; mungkin jauh lebih sedikit daripada jumlah asli titik data dan oleh karena itu kompresi data tercapai. Jika kompresi tidak diperlukan, maka transformasi Fourier cepat dapat digunakan, misalnya menggunakan MATLAB (The Mathworks, Natick, MA).

Gambar 5.25 skematik blok diagram alir menjelaskan pengolahan data dengan metoda *Principal Component Analysis* (PCA) kombinasi dengan metode Taguchi seperti ditunjukkan pada tabel 5-2 respon frekuensi sinyal suara (Hz) dan amplitudo (dB) merupakan hasil olahan dengan *software Personal Computer* (PC)

Memanfaatkan teori sampling untuk membatasi ketinggian nilai frekuensi suara pada proses bubut yang dikembangkan oleh *Shannon- Nyquist*, terdapat syarat proses sampling adalah $f_s > 2 f_i$ K.R. Rao et al., (2010) dan Michael Corinthios (2009).

Tabel 5- 13 ditunjukkan proporsi ragam frekuensi sinyal suara dibuatkan matriks (K_f) = 27 pengamatan, 115 kolom, disebut dengan ragam frekuensi sinyal suara dan seterusnya direduksi menjadi matriks (K_f) = 27 pengamatan dengan 7 kolom, disebut dengan komponen utama [KU] dari X_f .

Terdapat 115 kisaran frekuensi (x_1, x_2, \dots, x_{115}) yang akan dicari hubungan dengan SR ditulis dalam persamaan $SR = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_{115}$, maka diperlukan paling sedikit $115 + 1 = 116$ pengamatan.



Gambar 5.25

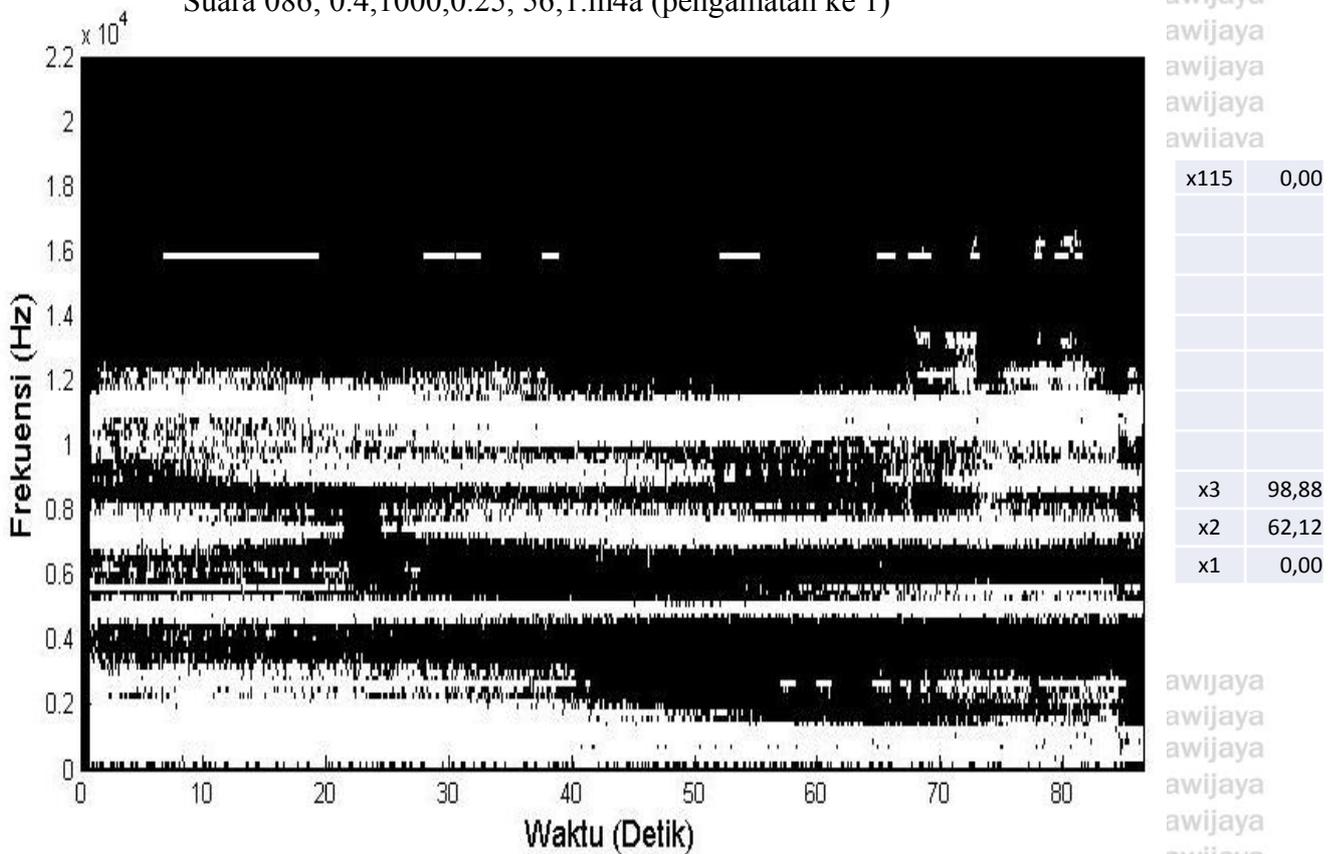
Diagram alir pengolahan *Principal Component Analysis* (PCA) Method dan Metode Pohon Keputusan (*tree decision methode*).

Pada eksperimen ini pengamatan proses bubut direncanakan 27. Maka x perlu direduksi menjadi beberapa KU (7 KU dengan variabilitas data yang diwakili 95 %), sehingga diperoleh persamaan regresi linier biasa $SR = a_0 + a_1 K_1 + a_2 K_2 + a_7 x K_7$, atau dituliskan $SR = \beta_0 + \beta_1 K_2 + \beta_2 K_3 + \beta_3 K_4$ hal ini dipergunakan untuk mengidentifikasi kualitas produk yang sesuai dengan frekuensi sinyal suara proses bubut.

Untuk menganalisa pengaruh parameter pemesinan (n_r, n, v_f dan a) terhadap besarnya frekuensi sinyal suara digunakan metoda pohon keputusan (*Decision tree method*), sehingga dapat diketahui taksiran nilai frekuensi yang mendekati parameter pemesinan.

Hasil penelitian yang tertuang pada tabel 5.2 pada respon frekuensi (Hz) diolah dengan personal computer (PC). Matriks diambil nilai X_{frek} berkisar antara 0 s.d. 100 (jika warna hitam selama ± 90 detik, maka $X_{\text{frek}} = 0$), jika warna putih (spektrogram) selama ± 90 detik, maka $X_{\text{frek}} = 100$), sebagai contoh Spektrogram suara proses bubut dalam bentuk Biner pengamatan ke 1 dan 27, dijelaskan pada gambar 5.26 dan 5.28.

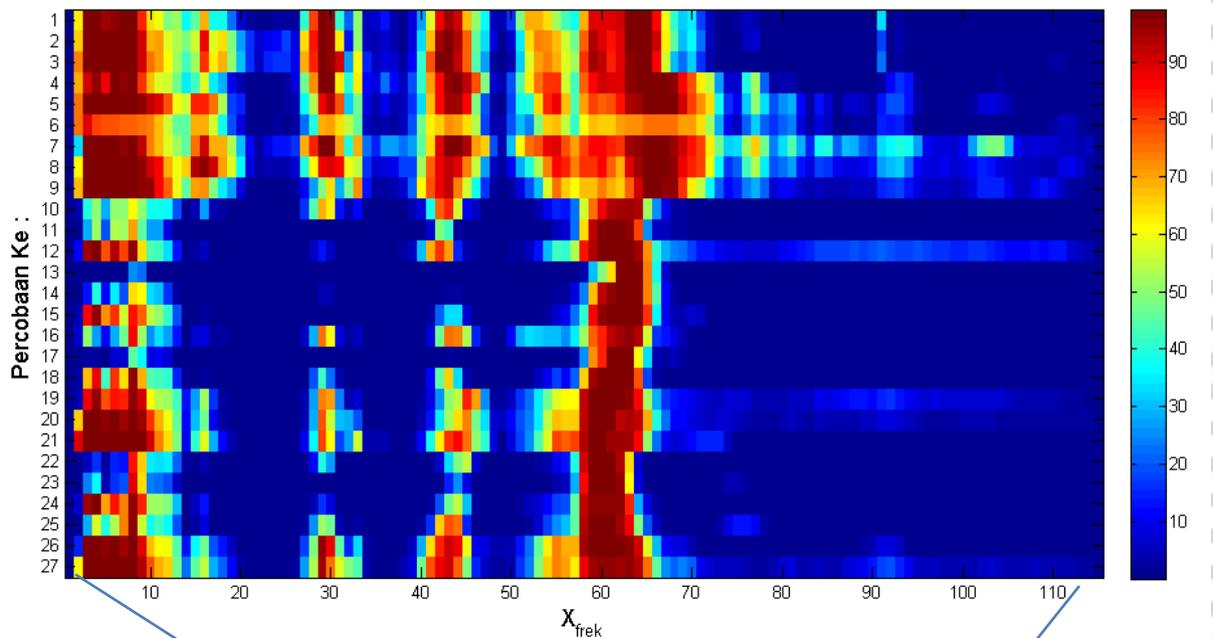
Suara 086; 0.4,1000,0.25, 56;1.m4a (pengamatan ke 1)



Gambar 5.26 Spektrogram sinyal suara dalam bentuk Biner pengamatan ke 1.

	x1	x2	x3	.	.	.	x115
	0 - 175	176 - 351	352 - 527				20064 - 20240
1	0,00	62,12	98,88				0
2	0,01	65,89	99,01				0,01
3	0,00	74,22	99,05	.	.	.	0,12
.			

27	0,01	60,82	98,88					0,01
----	------	-------	-------	--	--	--	--	------



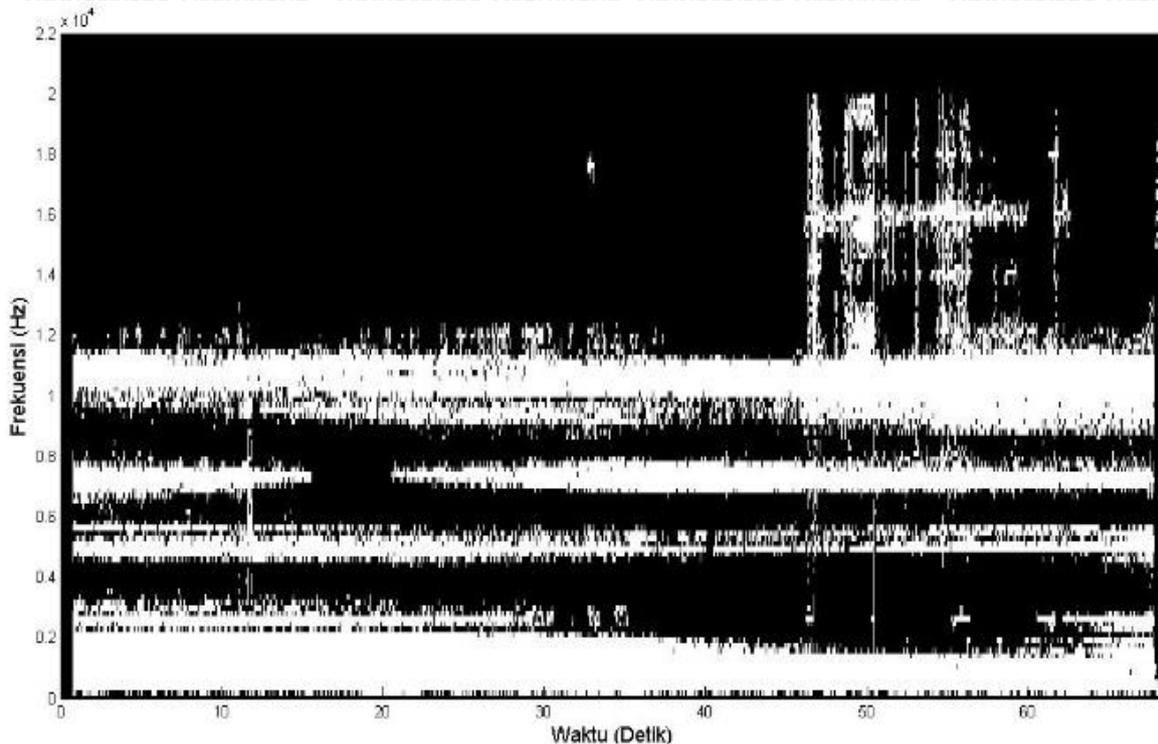
$$K_1 = 0,000031(X_1 - 0,0071) + 0,15310(X_2 - 31,5061) + 0,16728(X_3 - 69,9425) + \dots + 0,00014(X_{115} - 0,0319)$$

Gambar 5.27

Visualisasi Pola proporsi frekuensi sinyal suara proses bubuk (X_{frekw}) 27 kali pengamatan.
 Sumber : Personal Computer (PC)

Gambar 5.27 contoh visualisasi pola proporsi frekuensi sinyal suara (X_{frekw}) dari 27 kali pengamatan. Hal ini secara obyektif dan subyektifitas bertujuan untuk menentukan pola proporsi ragam frekuensi sinyal suara dan kisaran frekuensi (Hz) suara yang dominan dengan koefisiennya, sehingga dapat dipergunakan untuk memprediksi nilai kekasaran permukaan (SR) dan noise (d_B) (kebisingan).

Suara 113,1.2.1250,0.35;58; 3; m4a pada pengamatan ke 27



Gambar 5.28
Spektrogram sinyal suara dalam bentuk Biner pengamatan ke 27.
Sumber : *Personal Computer (PC)*

Gambar 5.28 menjelaskan bahwa warna putih merupakan respon frekuensi yang membesar merupakan spektrogram, sedangkan warna hitam (gelap) tidak terdapat respon frekuensi. Penelitian ini terdapat respon frekuensi yang dominan terjadi pada frekuensi (11500 – 11750) Hz dengan waktu 70 menit, frekuensi fluktuasi pada menit ke 48 hingga menit ke 58 sangat bias dan menyebar sehingga tidak dapat dijadikan indikator.

5.2.6 Analisa kisaran Frekuensi suara proses bubut menggunakan metoda *Principal Component Analysis (PCA)*

Pada sub 5.2.5 menjelaskan perhitungan data digunakan proporsi ragam frekuensi sinyal suara untuk menaksir kisaran terhadap kualitas produk. Tabel 5.13 menunjukkan proporsi ragam frekuensi sinyal suara $[X_i]$, diperoleh hubungan komponen utama (KU) dan ragam frekuensi X , untuk menaksir nilai frekuensi menggunakan persamaan (5-3) sebagai berikut :

$$K_j = e_{j1} (X_1 - m_1) + e_{j2} (X_2 - m_2) + \dots + e_{j115} (X_{115} - m_{115}) \quad (5-3)$$

Dimana :

K_j = Komponen Utama ke j

X_j = Ragam frekuensi ke j (dalam %)

m_j = rata-rata X_j

e_{jk} = vektor eigen ke j dari matrik korelasi dari ragam frekuensi sinyal suara X_f ; ($k = 1, 2, \dots, 115$)

Tabel 5.13.

Proporsi ragam frekuensi sinyal suara [X_f] dengan matrik 27 x 115

Ke	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	...	X_{115}
	0 - 175	176 - 351	352 - 527	528 - 703	704 - 879		20064-20240
1	0,0000	62,1150	98,8794	99,0405	95,9874	...	0,0068
2	0,0068	65,8939	99,0132	99,1146	98,9997	...	0,1216
3	0,0000	74,2199	99,0544	98,7235	98,4803	...	0,0000
4	0,0000	68,4559	90,8731	97,2676	87,8496	...	0,0000
5	0,0000	75,1928	98,8679	98,8023	98,6382	...	0,0127
6	0,0000	74,4140	88,6172	79,0701	78,1681	...	0,0174
7	0,0087	32,7480	98,4265	98,6178	97,9831	...	0,2915
8	0,0638	60,5429	98,8068	98,8068	98,8068	...	0,0993
9	0,0361	66,9135	98,8170	98,8170	98,8170	...	0,0068
.	dst	dst
27	0,0085	60,8236	98,8838	98,6301	97,7761	0,0085

Sebagai contoh pada tabel 5.13 untuk harga X_3 kolom 3, pada kisaran frekuensi suara 352 Hz – 527 Hz untuk pengamatan 1, persentasinya 98,8794 %, dan diikuti dengan koefisien - 0,19612 dan seterusnya hingga pada X_{115} pengamatan ke 1 sampai pengamatan ke 27.

Dengan memasukkan parameter dari tabel 5.13 (X_1, \dots, X_{115}) pada persamaan (1) diperoleh skor nilai komponen utama (K) hasil ditunjukkan pada Tabel 5.14 seperti berikut:

Tabel 5.14

Skor komponen utama (KU)

Ke	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7
1	144,9124	-30,9907	71,46494	32,62555	-0,16159	-10,3671	10,16309
2	185,2687	-29,3438	79,33736	27,32037	-0,14369	7,93323	49,1952
3	187,6071	-40,7479	84,81264	30,02826	0,791709	20,38476	60,83089
4	222,0673	48,68459	24,18921	-12,9526	5,356679	-11,5847	-48,0534
5	252,2151	64,81851	-21,0279	-11,2039	27,64365	17,45709	-19,1414

6	147,5186	79,27044	-15,7527	-15,9873	48,23333	32,18541	-15,0208
7	298,5692	97,96062	-30,6608	-52,2095	-84,4578	-68,5873	22,87322
8	276,8049	80,24649	-40,0959	-18,8729	-1,49581	20,33132	20,64217
9	183,534	53,0968	-70,9906	31,47465	32,76973	50,79384	-19,848
10	-109,843	-7,07242	53,92961	20,02412	-43,9852	34,95656	-34,4855
11	-203,926	15,35589	-18,2676	18,05492	-21,5785	14,32043	6,574865
12	-54,4899	-18,5725	-102,92	69,54871	-71,16	-0,25298	-4,37954
13	-256,815	134,527	52,49852	50,75502	20,16096	-27,0984	-12,7247
14	-216,25	72,29146	7,564311	47,11411	23,1076	-27,0586	10,59802
15	-137,955	-15,8563	-52,6367	75,89986	23,66215	-20,8281	18,76523
16	-107,224	-0,20474	74,13549	-21,7262	-25,2472	-17,4187	-46,2445
17	-261,107	91,0388	24,80118	-4,71686	11,17945	-7,70266	8,043055
18	-141,057	-49,346	-25,5351	14,40359	-20,8998	16,21665	-0,60299
19	2,52088	-67,9271	-19,781	-33,1523	7,813379	-78,9836	-5,79967
20	37,17746	-86,1487	-22,464	-3,51636	49,50143	-55,8294	-13,1093
21	73,20789	-109,668	-4,99254	-16,9017	53,54968	-16,6534	-21,913
22	-201,424	7,078695	17,01018	-110,793	11,71564	19,43454	11,85021
23	-233,937	21,55811	-20,9541	-73,7049	10,08773	22,4694	38,88828
24	-127,459	-76,4725	-69,0361	-24,7399	18,4693	8,43051	32,6413
25	-123,724	-48,2267	3,937512	-44,5553	-43,7516	40,10105	-21,3266
26	57,5444	-112,72	19,97418	4,447312	-21,056	13,12675	-19,0954
27	106,2629	-72,6306	1,459616	23,33652	-10,1053	24,22341	-9,32084

Selanjutnya diklasifikasikan untuk menentukan persamaan komponen utama (K) yang mendominasi yaitu K_2 , K_3 , dan K_4 seperti berikut :

$$K_2 = 0,000022(X_1 - 0,0071) - 0,03131(X_2 - 31,5061) - 0,21795(X_3 - 69,9425) + \dots + 0,00012(X_{115} - 0,0319) \quad (5-4)$$

$$K_3 = -0,00011(X_1 - 0,0071) + 0,06472(X_2 - 31,5061) - 0,19612(X_3 - 69,9425) + \dots - 0,00056(X_{115} - 0,0319) \quad (5-5)$$

$$K_4 = -0,06269(X_2 - 31,5061) + 0,17530(X_3 - 69,9425) + \dots + 0,00035(X_{115} - 0,0319) \quad (5-6)$$

Dari hasil persamaan (5-4), (5-5), dan (5-6) diperoleh rentang frekuensi di dominasi oleh :

$\Rightarrow K_2$ didominasi oleh $X_3, X_4, X_{58}, X_{67}, X_{68}, X_{69}$

$\Rightarrow K_3$ didominasi oleh $X_4, X_{28}, X_{29}, X_{30}$

$\Rightarrow K_4$ didominasi oleh $X_{44}, X_{45}, X_{58}, X_{64}, X_{65}, X_{66}$

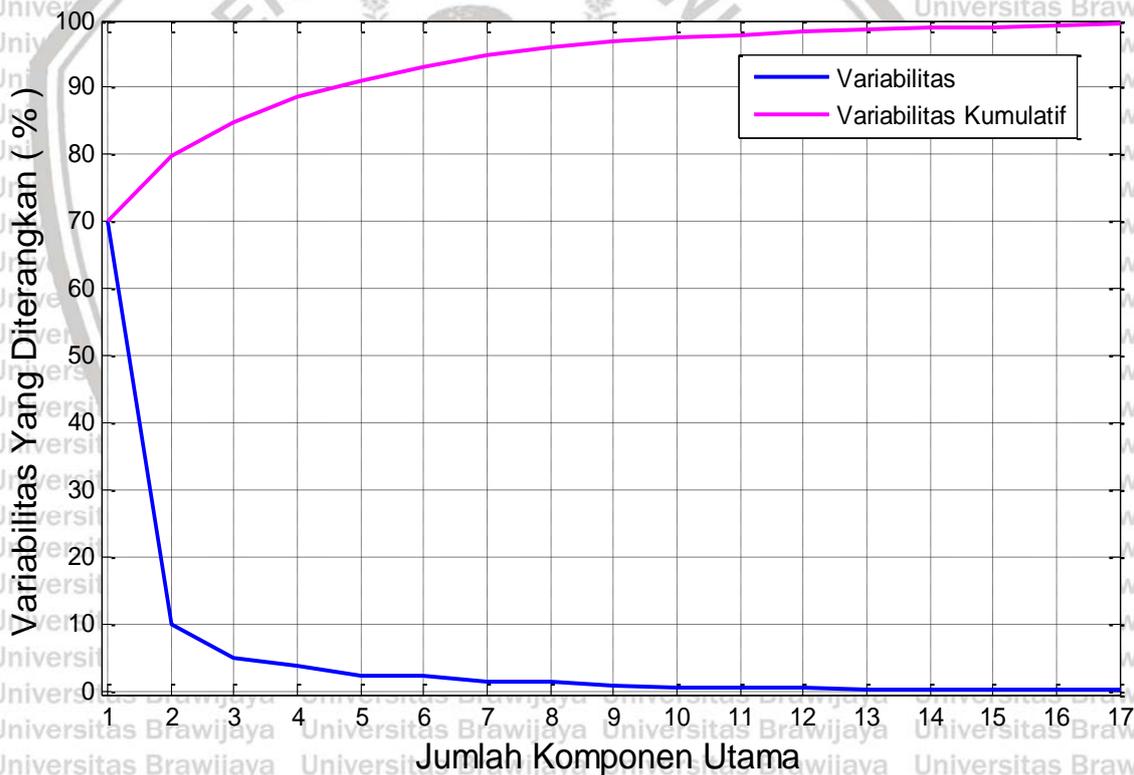
Dari tabel 5.14 dibuatkan matriks korelasi Skor komponen utama untuk kekasaran permukaan (SR) seperti ditunjukkan pada tabel 5.15.

Tabel 5.15

Matrik Korelasi Skor komponen utama $K_1 - K_7$ untuk SR

	SR	K_1	K_2	K_3	K_4	K_5	K_6	K_7
SR	1,0000							
K_1	-0,0653	1,0000						
K_2	0,4470	0,0000	1,0000					
K_3	0,2592	0,0000	0,0000	1,0000				
K_4	0,6302	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000			
K_5	-0,0767	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000		
K_6	-0,0969	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000	
K_7	0,0146	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	1,0000

Gambar 5.29 menunjukkan diagram hubungan jumlah komponen utama (KU) terhadap Variabilitas (%), merupakan hubungan tabel 5.13 dan tabel 5.14 yang dipilih dengan jumlah komponen = 7 (variabilitas $\approx 95\%$) agar variabilitas data mendekati 100% dengan jumlah komponen utama (KU) yang sedikit.



Gambar 5.29

Diagram hubungan jumlah komponen utama (KU) terhadap Variabilitas (%).

Sumber : Personal Computer (PC)

Terdapat hubungan tabel 5.13 proporsi frekuensi (X_f), tabel 5.15 komponen utama (KU), dan tabel 5.15 matrik korelasi digunakan untuk menentukan model persamaan

regresi kekasaran permukaan (SR) untuk mempermudah analisis taksiran nilai kualitas produk, dijelaskan pada sub.5.2.6-

5.2.7 Uji hipotesa model persamaan regresi kekasaran permukaan (SR) dan kebulatan (RE), menggunakan metode *principal component analysis* (PCA)

Pada sub 5.2.5 menjelaskan perhitungan data untuk menentukan model persamaan regresi kekasaran permukaan [SR], dan kebulatan (roundness) [RE], dan error dari model persamaan prediksi dengan PCA.

Pada Tabel 5.14 menunjukkan skor komponen utama (KU) yang mempunyai nilai: K_2 , K_3 , K_4 dengan memasukkan KU kedalam persamaan (1) diperoleh nilai kualitas produk SR pada kisaran frekuensi tertentu. jika $SR = f(K_2, K_3, K_4)$ dinyatakan dalam bentuk $SR = f(X_1, X_2, \dots, X_{115})$, dengan memasukkan nilai X_1, X_2, \dots, X_{115} pada tabel 5.13 diperoleh hasil seperti tabel 5.16 dan 5.17 berikut.

Tabel 5.16

Regression Model for Surface Roughness (SR) measurement of frequency.

	Estimate	SE	t Stat	p Value
Intercept	0.95487	0.028482	33.526	4.9592 $\cdot (10^{-21})$
K_2	0.0015747	0.00042571	3.699	0.0011842
K_3	0.0012907	0.00060183	2.1446	0.042779
K_4	0.0035823	0.00068688	5.2153	2.7391 $\cdot (10^{-5})$

Number of observations : 27, Error degrees of freedom: 23

Root Mean Squared Error : 0.148

R-squared: 0.664 , Adjusted R-Squared: 0.620

F-statistic vs. constant model: 15.1604, p-value = 0.0000

Tabel 5-1614 diperoleh model persamaan regresi kekasaran permukaan (SR) (5-7) untuk :

$$SR_{\text{model}} = 0.95487 + 0.0015747 K_2 + 0.0012907 K_3 + 0.0035823 K_4 \quad (5-7)$$

Uji hipotesa pada tabel 5.16 diperoleh t Stat < p value ($3.699 < 0,0011842$) dengan determinasi : 0.664, model dapat diterima artinya masing-masing kisaran frekuensi sinyal suara signifikan mempunyai pengaruh terhadap kekasaran permukaan (SR).

Tabel 5.17
Anova Summary for Surface Roughness (SR)

	SumSq	DF	MeanSq	F	p-Value
Total	1.4999	26	0.057689		
Model	0.99616	3	0.33205	15.16	1.1669 $\cdot (10^{-5})$
Residual	0.50376	23	0.021903		

Pada tabel 5.17 uji ANOVA kekasaran permukaan dengan uji hipotesa diperoleh $F < p_{\text{value}}$ ($15.15 < 1,1669 \cdot (10^{-5})$) uji dapat diterima artinya masing-masing model varian terhadap komponen utama (KU) kisaran frekuensi sinyal suara signifikan mempunyai pengaruh terhadap kekasaran permukaan (SR).

Tabel 5.18. Matriks korelasi skor komponen utama K₂, K₃, dan K₄ untuk SR

	SR	K ₂	K ₃	K ₄
SR	1.0000			
K ₂	0.4478	1.0000		
K ₃	0.1899	0.0000	1.0000	
K ₄	0.6074	0.0000	0	1.0000

Tabel 5.18 menjelaskan jumlah komponen utama (KU) diambil yang sedikit untuk menentukan komponen utama yang paling dominan terkait dengan persamaan (5-7).

Persamaan (5-7) diperoleh model regresi SR, terdapat skor komponen utama KU₂, KU₃, dan KU₄ yang mempunyai nilai K₂, K₃, dan K₄. Tabel 5.19 menampilkan perbandingan hasil pengukuran kekasaran dengan alat uji Surface Roughness Tester dan persamaan prediksi menggunakan PCA, diperoleh error rata-rata SR sebesar 9.04 %. Dengan nilai error tersebut dapat disimpulkan bahwa model persamaan prediksi PCA dapat digunakan sebagai tolok ukur nilai frekuensi suara terhadap hasil kualitas produk kekasaran permukaan (SR).

Tabel 5.19
Perbandingan hasil kekasaran permukaan uji experimental dan prediksi PCA.

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Average
SRdata	1,11	1,07	0,92	1,25	1,12	1,1	0,79	0,65	0,592	0,955
PCA Prediksi	1,110	1,003	0,968	1,049	1,265	1,042	0,752	0,648	0,823	0,962
Error (%)	0,0005	0,067	0,049	0,191	0,115	0,056	0,0503	0,0023	0,281	0,0904

Dengan melakukan perhitungan seperti perolehan yang ditunjukkan pada tabel 5.16, dan 5.17 maka hasil perhitungan untuk kebulatan (*roundness*) dapat ditunjukkan pada tabel 5.20 dan 5.21 berikut.

Tabel 5.20

Estimated model coefficient for Means Roundness (RE) measurement of Frequency

	Estimate	SE	tStat	p Value
(Intercept)	5.6166	0.014899	376.97	1.0374e-41
K3	-0.0015691	0.00031483	-4.984	6.2253e-05
K4	-0.0012662	0.00035932	-3.524	0.0020152
K5	0.00095288	0.00044764	2.1287	0.045283
K6	-0.0013742	0.00047411	-2.8985	0.0085942
K7	-0.0018274	0.00056374	-3.2415	0.0039078

Number of observations : 27, Error degrees of freedom: 21

Root Mean Squared Error : 0.077

R-squared: 0.743 , Adjusted R-Squared: 0.682

F-statistic vs. constant model: 12.1396, p-value = 0.0000

Dari tabel 5.18 diperoleh model persamaan regresi (5-8) Kebulatan (RE) yaitu :

$$\text{RE}_{\text{model}} = 5.6166 - 0.0015691 \text{ K3} - 0.0012662 \text{ K4} + 0.00095288 \text{ K5} - 0.0013742 \text{ K6} - 0.0018274 \text{ K7} \quad (5-8)$$

Uji hipotesa pada tabel 5.20 diperoleh t Stat < p value (2.1287 < 0,045283) dengan determinasi : 0.743, model dapat diterima artinya masing-masing kisaran frekuensi sinyal suara signifikan mempunyai pengaruh terhadap kebulatan (RE).

Tabel 5.21 Anova Summary for Roundness

	SumSq	DF	MeanSq	F	p Value
Total	0.48968	26	0.018834		
Model	0.36381	5	0.072762	12.14	1.2946e-05
Residual	0.12587	21	0.0059938		

Pada tabel 5.21 uji ANOVA kebulatan dengan uji hipotesa diperoleh $F < p \text{ value}$ ($12.14 < 1,2946 \cdot (10)^{-5}$) uji dapat diterima artinya masing-masing model varian terhadap

komponen utama (KU) kisaran frekuensi sinyal suara signifikan mempunyai pengaruh terhadap kebulatan (RE).

Tabel 5.22

Matriks korelasi skor komponen utama $K_3, K_4, K_5, K_6,$ dan K_7 untuk RE

	RE	K3	K4	K5	K6	K7
RE	1	-0.55233	-0.38916	0.23471	-0.32296	-0.35762
K3	-0.55233	1	1.5556e-17	-4.0364e-16	1.1112e-16	-2.1545e-16
K4	-0.38916	1.5556e-17	1	2.6848e-16	-6.0425e-16	4.6106e-17
K5	0.23471	-4.0364e-16	2.6848e-16	1	-3.3311e-16	-5.3609e-16
K6	-0.32296	1.1112e-16	-6.0425e-16	-3.3311e-16	1	1.4448e-16
K7	-0.35762	-2.1545e-16	4.6106e-17	-5.3609e-16	1.4448e-16	1

Tabel 5.22 menjelaskan jumlah komponen utama (KU) diambil yang sedikit untuk menentukan komponen utama yang paling dominan terkait pada persamaan (6).

Tabel 5.23

Perbandingan hasil Roundness uji experimental dan prediksi PCA

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Average
RE Data	5,319	5,630	5,789	5,500	5,630	5,640	5,789	5,640	5,730	5,630
REModel	5,374	5,699	5,675	5,560	5,585	5,600	5,793	5,682	5,581	5,617
Error (%)	0,0103	0,012	0,0201	0,0109	0,008	0,007	0,00069	0,0073	0,027	0,01147667

Persamaan (5-8) diperoleh model regresi kebulatan (Roundness) [RE], terdapat skor komponen utama $KU_3, KU_4, KU_5, KU_6,$ dan KU_7 yang mempunyai nilai $K_3, K_4, K_5, K_6,$ dan K_7 . Tabel 5.23 menampilkan perbandingan hasil pengukuran Roundness (RE) dengan alat uji dial indicator dan persamaan prediksi menggunakan PCA, diperoleh error rata-rata RE sebesar 1,1 %. Dengan nilai error tersebut dapat disimpulkan bahwa model persamaan prediksi PCA dapat digunakan sebagai tolok ukur nilai frekuensi suara terhadap hasil kualitas produk kebulatan (roundness) [RE].

5.2.8 Uji hipotesa kisaran frekuensi sinyal suara menggunakan metode *Principal*

Component Analysis (PCA)

Untuk menentukan proporsi ragam frekuensi sinyal suara menggunakan perhitungan matriks dengan mengambil sampel 27 run x 115 X frekuensi maksimum yang tercatat pada hasil pengukuran saat penelitian. Tabel 5.13 merupakan proporsi ragam

frekuensi sinyal suara dengan limitasi X_{115} , tabel 5.14 merupakan skor komponen (KU) dengan 7 KU, dan tabel 5-15 merupakan matrik korelasi kekasaran permukaan (SR) dan kebulatan (RE), secara keseluruhan perhitungan menggunakan *soft ware*/personal computer (PC).

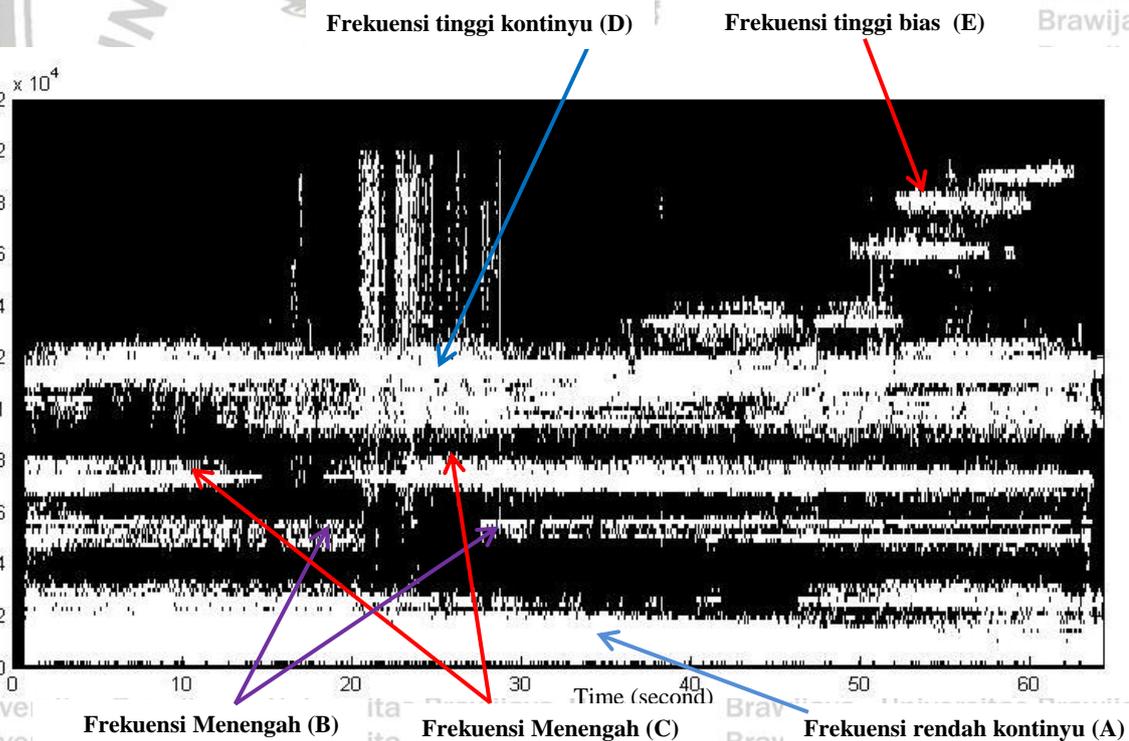
Pada gambar (5.30 ; 5.32 ; 5.34) menunjukkan spektrum sinyal suara dalam bentuk biner masing-masing di observasi kisaran frekuensi, selanjutnya diperlihatkan visualisasi pola proporsi frekuensi suara (X_{frek}), pada gambar (5.31; 5.33; 5.35) komponen utama yang mendominasi. masing-masing pengamatan KU_2 , KU_4 , dan KU_4 .

Tabel 5.24 menampilkan hasil KU_2 estimasi kisaran nilai frekuensi suara, 6 kisaran frekuensi dominan 65 - 71 dengan nilai pada kisaran maksimum $X_{69} = 12143$ Hz.

Tabel 5.24

K_2 didominasi oleh X_3 , X_4 , X_{58} , X_{67} , X_{68} , X_{69}

Frekuensi X	X_3	X_4	X_{58}	X_{67}	X_{68}	X_{69}
Kisaran Frekuensi(Hz)	352 - 527	528 - 703	10032 - 10207	11616 - 11791	11792 - 11967	11968 - 12143
Koefisien	-0.217952	-0.227617	-0.228408	0.181586	0.249125	0.226253



Gambar 5.30

Spektrum sinyal suara dalam bentuk Biner di observasi run ke 2.

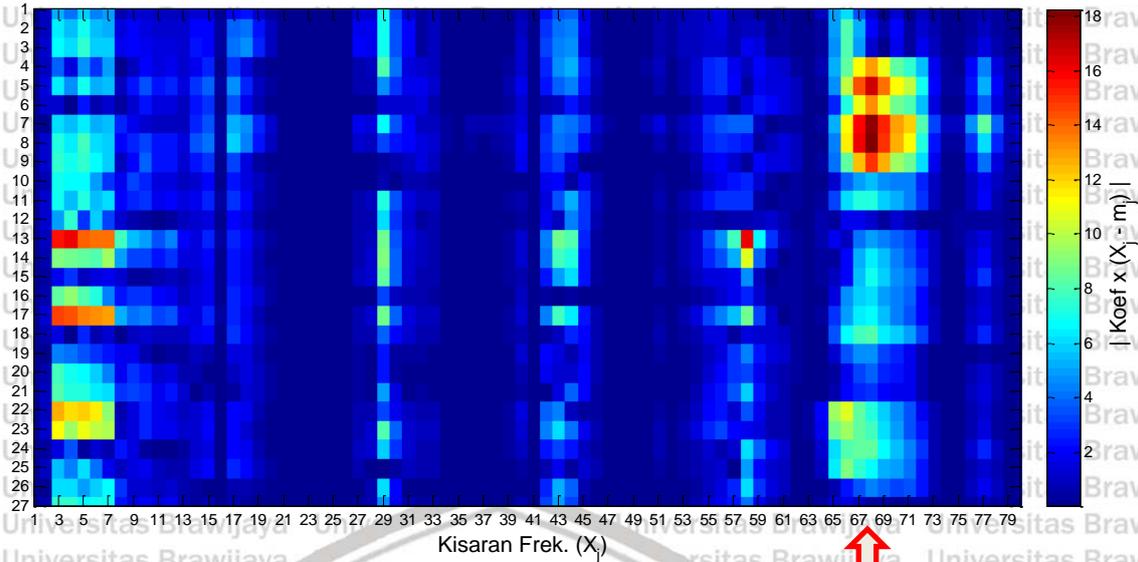
Gambar 5.30 menunjukkan besarnya spektrogram sebagai peta sinyal frekuensi selama proses bubut dalam bentuk Biner. Kondisi warna hitam menunjukkan $X_{\text{frekuensi}} = 0$,

dan kondisi warna putih menunjukkan $X_{\text{frekuensi}} = 100$. Sinyal frekuensi 0,3 kHz warna putih (A) dari titik ke 0 hingga detik 65. Sinyal frekuensi 0,5 kHz warna putih (B) dari titik ke 0 hingga detik 20 berhenti, dan muncul detik 28 hingga detik 65. Sinyal frekuensi berikutnya 0,78 kHz warna putih (C) dari titik ke 0 hingga detik 15 berhenti, dan muncul detik 18 hingga detik 65. Sinyal frekuensi 12 kHz warna putih (D) serempak sangat kuat dari 0 hingga detik 65. Sinyal frekuensi 20 kHz warna putih (E) bias dari detik 50 hingga detik 65, sangat lemah.

Asumsi pada kisaran sinyal frekuensi suara yang muncul secara serempak dan normal pada 12 kHz dengan verifikasi kualitas produk : (1). SR $0,92 \mu\text{m}$, (2). nilai kebisingan $80,73 \text{ dB}$, (3) nilai kebulatan $5,63 \mu\text{m}$ terjadi pada run ke 4 - 9.

Menurut Seemuang, N & T. McLeay & T. Slatter.,(2016), fenomena dominan ini dipengaruhi oleh radius pojok pahat (0,4), kecepatan spindel (1150), kecepatan makan (vf) (58) dengan kedalaman potong konstan. Menurut Endres William J., Raja K., (2002), dan Dogra, M..S.Sharma, J. Durejo.,(2011) dampak dari pengaruh ini akibat berkurangnya radius pojok pahat dan sudut geram, sehingga terjadi perubahan penampang geram dan tebal geram yang mengakibatkan sinyal frekuensi tinggi dan kondisi kebisingan standar $80,37 \text{ dB}$.

Menurut Chou Kevin.Y.,Hui Song.,(2004) kombinasi gambar 5.30 dan 5.32 menunjukkan bahwa penaksiran kualitas nilai kekasaran permukaan (SR) $1,07 \mu\text{m}$, pada run ke 4, kualitas produk yang kurang baik disebabkan oleh nose radius (nr) yang kecil (0,4), kecepatan makan (vf) (58), kecepatan spindel (n) (1150) dengan kedalaman potong (0,35) konstan mengakibatkan terjadinya perubahan sudut geram (α_0) pada radius pojok. Penampang geram yang besar mempengaruhi sistem pemotongan (diameter kecil) berdampak pada dominan frekuensi yang besar sehingga mempengaruhi kualitas produk bubuk.



Gambar 5.31 Visualisasi Pola proporsi frekuensi sinyal suara (X_{frek}) komponen utama yang mendominasi pengamatan KU2.

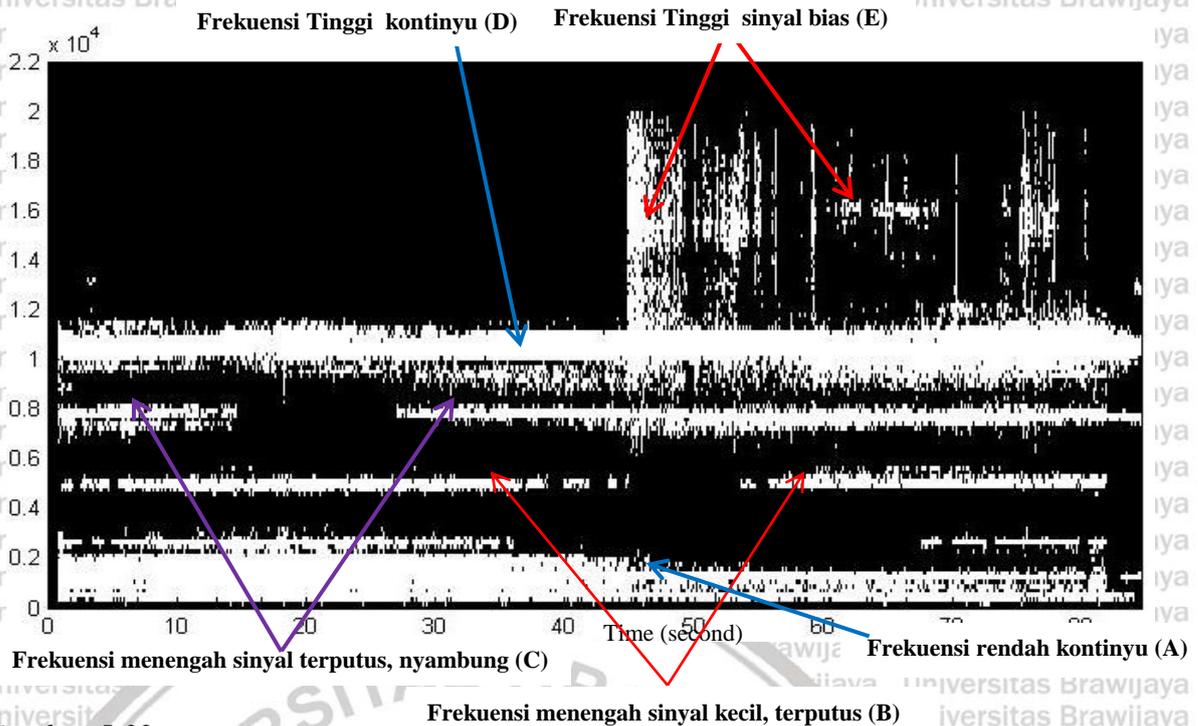
Gambar 5.31 menunjukkan Visualisasi Pola proporsi frekuensi suara (X_{frek}) komponen utama mendominasi pada pengamatan KU₂ yaitu frekuensi suara terdapat 6 kisaran frekuensi yang diamati pada run ke 13, 17, dan 22-23 muncul kisaran X_3, X_4 , selanjutnya pada pengamatan ke 13 muncul kisaran X_{58} . Pada run ke 4 – 9 muncul kisaran X_{67}, X_6 , dan X_{69} merupakan sinyal frekuensi suara bubut tertinggi X_{69} 12143 Hz. Asumsi pada run ke 4-9 dapat diidentifikasi dengan kualitas produk : (1). SR 0,92 μm , (2). nilai kebisingan 80,73 dB, (3) nilai kebulatan 5,63 μm .

Tabel 5.25 menampilkan hasil KU₃ estimasi kisaran nilai frekuensi suara terdapat 4 kisaran frekuensi dominan 28 - 30 dengan nilai pada kisaran maksimum $X_{30} = 5279$ Hz.

Tabel. 5.25

K₃ didominasi oleh $X_4, X_{28}, X_{29}, X_{30}$

Frekuensi X	X_4	X_{28}	X_{29}	X_{30}
Kisaran Frekuensi (Hz)	528 - 703	4752 - 4927	4928 - 5103	5104 - 5279
Koefisien	-0.237852	0.259191	0.292735	0.278241



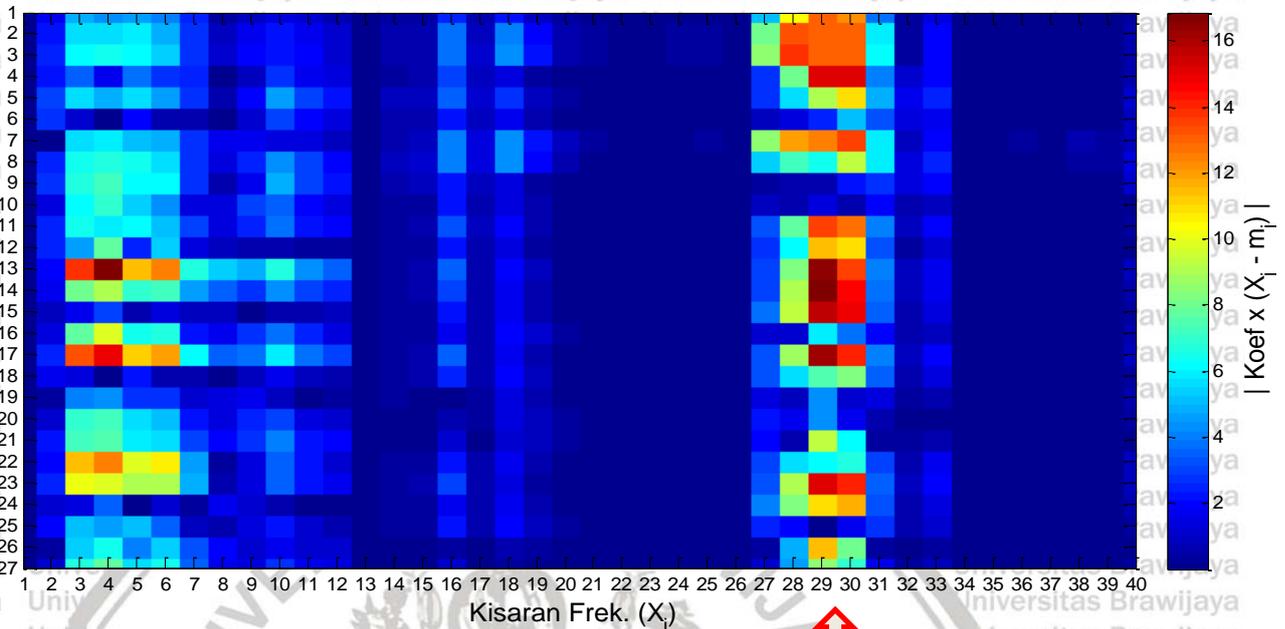
Gambar 5.32

Spektrogram sinyal suara dalam bentuk Biner di observasi run ke 7.

Gambar 5.32 menunjukkan besarnya spektrogram sebagai peta sinyal frekuensi selama proses bubut dalam bentuk Biner. Kondisi warna hitam menunjukkan $X_{\text{frekuensi}} = 0$, dan kondisi warna putih menunjukkan $X_{\text{frekuensi}} = 100$. Sinyal frekuensi 2 kHz warna putih (A) dari titik 0 hingga detik 80. Sinyal frekuensi 5 kHz warna putih (B) dan tidak konstan hingga detik 80. Sinyal frekuensi 8 kHz warna putih (C) hingga detik 15 dan detik 28 hingga detik 85. Sinyal frekuensi kontinyu 11.5 kHz warna putih (D) serempak sangat kuat dari titik 0 berakhir detik 85. Sinyal frekuensi 19.5 kHz warna putih (E) detik 45 – 50 bias hingga detik 85 lemah.

Asumsi kisaran sinyal frekuensi suara yang muncul secara serempak dan normal pada 11,5 kHz dengan verifikasi kualitas produk : (1). SR 1,12 μm , (2). Nilai kebisingan 84,95 dB, (3) Nilai kebulatan 5,64 μm , terjadi pada run ke 13-15, dan 22-24. Asumsi terjadi fenomena fluktuasi ketidak fokusian sinyal suara proses bubut berlangsung akibat adanya perubahan geometri pahat sudut geram (α_0), sehingga menghasilkan kualitas kekasaran permukaan (SR) yang rendah, kualitas produk menurun dipengaruhi oleh radius pojok (0,8), kecepatan makan (v_f) (60) dan kecepatan spindel (n) 1150, dan kedalaman potong (a) (0,35) konstan Sudjatmiko, (2017).

Menurut Chou Kevin.Y.,Hui Song, (2004) penampang geram dan tebal geram yang relatif kecil mempengaruhi sistem pemotongan (kekakuan sistem) yang kurang begitu bagus, akan berpengaruh pada gaya radial menghasilkan dominan frekuensi yang besar.



Gambar 5.33

Visualisasi Pola proporsi frekuensi sinyal suara (X_{frek}) komponen utama Yang mendominasi pengamatan KU3.

Gambar 5.33 menunjukkan Visualisasi Pola proporsi frekuensi suara (X_{frek}) komponen utama mendominasi pada pengamatan KU₃ yaitu frekuensi terdapat 4 kisaran frekuensi yang diamati pada run ke 13,17,22 muncul pada kisaran $X_3 - X_6$, selanjutnya pada run ke 2,3,4,dan 11,13,15,17, dan 23 muncul pada kisaran $X_{29} - X_{30}$ hal ini tidak dapat diidentifikasi nilai kualitas produk, faktor kebisingan, disebabkan nilai frekuensi terjadi dibawah rata-rata komulatif sinyal frekuensi suara ($X_{30} = 5279 \text{ Hz} < 11301 \text{ Hz}$).

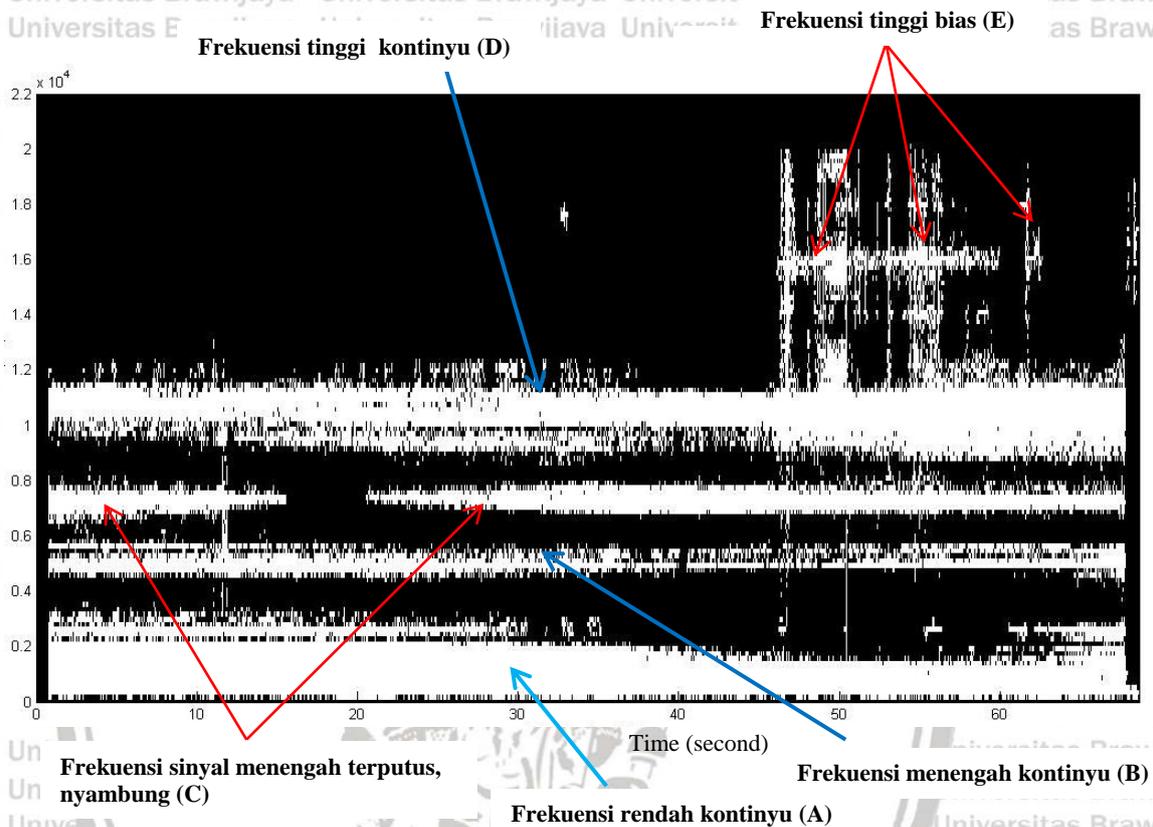
Pada kisaran merupakan kisaran sinyal frekuensi yang subyektif dan obyektif sesuai dgn gambar 5.33, mempunyai nilai koefisien (0.292735), X_{29} (5013 Hz) lebih besar jika dibanding dengan nilai koefisien (0.278241), X_{30} (5279 Hz), menunjukkan proporsi sinyal frekuensi suara (X_{frek}) kuat, tetapi tidak memenuhi syarat kisaran frekuensi suara yang diinginkan.

Tabel 5.26 menampilkan hasil KU₄ estimasi kisaran nilai frekuensi suara terdapat 6 kisaran frekuensi dominan 64 - 66 nilai pada kisaran maksimum $X_{66} = 11615 \text{ Hz}$.

Tabel. 5.26

K_4 didominasi oleh X_{44} , X_{45} , X_{58} , X_{64} , X_{65} , X_{66} .

Frekuensi X	X_{44}	X_{45}	X_{58}	X_{64}	X_{65}	X_{66}
Kisaran Frekuensi (Hz)	7568 - 7743	7744 - 7919	10032 - 10207	11088 - 11263	11264 - 11439	11440 - 11615
Koefisien	-0.202038	-0.260867	-0.268997	0.454385	0.386130	0.208185



Gambar 5.34

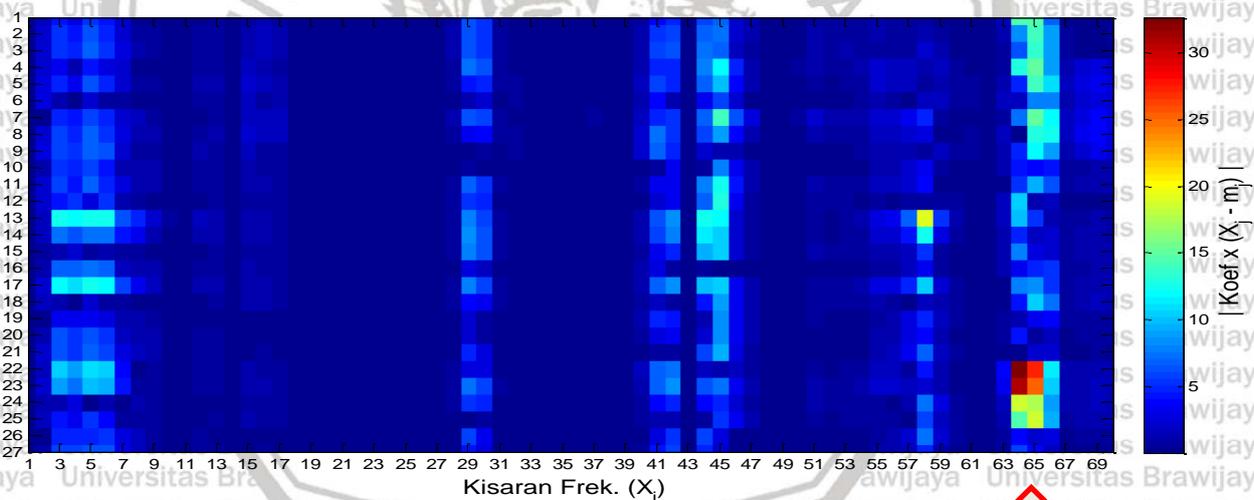
Spektrogram sinyal suara dalam bentuk Biner di observasi pada run ke 9

Gambar 5.34 menunjukkan besarnya spektrogram sebagai peta sinyal frekuensi selama proses bubut dalam bentuk Biner. Kondisi warna hitam menunjukkan $X_{\text{frekuensi}} = 0$, dan kondisi warna putih menunjukkan $X_{\text{frekuensi}} = 100$. Sinyal frekuensi 2 kHz warna putih (A) kontinyu dari titik 0 hingga detik 70. Sinyal frekuensi 5 kHz warna putih (B) kontinyu dari titik 0 hingga detik 70. Sinyal frekuensi 7,5 kHz warna putih (C) dari titik 0 hingga detik 15, dan muncul dari detik 20 hingga detik 70. Sinyal frekuensi 11,6 kHz warna putih (D) kontinyu serempak sangat kuat dari titik 0 hingga detik 70. Sinyal frekuensi 20 kHz warna putih (E) bias dari detik 45 hingga detik 65 sangat lemah. Asumsi kisaran sinyal frekuensi suara yang muncul secara serempak dan normal pada 11,6 kHz terjadi pada run ke 25-27, dengan verifikasi kualitas produk : (1). SR 0,59 μm , (2). Nilai kebisingan 83,00 dB, (3). Nilai kebulatan 5,74 μm .

Asumsi terjadi fenomena fluktuasi ketidak fokusan sinyal suara proses bubut berlangsung akibat adanya perubahan geometri pahat sudut geram (α_o) pada radius pojok (1,2 mm) menghasilkan kualitas kekasaran permukaan (SR) yang bagus, kualitas produk naik selain dipengaruhi oleh 2 (dua) faktor diatas ditunjang dengan, kecepatan makan (v_f) (58) dan kecepatan spindel (n) 1250, dan kedalaman potong (a) (0,35) konstan (Sudjatmiko, 2017).

Menurut Chou Kevin.Y.,Hui Song, (2004) penampang geram dan tebal geram yang relatif kecil mempengaruhi sistem pemotongan (kekakuan sistem) yang kurang begitu bagus, akan berpengaruh pada gaya radial menghasilkan dominan frekuensi yang besar. Dari asumsi penjelasan diatas penaksiran kualitas dengan nilai SR 0.59 μm pada run ke 9 dengan nilai (11.635 kHz) terbukti.

Tabel 5-27 menunjukkan rekapitulasi hasil prediksi dari penjelasan komponen utama (K_2, K_3, K_4) sebagai gambaran untuk menjawab uji hipotesa sinyal suara dan noise terhadap kualitas produk dengan menggunakan metoda *Principal Component Analysis* (PCA).



Gambar 5.35 Visualisasi Pola proporsi frekuensi sinyal suara (X_{frek}) komponen utama yang mendominasi pengamatan KU4.

Gambar 5.35 menunjukkan Visualisasi Pola proporsi frekuensi suara (X_{frek}) komponen utama mendominasi pada pengamatan KU₄ yaitu frekuensi suara terdapat 6 kisaran frekuensi yang diamati pada run 13,17, 22, dan 23, muncul pada kisaran $X_2 - X_6$ sinyal frekuensi suara sangat lemah. Demikian pula pada run 11 – 16, dan 17-20 muncul pada kisaran $X_{44} - X_{45}$ frekuensi sinyal suara sangat lemah.

Pada run ke 22-24 muncul pada kisaran $X_{44} - X_{46}$ sangat kuat dengan nilai kisaran

sinyal frekuensi suara yang tertinggi $X_{66} = 11.615$ Hz. Kisaran sinyal frekuensi yang subyektif dan obyektif sesuai dgn gambar 5.35, dimana nilai koefisien pada X_{64} (0.454385) lebih besar jika dibanding dengan X_{65} (0.386130), dan X_{66} (0.208185) menunjukkan proporsi frekuensi suara (X_{frek}) kuat.

Asumsi pada run ke 25 - 27 dapat diidentifikasi dengan kualitas produk : (1). SR 0,59 μm (min), (2). Nilai kebisingan 83 dB (min), (3) Nilai kebulatan 5,74 μm .

Tabel 5-27 Hasil prediksi sinyal frekuensi suara dengan metode PCA terhadap kualitas produk

KU	Parameter Pemotongan				Range Frek (Hz)	SR Data (μm)	SR PCA (μm)	RE Data (μm)	RE PCA (μm)	Catatan
	ns	n	vf	a						
2	0,4	1150	58	0,35	11968-12143	1,07	1,003	5,63	5,69	Signifikan
3	1,2	1000	60	0,35	5104 - 5279	0,79	0,752	5,78	5,79	Tidak signifikan
4	1,2	1250	58	0,35	11440-11615	0,59	0,823	5,74	5,58	Signifikan

5.2.9 Uji hipotesa parameter pemotongan dengan metode pohon keputusan (*Decision tree method*).

Metoda pohon keputusan (*Decision tree*) diolah dengan algoritma untuk menguji parameter pemotongan terhadap frekuensi sinyal suara, dengan tujuan untuk mempermudah mengidentifikasi letak posisi frekuensi sinyal suara.

Pada tabel 5.14 menunjukkan skor utama (KU) digunakan untuk mengidentifikasi letak posisi frekuensi sinyal suara menggunakan Algoritma akan diperoleh pohon keputusan (*Decision tree*). Uji hipotesa korelasi pohon keputusan terhadap parameter pemotongan ; radius pojok (ns), putaran (n), kecepatan makan (vf), dan kedalaman potong (a), menggunakan terminologi dalam pohon berakar (*node tree*) dijelaskan seperti berikut :

(a). Pohon keputusan tidak hanya dapat ditulis secara vertikal, namun juga dapat secara horizontal. Pada penulisan baik secara vertikal dan secara horizontal, pembacaan pohon keputusan dimulai dari kiri ke kanan.

(b). Pohon keputusan dibaca dari atas ke bawah. Simpul paling atas pada pohon keputusan ini adalah simpul akar (*node root*). Simpul yang ditandai dengan tanda kotak di simpul tersebut disebut dengan simpul keputusan. Cabang-cabang yang mengarah ke kanan dan ke kiri dari sebuah cabang keputusan mempresentasikan kumpulan dari alternatif keputusan yang bisa diambil. Hanya satu keputusan yang dapat diambil dalam suatu waktu.

(c). Simpul dalam (*Internal node*), merupakan node percabangan, hanya terdapat satu input serta mempunyai minimal dua output.

(d). Posisi, paling bawah sebuah pohon keputusan juga dapat ditambahkan sebuah titik akhir (*endpoint*), yang merepresentasikan hasil akhir dari sebuah lintasan dari akar pohon keputusan pohon keputusan tersebut sampai ke titik akhir itu.

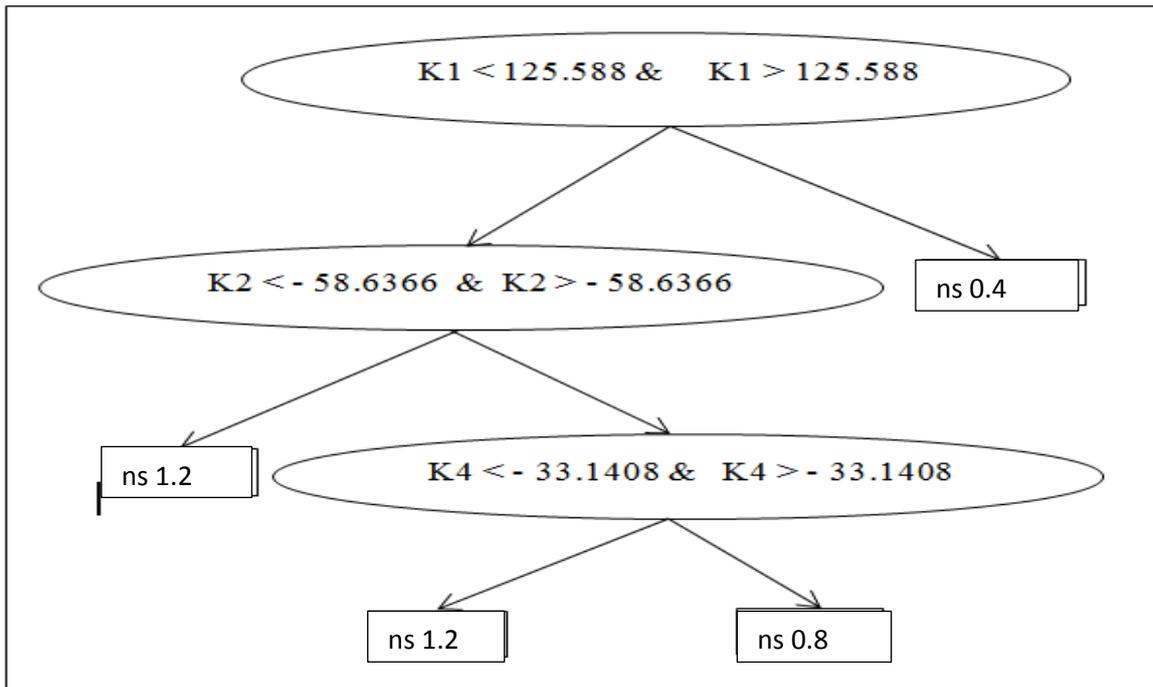
(e). Simpul akhir yang tidak mengalami pencabangan biasanya dikenal sebagai simpul daun (*leaf node*), atau simpul akhir (*terminal node*) hanya memiliki satu input, dan tidak memiliki output.

Hubungan paduan domain frekuensi komponen utama (K_1 , K_2 , dan K_4) terhadap parameter pemotongan (ns) pada gambar 5.36 memperlihatkan hasil pohon keputusan (ns), dimana simpul akar (*node root*) dengan hasil $K_1 < 125.588$ dan $K_1 > 125.588$ (tabel 5.28), memenuhi syarat menuju ke kiri $K_2 < -58.6366$ dan $K_2 > -58.6366$ (tabel 5.22) simpul daun (*leaf node*) paling akhir kiri (kotak nr 1,2).

Hal ini menunjukkan bahwa radius pojok (nr 1.2) pada K_2 domain frekuensi 11968-12143 Hz (tabel 5.24) pada run ke 19 ($K_2 < -$) dan ke 25 ($K_2 > -$). Selanjutnya untuk $K_4 < -33.1408$ & $K_4 > -33.1408$ (tabel 5.26) memenuhi syarat menuju ke kiri merupakan hasil simpul daun (*leaf node*) paling akhir kiri (kotak nr 1.2), hal ini menunjukkan bahwa radius pojok (nr 1,2) pada K_4 domain frekuensi 11440 – 11615 Hz (tabel 5.26) pada run ke 19 ($K_4 > -$) dan ke 25 ($K_4 < -$).

Dari simpul akar (*node root*) $K_1 <$ dan $K_1 >$ memenuhi syarat menuju ke ke kanan dengan hasil simpul daun (*leaf node*) paling akhir kotak (ns 0,4), hal ini menunjukkan bahwa radius pojok (ns 0,4) pada K_1 domain frekuensi 11616 – 11791 Hz (tabel 5.28) pada run ke 1 ($K_1 >$).

Dari simpul akar (*node root*) $K_4 < -$ dan $K_4 > -$ memenuhi syarat menuju ke ke kanan dengan hasil simpul daun (*leaf node*) paling akhir kotak (ns 0,8), hal ini menunjukkan bahwa radius pojok (ns 0,8) pada K_4 domain frekuensi 11616 – 11791 Hz (tabel 5.28) pada run ke 16 ($K_4 >$).



Gambar 5.36

Diagram pohon keputusan (ns) dengan paduan frekuensi komponen utama (K1, K2, dan K4)

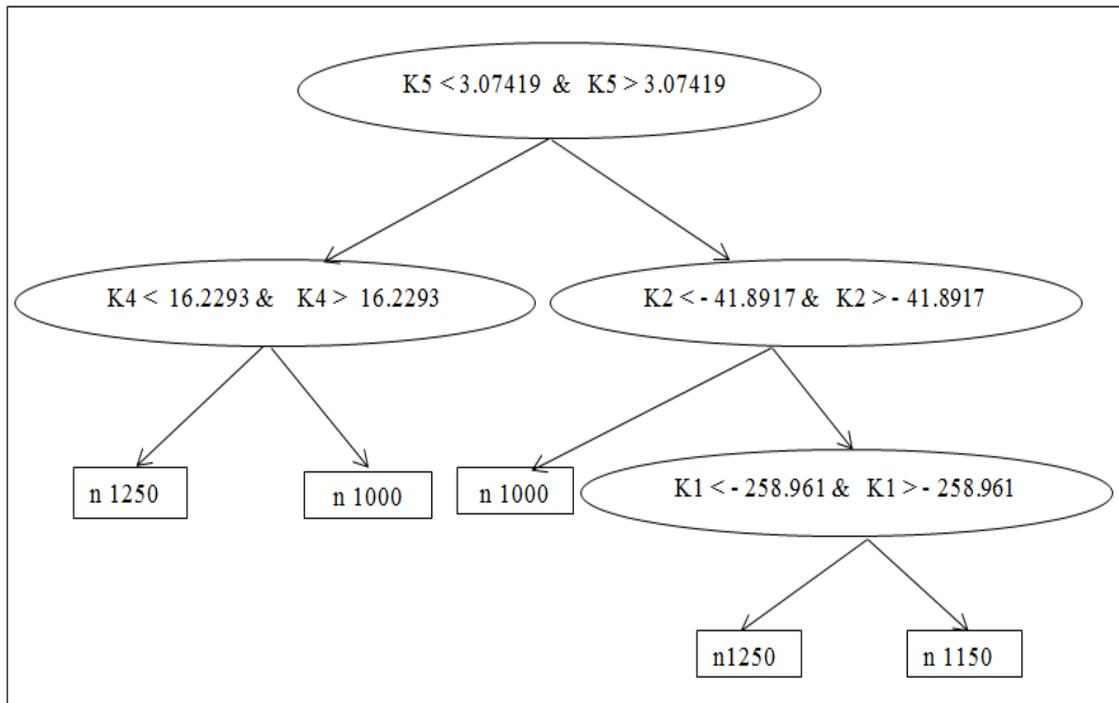
Tabel 5.28 menampilkan hasil KU_1 estimasi kisaran nilai frekuensi suara terdapat 6 kisaran frekuensi dominan 66 - 69 nilai pada kisaran maksimum $X_{67} = 11791$ Hz.

Tabel 5.28

K_1 didominasi oleh $X_5, X_{16}, X_{29}, X_{30}, X_{66}, X_{67}$

Frekuensi X	X_5	X_{16}	X_{29}	X_{30}	X_{66}	X_{67}
Kisaran Frek	704 - 879	2640 - 2815	4928 - 5103	5104 - 5279	11440 - 11615	11616 - 11791
Koefisien	0.1879736	0.1846229	0.17707157	0.1877354	0.177384861	0.18158687

Hubungan paduan domain frekuensi komponen utama (K_5, K_4, K_2 , dan K_1) terhadap parameter pemotongan (n) pada gambar 5.37 memperlihatkan hasil pohon keputusan (n), dimana simpul akar (*node root*) dengan hasil $K_5 < 3.07419$ dan $K_5 > 3.07419$ (tabel 5.29), memenuhi syarat menuju ke kiri $K_4 < 16.2293$ & $K_4 > 16.2293$ merupakan hasil simpul daun (*leaf node*) paling akhir kiri (kotak n 1250). Hal ini menunjukkan bahwa putaran spindel (n 1250) pada K_4 (tabel 5.26) domain frekuensi 11440 – 11615 Hz pada run ke 18 ($K_4 <$) dan ke 25 ($K_4 >$).



Gambar 5.37

Diagram pohon keputusan (n) dengan paduan frekuensi komponen utama (K5, K4, K2, dan K1).

Dari simpul akar (*node root*) $K5 < 3.07419$ dan $K5 > 3.07419$ ke arah kanan simpul daun (*leaf node*) $K2 < -41.8917$ & $K2 > -41.8917$ memenuhi syarat, selanjutnya ke arah kanan simpul daun (*leaf node*) $K1 < -258.961$ & $K1 > -258.961$ (tabel 5.26) hasil simpul daun (*leaf node*) paling akhir kanan (kotak n 1150), hal ini menunjukkan bahwa putaran spindel (n 1150) pada K1 (tabel 5.28) domain frekuensi 11616 – 11791 Hz pada run ke 23 ($K1 > -$).

Dari simpul daun (*leaf node*) $K4 < 16.2293$ & $K4 > 16.2293$ (tabel 5.26), merupakan hasil simpul daun (*leaf node*) paling akhir kanan (kotak n 1000), ini menunjukkan bahwa putaran spindel (n 1000) pada K4 (tabel 5.26) domain frekuensi 11440 – 11615 Hz pada run ke 11 ($K4 > -$).

Arah kiri simpul daun (*leaf node*) $K2 < -41.8917$ & $K2 > -41.8917$ (tabel 5.24) merupakan hasil simpul daun (*leaf node*) paling akhir kiri (kotak n 1000), ini menunjukkan bahwa putaran spindel (n 1000) pada K2 (tabel 5.22) domain frekuensi 11968 – 12143 Hz pada run ke 3 ($K2 > -$). Pada simpul daun (*leaf node*) ke arah kiri $K1 < -258.961$ & $K1 > -258.961$ (tabel 5.28) merupakan hasil simpul daun (*leaf node*) paling akhir kiri (kotak n 1250), ini menunjukkan bahwa putaran spindel (n 1250) pada K1 (tabel 5.28) domain frekuensi 11616 – 11791 Hz pada run ke 17, ($K1 < -$).

Hubungan paduan domain frekuensi komponen utama (K_4 , K_7 , dan K_5) terhadap parameter pemotongan (vf) pada gambar 5.30 memperlihatkan hasil pohon keputusan (vf), dimana simpul akar (*node root*) dengan hasil $K_4 < 21.6803$ & $K_4 > 21.6803$ (tabel 5.24), memenuhi syarat menuju simpul daun (*leaf node*) ke kiri $K_7 < 9.94663$ & $K_7 > 9.94663$ (tabel 5.29), memenuhi syarat menuju simpul daun (*leaf node*) ke kiri $K_5 < -20.9779$ & $K_5 > -20.9779$ (tabel 5.17) diperoleh simpul daun (*leaf node*) paling akhir kiri (kotak vf 56) dan akhir kanan (kotak vf 58).

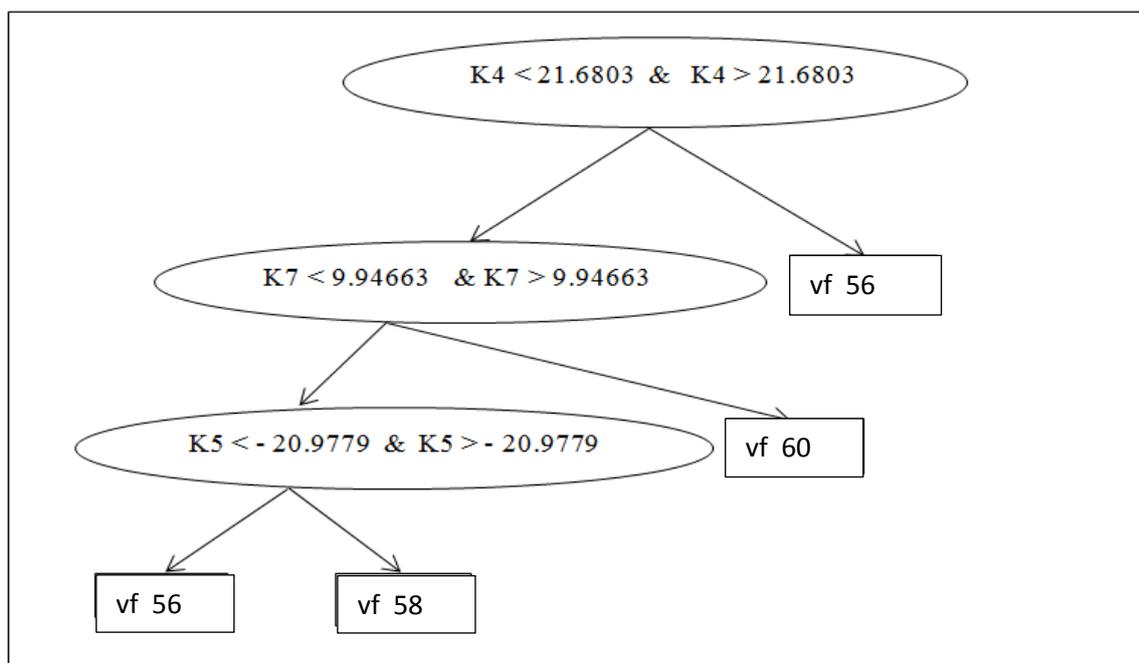
Hal ini menunjukkan bahwa gerak makan (vf 56 dan vf 58) pada K_5 (tabel 5.29) domain frekuensi 7392 – 7567 Hz pada run ke 16 (< -) dan run ke 18, (> -). Penjelasan pada K_5 memenuhi syarat dan subyektif, mengingat domain frekuensi pada K_5 jauh dibawah standart uji empirik, sehingga pada parameter pemotongan kecepatan makan (vf 56 dan 58) tidak layak digunakan uji hipotesa/ditolak.

Tabel 5.29 menampilkan hasil KU_5 estimasi kisaran nilai frekuensi suara terdapat 3 kisaran frekuensi dominan 42 - 43 nilai pada kisaran maksimum $X_{43} = 7567$ Hz.

Tabel 5. 29

K_5 didominasi oleh X_2, X_{42}, X_{43}

Frekuensi X	X_2	X_{42}	X_{43}
Kisaran Frek. (Hz)	176 - 351	7216 - 7391	7392 - 7567
Koefisien	0.3833125	-0.3492823	-0.2768366



Gambar 5.38

Diagram pohon keputusan (f) dengan paduan frekuensi komponen utama (K_4, K_7, K_5).

Dari simpul akar (*node root*) dengan hasil $K4 < 21.6803$ & $K4 > 21.6803$ (tabel 5.28), diperoleh simpul daun (*leaf node*) paling akhir kanan (kotak vf 56), ini menunjukkan bahwa gerak makan (vf 56) pada $K4$ (tabel 5.28) domain frekuensi 11440 – 11615 Hz pada run ke 2 ($K4 >$).

Dari simpul daun (*leaf node*) ke kanan $K7 < 9.94663$ & $K7 > 9.94663$ (tabel 5.28), diperoleh simpul daun (*leaf node*) paling akhir kanan (kotak vf 60), ini menunjukkan bahwa pada $K7$ (tabel 5.30) domain frekuensi 11088 – 11263 Hz pada run ke 14 ($K7 >$).

Tabel 5.28 menampilkan hasil KU_7 estimasi kisaran nilai frekuensi suara terdapat 7 kisaran frekuensi dominan 64 nilai pada kisaran maksimum $X_{64} = 11263$ Hz.

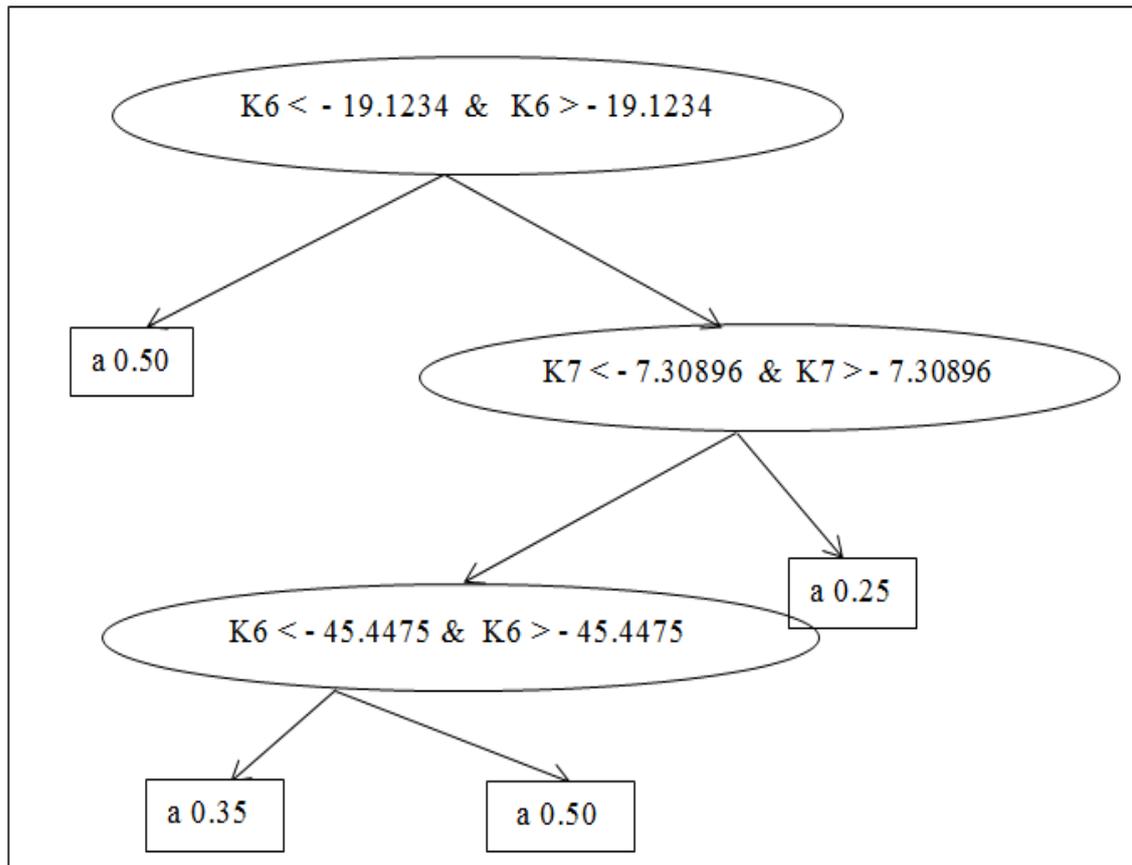
Tabel 5.30

K_7 didominasi oleh X_{17} , X_{18} , X_{19} , X_{20} , X_{27} , X_{29} , X_{64}

Frekuensi X	X_{17}	X_{18}	X_{19}	X_{20}	X_{27}	X_{29}	X_{64}
Kisaran Frek.	2816 - 2991	2992 - 3167	3168 - 3343	3344 - 3519	4576 - 4751	4928 - 5103	11088 - 11263
Koefisien	0.2060352	0.329937	0.3295426	0.2070937	0.2604444	-0.235077	-0.246136

Hubungan paduan domain frekuensi komponen utama (K_6 , dan K_7) terhadap parameter pemotongan (a) pada gambar 5.39 memperlihatkan hasil pohon keputusan (a), dimana simpul akar (*node root*) dengan hasil $K6 < -19.1234$ & $K6 > -19.1234$ (tabel 5.31), memenuhi syarat menuju ke kiri hasil simpul daun (*leaf node*) paling akhir kiri (kotak a 0,50), hal ini menunjukkan kedalaman potong (a 0,50) K_6 domain frekuensi 11440 – 11615 Hz pada run ke 19 ($>$ -) dan ke 25 ($<$ -).

Dari simpul akar (*node root*) $K6 < -19.1234$ & $K6 > -19.1234$ ke arah kanan simpul daun (*leaf node*) $K7 < -7.30896$ & $K7 > -7.30896$ (tabel 5.30) memenuhi syarat diperoleh simpul daun (*leaf node*) paling akhir kanan (kotak a 0,25), hal ini menunjukkan kedalaman potong (a 0,25) K_7 (tabel 5.30) domain frekuensi 11088 – 11263 Hz pada run ke 1 ($K7 <$ -).



Gambar 5.39

Diagram pohon keputusan (a) dengan paduan frekuensi komponen utama (K6 dan K7).

Tabel 5.31 menampilkan hasil KU_6 estimasi kisaran nilai frekuensi suara terdapat 7 kisaran frekuensi dominan 64 nilai pada kisaran maksimum $X_{64} = 11263$ Hz.

Tabel 5.31

K_6 didominasi oleh X_{41} , X_{42} , X_{43} , X_{45} , X_{46} , X_{47} , X_{64}

Frekuensi (X)	X_{41}	X_{42}	X_{43}	X_{45}	X_{46}	X_{47}	X_{64}
Kisaran Frek. (Hz)	7040 - 7215	7216 - 7391	7392 - 7567	7744 - 7919	7920 - 8095	8096 - 8271	11088 - 11263
Koefisien	0.29532432	0.3225112	0.2468844	-0.248828	-0.2929343	-0.247765	-0.25618406

Dari simpul daun (*leaf node*) $K7 < - 7.30896$ & $K7 > - 7.30896$, memenuhi syarat ke arah kiri $K6 < - 45.4475$ & $K6 > - 45.4475$, selanjutnya diperoleh hasil simpul daun (*leaf node*) paling akhir kiri (kotak a 0,35) dan kanan (kotak a 0,50), hal ini menunjukkan kedalaman potong (a 0,35) dan (a 0,50) K_6 (tabel 5.29) domain frekuensi 11088 – 11263 Hz pada run ke 20 ($K_6 < -$).

Tabel 5.32 menunjukkan rekapitulasi hasil prediksi dari penjelasan metode pohon keputusan komponen utama (K_1 , K_2 , K_3 , K_4 , K_5 , K_6 , dan K_7) sebagai gambaran untuk menjawab uji hipotesa parameter pemesinan terhadap sinyal suara dan noise.

Tabel 5.32

Hasil prediksi metode pohon keputusan terhadap parameter pemesinan

Run	KU	Parameter Pemotongan				Range Frek (Hz)	Noise (d_B)	SR Data (μm)	RE Data (μm)	Keterangan
		ns	n	vf	a					
19	2	1,2				11968-12143	81,37	0,79	5,79	Signifikan
1	1	0,4				11616-11791	80,65	1,11	5,32	Signifikan
19	3	1,2				11440-11615	81,37	0,79	5,79	Signifikan
16	4	0,8				11616-11791	84,20	1,10	5,64	Signifikan
18	4		1250			11440-11615	84,20	1,10	5,64	Signifikan
23	1		1150			11616-11791	84,95	0,65	5,64	Signifikan
11	4		1000			11440-11615	83,74	1,25	5,50	Signifikan
3	2		1000			11968-12143	80,65	1,10	5,32	Signifikan
17	1		1250			11616-11791	84,20	1,11	5,64	Signifikan
16*	5			56		7392-7567	84,20	1,10	5,64	Tidak Signifikan
18*	5			58		7392-7567	81,37	1,07	5,64	Tidak Signifikan
2	4			56		11440-11615	80,65	1,10	5,32	Signifikan
14	7			60		11088-11263	86,16	1,12	5,63	Signifikan
19	6				0,50	11440-11615	81,37	0,79	5,79	Signifikan
1	7				0,25	11088-11263	80,65	0,92	5,32	Signifikan
20	6				0,35	11088-11263	81,37	0,79	5,79	Signifikan
20	6				0,50	11088-11263	84,95	0,65	5,64	Signifikan

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Hasil-hasil analisis dan pembahasan pada bagian sebelumnya dan kaitannya dengan tujuan penelitian, maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Desain optimum berdasarkan kekasaran permukaan dengan $n_s = 1,2$ mm, $n = 1250$ rpm, $v_f = 56$ mm/menit, dan $a = 0,50$ mm dipilih sebagai parameter proses putaran optimal untuk penelitian ini menghasilkan nilai pengamatan optimal (Kekasaran Permukaan = $0,65 \mu\text{m}$ dan Kebulatan = $5,64 \mu\text{m}$).

2. Model persamaan regresi area keausan tepi pahat (V_b) :

$$V_B = 0,320370 - 0,073704 n_s - 0,021481 n - 0,041481 v_f - 0,032593 a, \text{ dan}$$

Model persamaan regresi rasio kerampingan geram (δ) :

$$\delta = 7,18889 - 1,17556 n_s - 0,59222 n - 0,60222 v_f - 0,09111 a.$$

Pengaruh korelasi nilai R^2 sangat kuat terhadap rasio kerampingan geram 94,45 %, dan permukaan area keausan tepi pahat 67,30%.

3. A. Nilai kebisingan pada kondisi :

Nilai SPL range (80,37 – 84) dB, Frekuensi range (11440 – 12143) Hz, dengan kondisi pemotongan n_s 1,2; n 1250; v_f 58; a 0,25 dan n_s 0,4; n 1000; v_f 56, a 0,25, menurut standardisasi tingkat kebisingan/SPL 80 – 100 dBA dan standardisasi frekuensi (5000 – 12500) Hz, asumsi rata-rata per hari 8 jam kerja proses bubut, tidak termasuk yang membahayakan bagi pendengaran khususnya gendang telinga.

B. Persamaan model menggunakan regresi PCA, $SR_{\text{model}} = 0,95487 + 0,0015747 K_2 + 0,0012907 K_3 + 0,0035823 K_4$, hasil tren error SR sebesar 9,55%, dan persamaan model menggunakan regresi PCA, kebulatan $RE_{\text{model}} = 5,6166 - 0,0015691 K_3 - 0,0012662 K_4 + 0,00095288 K_5 - 0,0013742 K_6 - 0,0018274 K_7$, hasil tren error rata-rata RE sebesar 1,1 % dan pengaruh kisaran parameter pemotongan menggunakan metode pohon keputusan adalah ;

(a). radius pojok (n_s) 0,4 mm, frekuensi 11791 Hz, dan SPL 80,65 dB,

(b). putaran spindel (n) 1000 rev/min, frekuensi 11615 Hz, dan SPL 83,74 dB,

(c). kecepatan makan (v_f) 56 mm/menit, frekuensi 11615 Hz, dan SPL 80,65 dB,

(d). kedalaman potong (a) 0,35 mm, frekuensi 11263 Hz, SPL 80,37 dB,

6.2 Saran

Untuk penelitian lebih lanjut domain time/amplitudo domain frekuensi, kekasaran permukaan, dan kebulatan pada proses bubut diperlukan peralatan yang memadai dan akurat, sehingga akan memperoleh hasil yang optimal.

Untuk memperoleh hasil yang lebih baik pada rancangan penelitian bervariasi dari variabel pemotongan dan geometri pahat yang berbeda, akan menghasilkan nilai kisaran amplitudo, frekuensi, terhadap hasil kualitas lebih konkrit.



DAFTAR PUSTAKA

- Abry, P., P.Goncalves., P. Flandrin., 1993. Wavelet-based spectral analysis of process International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing, IEEE, Proceedings, *ICASP* 3, 237–240.
- Agilent Technologies, 2000. *The Fundamentals of Signal Analysis Application*. Published.
- A.K. Ghani, I.A. Choudhury., 2002. Study of tool life, surface roughness and vibration machining nodular cast iron with ceramic tool, *Journal of Materials Processing Technology* 127, 17–22.
- Azhar Syofyan Rambe, Adiwijaya, Andrian Rakhmatsyah, 2007. Kompresi citra digital dengan menggunakan hebbian based PCA (principal components analysis). *Tugas Akhir dipublikasikan Telkom University*.
- Away Abdia Gunadi., 2010. The Short MATLAB Programming R2013a. Cetakan Ke lima Penerbit PT Informatika Bandung.
- Abuthakker S.S., P. V. Mohanrm., G. Mohankumar., 2011. The Effect of Spindle Vibration on Surface Roughness of Workpiece in Dry Turning. Using Ann, *International Journal of Lean Thinking Volume 2, Issue 2*.
- Augustaitis , V.K. Bucinskas, V., 2011. Dependency of bearing Noise Properties on Surface Lubrication. *Journal of Mechanical* 17(4) : 381-286.
- Ana Ifadah., 2011. Analisis Metode Principal Component Analysis (Komponen Utama) dan Regresi Ridge dalam Mengatasi Dampak Multikolinearitas dalam Analisis Regresi Linear Berganda. *Skripsi dipublikasikan Sarjana Sains Program Studi Matematika Jurusan MIPA Universitas negeri semarang*.
- Azmi Zulfiyan dan Muhammad dahria., 2013. Decision tree berbasis algoritma untuk pengambilan Keputusan. *Jurnal SAINTIKOM* Vol.12, No.3, hal.157-164. Universitas Gunadarma Bekasi.
- Abhang, LB., M Hameedullah., 2014. Parametric investigation of turning process on en-31 steel. *Procedia Materials Science* 6, 1516 – 1523.
- Arora, Deepti ., 2016. Study of Effect of Machining Parameters on Surface Finish and Noise Patterns for Machining EN 19 Steel with PVD TiN Coated Mixed Ceramic Inserts in CNC Turning Operation (A Dissertation Submitted In Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of). Master of engineering In Production engineering. *Department of mechanical engineering Thapar university Patiala-147004, India*.

- Alessandra Caggiano.,2018.Tool Wear Prediction in Ti-6Al-4V Machining through Multiple Sensor Monitoring and PCA Features Pattern Recognition. *Journal Sensors* 18, 823.
- Benardos, P.G., G.C. Vosniakos,2003. Predicting Surface Roughness in Machining.: A Review,” *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, vol. 43, pp. 833-8445.
- Berry, Michael J.A.,Gordon S., Linoff. 2004. Data mining techniques for marketing sales, customer relationship management Second edition. *Wiley publishing, Inc.*
- Boothroyd, Geoffery., 2006. Fundamentals of Metal Machining and Machine Tool. 3rd e., Winston Anthony Knigh.
- Breyse Patrick. N., Peter S.J. Lees.,2006. Noise. *Lecture 8*. Johns Hopkins University.
- Bhuiyan, M., Choudhury, S., Nukman, Y.,2012. Tool condition monitoring using acoustic emission and vibration signature in turning. *Proceedings of the World Congress on Engineering*, vol. III, pp 2–6.
- Basha N.Zeelan, Vivek., 2013. Optimization of CNC Turning Process Parameters on Aluminium 6061 Using response surface methodology. *IRACST – Engineering Science and Technology: An International Journal (ESTIJ)*, Vol. XXX, No. XXX.
- Brikena Khaja., Eglantina Kalluci.,Ligor Nikolla.,2015. Wavelet Transform Applied In Signal processing. *European Scientific Journal*, edition vol.11, No.12 ISSN: 1857 – 7881 (Print) e - ISSN 1857- 743.
- Bagus Sartono.,2015. Seri tulisan data mining Pohon klasifikasi - bagian 1(Gambaran umum dan algoritma dasar yang perlu diketahui) *dipublikasikan*.
- Carr, Peter ., Dilip B. Madan, Robert H Smith.,1997. Option Valuation Using the Fast Fourier Transform. *School of BusinessVan Munching Hal University of Maryland College Park*, MD 20742.
- Childs., Thomas., Katsuhiro Maekawa., Toshiyuki Obikawa., Yasuo Yamane., 2000. Metal Machining Theory and Applications. *Copublished in North, Central and South America by John Wiley & Sons Inc.*, 605 Third Avenue, New York, NY 10158–0012.
- Chou Kevin.Y.,Hui Song., 2004.Tool nose radius effects on finish hard turning. *Journal of material processing Technology*, (148) 259-268.
- Corinthios, Michael.,2009. Signals, Systems, Transforms, and Digital Signal Processing with MATLAB , *Taylor and Francis Group, LLC published*.
- Dogra, M V. S.Sharma, J. Dureja.,2011. Effect of tool geometry variation on finish turning. *Journal of Engineering Science and Technology (Jestr)* 1-13.

- Denyfarhanptm.blogspot.com/2014/05/paparan-kebisingan.html) (*diakses 22 September 2017, jam 0:38*).
- Devendiran S., K. Manivannan.,2013.Condition Monitoring on Grinding wheel Wear Using Wavelet Analysis and Decision Tree C4.5 Algorithm. *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*, ISSN : 0975-4024 Vol 5 No 5.
- Dimla D.E.,2000. Sensors signals for tool-wear monitoring in metal cutting operation A Review of methods. *International Journal of Machine tools and Manufacture*,40: 1073–1098.
- Endres William J., Raja K. Kountonya.,2002. The Effects of Corner Radius and Edge Radius on Tool Flank Wear., *Journal of Mechanical Engineering Manufacturing Processes* Vol. 4- No. 2.
- Gabriel, J.F.,1996. Fisika Kedokteran. Penerbit Buku Kedokteran EGC. Jakarta.
- Goitondo V.N., S.R. Karnik., J. Paulo Davim., 2009. Multiperformance Optimization in Turning of Free-Machining Steel Using Taguchi Method and Utility Concept. *Journal of Material Engineering and Performance*, Volume 18 (3) 231.
- Gok Arif .,Cevdet Gologlu.,Ibrahim H., Demirci.,Mustafa Kurt., 2012. Determination of surface Qualities on Inclined Surface Machining with Acoustic Sound Pressure , *Journal of Mechanical Engineering* 58,10, 587-597.
- Ghorbani. S, N. I., Polushin.,2017. An Alternative Approach for Assessing the Impact of Cutting Conditions on Surface Roughness Using Single Decision Tree. World Academy of Science, Engineering and Technology *International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering* Vol:11, No:4.
- Gangadhar. N, Hemantha Kumar and S. Narendranath, V. Sugumaran., 2018. Condition Monitoring of Single Point Cutting Tools Based on Machine Learning Approach. *International Journal of Acoustics and Vibration*, Vol. 23, No. 2. pp. 131- 137.
- Hocheng H., M.L. Hsieh.,2004. Signal analysis of surface roughness in diamond turning of lens molds. *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 44 -1607–1618.
- Haykin, Simon., 2004. Signals and Systems. *John Wiley* Singapore.
- Hassan, N., Hussain, A.,2009. Self – excited vibration and noise in machine. *Journal AL Tagani*,vol. 22(3),pp 65– 77.
- Ingle Vinay K., John G. Proakis.,2012. Digital Signal Processing Using MATLAB Third Edition, *Northeastern University, Publisher, Global Engineering*.
- Jolliffe and Rowlings 1986. Principal Component Analysis New York: *Spinger,published*.
- Johnson, Richard A & Wichern, Dean W., 1998. Applied Multivariate Statistical Analysis.New Jersey: *Prentice-Hall International Inc.*, ISBN 0-13-080084-8.

Jolliffe, IT.,2002. Principal Component Analysis. Second edition. Departement of Mathematical Sciences. King,s College University of Aberdeen. Publisher Springer-Verlag New York.

Jiao Yue., Shuting Lei., I. J. Pei., E.S. Lee., 2004. Fuzzy adaptive networks in machining process modeling: Surface roughness prediction for turning operations, *Journal Machine Tools and Manufacture* 41(15) :1653-51.

Jirapattarasilp Komson., and Choobunyen Kuptanawin., 2012. Effect of Turning Parameters on Roundness and Hardness of Stainless Steel : SUS 303.AASRI *Procedia* 3,160 – 165.

Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 48/MENLH/11/1996,. Baku Tingkat Kebisingan.Jakarta.

Kishore Prahallad., 1996. Spectrogram, Cepstrum and Mel-Frequency Analysis Carnegie Mellon University & *International Institute of Information Technology* Hyderabad.

Kuttolamadom Mathew A. Sina Hamzehlouia, M. Laine Mears.,2010. Effect of Machining Feed on Surface Roughness in Cutting 6061 Aluminum. Clemson University - International Center for Automotive Research,pp.1-19 -01-0218.

K.R. Rao, D.N., Kim I, J.J. Hwang.,2010. Fast Fourier Transform: Algorithms and Applications. *Springer*, New York, USA.

Krishankant., Taneja., Mohit Bector., Rajesh Kumar.,2012. Application of Taguchi Method for Optimizing Turning Process by the effects of Machining Parameters. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)* ISSN: 2249 – 8958, Volume-2, Issue-1.

K. Sundara Murthy, I. Rajendran., 2012. Optimization of End Milling Parameters under Minimum Quantity Lubrication Using and Grey Relational Analysis. *Journal of the Braz. Soc. of Mech. Sci. & Eng.* Vol. XXXIV, No. 3.

M. Arbi Hadiyat., 2012. Application of multirespon optimization using hybrid Principal Component Analysis - Taguchi in Turning Polyacetal Material. SNTI III Trisakti Jakarta.

Niosh (National Institute of Occupational Safety and Health)., 1981. Parctices Guide for Manual Lifting, DHHS (NIOSH) Publication No 81,122, Cincinnati, OH

National Instrument., 2005. Advanced Signal Processing Toolkit. *Wavelet Analysis Tools User Manual*.

Murthy, Madhav ., K.Mallik harjuna Babu., and R.Suresh Kumar.,2014. Optimization of Machinability Parameters of Al 6061 using Taguchi Technique. *International Journal of Current Engineering and Technology* ISSN 2277 – 4106.

- Mathwork. R.2014b., <http://www.mathworks.com/help/matlab/ref/fft.html>, diakses 24.03.2018 jam 22.20.
- O.B. Abouelatta, J. Madl, 2001. Surface roughness prediction based on cutting parameter and tool vibrations in turning operations, *Journal of Materials Processing Technology* 118 , 269–277.
- Paul S. Addison., 2002. The Illustrated Wavelet Transform Handbook, *Institute of Physics*, ISBN 0-7503-0692.
- Patrick F. Cunniff., 2007. Sound wave propagation, speed of propagation, sound intensity and sound power. John Wiley & Sons, Inc.
- Patrick, Cunniff F., 2007, Environmental Noise Pollution, *John Wiley & Sons Inc.* Canada.
- Purba, H., 2008. Diagram fishbone dari Ishikawa. Retrieved from [http://hardipurba.com/\(diakses 2016/09/25/\) diagram-fishbone-dari-ishikawa.html](http://hardipurba.com/(diakses%202016/09/25/)diagram-fishbone-dari-ishikawa.html).
- Pengcheng Huo, Minliang Zhang., Lei Gao., Ran Li., 2014. On Line Tool Condition Detection Based on Acoustic Signal. *International Journal of Applied Science and Technology* Vol. 4, No. 4; July. School of Mechanical Engineering Shanghai University of Engineering Science Shanghai China.
- Quinlan J.R., 1986. Induction of Decision Trees. Manufactured in The Netherlands, Kluwer Academic Publishers, Boston. Machine Learning 1: 81-106.
- Qehaja Nexhat., Kaltrine Jakupi., Avdyl Bunjaku., Mirlind Bruçi., Hysni Osmani., 2015 Effect of Machining Parameters and Machining Time on Surface Roughness in Dry Turning Process. *Procedia Engineering* 100, 135 – 140.
- Richard TRW, Lyons., 1998. Windowing Functions Improve FFT Result Sunnyvale.
- Rafezi Hamed., Mehdi Behzad., Javad Akbari., 2012. Time Domain and Frequency Spectrum Analysis of Sound Signal for Drill Wear Detection. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, Vol. 4, No. 5, October.
- Rao C.R. Prakash., Bhagyashekar M.S., Narendraviswanath., 2014. Effect Machining Parameters on the Surface Roughness while Turning Particulate Composites. *Procedia Engineering* 97, 421 – 431.
- Riyanto Sugeng., Agus Purwanto., Supardi, 2009. Algoritma Fast Fourier Transform (FFT) Decimation In Time (DIT) Dengan Resolusi 1/10 Hertz *Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Pendidikan, dan Penerapan MIPA* Fakultas MIPA, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rafezi Hamed., Mehdi Behzad., Javad Akbari., 2012. Time Domain and Frequency Spectrum Analysis of Sound Signal for Drill Wear Detection. *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, Vol. 4, No. 5, October.

- Reddy., Sreenivasulu., Srinivasa Rao.,2012. Application of gray relational analysis for Surface roughness and roundness error in drilling of al 6061Alloy. *International Journal of Lean Thinking* Volume 3, Issue 2.
- Smith I., 2002, *A tutorial on Principal Components Analysis*, Publisher John Wiley & Sons Inc.
- Stoimenov., Boyko L., Maruyama Suguru., Adachi Koshi., Kato Koji.,2007. The roughness effect on the frequency of frictional sound. *Journal Tribology International*, 40(4):659 – 664. NORDTRIB.
- Suhail, Adee.H., N. Ismail., S.V. Wong., N. A. Abdul Jalil., 2010. Optimization of Cutting Parameter Based on Surface Roughness and Assistance of Workpiece Surface Temperature in Turning Process. *American Journal of Engineering and Applied Sciences* 3 (1) : 102-108.
- Sahoo,Smruti Ranjan.,2011. Prediction of machining parameters for optimum Surface Rough ness in turning SS 304. *National Institute of Technology Department of Mechanical Engineering Rourkela*.
- Seemuang, N & T. McLeay & T. Slatter.,2016. Using spindle noise to monitor tool wear in a turning process. *Int J Adv Manuf Technol*. DOI 10.1007/s00170-015-8303-8.
- Sudjatkiko, Soenoko. R, Suprpto A, Choiron A.,2017. Surface Roughness and Roundness Optimization on Turning Process of Aluminium Alloy with Taguchi Method. *Journal of Mechanical Engineering*. Vol 14. Issue 1, P. 87-96.
- Thomas Childs, Katsuhiko Maekawa, Toshiyuki Obikawa, Yasuo Yamahe.,2000. *Metal Machining (Theory and Applications)*,” by John Wiley & Sons Inc, pp. 35-57 & 118-135.
- Tarwaka, Solichul H.A., Bakri, Sudiajeng, L., 2004. *Ergonomi untuk Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Produktivitas*. Surakarta: UNIBA PRESS.
- Ulfiana, Andi,2010. Analisis Pengaruh Missalignment terhadap Vibrasi dan Kinerja Motor Induksi. *Tesis dipublikasikan MIPA-Fisika Universitas Indonesia*.
- Weck, Manfred.,1984. *Handbook Machine Tools, Volume 4, Metrological Analysis and Performance Test*. *John Wiley & Sons Inc*.
- Wardhana, Wisnu Arya., 2001. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. PT. Andi Offset, Yogyakarta.