

**ANALISIS KORELASI GETARAN MESIN FRAIS
HORIZONTAL TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN
BAJA KARBON DALAM PROSES PEMOTONGAN**

***CORRELATE VIBRATION ANALYSIS ON THE SURFACE
ROUGHNESS OF CARBON STEEL IN THE CUTTING
PROCESS OF THE SLAB MILLING***

YAFET BONTONG



**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2011**

**ANALISIS KORELASI GETARAN MESIN FRAIS
HORIZONTAL TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN
BAJA KARBON DALAM PROSES PEMOTONGAN**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

**Program Studi
Teknik Mesin / Konstruksi Mesin**

Disusun dan diajukan oleh

**YAFET BONTONG
P2202209004**

Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2011**

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : YAFET BONTONG
Nomor Pokok : P2202209004
Program studi : Teknik Mesin / Konstruksi Mesin

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 20 Mei 2011

Yang menyatakan,

YAFET BONTONG

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan Syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan yang Maha Kuasa, oleh karena berkat dan pertolongannya sehingga tesis ini dapat diselesaikan, sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi program magister pada Program Pascasarjana Universitas Hasanuddin Makassar.

Dalam penyusunan tesis ini kami tidak luput dari beberapa kendala, namun karena adanya bantuan dan bimbingan dari berbagi pihak sehingga tesis ini kami dapat selesaikan. Oleh karena itu, penulis dengan tulus mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Hammada Abbas, MSME selaku ketua komisi penasehat dan bapak Rafiuddin Syam, ST, M.Eng, Ph.D sebagai anggota komisi penasehat, atas bimbingannya mulai dari pemilihan judul sampai selesainya tesis ini
2. Bapak Rafiuddin Syam, ST, M.Eng, Ph.D sebagai ketua Program Studi Teknik Mesin Program Pascasarjana Unhas yang telah banyak membantu dalam penyusunan tesis ini
3. Seluruh Dosen penguji yang telah turut memberikan masukan pada saat seminar proposal dan seminar hasil penelitian
4. Seluruh Dosen Program Pascasarjana Fakultas Teknik Program Studi Teknik mesin yang telah turut membimbing selama ini
5. Seluruh rekan-rekan Politeknik Negeri Ujung Pandang, yang telah membantu dalam proses pelaksanaan penelitian

6. Seluruh rekan-rekan yang tidak sempat kami tulis namanya satu persatu atas segala bantuan dan sarannya, penulis juga tidak lupa mengucapkan terima kasih.

Penulis telah berusaha untuk menyelesaikan tesis ini dengan sempurna tapi menyadari sepenuhnya masih terdapat kekurangan. Oleh karena saran dan kritik demi kesempurnaan penulisan ini, dengan senang hati kami terima. Semoga tesis ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, Mei
2011

Penulis

Yafet Bontong

ABSTRAK

YAFET BONTONG . *Analisis Korelasi Getaran Mesin Frais Horizontal Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Karbon Dalam Proses Pemotongan* (dibimbing oleh Hammada Abbas dan Rafiuddin Syam).

Tujuan penelitian ini untuk mencari besar pengaruh variabel-variabel proses pemesinan pada mesin frais, seperti : material, putaran, kedalaman potong, gerak insut terhadap amplitudo getaran mesin dan kekasaran permukaan benda kerja. Kegunaan penelitian ini memberikan informasi mengenai amplitudo getaran mesin dan kekasaran permukaan benda kerja khususnya pada pengaruh putaran, gerak insut, dan kedalaman potong pada proses pemotongan mesin frais. Dari hasil analisa dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut : Pengaruh variabel material, putaran, gerak insut, dan kedalaman potong sangat signifikan terhadap amplitudo getaran mesin dan kekasaran permukaan benda kerja. Korelasi variabel material terhadap amplitudo getaran 57.5 % dan kekasaran permukaan 63.3 %, putaran terhadap amplitudo getaran 57.2 % dan kekasaran permukaan 31.5 %, gerak insut terhadap amplitudo getaran 33.4 % dan kekasaran permukaan 45.6 %, kedalaman potong terhadap amplitudo getaran 37.6 % dan kekasaran permukaan 44.4 %, serta amplitudo getaran terhadap kekasaran permukaan 90.0 %.

Kata kunci : material, putaran, kedalaman potong, gerak insut, getaran dan kekasaran permukaan.

ABSTRACT

YAFET BONTONG . *Correlate Vibration Analysis on the Surface Roughness of Carbon Steel in the Cutting Process of the Slab Milling* (supervised by Hammada Abbas and Rafiuddin Syam).

The aims of this research are to determine the of effects of variable in the slab milling process such as : material, spindle rotation, feeding, and depth of cut , vibration and surface roughness . The purpose of this research provides information on the amplitude of vibration of the machine and workpiece surface roughness, especially on the effect of rotation, insut motion, and depth of cut on the milling process. From the analysis and discussion can be summarized as follows: Effect of material variables, rotation, insut motion, and depth of cut is very significant on the amplitude correlation factor between material with vibration and material with roughness were 57.5% and 63.3%, respectively. Then it was found also the corelation factor between spindle with vibration and spindle rotation with roughness are 57.2% and 31.5% respectively. For feeding variable it was faund 33.4% for vibration and 45.6% for roughness factor. Finally, the corelation between depth of cut with vibration and roughness were 44.4% and 90.0%.

Key word : material , rotation, depth of cut, feeding, vibration, and surface roughness

DAFTAR ISI

| | |
|----------------------------------|----------|
| Halaman judul | i |
| Halaman Pengajuan | ii |
| Lembar Pengesahan | iii |
| Lembar Pernyataan Keaslian Tesis | iv |
| Kata Pengantar | v |
| Abstrak | vi |
| Abstract | vii |
| Daftar Isi | viii |
| Daftar Gambar | xi |
| Daftar Tabel | xv |
| Daftar | Lampiran |
| xvii | |
| Daftar | Notasi |
| xviii | |
| I. PENDAHULUAN | |
| A. Latar Belakang | 1 |
| B. Rumusan Masalah | 4 |
| C. Tujuan Penelitian | 4 |
| D. Manfaat Penelitian | 5 |
| E. Batasan Masalah | 6 |
| II. TINJAUAN PUSTAKA | |
| A. Tinjauan Umum Tentang Getaran | 7 |
| B. Karakteristik Getaran | 8 |
| C. Parameter Getaran | 10 |
| D. Pemilihan Parameter Getaran | 11 |

| | | |
|------|---|----|
| | E. Kekasaran Permukaan | 12 |
| | F. Tinjauan Umum Tentang Proses Mesin frais ¹⁴ | |
| 15 | 1. Elemen Dasar Proses Frais | |
| | 2. Bentuk Pahat frais Horisontal | 16 |
| | 3. Gaya Pemotongan Pada Proses Frais | 18 |
| | G. Analisis Regresi | 20 |
| | 1. Model Regresi Linier Sederhana | |
| | 2. Asumsi-asumsi Penting dalam Analisa Regresi | 21 |
| | 3. Metode Kuadrat Terkecil Untuk Regresi Linier | 22 |
| 22 | 4. Regresi Tak Linier | |
| | 5. Regresi Linier Berganda | 23 |
| | H. Analisis Korelasi | |
| III. | METODE PENELITIAN | |
| | A. Lokasi dan Waktu Penelitian | 29 |
| | B. Bahan yang Digunakan | |
| 29 | | |
| | C. Alat yang Digunakan | |
| 29 | | |
| | D. Rancangan Penelitian | 30 |
| | E. Skema Peralatan | |
| 31 | | |
| | F. Pelaksanaan Penelitian | 32 |
| | G. Prosedur Percobaan dan Pengambilan | 33 |
| | H. Skema Pelaksanaan Penelitian | 34 |
| | I. Teknik Analisa | 35 |
| IV. | HASIL DAN PEMBAHASAN | |
| | A. Hasil | 36 |

| | | |
|----|--|----|
| | 1. Uji Tarik | 36 |
| | 2. Analisis Getaran | 37 |
| | 3. Analisis Kekasaran Permukaan | 46 |
| | 4. Analisa Korelasi | 56 |
| 60 | B. Hasil Tabel dan Grafik | |
| | 1. Perbandingan Kekasaran | 47 |
| | 2. Analisa Regresi Kekasaran | 53 |
| | 3. Korelasi antara Variabel Bebas dengan Getaran | 59 |
| | 4. Korelasi antara Variabel bebas dengan Kekasaran | 60 |
| | 5. Korelasi antara Getaran dengan Kekasaran | 61 |
| | C. Pembahasan | 81 |
| V. | PENUTUP | |
| | A. Kesimpulan | 87 |
| | B. Saran | 87 |
| | DAFTAR PUSTAKA | 88 |
| | Lampiran – Lampiran | |
| | 1.a Tabel Pengamatan St 42 | 90 |
| | 1.b Tabel Pengamatan St 60 | 91 |
| | 2.a Hasil Uji Tarik St 42 | 92 |
| | 2.b Hasil Uji Tarik St 60 | 93 |
| | 3. Foto Penelitian | |
| 94 | | |

DAFTAR GAMBAR

| | Halaman |
|---|----------|
| Gambar 2.1 Pegas dengan Gerakan Harmonik Sederhana | 8 |
| Gambar 2.2 Gerak Harmonik | 10 |
| Gambar 2.3 Profil Kekasaran Permukaan | 13 |
| Gambar 2.4 Proses Frais Datar | 15 |
| Gambar 2.5 Proses Frais dengan Pahat Bergigi Miring | 17 |
| Gambar 2.6 Gerakan Sikloidal gigi Pahat Frais | 18 |
| Gambar 2.7 Jenis-jenis | Korelasi |
| | 24 |
| Gambar 3.1 Skema Peralatan Pengujian | 31 |
| Gambar 3.2 Skema Pelaksanaan Penelitian | 34 |
| Gambar 4.1 Spesimen uji tarik | 36 |
| Gambar 4.2 Hubungan antara kedalaman potong terhadap getaran st 42, n 180 | 38 |
| Gambar 4.3 Hubungan antara kedalaman potong terhadap getaran, St 60, n 180 | 38 |
| Gambar 4.4 Hubungan antara Putaran terhadap Ampl getaran, st 42, a 0.2 | 40 |
| Gambar 4.5 Hubungan antara putaran terhadap Ampl getaran st 60,0.2 | 40 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.6 Hubungan antara kedalaman potong terhadap kekasaran | |
| Permukaan st 42 ,n 180 | 47 |
| Gambar 4.7 Hubungan antara Kedalaman potong terhadap kekasaran | |
| Permukaan st 60, n 180 | 47 |
| Gambar 4.8 Hubungan antara putaran terhadap kekasaran | |
| permukaan st 42, a 0.4 | 49 |
| Gambar 4.9 Hubungan antara putaran terhadap kekasaran | |
| Permukaan st 60, a 0.4 | 49 |
| Gambar 4.10 Hubungan Amplitudo Getaran terhadap Kekasaran | 56 |
| Gambar 4.11 Hubungan Amplitudo Getaran terhadap kedalaman | |
| Potong St42,n220 | 60 |
| Gambar 4.12 Hubungan Amplitudo Getaran terhadap Kedalaman | |
| Potong St 60, n 220 | 61 |
| Gambar 4.13 Hubungan Amplitudo Getaran terhadap Kedalaman | |
| Potong st 42, n 240 | 62 |
| Gambar 4.14 Hubungan Amplitudo Getaran terhadap kedalaman | |
| Potong st 60, n 240 | 62 |
| Gambar 4.15 Hubungan Amplitudo Getaran terhadap Putaran | |
| St 42, a 0.4 | 63 |
| Gambar 4.16 Hubungan Amplitudo Getaran terhadap putaran | |
| St 60, a 0.4 | 64 |
| Gambar 4.17 Hubungan antara Amplitudo Getaran terhadap Putaran | |
| St 42, a 0.6 | 65 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.18 Hubungan antara Amplitudo Getaran terhadap Putaran | |
| St 60, 0.6 | 65 |
| Gambar 4.19 Hubungan antara Amplitudo Getaran terhadap putaran | |
| St 42, a 0.8 | 66 |
| Gambar 4.20 Hubungan antara Amplitudo getaran terhadap putaran | |
| St 60, a 0.8 | 67 |
| Gambar 4.21 Hubungan Amplitudo terhadap putaran st 42,a 1.0 | 68 |
| Gambar 4.22 Hubungan Amplitudo terhdap putaran st 60, a 1.0 | 68 |
| Gambar 4.23 Hubungan Kekasaran terhadap kedalaman potong | |
| St 42, n 200 | 69 |
| Gambar 4.24 Hubungan kekasaran terhadap kedalaman potong | |
| St 60, n 200 | 70 |
| Gambar 4.25 Hubungan Kekasaran terhadap kedalaman potong | |
| St 42, n 220 | 71 |
| Gambar 4.26 Hubungan Kekasaran terhadap kedalaman potong | |
| St 60, n 220 | 71 |
| Gambar 4.27 Hubungan Kekasaran terhadap kedalaman potong | |
| St 42, n 240 | 72 |
| Gambar 4.28 Hubungan Kekasaran terhadap kedalaman potong | |
| St 60, n 240 | 73 |
| Gambar 4.29 Hubungan kekasaran terhadap kedalaman potong | |
| St 42, a 0.2 | 74 |

| | | |
|---|--|----|
| Gambar 4.30 Hubungan kekasaran terhadap kedalaman potong | | |
| St 60, a 0.2 | | 74 |
| Gambar 4.31 Hubungan kekasaran terhadap kedalaman potong | | |
| St 42, a 0.6 | | 75 |
| Gambar 4.32 Hubungan kekasaran terhadap kedalaman potong | | |
| St 60, a 0.6 | | 76 |
| Gambar 4.33 Hubungan kekasaran terhadap kedalaman potong | | |
| St 42, 0.8 | | 78 |
| Gambar 4.34 hubungan kekasaran terhadap kedalaman potong | | |
| St 60, 0.8 | | 78 |
| Gambar 4.35 Hubungan kekasaran terhadap kedalaman potong | | |
| St 42, a 1.0 | | 78 |
| Gambar 4.36 Hubungan kekasaran terhadap kedalaman potong | | |
| St 60, 1.0 | | 79 |
| Gambar 4.37 Hubungan Amplitudo Getaran terhadap Kekasaran | | |
| n 200 | | 80 |

DAFTAR TABEL

| No. Tabel | Halaman |
|--|---------|
| 4.1 Respon Kedalaman Potong Terhadap Ampl. Getaran, | 37 |
| 4.2 Respon Getaran dari gerak insut terhadap putaran kedalaman Potong 0.2 | 39 |
| 4.3 Respon Hasil Analisa ragam Amplitudo Mesin Terhadap bahan | 41 |

| | |
|--|----|
| 4.4 Respon Indeks Determinasi | 43 |
| 4.5 Analisa Varian Amplitudo Getaran | 43 |
| 4.6 Koefisien Variabel Bebas | 45 |
| 4.7 Respon Kekasaran terhadap Gerak insut Vs Kedalaman Potong | 47 |
| 4.8 Respon kekasaran dengan hubungan gerak insut | 48 |
| 4.9 Hasil Analisa Ragam Kekasaran Permukaan terhadap Bahan Putaran, Gerak Insut, dan Kedalaman Potong | 50 |
| 4.10 Indeks Determinasi | 52 |
| 4.11 Analisa Varian Kekasaran Permukaan | 52 |
| 4.12 Koefisien Variabel Bebas | 54 |
| 4.13 Respon Amplitudo Getaran Terhadap Kekasaran Permukaan Pada Putaran 180 | 55 |
| 4.14 Analisa Korelasi Variabel Bebas dengan Ampl. Getaran | 56 |
| 4.15 Analisa Korelasi Variabel Bebas dengan Kekasaran | 58 |
| 4.16 Analisa Korelasi Amplitudo Getaran dengan Kekasaran | 59 |
| 4.17 Amlitudo Getaran pada Putaran 220 | 60 |
| 4.18 Amplitudo Getaran pada Putaran 240 | 61 |
| 4.19 Amlitudo Getaran Pada Kedalaman potong 0.4 | 63 |
| 4.20 Amlpitudo Getaran Pada Kedalaman Potong 0.6 | 64 |
| 4.21 Amplitudo Getaran pada Kedalaman Potong 0.8 | 66 |
| 4.22 Amplitudo Getaran pada kedalaman potong 1.0 | 67 |
| 4.23 Kekasaran Permukaan pada Putaran 200 | 69 |

| | |
|---|----|
| 4. 24 Kekasaran Permukaan Pada Putaran 220 | 70 |
| 4. 25 Kekasaran Permukaan pada Putaran 240 | 72 |
| 4.26 Hubungan Kekasaran Permukaan Terhadap Kedalaman Pot. | 73 |
| 4.27 Kekasaran Permukaan pada Kedalaman Potong 0.2 | 75 |
| 4.28 Kekasaran Permukaan terhadap Kedalaman Potong 0.8 | 76 |
| 4.29 Kekasaran Permukaan terhadap kedalaman potong 1.0 | 78 |
| 4.30 Respon Amplitudo Getaran terhadap Kekasaran | 79 |

DAFTAR LAMPIRAN

| No. Lampiran | Halaman |
|----------------------------|---------|
| 1 Data Penelitian Material | 90 |
| 2 Data Uji Tarik Material | 92 |
| 11 Foto – Foto Penelitian | 94 |

DAFTAR NOTASI

| Simbol | Arti | Satuan |
|--------|------------------|--------|
| a | Kedalaman Potong | mm |
| B | Material | |
| f | Frekwensi | Hertz |

| | | |
|----|----------------------|---------------|
| F | Fiher test | |
| G | Amplitudo Getaran | μm |
| n | Putaran | rpm |
| N | Jumlah data | |
| t | test | |
| X | Variabel bebas | |
| Y | Variabel tidak bebas | |
| df | Derajat kebebasan | |
| fz | Gerak makan pergigi | mm/gigi |
| Ra | Kekasaran Permukaan | μm |
| Vc | Kecepatan potong | mm/det |
| vf | Gerak Insut | mm |

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Getaran secara umum terjadi pada suatu mesin perkakas yang berinteraksi dengan gaya eksitasi paksa atau eksitasi sendiri. Eksitasi paksa misalnya berupa gaya yang berfluktuasi pada proses frais, ketidakseimbangan massa berputar dan sebagainya.

Kualitas suatu produk pada proses permesinan disebabkan beberapa faktor antara lain kecepatan potong, kecepatan pemakanan, kedalaman potong, waktu pemotongan, kecepatan penghasilan geram. Disamping itu faktor yang sering terjadi dilapangan seperti setting alat potong yang kurang tepat, pencekaman benda kerja, kondisi mesin dan operator.

Dua jenis utama pahat frais adalah pahat frais selubung/mantel dan pahat frais muka. Sesuai dengan jenis pahat yang digunakan dikenal dua macam cara yaitu mengefrais datar (slab milling) dengan sumbu putaran pahat frais selubung sejajar permukaan benda kerja, dan mengefrais tegak (face milling) dengan sumbu putaran pahat frais muka tegak lurus permukaan benda kerja. Selanjutnya mengefrais datar dibedakan menjadi dua macam cara yaitu, mengefrais naik dan mengefrais turun.

Proses pemotongan pada mesin frais yang terjadi adalah benda kerja lebih tertekan ke meja dan meja terdorong oleh pahat yang pada

suatu saat (secara periodik) gaya dorongnya akan melebihi gaya dorong ulir/ roda gigi penggerak meja, sehingga menimbulkan getaran yang besar yang dapat menurunkan kualitas permukaan benda kerja.

Pengamatan dari Oegik S. (2002) menyimpulkan bahwa tebal geram sebelum terpotong akan berpengaruh pada pemakanan dan sudut potong utama berarti juga mempengaruhi kekasaran permukaan.

Penelitian yang dilakukan oleh A.M. Anzarih (2004) melakukan analisa untuk mendapatkan pengaruh getaran pada baja karbon dengan variasi sudut potong pahat HSS memberikan hasil bahwa pengaruh getaran dan kekasaran permukaan sebagai berikut : material terhadap getaran 80 % dan terhadap kekasaran 87 %, kedalaman pemakanan terhadap getaran 87 % dan terhadap kekasaran 98 %, sudut pahat terhadap getaran 77 % dan terhadap kekasaran 98 %.

Penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Yusran (2002) melakukan Perubahan sudut pahat bubut untuk mendapatkan optimasi umur pahat pada material baja karbon dengan varianle permesinan berpengaruh terhadap umur pahat, konstribusi masing – masing variable permesinan (getaran) adalah 33,88 % kecepatan pemakanan 25,84 % kecepatan pemotongan 25,24 % sudut potong utama dan 15,03 % kedalaman.

M. Bidanghan (2004) menyatakan bahwa, “Variabel permesinan berpengaruh terhadap amplitudo simpangan pahat dengan masing-masing variabel adalah 90.59% sudut potong utama, 0.39% sudut potong

bantu, 0.03% sudut geram belakang, 3.52% kecepatan potong, dan 5.46% kecepatan pemakanan”

Kesimpulan penelitian Amirulla Abdulla (2005), bahwa Korelasi variabel benda kerja terhadap amplitudo getaran 55,3 %, dan kekasaran permukaan 63,4 %, putaran terhadap amplitudo getaran 58,7 %, dan kekasaran permukaan 36,4 %, gerak insut terhadap amplitudo getaran 33,4 %, dan kekasaran permukaan 44,2 %, kedalaman potong terhadap amplitudo getaran 37,2 %, dan kekasaran permukaan 42,2 %, serta Amplitudo getaran terhadap kekasaran permukaan 90,8 %.

Berdasarkan uraian di atas, maka akan diteliti lebih lanjut faktor-faktor (kedalaman potong, putaran spindel, gerak insut) yang dapat mempengaruhi getaran dan kekasaran permukaan material dalam bentuk penelitian berjudul “***Analisis Korelasi Getaran Mesin Frais Horizontal Terhadap Kekasaran Permukaan Baja Karbon Dalam Proses Pemotongan***”.

Penyelesaian permasalahan di atas diharapkan dapat melengkapi penelitian sebelumnya, sehingga sedapat mungkin menjadi salah satu acuan dalam perencanaan proses pemotongan pada mesin frais horizontal.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka beberapa masalah dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Berapa besar pengaruh benda kerja, kedalaman potong, putaran spindel, dan gerak insut, terhadap amplitudo getaran, dan kekasaran permukaan baja karbon selama proses pemotongan pada mesin frais horizontal.
2. Bagaimana korelasi masing-masing variable benda kerja, kedalaman potong, putaran spindel, dan gerak insut, terhadap amplitudo getaran, dan kekasaran permukaan baja karbon pada mesin frais horizontal.

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh benda kerja, kedalaman potong, putaran spindel, dan gerak insut terhadap getaran dan kekasaran permukaan baja karbon selama proses pemotongan pada mesin frais horizontal.

2. Mencari korelasi masing-masing variabel benda kerja, kedalaman potong, putaran spindel, dan gerak insut terhadap getaran dan kekasaran permukaan baja karbon pada mesin frais horizontal.
3. Mengetahui besar gaya potong dalam proses pemotongan pada mesin frais horizontal.

D. Manfaat Penelitian

Kegunaan penelitian diharapkan sebagai berikut :

1. Dapat dijadikan sebagai informasi untuk meningkatkan kualitas benda kerja dalam proses pemotongan pada mesin frais horizontal.
2. Dapat dijadikan sebagai bahan perbandingan dalam menganalisa yang berhubungan dengan getaran dan kekasaran permukaan pada mesin frais horizontal.
3. Sebagai bahan acuan bagi para operator mesin frais untuk membuat dan merencanakan proses kerja guna mendapatkan kualitas produk yang diinginkan.

E. Batasan Masalah

Mengingat kompleksnya permasalahan mengenai getaran dan keterbatasan alat uji maka pada penelitian ini dibatasi beberapa masalah sebagai berikut :

1. Bahan yang diuji adalah baja karbon yang terdiri dari dua jenis yaitu : st 42 dan st 60 yang diperoleh dari pasaran dengan asumsi homogen pada seluruh bagian.
2. Material dan jenis pahat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah HSS dengan dimensi pahat \varnothing 50 mm, lebar 40 mm, jumlah gigi pemotong = 6 buah, dengan sudut heliks = 25° .
3. Percobaan dan pengukuran dalam batas kemampuan pada mesin frais horizontal dalam kondisi baik.
4. Dimensi dan bahan uji disesuaikan dengan peralatan pengukuran getaran dan kekasaran permukaan itu sendiri.
5. Pengaruh variabel pada proses pemotongan dianalisa dengan metode grafik dan statistik.
6. Proses pemotongan dilakukan dengan cairan pendingin jenis Dromus + air dengan perbandingan 1 : 20.
7. Pemotongan dilakukan dengan mengefrais turun.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum Tentang Getaran

Getaran adalah gerakan yang berulang dengan sendirinya pada suatu selang waktu tertentu yang dapat terjadi pada sistem dimana memiliki massa dan sifat elastis serta padanya bekerja gangguan. Mesin terdiri dari berbagai elemen yang berpasangan dan bergerak yang dapat menimbulkan getaran. Bentuk dan besarnya getaran dipengaruhi oleh kondisi elemen-elemen itu sendiri. Getaran yang berlebihan dari gaya yang bekerja pada mesin dapat menimbulkan suatu kerusakan.

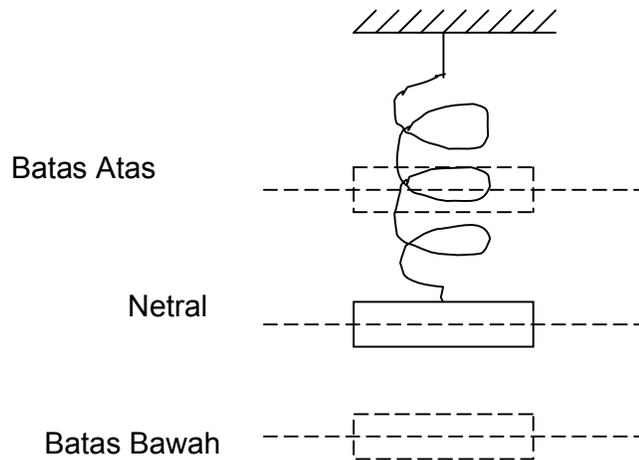
Setiap benda atau sistem yang memiliki massa dan sifat elastis jika diberi gangguan, maka benda atau sistem tersebut akan bergetar berdasarkan gangguan yang diberikan pada benda atau sistem, getaran yang timbul dapat diklasifikasikan sebagai getaran bebas dan getaran paksa.

Getaran bebas terjadi jika tanpa pengaruh gaya luar, sistem berosilasi disebabkan oleh gaya yang berada dalam sistem itu sendiri. Gaya luar hanya diperlukan untuk menentukan frekwensi pribadi sistem. Frekwensi pribadi sistem adalah merupakan karakteristik yang dimiliki oleh sistem yang bergetar. Penentuan frekwensi pribadi sistem yang mengalami getaran adalah sangat penting untuk mencegah terjadinya resonansi (Thompson, 1981)

Jika sistem diberi gangguan berupa gaya luar, maka sistem akan bergetar pada frekwensi eksitasinya sama dengan salah satu atau lebih dari frekwensi pribadi sistem, maka akan terjadi resonansi. Dengan adanya simpangan yang besar maka kondisi resonansi dapat dicegah dengan menggunakan peredam.

B. Karakteristik Getaran

Dengan cara yang sederhana getaran dapat dilihat pada suatu pegas tarik yang diberi beban, kemudian beban ditarik dan dilepaskan. Pada pegas akan terlihat gerakan bolak balik dari posisi netral ke posisi maksimum dan kembali ke posisi netral. Getaran pada pegas sederhana disebut getaran harmonis sederhana (lihat gambar 2.1).



Gambar 2.1 Pegas dengan gerakan harmonik sederhana

Pada gerakan harmonik sederhana, grafiknya berbentuk sinusoidal.

Simpangan getaran (displacement) dinyatakan dalam :

$$x = X \sin(\omega t) \quad (2.1)$$

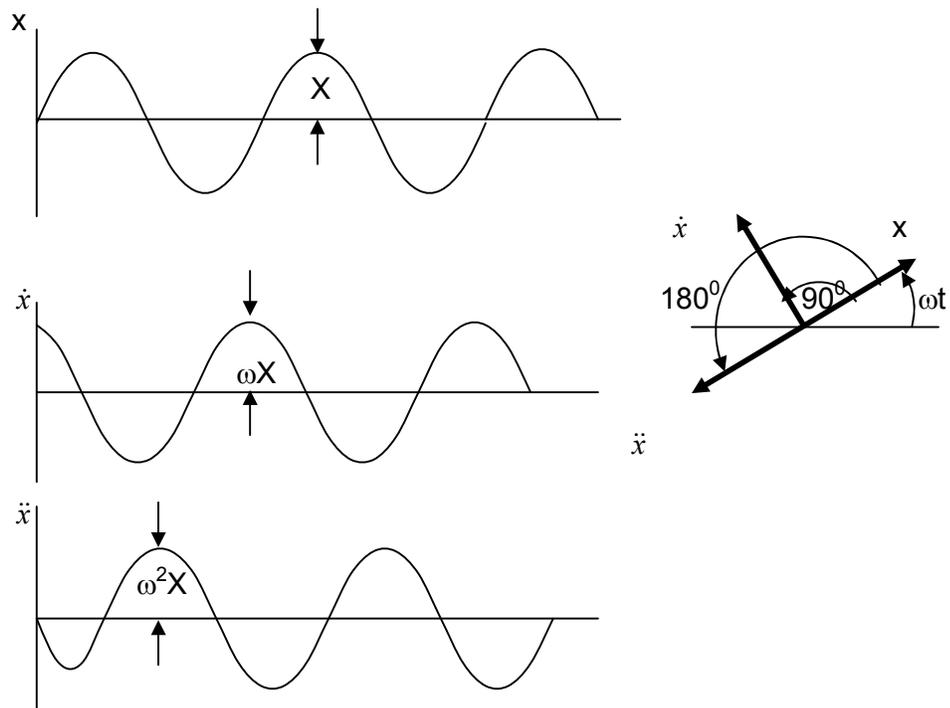
Kecepatan getaran dinyatakan dalam :

$$\dot{x} = \omega X \cos(\omega t) \quad (2.2)$$

Percepatan getaran dinyatakan dalam :

$$\ddot{x} = -\omega^2 X \sin(\omega t) \quad (2.3)$$

Kecepatan dan percepatan juga harmonik dengan frekwensi osilasi yang sama, tetapi mendahului simpangan, berturut-turut dengan $\pi/2$ dan π radian. Gambar 2.2 menunjukkan baik perubahan terhadap waktu maupun hubungan fasa vektor antara simpangan, kecepatan dan percepatan pada gerak harmonik.



Gambar 2.2 Gerak harmonik, kecepatan dan percepatan mendahului simpangan dengan $\pi/2$ dan π (Thomson, 1981)

C. Parameter Getaran

Kondisi mesin dan gangguan pada mesin dapat ditentukan dengan mengukur parameter atau ukuran getaran yang terjadi. Parameter getaran yang sering dipakai adalah :

1. Frekwensi (frequency)
2. Simpangan (displacement)
3. Kecepatan (velocity)
4. Percepatan (acceleration)

Frekwensi (f) dapat diartikan sebagai jumlah siklus yang dapat ditempuh setiap satuan waktu. Pada umumnya frekwensi dinyatakan dalam Hertz, yaitu jumlah siklus dalam detik. Sedangkan periode (T) yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menempuh satu siklus sehingga :

$$T = \frac{1}{f} \text{ atau } f = \frac{1}{T} \quad (2.4)$$

Simpangan getaran dari puncak ke puncak (peak to peak) diartikan sebagai jarak yang ditempuh oleh getaran dari puncak atas sampai puncak bawah. Kecepatan getaran (vibration velocity) dari netral ke puncak (peak) diartikan sebagai kecepatan gerakan, diukur dari sumbu netral ke batas maksimum. Kecepatan getaran dinyatakan dalam satuan inch per detik atau milimeter per detik. Percepatan getaran (vibration acceleration) diukur dari sumbu netral hingga puncak (peak) dinyatakan dalam satuan "g", inch/s² atau mm/det². Satuan "g" adalah percepatan yang dihasilkan gaya gravitasi pada permukaan bumi. Menurut perjanjian internasional "g" besarnya 980,665 cm/det² atau 386,087 inch/det² atau sama dengan 32,1739 feet/det².

D. Pemilihan Parameter Pengukuran

Pemilihan parameter pengukuran getaran didasarkan atas rentang frekwensi dan jenis mesin. Parameter pengukuran getaran berdasarkan rentang frekwensi antara lain :

1. Simpangan

Pengukuran simpangan digunakan untuk mesin yang berputar pada frekwensi rendah yaitu dibawah 600 rpm.

2. Kecepatan

Pengukuran kecepatan digunakan untuk mesin yang berputar pada frekwensi antara 600 rpm hingga 60.000 rpm.

3. Percepatan

Pengukuran percepatan digunakan pada mesin yang berputar pada frekwensi tinggi yaitu lebih dari 60.000 rpm.

Pemeriksaan getaran mesin dapat dilakukan secara permanen, semi permanen maupun secara off line, pengukuran dapat dilakukan terlebih dahulu, kemudian analisa. Setiap pengukuran getaran diperlukan tranduser yang berfungsi sebagai sensor atau penangkap getaran dan perubahan getaran mekanik menjadi sinyal elektrik.

E. Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan adalah merupakan tekstur permukaan yang diperoleh dari hasil pengerjaan yang secara umum dapat dilihat dengan visual ataupun diraba sehingga kita mengatakan permukaan itu kasar atau halus. Akan tetapi dalam dunia teknik, kekasaran permukaan suatu benda kerja dapat dinyatakan dengan lebih rinci dan spesifik lagi. Beberapa

parameter yang bisa digunakan untuk menyatakan kekasaran permukaan antara lain :

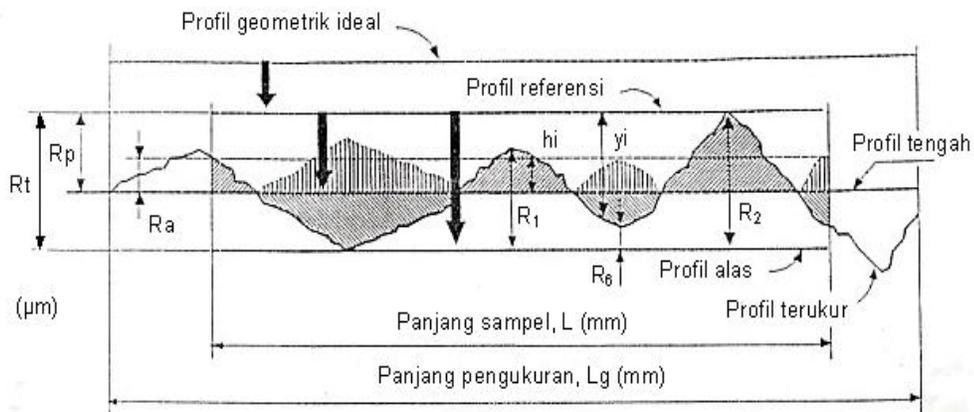
1. Kekasaran rata-rata Aritmatik (mean roughness index), R_a adalah kekasaran yang diukur dari rata-rata luasan yang terbentuk dari profil permukaan. Yang dirumuskan sebagai berikut :

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l h_i \, dx \quad (2.5)$$

2. Kekasaran total (peak to valley), R_t yaitu kekasaran yang diukur dari puncak profil tertinggi ke bagian profil yang terendah.
3. Kekasaran perataan (depth of surface smoothness), R_p yaitu jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur, dapat dirumuskan sebagai berikut

$$R_p = \frac{1}{l} \int_0^l y_i \, dx \quad (2.6)$$

Lihat gambar dibawah ini :



Gambar 2.3 Profil kekasaran permukaan (RochimTaufik, 1993)

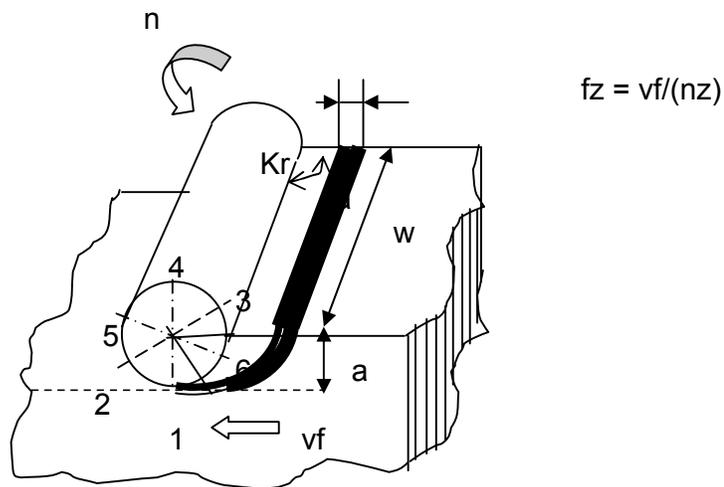
F. Tinjauan Umum Tentang Proses Mesin Frais

Mesin frais (milling machine) dikelompokkan pada mesin-mesin perkakas, mesin yang dapat menghasilkan permukaan yang rata dan berbagai bentuk lainnya, dimana gerakan memotong dilakukan secara rotasi oleh pahat (cutter) frais dan gerakan meyayat dilakukan oleh gerakan meja.

Pahat frais dengan diameter tertentu dipasang pada poros utama (spindel) mesin frais dengan perantara poros pemegang untuk pahat frais selubung atau langsung melalui hubungan dan lubang konis untuk frais muka yang mempunyai poros konis. Seperti halnya mesin bubut, putaran poros utama dapat dipilih sesuai dengan tingkatan putaran yang terasedia pada mesin frais. Posisi sumbu poros utama mesin frais dapat horizontal dan vertikal, tergantung pada jenis mesinnya. Benda kerja yang dipasangkan pada meja dapat diatur kecepatannya tergantung pada nilai gerak insut per gigi. Besarnya kecepatan potong antara lain dipengaruhi oleh jumlah gigi pahat frais (z). Untuk kecepatan potong yang sama maka gerak insut per gigi (f_z) beda jika jumlah gigi tidak sama. Kedalam potong (a) diatur dengan cara menaikkan meja melalui roda pemutar untuk menggeser lutut pada tiang mesin.

1. Elemen dasar proses frais

Elemen-elemen dasar pada proses frais dapat ditentukan dengan merhatikan gambar 2.4 Dalam hal ini persamaan yang digunakan berlaku bagi kedua cara mengefrais, mengefrais tegak atau mengefrais datar.



Gambar 2.4 Proses frais datar (Rochim Taufik, 1993)

2. Bentuk pahat frais horizontal

Pahat frais bergigi miring ($\lambda_s \neq 0$, $K_r = 90$)

Bagi pahat frais bergigi miring (bersudut heliks), lebar pemotongan akan berubah dan harganya dipengaruhi oleh sudut miring (λ_s),

kedalaman potong aksial (w), diameter pahat frais (d) serta sudut posisi (Φ). Karena adanya sudut miring yang umumnya berharga positif, maka pojok pahat (perpotongan antara S dengan S') akan menempati posisi didepan ujung lain untuk mata potong yang sama pada tepi luar (tepi permukaan benda kerja yang belum terpotong). Oleh karena itu untuk menyatakan sudut posisi bagi salah satu gigi pahat frais harus dengan menyebutkan lokasi ujung depan (leading edge) dan lokasi ujung belakang (trailing edge), lihat gambar 2.5.

Untuk suatu pahat frais dengan diameter dan sudut miring yang tertentu, maka kedalaman potong aksial w akan menentukan pertemuan antara mata potong dengan benda kerja sehingga didefinisikan suatu sudut persentuhan heliks (helical engagement angle), ϕ_λ , yaitu :

$$\phi_\lambda = \frac{a \tan \lambda_s}{d / 2}; \quad rad \quad (2.7)$$

Sudut persentuhan heliks ini bersama-sama dengan sudut persentuhan ϕ_c akan menentukan jumlah gigi efektif z_e , yaitu :

$$z_e = \frac{\phi_\lambda + \phi_c}{\phi_z} = \frac{\phi_\lambda + \phi_c}{2\pi / z} \quad (2.8)$$

$$\cos \phi_1 = (d/2 - x)/(d/2) \quad (2.9)$$

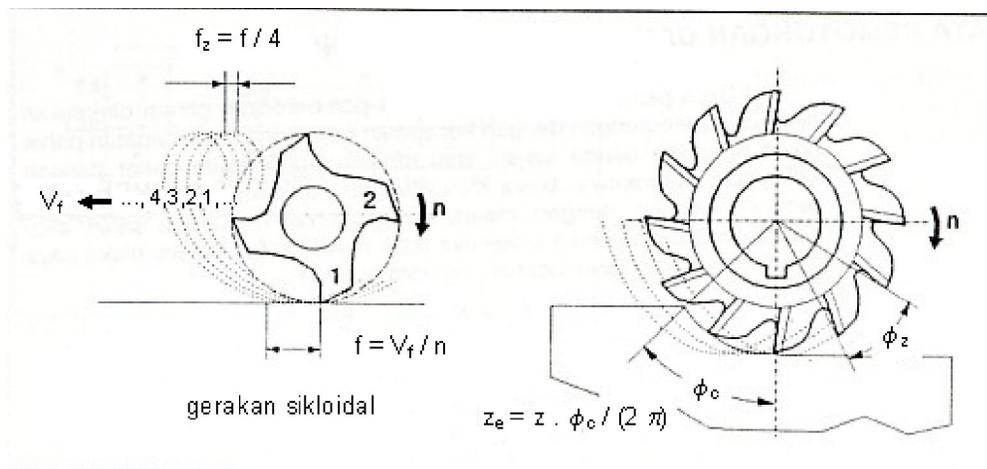
$$\cos \phi_2 = (d/2 - x - w)/(d/2)$$

Keterangan :

$$\phi_c = \text{sudut persentuhan} = \phi_2 - \phi_1 \quad ; \quad rad$$

$$\phi_\lambda = \text{sudut persentuhan heliks} \quad ; \quad rad$$

memotong benda kerja dengan ketebalan geram yang berubah. Jarak antara sikloidal yang berurutan, pada arah kecepatan makan, akan selalu sama dan jarak ini dinamakan gerak makan pergigi f_z , (feed per tooth, mm). Gerak makan pergigi merupakan variabel yang penting dalam proses frais dan harganya ditentukan oleh gerak insut v_f , putaran pahat n , serta jumlah gigi z



Gambar 2.6 Gerakan sikloidal gigi (mata potong) pahat frais

Penampang geram rata-rata pergigi :

$$A_m = \frac{d \cdot f_z}{2 \sin \lambda_s} (\cos \phi_1 - \cos \phi_2) \frac{\phi_\lambda}{\phi_c + \phi_\lambda} \quad (2.10)$$

Penampang geram rata-rata maksimum tercapai pada saat lebar geram mencapai harga maksimum dan ujung depan gigi menempati posisi

ϕ_2

$$A_{\max} = b_{\max} \cdot \bar{h}_{\max} \quad (2.11)$$

Lebar geram maksimum :

$$b_{\max} = \phi_{\lambda} \frac{d}{2 \sin \lambda_z} \quad (2.12)$$

Tebal geram rata-rata dan maksimum :

$$\bar{h}_{\max} = f_z \left[\frac{\cos \phi_1 - \cos \phi_2}{\phi_c} \right] \quad (2.13)$$

Gaya pemotongan pergigi maksimum dan rata-rata dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$F_{t \max} = k_s \cdot A_{\max} = k_{s1.1} \bar{h}_m^{-p} \cdot A_{\max} \quad (2.14)$$

$$F_{tm} = k_s \cdot A_m = k_{s1.1} \bar{h}_m^{-p} \cdot A_m \quad (2.15)$$

Fluktuasi gaya pemotongan :

$$\varepsilon_{F_t} = \frac{F_{t \max}}{F_{tm}} \quad (2.16)$$

G. Analisis Regresi

Jika kita mempunyai data yang terdiri atas dua atau lebih variabel, adalah sewajarnya untuk mempelajari cara bagaimana variabel-variabel itu berhubungan. Hubungan yang didapat umumnya dinyatakan dalam bentuk persamaan matematik yang menyatakan hubungan fungsional antara variabel-variabel. Studi yang menyangkut masalah ini dikenal dengan analisa regresi.

1. Model Regresi Linier Sederhana

Seperti pada statistika, analisa regresi juga menentukan hubungan fungsional yang diharapkan berlaku untuk populasi, berdasarkan sampel yang diambil dari populasi yang bersangkutan. Untuk analisa regresi dibedakan atas dua jenis variabel, yaitu antara variabel bebas dan variabel tak bebas. Model regresi linier sederhana dengan sebuah variabel adalah :

$$\theta y_x = \theta_1 + \theta_2 X + \varepsilon \quad (2.17)$$

Parameter-parameter θ_1 dan θ_2 perlu ditaksir, yaitu oleh a dan b . Dengan demikian persamaan regresinya adalah :

$$Y = a + bX \quad (2.18)$$

Dimana Y adalah variabel tak bebas dan X adalah variabel bebasnya.

2. Asumsi-Asumsi Penting dalam Analisa Regresi

- 1) Hubungan antara Y dan X adalah linier.
- 2) Galat yang terjadi memiliki rata-rata nol.
- 3) Varians dari galat harus konstan.
- 4) Tidak terjadi keterkaitan antara galat (saling bebas).
- 5) Galat terdistribusi normal.

3. Metode Kuadrat Terkecil untuk Regresi Linier

Metode ini berpangkat pada kenyataan bahwa jumlah kuadrat dari pada jarak antara titik-titik dengan garis regresi yang sedang dicari harus sekecil mungkin. Untuk fenomena yang terdiri dari sebuah variabel bebas dan sebuah variabel tak bebas, maka taksiran harga-harga θ_1 dan θ_2 oleh a dan b adalah sebagai berikut :

$$a = \frac{(\sum Y_1)(\sum X_1^2) - (\sum X_1)(\sum X_1 Y_1)}{n \sum X_1^2 - (\sum X_1)^2} \quad (2.19)$$

$$b = \frac{n \sum X_1 Y_1 - (\sum X_1)(\sum Y_1)}{n \sum X_1^2 - (\sum X_1)^2} \quad (2.20)$$

4. Regresi Tak Linier

Untuk model regresi tak linier, persamaannya harus dikembalikan pada model linier, sebagai contoh, dibawah ini akan ditinjau salah satu model regresi tak linier yang akan dikembalikan ke bentuk linier.

Model eksponensial :

$$Y = ab^x$$

Persamaan diatas dapat dikembalikan pada model linier apabila diambil logaritmanya. Persamaannya menjadi :

$$\text{Log } Y = \text{Log } a + (\text{Log } b) x$$

5. Regresi linier berganda

Model regresi berganda yang mengandung lebih satu variabel bebas disebut regresi linier berganda. Regresi Y atas X_1, X_2, \dots, X_k , akan ditaksir oleh :

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_kX_k \quad (2.21)$$

dengan $a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$ merupakan koefisien-koefisien yang harus ditentukan berdasarkan data hasil pengamatan.

Koefisien-koefisien $a_0, a_1, a_2, \dots, a_k$, ditentukan dengan menggunakan metode kwadrat terkecil, seperti halnya menentukan koefisien-koefisien a dan b untuk regresi linier sederhana.

H. Analisis Korelasi

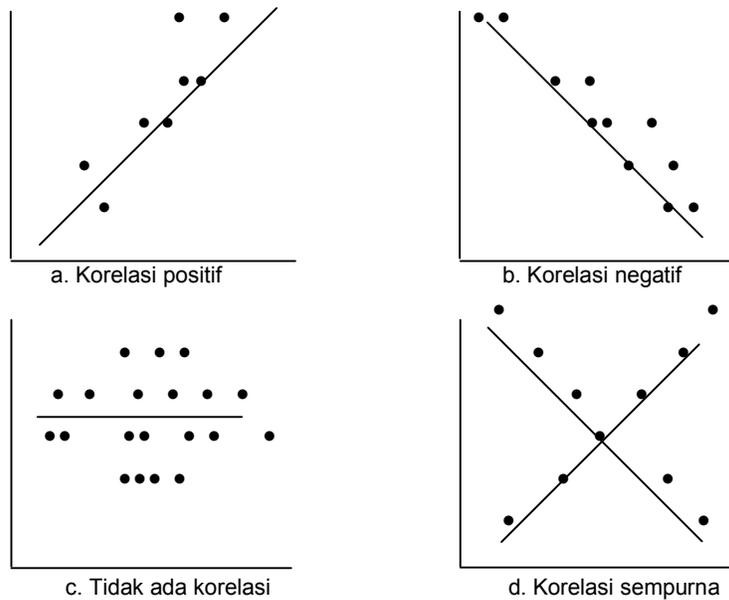
Menurut Usman dan Husaini (1995) korelasi adalah istilah statistik yang menyatakan derajat hubungan linier antara dua variabel atau lebih, yang ditemukan oleh Karl Pearson pada awal 1900. Oleh sebab itu terkenal dengan nama korelasi Pearson Product Moment (PPM). Korelasi merupakan salah satu teknik analisis statistik yang paling banyak digunakan. Hubungan antara dua variabel bukanlah merupakan hubungan sebab akibat timbal balik melainkan merupakan hubungan akibat searah.

Menurut Hasan dan Iqbal (1999) pada analisa korelasi dikenal variabel terikat (variabel dependent) yang merupakan akibat dan variabel

bebas (Variabel independent) yang merupakan penyebab. Variabel bebas biasanya dilambangkan dengan huruf X , sedangkan variabel terikat biasanya dilambangkan dengan huruf Y . Variabel bebas adalah variabel yang nilai-nilainya tidak bergantung pada variabel lain dan digunakan untuk meramalkan atau menerangkan nilai variabel lain. Variabel terikat adalah variabel nilai-nilainya bergantung pada variabel lain dan merupakan variabel yang diramalkan atau diterangkan nilainya. Korelasi digunakan untuk mencari hubungan antara dua variabel bebas atau lebih yang secara bersama-sama dihubungkan dengan variabel terikat.

Korelasi yang terjadi antara dua variabel dapat berupa korelasi positif, negatif, sempurna atau tidak ada korelasi.

1. Korelasi positif adalah korelasi dari dua variabel, yaitu apabila variabel X meningkat maka variabel Y cenderung meningkat pula.
2. Korelasi negatif adalah korelasi dari dua variabel, yaitu apabila variabel X meningkat maka variabel Y cenderung menurun.
3. Korelasi sempurna adalah korelasi dari dua variabel, yaitu apabila kenaikan atau penurunan variabel X berbanding dengan kenaikan atau penurunan variabel Y .
4. Tidak ada korelasi, yaitu apabila kedua variabel X dan variabel Y tidak menunjukkan adanya hubungan.



Gambar 2.7 Jenis-jenis Korelasi (Hasan Iqbal.1999)

Korelasi dibedakan 2 kelompok, yaitu :

1. Korelasi biasa, bila variabel bebasnya hanya satu
2. Korelasi ganda, bila variabel bebasnya lebih dari satu.

Koefisien korelasi merupakan indeks atau bilangan yang digunakan untuk mengukur kedekatan hubungan antara variabel. Koefisien korelasi disimbolkan "r", yang memiliki nilai -1 dan +1 ($-1 \leq r \leq 1$).

- a. Jika r bernilai positif maka variabel-variabel berkorelasi positif. Semakin dekat nilai r ke +1 semakin kuat korelasinya, demikian pula sebaliknya.

- b. Jika r bernilai negatif maka variabel-variabel berkorelasi negatif. Semakin dekat nilai r ke -1 semakin lemah korelasinya, demikian pula sebaliknya.
- c. Jika r bernilai 0 (nol) maka variabel-variabel tidak menunjukkan korelasi.
- d. Jika r bernilai $+1$ atau -1 maka variabel-variabel menunjukkan berkorelasi positif negatif sempurna.

Jika r dikuadratkan, akan menjadi koefisien determinasi atau koefisien penentu. Artinya, penyebab perubahan pada variabel Y datang dari variabel X sebesar r^2 . Ada beberapa jenis koefisien korelasi, antara lain sebagai berikut :

1. Koefisien korelasi linier

Koefisien korelasi linier adalah indeks atau angka yang digunakan untuk mengukur keeratan hubungan antara dua variabel yang sifatnya linier. Koefisien korelasi linier dapat dihitung dengan menggunakan metode least square atau metode product moment.

- a. Metode least square

$$r = \frac{n \sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{\sqrt{(n \sum X^2 - (\sum X)^2)(n \sum Y^2 - (\sum Y)^2)}} \quad (2.22)$$

b. Metode product moment

$$r = \frac{\sum xy}{\sqrt{\sum x^2 \cdot \sum y^2}} \quad (2.23)$$

Keterangan :

r = koefisien korelasi

x = deviasi rata-rata variabel X

$$= X - \bar{X}$$

y = deviasi rata-rata variabel Y

$$= Y - \bar{Y}$$

2. Koefisien korelasi linier berganda

Koefisien korelasi linier berganda adalah indeks atau angka yang digunakan untuk mengukur keeratan hubungan antara tiga variabel atau lebih. Koefisien korelasi berganda dirumuskan :

$$R_{1.23} = \sqrt{\frac{r_{12}^2 + r_{13}^2 - 2r_{12}r_{13}r_{23}}{1 - r_{23}^2}} \quad (2.24)$$

keterangan :

$R_{1.23}$ = koefisien korelasi linier tiga variabel

r_{12} = koefisien korelasi variabel 1 dan 2

r_{13} = koefisien korelasi variabel 1 dan 3

r_{23} = koefisien korelasi variabel 2 dan 3

3. Koefisien korelasi rank

Koefisien korelasi rank adalah indeks atau angka yang dipakai untuk mengukur keeratan korelasi antara dua variabel yang didasarkan atas renking atau tingkatan.

$$r' = \frac{6 \sum d^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2.25)$$

keterangan :

r' = koefisien korelasi rank

d = selisih dalam rank

n = banyaknya pasangan rank

4. Koefisien korelasi bersyarat

Koefisien korelasi bersyarat digunakan untuk data kualitatif. Data kualitatif adalah data-data yang tidak berbentuk angka-angka, melainkan berupa kategori-kategori, misalnya data yang berkategori kurang, cukup, sangat cukup atau tinggi, menengah atau sedang, rendah, atau gejala-gejala yang bersifat nominal. Koefisien korelasi bersyarat dirumuskan :

$$C = \sqrt{\frac{X^2}{X^2 + n}} \quad (2.26)$$

keterangan :

X = chi kuadrat

n = jumlah semua frekwensi

C = koefisien korelasi bersyarat

5. Koefisien korelasi parsial

Koefisien korelasi parsial adalah indeks atau angka yang digunakan untuk mengukur keeratan hubungan antara dua variabel, jika variabel lainnya konstan, pada hubungan yang melibatkan lebih dari dua variabel. koefisien korelasi parsial untuk tiga variabel dirumuskan sebagai berikut :

a. Koefisien korelasi antara Y dan X_2 , apabila X_3 konstan dirumuskan :

$$r_{12.3} = \frac{r_{12} - r_{13} \cdot r_{23}}{\sqrt{(1 - r_{13}^2)(1 - r_{23}^2)}} \quad (2.27)$$

b. Koefisien korelasi antara Y dan X_3 , apabila X_2 konstan dirumuskan :

$$r_{13.2} = \frac{r_{13} - r_{12} \cdot r_{23}}{\sqrt{(1 - r_{12}^2)(1 - r_{23}^2)}} \quad (2.28)$$

c. Koefisien korelasi antara X_2 dan X_3 , apabila Y konstan dirumuskan :

$$r_{23.1} = \frac{r_{23} - r_{12} \cdot r_{13}}{\sqrt{(1 - r_{12}^2)(1 - r_{13}^2)}} \quad (2.29)$$