

**ANALISIS PENGUJIAN KEKASARAN  
PADA ALAT UKUR KEKASARAN PERMUKAAN  
(*SURFACE ROUGHNESS TESTER*)  
YANG MENGGUNAKAN SENSOR ACCELEROMETER**

**SKRIPSI**

**Konsentrasi Teknik Konstruksi**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**HADI JOKO SAMPURNO  
NIM. 0410622011-62**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN MESIN  
MALANG  
2007**

**LEMBAR PERSETUJUAN**

**ANALISIS PENGUJIAN KEKASARAN  
PADA ALAT UKUR KEKASARAN PERMUKAAN  
(SURFACE ROUGHNESS TESTER)  
YANG MENGGUNAKAN SENSOR ACCELEROMETER**

**SKRIPSI**

**Konsentrasi Teknik Konstruksi**

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**HADI JOKO SAMPURNO**  
**NIM. 0410622011-62**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

DOSEN PEMBIMBING I

DOSEN PEMBIMBING II

Ir. Abdul Hadi Djaelani  
NIP. 130 518 942

Ir. Ari Wahjudi, MT.  
NIP. 132 125 697



**ANALISIS PENGUJIAN KEKASARAN  
PADA ALAT UKUR KEKASARAN PERMUKAAN  
(*SURFACE ROUGHNESS TESTER*)  
YANG MENGGUNAKAN SENSOR ACCELEROMETER**

Disusun oleh:

**Hadi Joko Sampurno**  
**NIM. 0410622011-62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan **lulus** pada tanggal 17 Juli 2007

Dosen Penguji

Skripsi I

Skripsi II

**Dr. Eng. Yudi Surya Irawan, ST., M.Eng**  
**NIP 132 233 147**

**Dr. Eng. Anindito Purnomo, ST., M.Eng**  
**NIP 132 206 466**

Komprehenship

**Prof. Ir. ING. Wardana, M.Eng., Ph.D**  
**NIP 131 286 308**

Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin

**Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT**  
**NIP 132 159 708**



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan berkah, rahmat dan hidayah-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Analisis Pengujian Kekasaran pada Alat Ukur Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness Tester*) yang Menggunakan Sensor Accelerometer**”. Sebagai salah satu persyaratan bagi mahasiswa jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik.

Keberhasilan penulisan skripsi ini tidak lepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT. dan Bapak Ir. Tjuk Oerbandono, M.Sc.,CSE., selaku pimpinan Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya.
2. Bapak Ir. Abdul Hadi Djaelani dan Bapak Ir. Ari Wahjudi, MT., atas bimbingannya selama mengerjakan tugas akhir/skripsi.
3. Bapak Ir. Achmad As'ad Sonief, MT., selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Konstruksi.
4. Bapak Ir. Saifuddin B., selaku Dosen Wali atas nasehatnya selama kuliah.
5. Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Mesin Brawijaya, atas ilmu yang telah diberikan.
6. Bapak, Ibu dan semua keluarga tercinta, yang selama ini telah memberikan dukungan, semangat dan doa untuk keberhasilan penulis.
7. Teman-teman seperjuangan, khususnya SAP 2004, yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir/skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir/skripsi ini masih banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca. Semoga tugas akhir/skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua. Amien.

Malang, Juli 2007

Penulis

**DAFTAR ISI**

<b>KATA PENGANTAR</b>	i
<b>DAFTAR ISI</b>	ii
<b>DAFTAR TABEL</b>	v
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	vi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	viii
<b>RINGKASAN</b>	ix

**I. PENDAHULUAN**

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Batasan Masalah .....	3
1.4. Tujuan Penelitian .....	3
1.5. Manfaat Penelitian .....	3

**II. TINJAUAN PUSTAKA**

2.1. Kekasaran Permukaan .....	4
2.1.1. Tinjauan Umum Kekasaran Permukaan .....	4
2.1.2. Pengaruh Kekasaran Permukaan .....	7
2.2. Konsep Dasar Pengukuran .....	9
2.2.1. Sistem Pengukuran Umum .....	10
2.2.2. Sistem Akuisisi Data .....	11
2.3. Pengukuran Kekasaran Permukaan .....	13
2.3.1. Metode Dasar Pemeriksaan Kekasaran Permukaan .....	13
2.3.2. Evaluasi Kekasaran Permukaan .....	17
2.4. <i>Accelerometer</i> .....	21
2.4.1. Definisi <i>Accelerometer</i> .....	21
2.4.2. <i>Accelerometer ADXL202JQC</i> .....	22
2.5. Sistem Mekanis .....	24
2.5.1. Motor Listrik .....	24
2.5.2. Ulir .....	25

2.6. Hipotesis .....	25
----------------------	----

### III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metodologi Penelitian .....	26
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian .....	26
3.3. Variabel Penelitian .....	26
3.4. Bahan dan Alat Penelitian .....	27
3.4.1. Bahan Penelitian .....	27
3.4.2. Alat yang digunakan .....	28
3.5. Kalibrasi .....	28
3.6. Pelaksanaan Pengujian .....	29
3.6.1. Prosedur Pengujian .....	29
3.6.2. Instalasi Pengujian .....	30
3.7. Rancangan Penelitian .....	31
3.7.1. Pengambilan dan Pengolahan Data .....	31
3.7.2. Analisis dan Pembahasan .....	32
3.8. Diagram Alir Penelitian .....	33

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perencanaan .....	34
4.1.1. Prinsip Kerja <i>Accelerometer ADXL202JQC</i> .....	34
4.1.2. Alat Ukur Kekasaran Permukaan .....	36
4.2. Pembuatan Alat Ukur Kekasaran Permukaan .....	38
4.2.1. Sistem Mekanis .....	38
4.2.2. <i>Stylus</i> .....	38
4.2.2. Sistem Akuisisi Data .....	38
4.3. Data Perhitungan .....	41
4.3.1. Perhitungan Motor .....	41
4.3.2. Kecepatan Meja Spesimen .....	42
4.3.3. Jumlah Data .....	43
4.3.4. Pembacaan Sensor .....	44



4.4. Pengambilan Data dan Pengolahan Data ..... 46

    4.4.1. Data Noise ..... 46

    4.4.2. Data Pengukuran Kekasaran Permukaan ..... 46

4.5. Analisis dan Pembahasan ..... 49

    4.5.1. Analisis Statistik ..... 49

    4.5.2. Pembahasan ..... 52

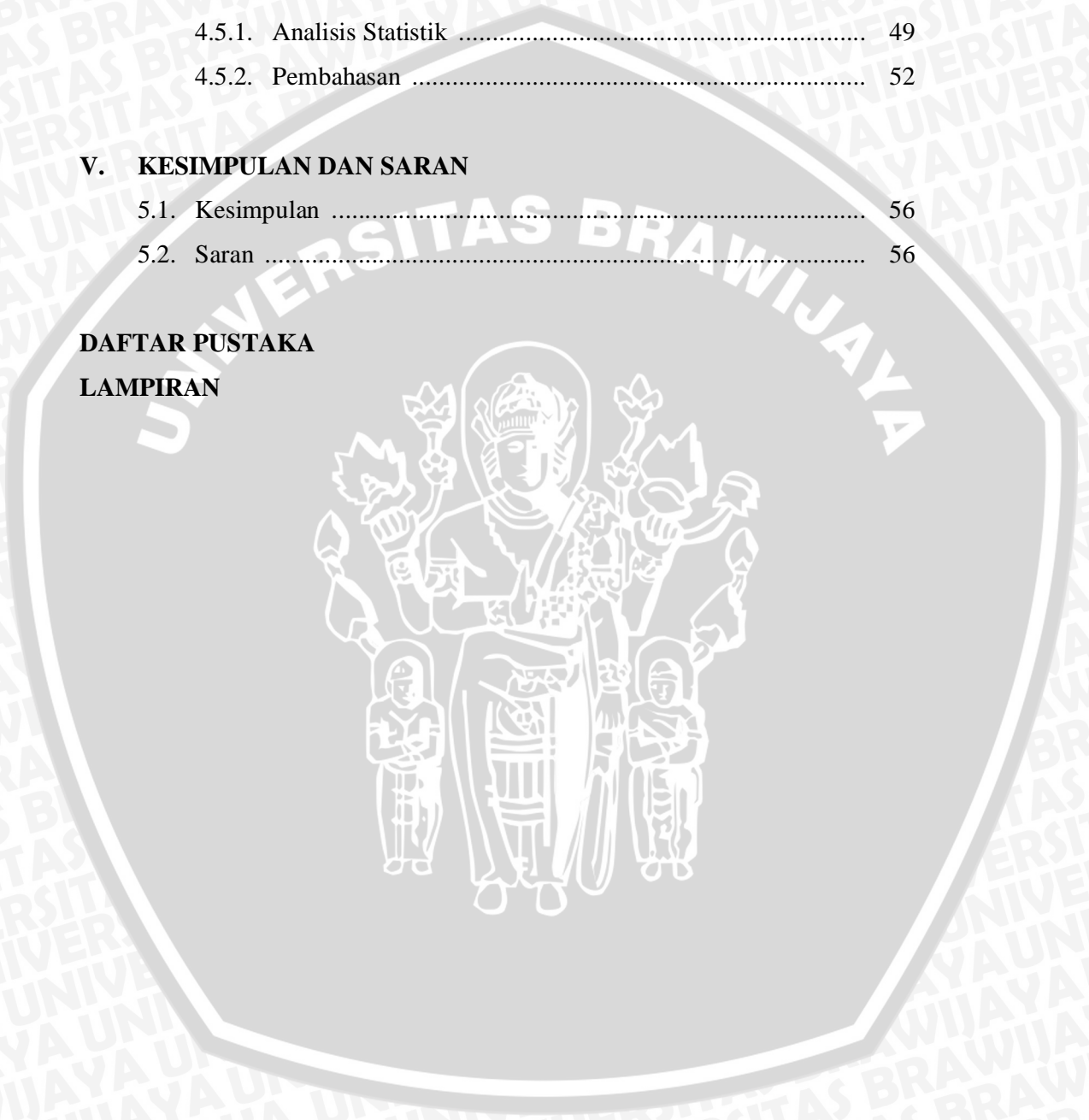
**V. KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1. Kesimpulan ..... 56

5.2. Saran ..... 56

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**



**DAFTAR TABEL**

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Bagaimana <i>axis</i> X dan Y bereaksi terhadap perubahan kemiringan .....	24
Tabel 3.1.	Data pengamatan dari hasil sensor <i>accelerometer</i> .....	31
Tabel 4.1.	Data hasil pengukuran kekasaran permukaan spesimen standar (2,82 $\mu\text{m}$ ) .....	46
Tabel 4.2.	Data pengukuran kekasaran permukaan spesimen standar 2,82 $\mu\text{m}$ .....	48
Tabel 4.3.	Data pengukuran kekasaran permukaan spesimen 0,98 $\mu\text{m}$ .....	48
Tabel 4.4.	Data pengukuran kekasaran permukaan spesimen 2,98 $\mu\text{m}$ .....	49
Tabel 4.5.	Data statistik spesimen standar .....	50
Tabel 4.6.	Data hasil perhitungan statistik spesimen 0,98 $\mu\text{m}$ dan 2,98 $\mu\text{m}$ ..	51





DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Profil ketidakrataan permukaan .....	4
Gambar 2.2.	Tipe permukaan yang diperbesar .....	4
Gambar 2.3.	Karakteristik Permukaan .....	5
Gambar 2.4.	Dasar proses pengukuran .....	10
Gambar 2.5.	Diagram balok dari sistem pengukuran umum .....	11
Gambar 2.6.	Diagram balok dari sistem akuisisi data .....	12
Gambar 2.7.	Elemen-elemen sistem akuisisi data digital .....	12
Gambar 2.8.	Profilometer .....	15
Gambar 2.9.	Instrumen piezoelektrik .....	15
Gambar 2.10.	Profilograf jenis <i>tracer</i> .....	16
Gambar 2.11.	Mikroskop ganda .....	17
Gambar 2.12.	Kekasaran permukaan .....	18
Gambar 2.13.	Dua profil dengan karakteristik kekasaran permukaan berbeda .....	20
Gambar 2.14.	Lima puncak tertinggi dan lima lembah terdalam .....	21
Gambar 2.15.	<i>Accelerometer ADXL202JQC</i> .....	22
Gambar 2.16.	Diagram blok <i>accelerometer ADXL202JQC</i> .....	23
Gambar 3.1.	Instalasi Pengujian .....	30
Gambar 3.2.	Diagram alir penelitian .....	33
Gambar 4.1.	Dasar <i>spring mass system accelerometer</i> .....	34
Gambar 4.2.	Prinsip dasar <i>accelerometer</i> , (a) Kondisi awal, (b) Kondisi setelah ada perubahan sudut .....	35
Gambar 4.3.	Perubahan beban akibat kemiringan .....	35
Gambar 4.4.	(a) Jarak <i>stylus</i> terhadap engsel batang pemegang <i>stylus</i> , (b) Sudut kemiringan akibat perubahan ketinggian profil kekasaran permukaan .....	36
Gambar 4.5.	Desain alat ukur kekasaran permukaan yang direncanakan ....	37
Gambar 4.6.	Sistem mekanis alat ukur kekasaran permukaan .....	38
Gambar 4.7.	Diagram balok sistem akuisisi data .....	40

Gambar 4.8. Tampilan program komputer ..... 40

Gambar 4.9. Tampilan grafik profil kekasaran permukaan pada program komputer ..... 40

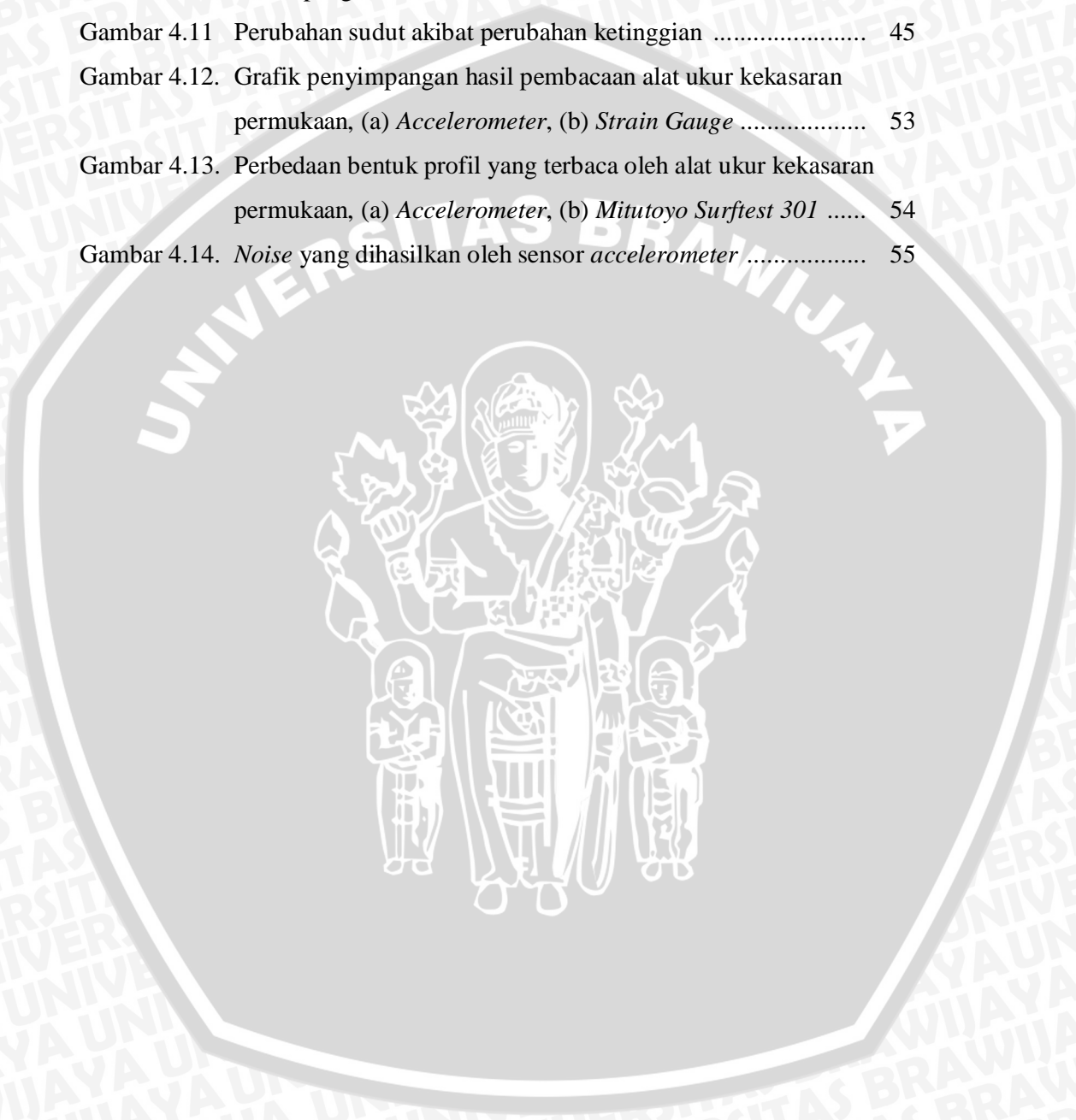
Gambar 4.10. Penampang Ulir ..... 42

Gambar 4.11. Perubahan sudut akibat perubahan ketinggian ..... 45

Gambar 4.12. Grafik penyimpangan hasil pembacaan alat ukur kekasaran permukaan, (a) *Accelerometer*, (b) *Strain Gauge* ..... 53

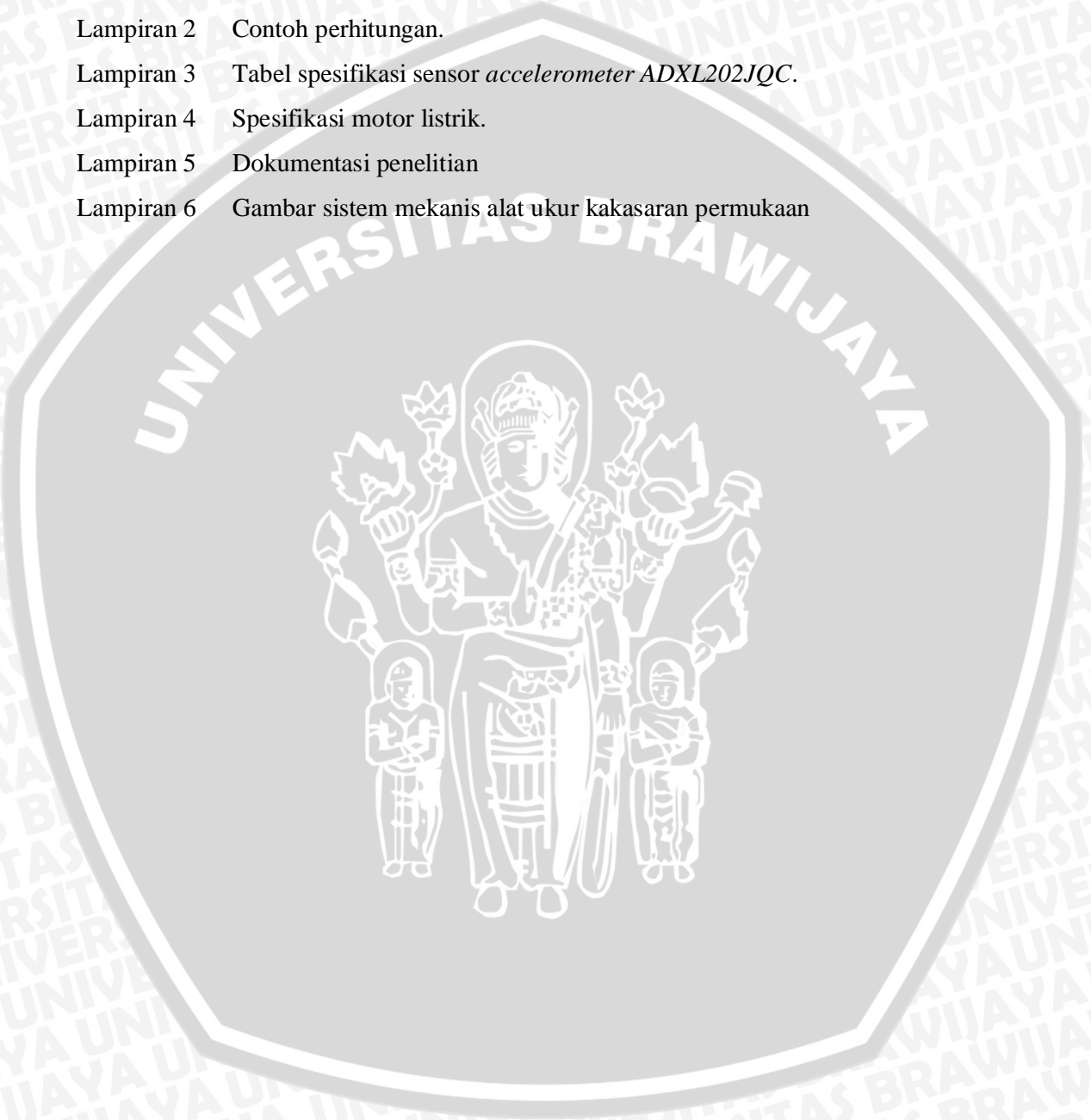
Gambar 4.13. Perbedaan bentuk profil yang terbaca oleh alat ukur kekasaran permukaan, (a) *Accelerometer*, (b) *Mitutoyo Surftest 301* ..... 54

Gambar 4.14. *Noise* yang dihasilkan oleh sensor *accelerometer* ..... 55



## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	<i>Flowchart Program</i>
Lampiran 2	Contoh perhitungan.
Lampiran 3	Tabel spesifikasi sensor <i>accelerometer ADXL202JQC</i> .
Lampiran 4	Spesifikasi motor listrik.
Lampiran 5	Dokumentasi penelitian
Lampiran 6	Gambar sistem mekanis alat ukur kekasaran permukaan





## RINGKASAN

**HADI JOKO SAMPURNO**, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Juli 2007, **Analisis Pengujian Kekasaran pada Alat Ukur Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness Tester*) yang Menggunakan Sensor *Accelerometer***, Dosen Pembimbing : Ir. Abdul Hadi Djaelani dan Ir. Ari Wahjudi, MT.

Dalam dunia industri banyak dibutuhkan alat ukur yang digunakan sebagai pengontrol kualitas produk, salah satu alat ukur yang sangat penting adalah alat ukur kekasaran permukaan (*surface roughness tester*). Harga alat ukur yang tinggi mendorong adanya usaha merancang alat ukur yang relatif murah. Sebelumnya telah dirancang alat ukur kekasaran permukaan yang menggunakan sensor *strain gauge*, namun masih terdapat penyimpangan rata-rata pembacaan sebesar 0,08  $\mu\text{m}$ . Adanya penyimpangan tersebut memberikan gagasan untuk memakai *accelerometer* sebagai sensor pada alat ukur kekasaran permukaan. Sensor *accelerometer* merupakan sensor gerakan yang dapat digunakan untuk mengukur sudut kemiringan. Sudut kemiringan yang dibaca oleh sensor pada alat ukur ini adalah sudut kemiringan batang pemegang *stylus* akibat perubahan ketinggian profil kekasaran permukaan spesimen. Batang pemegang *stylus* dilengkapi dengan engsel agar dapat bergerak bebas mengikuti profil kekasaran permukaan yang terbaca oleh ujung *stylus*. Metode penelitian dilakukan pengujian alat ukur kekasaran permukaan untuk mengetahui penyimpangan pembacaan kekasaran permukaan spesimen uji. Data penelitian menunjukkan bahwa penyimpangan rata-rata pembacaan terhadap pembacaan alat ukur standar *Mitutoyo Surftest 301* dari alat ukur kekasaran permukaan yang menggunakan sensor *accelerometer* adalah 0,04  $\mu\text{m}$  dan 0,03  $\mu\text{m}$ , lebih kecil dibanding dengan menggunakan sensor *strain gauge*.



## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Teknologi memang telah banyak menghasilkan produk-produk yang canggih untuk memenuhi kebutuhan manusia. Pada kenyataannya tidak semua dapat menikmati produk-produk tersebut, hal ini dikarenakan biaya proses pembuatan yang besar mengakibatkan harga tinggi. Sebagai contoh alat ukur proses produksi, ada beberapa alat ukur penting yang hanya dapat dimiliki oleh perusahaan-perusahaan besar, sedangkan banyak perusahaan-perusahaan pada skala kecil yang juga membutuhkannya sebagai pengontrol kualitas dari produk yang dihasilkan, karena harga yang tinggi tersebut tak mampu untuk membelinya.

Salah satu alat ukur yang sangat penting dalam proses produksi sebagai pengontrol kualitas produk adalah alat ukur kekasaran permukaan (*surface roughness tester*). Kekasaran permukaan memiliki peranan penting dan merupakan parameter yang harus diperhatikan dalam pembuatan suatu produk, karena sangat berpengaruh pada sifat mekanis, seperti : ketahanan terhadap korosi, ketahanan aus, ketahanan lelah, koefisien gesek, kekuatan sambungan, kualitas hasil pemotongan dan sifat elektrik.

Beberapa alat ukur kekasaran permukaan (*surface roughness tester*) dibuat dengan teknik atau metode yang berbeda. *Atomic Force Microscope (AFM)* adalah alat ukur kekasaran permukaan berdasarkan analisa topografi dari sampel permukaan yang dikembangkan oleh Manias (2001). *Angle Resolved light scattering (ARLS)* adalah pengukuran dengan menggunakan teknik hamburan cahaya yang dilakukan oleh Vorbuger (2002). Pada pengembangan industri kecil, alat ukur semacam ini sulit diaplikasikan karena disamping biayanya yang relatif tinggi juga suku cadang yang sulit didapat apabila terjadi kerusakan (Trisna, 2007: 1). Untuk mengatasi permasalahan tersebut, maka perlu adanya usaha merencanakan suatu alat ukur kekasaran yang relatif murah dan mudah untuk diaplikasikan.

Trisna (2007), merencanakan alat ukur kekasaran permukaan dengan menggunakan *strain gauge*. Modulus elastisitas dari *strain gauge* dan balok



elastis yang digunakan memiliki nilai yang berbeda, hal ini akan mempengaruhi hasil pengukuran. Pemakaian perekat *strain gauge* terhadap balok elastisitas yang tidak sesuai juga akan berpengaruh. Pemakaian *strain gauge* sebagai sensor pada alat ukur kekasaran permukaan tersebut masih menghasilkan penyimpangan rata-rata pembacaan  $0,08 \mu\text{m}$  dan perbedaan bentuk profil permukaan hasil pengukuran.

Usaha untuk mengurangi penyimpangan tersebut memberikan gagasan untuk memakai *accelerometer* sebagai sensor pada alat ukur kekasaran permukaan. Pada dasarnya *accelerometer* merupakan suatu alat elektromekanik yang dipakai untuk mengukur gaya akselerasi. Gaya akselerasi dapat berupa gaya statis, seperti gaya konstan gravitasi, atau gaya dinamis karena Bergeraknya atau bergetarnya *accelerometer*. Pertimbangan pemilihan *accelerometer* adalah tingkat sensitivitas yang lebih baik dan *range output voltage* yang lebih besar dibanding *strain gauge*, maka hasil pembacaan juga akan lebih baik, selain itu modulus elastisitas pada batang pemegang *stylus* tidak berpengaruh pada pengukuran. Dengan memakai sensor *accelerometer* diharapkan penyimpangan pembacaan lebih kecil dan tidak ada perbedaan bentuk profil permukaan.

Metode yang dipakai dalam pengujian alat ukur kekasaran permukaan adalah kekasaran rata-rata aritmatik yang disimbolkan dengan  $R_a$ . Metode  $R_a$  merupakan salah satu dari dua metode yang paling dapat diterima untuk menaksirkan kekasaran permukaan (Sharma, 2001: 375).

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan dari latar belakang di atas, maka dapat diambil rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah bentuk rancangan alat ukur kekasaran permukaan (*surface roughness tester*) yang mendukung prinsip kerja sensor *accelerometer* ?
2. Bagaimanakah penyimpangan pembacaan dari alat ukur kekasaran permukaan (*surface roughness tester*) yang menggunakan sensor *accelerometer* ?



### 1.3. Batasan Masalah

Dalam penulisan ini diberikan batasan masalah sebagai berikut :

1. Pembahasan pada penyimpangan pembacaan alat ukur kekasaran permukaan.
2. *Accelerometer* yang digunakan adalah tipe *ADXL202JQC 2 axis*, dengan pembacaan hanya satu *axis*, yaitu sumbu y.
3. Jari-jari ujung *stylus* yang digunakan pada alat ukur kekasaran permukaan adalah 20  $\mu\text{m}$ .
4. Putaran motor adalah 8 rpm.
5. Batang pemegang *stylus* dilengkapi dengan engsel agar dapat bergerak membentuk sudut kemiringan yang dapat dibaca oleh sensor *accelerometer*.
6. Hasil pembacaan kekasaran permukaan *Mitutoyo Surftest 301* dipakai sebagai acuan dari penyimpangan pembacaan alat ukur kekasaran permukaan yang dibuat.

### 1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui :

1. Bentuk alat ukur kekasaran permukaan (*surface roughness tester*) yang mendukung prinsip kerja sensor *accelerometer*.
2. Penyimpangan pembacaan dari alat ukur kekasaran permukaan (*surface roughness tester*) yang menggunakan sensor *accelerometer*.

### 1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

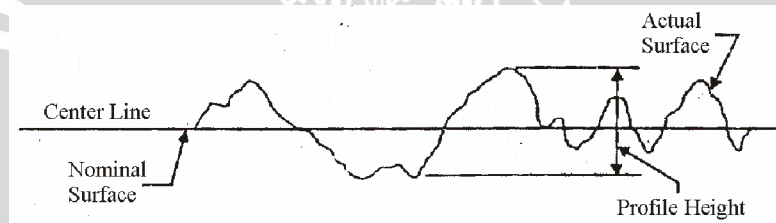
1. Sumbangan pemikiran dalam pengembangan di dunia pendidikan.
2. Dapat diaplikasikan dalam dunia industri, untuk digunakan sebagai pengontrol kualitas produk.

**BAB II**  
**TINJAUAN PUSTAKA**

**2.1. Kekasaran Permukaan**

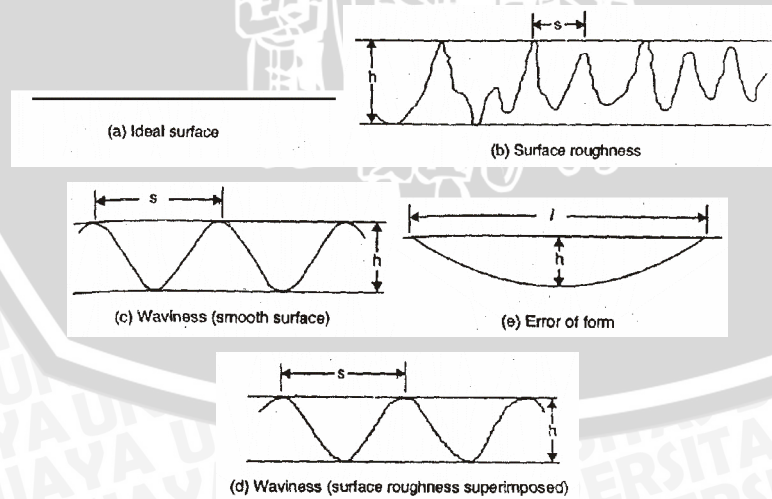
**2.1.1. Tinjauan Umum Kekasaran Permukaan**

Permukaan dari suatu bagian batas terluarnya dan ketidakteraturan permukaan terdiri atas banyak lembah dan puncak yang kecil yang menyimpang dari suatu permukaan hipotetis nominal, Gambar 2.1 menunjukkan permukaan pada skala diperbesar. Ketidakteraturan berpengaruh pada jumlah tertentu dari bentuk permukaan dan pantas tidaknya untuk suatu aplikasi yang diharapkan dari komponen tersebut. Ketidakteraturan permukaan ini pada umumnya dipahami dalam hal dari permukaan akhir, kekasaran permukaan, tekstur permukaan atau kualitas permukaan.



Gambar 2.1. Profil ketidakteraturan permukaan.

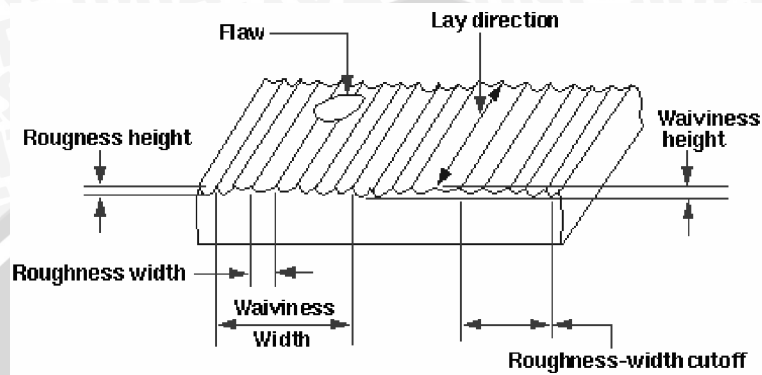
Sumber : Sharma, 2001: 372



Gambar 2.2. Tipe permukaan yang diperbesar.

Sumber : Sharma, 2001: 373

Kekasaran permukaan adalah variasi vertikal pada pengukuran jarak (Jeswiet, 2005). Berbagai elemen kekasaran permukaan dapat didefinisikan dan dijelaskan dengan bantuan Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Karakteristik Permukaan

Sumber : Anonim

#### 1. Permukaan

Permukaan dari suatu bagian dibatasi oleh batas yang memisahkan satu bagian dengan bagian yang lain, unsur atau ruang.

#### 2. Permukaan Nyata (*Actual Surface*)

Permukaan nyata ini menunjukkan bagian permukaan yang diperoleh secara nyata setelah proses produksi.

#### 3. Permukaan Nominal (*Nominal Surface*)

Permukaan nominal adalah permukaan teoritis, permukaan sempurna secara geometris yang tidak ada dalam praktik atau dalam kondisi sebenarnya.

#### 4. Profil

Profil dapat didefinisikan sebagai *contour* dari setiap potongan pada permukaan. Profil dapat digolongkan menjadi beberapa, yaitu sebagai berikut :

- Profil Geometrik Ideal (*Geometrically Ideal Profil*)
- Profil Terukur (*Measured Profil*)
- Profil Referensi (*Reference Profil*)
- Profil Alas (*Root Profil*)
- Profil Tengah (*Centered Profil*)



## 5. Kekasaran

Kekasaran menunjukkan secara relatif sempurna berisi ketidakrataan seperti yang mungkin dihasilkan oleh gerakan alat potong.

## 6. Tinggi Kekasaran

Tinggi kekasaran dinilai sebagai simpangan rata-rata perhitungan normal terhadap garis tengah khayal hingga profil kekasaran seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1, dinyatakan dalam mikroinchi atau micrometer.

## 7. Lebar Kekasaran

Lebar kekasaran adalah jarak sejajar untuk permukaan normal antara puncak atau bukit yang berurutan secara teratur dari pola utama kekasaran, disimbolkan dengan  $s$ .

## 8. Panjang Sampel (*Sampling Length* atau *Roughness Width Cut Off*)

Panjang sampel adalah lebar maksimum dari ketidakrataan permukaan yang dimasukkan dalam pengukuran tinggi kekasaran. Ini selalu lebih besar dibandingkan dengan lebar kekasaran dan dinyatakan dalam inchi atau sentimeter, dapat disimbolkan dengan  $L$ .

## 9. Penggelombangan (*waviness*)

Pengelombangan terdiri dari ketidakrataan permukaan yang mana lebih luas dibandingkan dengan kekasaran dan membentuk gelombang. Ini mungkin akibat getaran, mesin atau defleksi kerja, pembelokan dan lainnya. Panjang gelombang lebih besar dari 1 mm.

## 10. Flaws

*Flaws* adalah ketidakrataan permukaan atau ketidaksempurnaan yang terjadi pada interval jarang dan interval acak. Sebagai contoh adalah goresan, lubang, retak, lubang kecil dan lainnya.

## 11. Lay

*Lay* dapat didefinisikan sebagai arah dari pola permukaan utama menghasilkan bekas alat. Arah dari *lay* diantaranya adalah *lay parallel*, *lay perpendicular*, *lay angular*, *lay multidirectional*, *lay approximately circular* dan *lay approximately radial*.

## 12. Panjang Lintasan (*Transversing Length*)

Panjang lintasan adalah panjang profil diukur dari arah sejajar terhadap arah umum dari profil, digunakan untuk mengevaluasi parameter kekasaran permukaan. Panjang lintasan meliputi 3-10 panjang sampel.

Bagaimanapun juga pada proses produksi permukaan yang benar-benar lembut dan datar tidak bisa didapatkan. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan adalah : (Sharma, 2001: 372)

- a. Getaran.
- b. Material dari benda kerja.
- c. Tipe proses permesinan.
- d. Kekakuan dari sistem yang terdiri dari peralatan mesin, peralatan tetap, alat potong dan pekerjaan.
- e. Tipe, bentuk, material dan ketajaman alat potong.
- f. Kondisi pemotongan, seperti pemakanan, kecepatan dan kedalaman potong.
- g. Jenis pendingin yang digunakan.

Sedangkan menurut Boothroyd (1985: 138-139), faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan adalah geometri pahat dan kecepatan pemakanan, getaran dari pahat potong, ketidaktepatan gerakan pahat mesin, ketidakteraturan dari mekanisme pemakanan, cacat dalam struktur benda kerja, pembentukan geram yang terputus-putus ketika memproses material yang rapuh, basahanya benda kerja ketika bahan lunak dipotong pada kecepatan potong rendah dan kerusakan benda kerja yang disebabkan aliran geram.

### 2.1.2. Pengaruh Kekasaran Permukaan

Kekasaran permukaan mempunyai pengaruh besar terhadap ketahanan aus permukaan komponen, kekuatan, ketahanan korosi dan reliabilitas sambungan tegar dari komponen (Sharma, 2001: 383).

#### 1. Ketahanan Korosi

Pada dasarnya korosi adalah reaksi pelarutan (*dissolution*) logam menjadi ion pada permukaan logam yang berkontak dengan lingkungan yang mengandung air (*moisture*) dan oksigen melalui reaksi elektrokimia.

Permukaan logam akan diselaputi oleh lapisan oksida tipis yang tersebar tidak merata yang mengakibatkan terjadinya perbedaan potensial antara sistem dengan oksidanya menjadi suatu sel korosi (sel elektrokimia) (Soentono, 1998: 4). Faktor yang berpengaruh terhadap korosi salah satunya adalah kekasaran permukaan.

Korosi akan mudah terjadi jika pada permukaan suatu komponen terdapat alur dan serpihan, karena hal ini dapat menyebabkan terakumulasinya bahan pengkorosi. Jika alur dan serpihan semakin dalam berarti kekasaran permukaan semakin tinggi, ini akan mempercepat terjadinya korosi.

## 2. **Ketahanan Aus (*wear resistance*)**

Kekasaran permukaan dari suatu komponen mempengaruhi ketahanan aus. Semakin besar tingkat kekasaran permukaan, maka ketahanan aus akan mengalami penurunan, sehingga tingkat keausannya akan meningkat juga. Hal ini karena gesekan dari dua komponen yang saling bersentuhan dan bergerak menjadi besar.

## 3. **Ketahanan Lelah (*fatigue*)**

Garis kedalaman dan ketajaman goresan yang melintang pada permukaan suatu komponen dapat menyebabkan terjadinya konsentrasi tegangan. Konsentrasi tegangan ini akan memicu terjadinya retak pada komponen yang mengakibatkan penurunan dari sifat mekanisnya. Retak akan merambat ketika dikenai suatu beban, terutama beban *fatigue* dan akhirnya akan mengalami patah.

## 4. **Koefisien Gesek**

Tingkat kekasaran permukaan akan mempengaruhi besarnya koefisien gesek suatu material atau komponen. Sebagai contoh pada proses *drawing*, kekasaran permukaan *blank*, *punch*, *die* dan *blank holder* mempengaruhi besarnya gesekan yang terjadi, semakin kasar permukaan *blank* maka gesekan yang terjadi juga semakin besar. Hal ini disebabkan koefisien gesek yang terjadi semakin besar seiring dengan peningkatan kekasaran permukaan (Hasnan, 2006: 8). Gesekan akan mempengaruhi produk yang dihasilkan sekaligus mempengaruhi besarnya gaya yang dibutuhkan untuk proses



pembentukan *drawing*, semakin besar gaya gesek maka gaya untuk proses *drawing* juga meningkat.

#### 5. Kekuatan Sambungan

Kekuatan permukaan berpengaruh nyata pada kekuatan tarik, kekuatan geser maupun keuletan sambungan. Bila kekasaran permukaan naik, kekuatan maupun keuletan sambungan akan meningkat (Malau, Viktor dan Jamasri, 2001). Sebagai contoh yang terjadi pada sambungan antara pelat baja karbon rendah dan bahan adhesif berupa *devcon plastic steel A*.

#### 6. Kualitas Hasil Pemotongan

Besar kecilnya tingkat kekasaran permukaan dapat menggambarkan kualitas hasil pemotongan. Untuk menghasilkan mutu suatu produk yang baik dalam proses pemesinan sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain : geometri pahat, fluida pendingin dan parameter pemotongan. Sedangkan parameter pemotongan itu sendiri yaitu kecepatan pemotongan, gerak makan dan kedalaman pemotongan (Sanjaya, 2002).

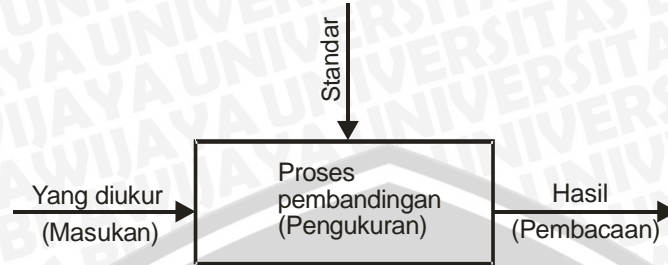
#### 7. Sifat Elektrik

Kekasaran permukaan adalah komponen yang penting tentang segala program untuk meningkatkan sifat elektrik dan performa material dari metal (Surface Interface.Inc, 1998).

Masih banyak lagi efek atau pengaruh dari kekasaran permukaan pada berbagai bidang.

### 2.2. Konsep Dasar Pengukuran

Proses atau kegiatan pengukuran merupakan perbandingan kuantitatif antara standar yang telah ditentukan sebelumnya dengan yang diukur. Kata "diukur" digunakan untuk menunjuk parameter fisika tertentu yang sedang diamati dan diukur, yaitu kuantitas masukan ke proses pengukuran. Mengukur bermaksud membandingkan sesuatu besaran (kuantitas) yang "tidak diketahui" besarnya (harganya) dengan besaran lain yang "diketahui" besarnya (Wasito, 1985: 1). Pengukuran merupakan salah satu cabang dari ilmu pengetahuan dalam bidang teknik dan juga *sains* yang meliputi pendeteksian, akuisisi data, kontrol dan analisa data. Pada Gambar 2.4 menunjukkan dasar dari proses pengukuran.



Gambar 2.4. Dasar proses pengukuran.

Sumber : Beckwith, 1987: 4

Pengukuran memberikan landasan dasar untuk penelitian dan pengembangan, dimana pengembangan merupakan tahap akhir dari prosedur perancangan. Pengukuran juga merupakan elemen dasar dari setiap proses pengendalian (*control process*). Standar perbandingan harus mempunyai sifat yang sama dengan yang diukur dan biasanya diatur dan ditentukan oleh lembaga resmi atau organisasi yang diakui, sebagai contoh *International Organization for Standardization (ISO)*, namun hal itu tidak selalu dilakukan.

Metode pengukuran ada dua macam, yaitu perbandingan langsung dan perbandingan tak langsung. Perbandingan langsung adalah membandingkan sesuatu yang diukur dengan suatu standar. Perbandingan tak langsung menggunakan beberapa bentuk alat *transducer* yang dikopel dengan alat-alat penghubung yang disebut sebagai sistem pengukuran yang dapat merubah bentuk dasar masukan menjadi analogi yang kemudian diproses dan disajikan di bagian keluaran sebagai fungsi masukan yang diketahui.

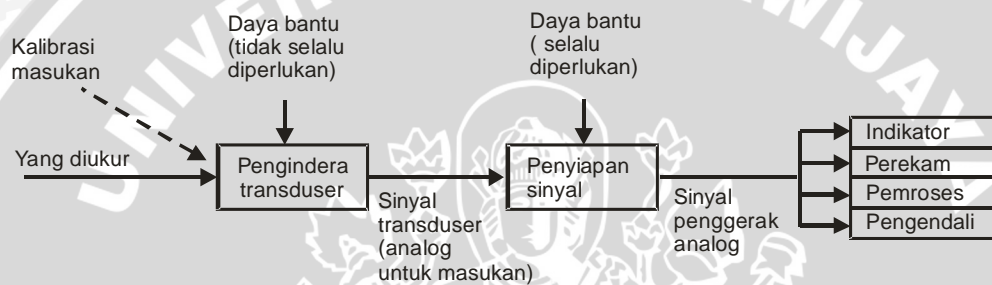
### 2.2.1. Sistem Pengukuran Umum

Sistem pengukuran mempunyai tiga fase atau tingkat pengaturan kerangka kerja secara umum, yaitu :

1. **Tingkat I** : Tingkat detektor-pengubah atau tingkat pengindera, berfungsi untuk mendeteksi atau mengindera benda yang diukur.

2. **Tingkat II** : Tingkat menengah, yaitu yang disebut tingkat penyiapan sinyal (*signal conditioning*), berfungsi untuk memodifikasi informasi yang diubah sehingga informasi ini dapat diterima oleh tingkat ketiga atau tingkat terakhir.
3. **Tingkat III** : Tingkat terakhir yang disebut juga tingkat pembacaan (*read out*), berfungsi untuk memberikan informasi yang dicari dalam bentuk yang komprehensif terhadap salah satu indera manusia atau pengendali.

Ini merupakan elemen dasar yang ruang lingkungannya ditentukan oleh fungsinya, bukan konstruksinya. Gambar 2.5 menunjukkan suatu gambaran dari garis besar arti dari masing-masing tingkat.



Gambar 2.5. Diagram blok dari sistem pengukuran umum.

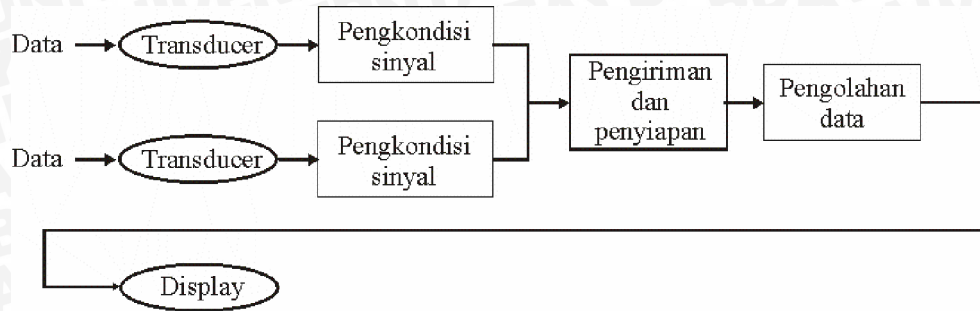
Sumber : Beckwith, 1987: 6

### 2.2.2. Sistem Akuisisi Data

Sistem akuisisi data secara harfiah dapat diartikan sebagai proses untuk memperoleh data yang diperlukan untuk kepentingan tertentu yang dapat dikaitkan dengan pengolahan dan pemanfaatan data atau informasi yang diperoleh. Sistem akuisisi data digunakan untuk mengukur dan mencatat sinyal, di mana sinyal ini pada dasarnya diperoleh dengan dua cara, yaitu :

1. Sinyal yang berasal dari pengukuran langsung dari besaran-besaran listrik, mencakup tegangan, frekuensi, amplitudo atau tahanan. Secara khas ditemukan dalam pemakaian, seperti pengujian komponen elektronik, penyelidikan lingkungan dan analisis kualitas.
2. Sinyal yang berasal dari *transducer*, seperti *strain gauge*, *encoder*, termokopel, *accelerometer* dan lainnya.

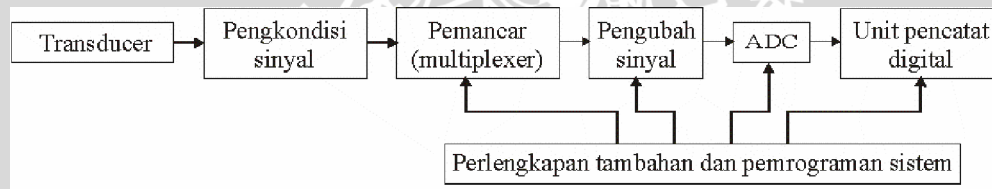




Gambar 2.6. Diagram balok dari sistem akuisisi data.

Sumber : Trisna, 2007: 12

Gambar 2.6 menunjukkan diagram balok dari sistem akuisisi data. Sistem akuisisi data dibentuk sedemikian rupa sehingga sistem tersebut berfungsi untuk mengambil, mengumpulkan dan menyimpan data dalam bentuk yang siap untuk diproses lebih lanjut.



Gambar 2.7. Elemen-elemen sistem akuisisi data digital.

Sumber : Trisna, 2007: 12

Gambar 2.7 menunjukkan bahwa sistem akuisisi data dapat mencakup sebagian atau semua elemen.

Elemen-elemen tersebut mempunyai fungsi sebagai berikut :

**1. Transducer**

Fungsi dari *transducer* adalah mengubah parameter fisis menjadi sinyal listrik yang dapat diterima oleh sistem akuisisi. Parameter-parameter tersebut seperti temperatur, tekanan, akselerasi atau percepatan, gaya dan kecepatan. Selain itu juga ada besaran-besaran listrik seperti tegangan, tahanan atau frekuensi yang dapat diukur langsung.

## 2. Pengkondisi sinyal (*signal conditioning*)

Pengkondisi sinyal pada umumnya mencakup rangkaian penunjang untuk *transducer*.

## 3. Pemancar (*multiplexer*)

Pemancar ini menerima banyak masukan analog menjadi suatu bentuk yang dapat diterima oleh pengubah analog ke digital. Sebagai contoh adalah pengubah sinyal untuk memperkuat tegangan tingkat rendah yang dibangkitkan termokopel atau *strain gauge*.

## 4. Pengubah analog ke digital (*A/D converter*)

Pengubah analog ke digital atau sering disebut juga *ADC (analog to digital converter)* berfungsi untuk mengubah analog menjadi bentuk digital yang sesuai. Keluaran *ADC* dapat diperagakan secara visual dan juga tersedia sebagai keluaran tegangan dalam tangga diskrit untuk pengolahan selanjutnya atau untuk pencatatan pada sebuah unit digital.

## 5. Perlengkapan bantu

Di dalam perlengkapan bantu ini terdapat instrument-instrumen yang digunakan untuk pekerjaan-pekerjaan pemrograman sistem dan pengolahan data digital, di mana dilakukan oleh komputer.

## 6. Unit pencatat digital (*digital recorder*)

Unit pencatat digital ini berfungsi sebagai pencatat informasi yang telah diperoleh.

## 2.3. Pengukuran Kekasaran Permukaan

### 2.3.1. Metode Dasar Pemeriksaan Kekasaran Permukaan

Permukaan akhir dapat diukur dengan bermacam-macam metode dengan menggunakan beberapa unit pengukuran yang berbeda, seperti : perbandingan visual, metode runutan (*tracer*), metode replika-plastik, pantulan cahaya, pemeriksaan yang diperbesar penyerapan gas atau cairan di permukaan, celah-antara bidang sejajar, difraksi elektron dan metode elektrolitik. Oleh Sharma (2001: 384-386) digolongkan menjadi dua metode dasar pemeriksaan atau pengukuran kekasaran permukaan, yaitu inspeksi visual dan inspeksi instrumental.

## 1. Inspeksi visual

Inspeksi visual adalah metode pemeriksaan kekasaran permukaan yang paling sederhana. Kekasaran permukaan dinilai secara visual dengan menggunakan sentuhan tangan maupun menggunakan alat bantu mikroskop, mikrometer dan tabel standar kekasaran permukaan.

## 2. Inspeksi instrumental

Inspeksi instrumental adalah metode untuk mengukur kekasaran permukaan dengan menggunakan instrumen *optic*, instrumen penunjuk dan instrumen perekam. Instrumen yang digunakan dalam proses pengukuran kekasaran permukaan dapat dibagi menjadi 2, yaitu :

### 1. Instrumen *stylus* elektronik

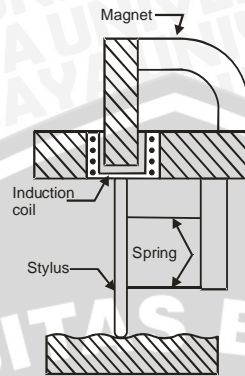
Instrumen *stylus* elektronik dapat dibagi menjadi 2 jenis, yaitu instrumen profilometer jenis kumparan bergerak dan piezoelektrik.

#### a. Profilometer jenis kumparan bergerak

Pada profilometer pengukuran dilakukan dengan cara menggerakkan *stylus* sepanjang permukaan benda kerja. Selama gerakan ini *stylus* bergerak naik turun seiring waktu dan perubahannya diperbesar serta diubah ke dalam bentuk grafik untuk dilakukan pembacaan dan analisis. Profilometer terdiri dari dua buah unit utama, yaitu pengusut (*tracer*) dan penguat (*amplifier*). Pengusut ini berbentuk ujung intan kerucut yang digunakan untuk meraba permukaan yang diukur. *Stylus* atau ujung pengusut mempunyai ujung intan dengan diameter ujung sekitar 12  $\mu\text{m}$ . Bagian atas *stylus* dihubungkan dengan kumparan induksi yang diletakkan pada daerah magnet tetap, sehingga gerakan kumparan akan menginduksi arus. Ujung pengusut akan bergetar akibat ketidakrataan permukaan sepanjang gerakan pada permukaan. Getaran ini akan dipancarkan ke kumparan dalam daerah magnet. Arus induksi yang terjadi kemudian diperbesar dan diukur dengan menggunakan *amplifier* (*galvanometer*). *Amplifier* akan memperkuat arus yang dihasilkan oleh pengusut dan menggerakkan pengukur dalam panel. Nilai yang terbaca oleh pengukur akan mewakili dari kekasaran permukaan dalam satuan  $\mu\text{m}$



(*rms* atau  $R_a$ ) dari bagian permukaan yang diukur. Bentuk dari profilometer dapat dilihat pada Gambar 2.8.

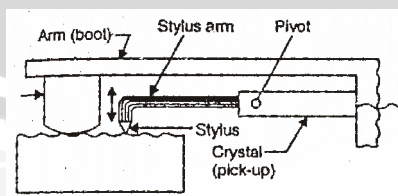


Gambar 2.8. Profilometer

Sumber : Sharma, 2001: 385

b. Instrumen piezoelektrik

Pada instrumen piezoelektrik ini, lengan *stylus* dihubungkan dengan kristal yang dipasang pada badan instrumen. Lengan atau badan instrumen dengan *skid* referensi ditarik sepanjang permukaan yang diukur dan *stylus* akan mengikuti secara detail permukaan yang dilewatinya. Gerakan *stylus* kemudian dipancarkan melalui lengan *stylus* menuju kristal dan diubah ke *voltage* yang sesuai. Dari sinyal tegangan *amplifier*, skala ukur atau grafik jejak keduanya dapat dihasilkan. Jari-jari lengkungan *skid* adalah 5-50 mm. *Skid* bisa terdiri dari dua susunan bagian pada kedua sisi *stylus*. Panjang *skid* harus lebih besar dari dua panjang gelombang. Instrumen piezoelektrik dapat dilihat pada Gambar 2.9.



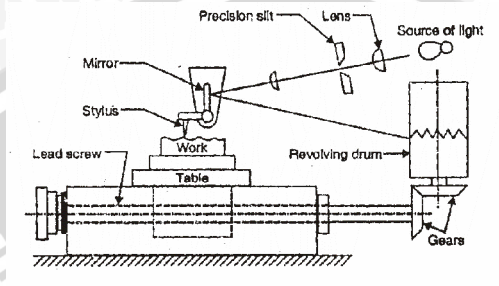
Gambar 2.9. Instrumen piezoelektrik

Sumber : Sharma, 2001: 385

## 2. Instrumen *optic*

Instrumen *optic* ada 2 jenis, yaitu profilograf jenis *tracer* dan mikroskop ganda.

### a. Profilograf jenis *tracer*



Gambar 2.10. Profilograf jenis *tracer*

Sumber : Sharma, 2001: 385

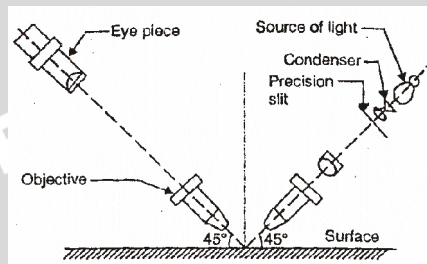
Pada profilograf jenis *tracer*, benda kerja yang akan diperiksa atau diukur diletakkan pada meja instrumen, kemudian meja digerakkan dengan transmisi ulir. *Stylus* yang dihubungkan dengan cermin bergerak sepanjang permukaan benda kerja yang diukur dan gerakannya dipancarkan ke cermin. Sumber cahaya mengirimkan sinar cahaya ke lensa dan memecah cahaya tersebut secara teliti ke cermin oskilasi. Sinar dipantulkan pada tromol yang berputar, tepat di mana film sensitif berada. Profilogram akan dihasilkan pada film sensitif tersebut yang selanjutnya dapat dianalisa untuk menjejaskan nilai kekasaran permukaan. Prinsip kerja dari profilograf jenis *tracer* dapat dilihat pada Gambar 2.10.

### b. Mikroskop ganda

Mikroskop ganda ini merupakan metode *optic* di mana pemeriksaan atau pengukuran kekasaran permukaan dilakukan dengan metode pemotongan cahaya melintang. Prinsip kerja dari mikroskop ganda dijelaskan seperti pada Gambar 2.11.

Berkas cahaya dari sumber cahaya melewati kondensor dan pemecah cahaya ketelitian tinggi yang terletak pada sudut  $45^\circ$  terhadap permukaan yang diperiksa atau diukur. Pemeriksaan mikroskop dilakukan

pada sudut  $45^\circ$  terhadap permukaan yang diperiksa, di mana pada mikroskop terdapat lensa objektif dan lensa okuler. Permukaan akan tampak pada tabung proyeksi dan diamati melalui lensa okuler pada mikroskop. Daerah yang tampak pada lensa okuler meliputi skala pembacaan yang disebut mikrometer okuler yang digunakan untuk mengukur tinggi ketidakteraturan permukaan.



Gambar 2.11. Mikroskop ganda

Sumber : Sharma, 2001: 386

Selain instrumen yang telah dijelaskan di atas ada beberapa alat ukur kekasaran permukaan yang lainnya, seperti *surfactage*, *brush surface analyzer*, *electrical profile recorder*, *piezoelectric pickup*, *light reflection*, *profile photomicrograph* dan *surface dynamometer* (Paul, 1988: 400-402).

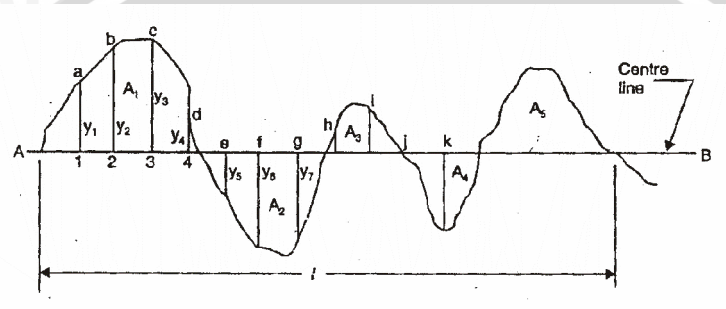
### 2.3.2. Evaluasi Kekasaran Permukaan

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengukur kekasaran permukaan, diantaranya adalah :

1. Kekasaran rata-rata kuadratik (*root mean square value : rms value*).
2. Kekasaran rata-rata aritmatik atau *Center Line Average (CLA)*, disimbolkan dengan  $R_a$ .
3. Ketinggian maksimum puncak ke lembah, disimbolkan dengan  $R_t$  atau  $R_{max}$ .
4. Tinggi rata-rata puncak ke lembah, disimbolkan dengan  $R_z$ .
5. Kedalaman rata-rata dari profil, disimbolkan dengan  $R_p$ .



Dari lima metode tersebut, dua metode yang paling diterima dalam menaksirkan kekasaran permukaan adalah kekasaran rata-rata kuadratik (*rms*) dan kekasaran rata-rata aritmatik (*CLA*). Pada kedua metode tersebut kekasaran permukaan diukur sebagai simpangan rata-rata dari profil nominal. Nilai kekasaran permukaan dinyatakan dalam satuan mikroinchi ( $\mu\text{in}$ ) atau mikrometer ( $\mu\text{m}$ ).



Gambar 2.12. Kekasaran permukaan

Sumber : Sharma, 2001: 375

Pada gambar 2.12, garis tengah diletakkan seperti itu di mana jumlah luas area di atas garis dan di bawah garis adalah sama. Jika pengukuran  $n$  dilakukan (plus atau minus) dari garis tengah secara vertikal ke titik pada profil disebut  $y_i$ . Jarak di atas garis tengah bernilai positif dan di bawahnya bernilai negatif.

### 1. Kekasaran rata-rata kuadratik (*root mean square value : rms value*).

Kekasaran rata-rata kuadratik atau *root mean square value (rms value)* adalah akar kuadrat positif dari nilai rata-rata aritmatik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12, disimbolkan dengan  $R_q$ . Kekasaran rata-rata kuadratik mempunyai arti statistik karena mewakili penyimpangan standar dari ketinggian profil dan digunakan pada perhitungan dengan kecenderungan yang lebih kompleks seperti pengukuran kesimetrisan suatu profil dari garis rata-rata. Berdasarkan *ISO 4288 : 1996*, nilai dari  $R_q$  adalah antara  $13 \mu\text{m}$  sampai  $4000 \mu\text{m}$  (Jeswiest, 2005). Nilai dari *rms* yang diberikan profil sekitar 11 % lebih besar dari jumlah rata-rata aritmatik (*Arithmetic Average : AA*). *rms* dapat dirumuskan sebagai berikut : (Sharma, 2001: 375)

$$\begin{aligned}
 rms\ average = R_q &= \sqrt{\frac{y_1^2 + y_2^2 + y_3^2 + \dots}{n}} \\
 &= \left[ \frac{(\sum y_i^2)}{n} \right]^{\frac{1}{2}}
 \end{aligned}
 \tag{2-1}$$

dengan :

- $R_q$  = Kekasaran rata-rata kuadratik ( $\mu\text{m}$ )
- $y$  = Tinggi profil terukur dari garis tengah ( $\mu\text{m}$ )
- $n$  = Jumlah data yang diambil

## 2. Kekasaran rata-rata aritmatik (*Arithmetic Average*).

Kekasaran rata-rata aritmatik dapat didefinisikan sebagai nilai rata-rata ordinat atau jarak titik dari garis tengah, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12, disimbolkan dengan  $R_a$ . Di Amerika Serikat kekasaran rata-rata aritmatik disebut juga sebagai *Arithmetic Average (AA)* dan *Center Line Average (CLA)* di Inggris dan India. Berdasarkan ISO 4288 : 1996, nilai  $R_a$  adalah antara 0,006  $\mu\text{m}$  sampai 80  $\mu\text{m}$  (Jeswiet, 2005). Kisaran kekasaran rata-rata aritmatik diperoleh dengan menambah nilai  $y$  tanpa melihat tanda dan membagi jumlah total dengan banyaknya sampel. Kekasaran rata-rata aritmatik dapat dirumuskan sebagai berikut : (Sharma, 2001: 375-376)

$$AA = R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |y(x)| dx
 \tag{2-2}$$

atau :

$$\begin{aligned}
 \text{kira-kira, } R_a &= \frac{i \sum |y_i|}{n} \\
 &= \frac{y_1 + y_2 + y_3 + \dots}{n}
 \end{aligned}
 \tag{2-3}$$

atau :

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{A_1 + A_2 + A_3 + \dots}{L} \\
 &= \sum \frac{A}{L}
 \end{aligned}
 \tag{2-4}$$

dengan :

- $R_a$  = Kekasaran rata-rata aritmatik ( $\mu\text{m}$ )
- $A$  = Luas permukaan kurva ( $\mu\text{m}^2$ )
- $y$  = Tinggi profil terukur dari garis tengah ( $\mu\text{m}$ )
- $L$  = Panjang sampel ( $\mu\text{m}$ )
- $n$  = Jumlah data yang diambil

### 3. Ketinggian maksimum puncak ke lembah.

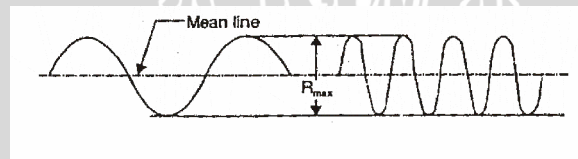
Ketinggian maksimum puncak ke lembah merupakan parameter yang sangat sederhana untuk ditentukan dari grafik dari profil. Bagaimanapun juga, ini tidak memberikan karakteristik yang lengkap dari kekasaran permukaan. Pada Gambar 2.13, dua profil yang sangat berbeda karakteristik kekasaran permukaannya, tapi mempunyai nilai tinggi puncak ke lembah yang sama.

Ketinggian maksimum puncak ke lembah dapat disebut juga dengan kekasaran total, disimbolkan dengan  $R_t$  atau  $R_{max}$  (Sharma, 2001: 378).

$$R_t = R_p + R_v \quad (2-5)$$

dengan :

- $R_t$  = Kekasaran total ( $\mu\text{m}$ )
- $R_p$  = Kekasaran puncak ( $\mu\text{m}$ )
- $R_v$  = Kekasaran lembah ( $\mu\text{m}$ )



Gambar 2.13. Dua profil dengan karakteristik kekasaran permukaan berbeda.

Sumber : Sharma, 2001: 378

### 4. Tinggi rata-rata puncak ke lembah.

Parameter ini lebih mudah diperoleh dari grafik profil dibandingkan  $R_t$ . Ini adalah rata-rata perbedaan antara lima puncak tertinggi dan lima lembah



terdalam di dalam panjang sampel yang diukur dari garis yang ditarik sejajar dengan arah profil secara umum, garis ini tidak menyilang terhadap profil, disimbolkan dengan  $R_z$ . Berdasarkan ISO 4288 : 1996, nilai  $R_z$  adalah antara 0,0025  $\mu\text{m}$  sampai 200  $\mu\text{m}$  (Jeswiest, 2005).

Dari Gambar 2.14, parameter ini dirumuskan sebagai berikut :  
(Sharma, 2001: 378)

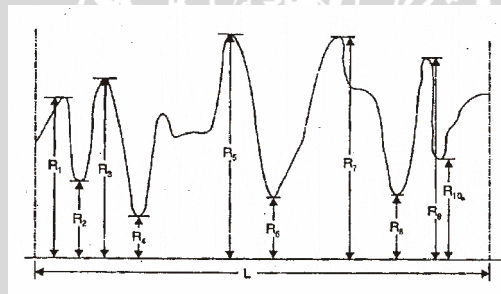
$$R_z = \frac{1}{5} [(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})] \times \frac{100}{M} \quad (2-6)$$

dengan :

$R_z$  = Kekasaran total rata-rata ( $\mu\text{m}$ )

$R_{(1,3,5,7,9)}$  = Tinggi puncak ( $\mu\text{m}$ )

$R_{(2,4,6,8,10)}$  = Kedalaman lembah ( $\mu\text{m}$ )



Gambar 2.14. Lima puncak tertinggi dan lima lembah terdalam

Sumber : Sharma, 2001: 378

## 5. Kedalaman rata-rata profil atau kekasaran perataan.

Kedalaman rata-rata profil atau kekasaran perataan adalah jarak antara profil terukur maksimal dengan garis rata-rata (*mean line*). Kekasaran perataan dapat dibedakan menjadi dua, yaitu kekasaran perataan puncak yang disimbolkan dengan  $R_p$  dan kekasaran perataan lembah yang disimbolkan dengan  $R_v$ .

### 2.4. Accelerometer

#### 2.4.1. Definisi Accelerometer

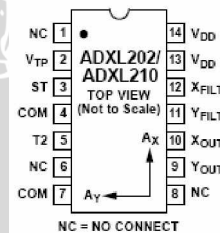
*Accelerometer* adalah suatu alat elektromekanik yang dipakai untuk mengukur gaya akselerasi. Gaya akselerasi dapat berupa gaya statis, seperti gaya

konstan dari gravitasi, atau gaya dinamis karena Bergeraknya atau bergetarnya *accelerometer*. Dapat juga didefinisikan sebagai suatu instrumen yang digunakan untuk mengukur akselerasi, mendeteksi dan mengukur getaran, atau untuk mengukur akselerasi dalam kaitan dengan gaya gravitasi. *Accelerometer* dapat digunakan untuk mengukur getaran di mobil, mesin, bangunan, instalasi keselamatan dan sistem kontrol proses. Dapat juga digunakan untuk aktivitas pengukuran yang *seismic*, kemiringan, getaran mesin, jarak yang dinamis dan kecepatan dengan atau tanpa pengaruh dari gaya gravitasi. Banyak *accelerometer* beroperasi berdasarkan pada satu prinsip dasar. Variasi yang ada hanya bagaimana prinsip dasar ini diimplementasikan. Pada prinsipnya berdasar pada hukum Newton ( $F = ma$ ) (Curtis, 1997: 191).

#### 2.4.2. Accelerometer ADXL202JQC

##### 1. Deskripsi accelerometer ADXL202JQC secara umum.

*Accelerometer ADXL202JQC* adalah sistem pengukuran akselerasi dua sumbu lengkap pada IC tunggal yang monolitik, lihat Gambar 2.15. Berisi suatu sensor *polysilicon surface-micromachined* dan rangkaian sensor kondisi untuk menerapkan suatu struktur pengukuran akselerasi pengulangan yang terbuka. Untuk masing-masing poros, suatu rangkaian *output* mengkonversi sinyal analog pada suatu sinyal digital *Duty Cycle Modulated (DCM)* yang dapat dikodekan dengan suatu *counter/timer port* pada *microprocessor*.

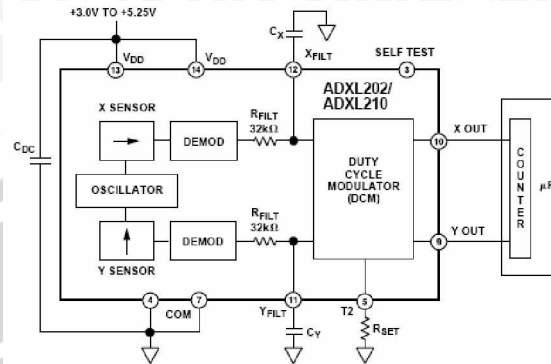


Gambar 2.15. Accelerometer ADXL202JQC

Sumber : Analog Devices, Inc., 1999: 3

*Accelerometer ADXL202JQC* mampu mengukur akselerasi negatif dan positif pada tingkat maksimum  $\pm 2 g$  atau  $\pm 10 g$ . *Accelerometer* mengukur gaya akselerasi yang statis seperti gaya gravitasi, mengikuti hal ini dapat

digunakan sebagai sensor kemiringan. Blok diagram dari *accelerometer ADXL202JQC* dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Diagram blok *accelerometer ADXL202JQC*

Sumber : Analog Devices, Inc., 1999: 1

*Output* adalah sinyal digital yang merupakan siklus kerja (perbandingan dari *pulsewidth* dengan periode) yang mana sebanding dengan akselerasi pada setiap dari 2 sumbu yang sensitif. *Output* ini mungkin diukur secara langsung dengan suatu *counter microprocessor*, tidak menuntut kemungkinan *glue logic* atau *ADC*. Periode *output* dapat disetel dari 0.5 ms hingga 10 ms melalui resistor tunggal ( $R_{SET}$ ). Jika *voltase output* yang diinginkan, *voltase output* yang sebanding dengan akselerasi didapatkan dari pin  $Y_{FILT}$  dan  $X_{FILT}$ , atau mungkin direkonstruksi dengan penyaringan *output* siklus kerja.

## 2. Menggunakan *Accelerometer ADXL202JQC* sebagai sensor kemiringan pada 2 axis.

Satu aplikasi yang paling populer dari *accelerometer ADXL202JQC* adalah pengukuran kemiringan. Suatu *accelerometer* menggunakan gaya dari gaya gravitasi sebagai suatu garis vektor masukan untuk menentukan orientasi dari suatu obyek di suatu ruangan. *Accelerometer* paling sensitif untuk kemiringan ketika *axis* sensitifnya tegak lurus terhadap gaya gravitasi, yaitu paralel terhadap permukaan bumi. Pada orientasinya untuk perubahan kemiringan kepekaannya paling tinggi. Ketika *accelerometer* diorientasikan



pada *axis* terhadap gaya gravitasi, akan terbaca +1 g atau -1 g, perubahan pada *output* akselerasi tiap derajat tingkat kemiringan adalah mudah. Ketika *accelerometer* tegak lurus terhadap gaya gravitasi, *output*-nya akan berubah hampir 17.5 mg tiap derajat tingkat kemiringan, tetapi pada 45° derajat perubahan hanya pada 12.2 mg tiap derajat dan resolusi menurun. Tabel 2.1 merupakan gambaran perubahan pada *axis* X dan Y ketika alat dimiringkan ±90° terhadap gaya gravitasi.

Tabel 2.1 Bagaimana *axis* X dan Y bereaksi terhadap perubahan kemiringan

X AXIS ORIENTATION TO HORIZON (°)	X OUTPUT		Y OUTPUT (g)	
	X OUTPUT (g)	Δ PER DEGREE OF TILT (mg)	Y OUTPUT (g)	Δ PER DEGREE OF TILT (mg)
-90	-1.000	-0.2	0.000	17.5
-75	-0.966	4.4	0.259	16.9
-60	-0.866	8.6	0.500	15.2
-45	-0.707	12.2	0.707	12.4
-30	-0.500	15.0	0.866	8.9
-15	-0.259	16.8	0.966	4.7
0	0.000	17.5	1.000	0.2
15	0.259	16.9	0.966	-4.4
30	0.500	15.2	0.866	-8.6
45	0.707	12.4	0.707	-12.2
60	0.866	8.9	0.500	-15.0
75	0.966	4.7	0.259	-16.8
90	1.000	0.2	0.000	-17.5

Sumber : Analog Devices, Inc., 1999: 9

## 2.5. Sistem Mekanis

### 2.5.1. Motor Listrik

Prinsip dari motor listrik adalah mengubah energi listrik menjadi energi gerak atau energi mekanik. Apabila suatu penghantar yang membawa arus listrik diletakkan di dalam suatu medan magnet maka akan menimbulkan gaya mekanik.

Dalam perencanaan suatu alat yang menggunakan motor listrik, parameter yang perlu ditetapkan dalam memilih motor listrik yang akan dipakai dengan

spesifikasi yang sesuai adalah besarnya daya dan putaran atau kecepatan gerak yang dibutuhkan.

Untuk menentukan putaran motor listrik yang memutar poros berulir untuk menggerakkan benda dengan kecepatan ( $v$ ) tertentu adalah dengan persamaan sebagai berikut :

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} \quad (2-7)$$

dengan :

$v$  = Kecepatan (m/s)

$d$  = Diameter poros berulir (m)

$n$  = Putaran (rpm)

### 2.5.2. Ulir

Pemakaian ulir sebagai penggerak dan transmisi daya banyak menggunakan ulir Acme (*Acme thread*) dengan sudut alur  $29^\circ$  (Spots, 1978: 237). Alat ukur ini menggunakan poros ulir dengan diameter 10 mm atau M 10 x 1,5.

### 2.6. Hipotesis

Sensor gerakan *accelerometer* dapat digunakan sebagai *transducer* alat ukur kekasaran permukaan. Dengan memakai sensor *accelerometer* yang memiliki tingkat sensitivitas yang lebih baik dan *range output voltage* yang lebih besar, penyimpangan hasil pengukuran dan perbedaan bentuk profil kekasaran permukaan terhadap hasil pengukuran alat ukur kekasaran permukaan standar *Mitutoyo Surftest 301* lebih kecil dibandingkan dengan memakai *strain gauge*.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Metodologi Penelitian

Metode yang digunakan dalam penulisan ini adalah metode eksperimental sungguhan (*true experimental research*). Di mana dilakukan proses desain dan pengujian alat ukur kekasaran permukaan untuk mengetahui penyimpangan pembacaan kekasaran permukaan dari alat ukur tersebut.

#### 3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Balai Latihan Kerja Singosari dan Laboratorium Fenomena Dasar Mesin Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya. Waktu penelitian pada bulan April 2007 sampai selesai.

#### 3.3. Variabel Penelitian

Variabel-variabel dalam penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

##### 1. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya dapat ditentukan dengan bebas, yaitu spesimen uji kekasaran permukaan standar *Mitutoyo Surftest 301* dan 2 spesimen uji yang telah diuji menggunakan alat ukur *Mitutoyo Surftest 301* yang memiliki nilai kekasaran yang berbeda, yaitu  $0,98 \mu\text{m}$  dan  $2,98 \mu\text{m}$ .

##### 2. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel bebas. Variabel terikat yang dimaksud dalam pengujian ini adalah kekasaran permukaan spesimen.

##### 3. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang dapat dikendalikan atau dikontrol parameternya. Diantaranya adalah :

- Lama pengambilan data yang meliputi panjang sampel  $8 \times 10^{-4}$  m, kecepatan pengambilan data 3.54 ms (*milisecond*) dan kecepatan gerak spesimen  $\pm 2 \times 10^{-4}$  m/s, sehingga akan diperoleh 1130 data.
- Parameter sinyal sensor , yaitu sinyal analog yang berupa tegangan.



### 3.4. Bahan dan Alat Penelitian

#### 3.4.1. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- Kerangka
 

Bahan	: <i>Aluminum Alloy</i>
Tebal	: 0,012 m
- Ulir penggerak
 

Bahan	: Baja ST 37
Diameter	: 0,01 m
- Poros pengarah
 

Bahan	: Baja ST 37
Diameter	: 0,01 m
- *Transducer* (sensor)
 

Jenis	: <i>Accelerometer tipe ADXL202JQC 2 axis</i>
Sensor input	
<i>Measurement Range</i>	: $\pm 2 g$
<i>Alignment Error</i>	: $1^\circ$
<i>Transverse Sensitivity</i>	: 2%
Sensitivitas	
<i>Duty Cycle per g</i>	: 10 – 15 %/g
<i>Analog Output</i>	: 312 mV/g
<i>Duty Cycle Output Stage</i>	
<i>F<sub>SET</sub> Tolerance</i>	: 0,7 – 1,3 Hz
<i>Output High Voltage</i>	: $V_s - 200 mV$
<i>Output Low Voltage</i>	: 200 mV
Batas temperatur	: 0 – 70 °C
- Motor Listrik
 

Jenis	: DC
<i>Voltage Source</i>	: 12 volt
Putaran	: $\pm 8 rpm$ ,
- Baut
 

Ukuran	: M6
--------	------

### 3.4.2. Alat yang digunakan

Peralatan atau komponen-komponen yang digunakan dalam pengujian alat ukur kekasaran permukaan (*surface roughness tester*) adalah sebagai berikut :

1. Sistem akuisisi data sebagai pengolah sinyal yang dihasilkan oleh *accelerometer*.
2. Rangkaian elektronik untuk motor listrik.
3. Komputer sebagai *display*, menampilkan hasil pembacaan alat ukur kekasaran permukaan (*surface roughness tester*) dalam bentuk grafik.

### 3.5. Kalibrasi

Nilai awal faktor *offset* dan skala untuk *accelerometer ADXL202JQC* memerlukan kalibrasi untuk aplikasi seperti pengukuran kemiringan. *accelerometer ADXL202JQC* telah dirancang sedemikian rupa sehingga kalibrasi ini berlangsung di perangkat lunak dari *microcontroller* yang digunakan untuk membaca kode sinyal siklus kerja (*duty cycle*). Faktor kalibrasi dapat disimpan di *EEPROM* atau ditentukan pada *turn-on* dan disimpan dalam memori dinamis.

Untuk aplikasi *g* rendah, gaya gravitasi paling stabil, akurat dan dapat memperoleh referensi akselerasi yang tepat. Pembacaan pada titik *0 g* dapat ditentukan dengan mengarahkan alat sejajar dengan permukaan bumi dan kemudian baca *output*-nya. Metode kalibrasi yang lebih akurat adalah dengan melakukan pengukuran pada *+1 g* dan *-1 g*. Kepekaan dapat ditentukan oleh pengukuran keduanya.

Untuk mengkalibrasi, pengukuran sumbu *accelerometer* diarahkan secara langsung pada bumi. Pembacaan *+1 g* disimpan dan sensor diputar  $180^\circ$  untuk mengukur *-1 g*. Menggunakan keduanya data yang terbaca, maka kepekaan dapat ditentukan sebagai berikut :

Let *A* = *Output accelerometer* dengan orientasi sumbu untuk *+1 g*

Let *B* = *Output accelerometer* dengan orientasi sumbu untuk *-1 g*

Kemudian sensitifitas atau kepekaan =  $[A-B]/2 g$

Contoh : jika pembacaan +1 g (A) adalah 55% *duty cycle* dan pembacaan -1 g (B) adalah 32% *duty cycle*, kemudian:

$$\text{Sensitifitas} = [55\% - 32\%]/2 \text{ g} = 11.5\%/g$$

Dapat juga menggunakan acuan pada tabel 2.1, di mana nilai dari *Y output accelerometer* harus disesuaikan dengan nilai sudut orientasi sumbu *accelerometer* terhadap gaya gravitasi atau permukaan bumi. Misalkan sudut orientasi sumbu *accelerometer* terhadap gaya gravitasi adalah 90°, maka nilai dari *Y output accelerometer* harus 0 g.

### 3.6. Pelaksanaan Pengujian

Maksud dari pengujian adalah untuk mengetahui penyimpangan pembacaan kekasaran permukaan dari alat ukur yang kemudian dibandingkan dengan penyimpangan pembacaan alat ukur kekasaran permukaan yang menggunakan *strain gauge*, di mana alat ukur kekasaran permukaan *Mitutoyo Surftest 301* sebagai acuan.

#### 3.6.1. Prosedur Pengujian

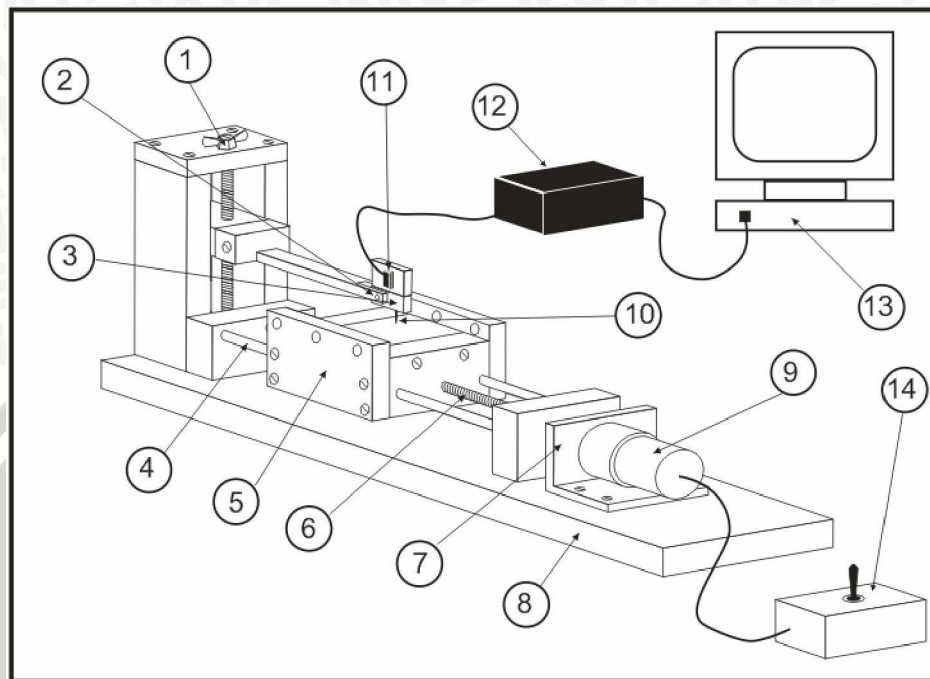
Prosedur pengujian tingkat ketelitian pembacaan alat ukur kekasaran permukaan adalah sebagai berikut :

1. Menyiapkan instalasi pengujian, yaitu alat ukur kekasaran permukaan, sistem akuisisi data dan komputer.
2. Pemasangan spesimen uji pada meja spesimen.
3. Pengaturan ketinggian batang pemegang *stylus*.
4. Pengoperasian alat ukur untuk memulai pengujian dan pengambilan data.
5. Setelah pengujian pertama selesai, alat ukur dimatikan untuk melakukan pengujian berikutnya.
6. Pengujian dilakukan beberapa kali pengulangan untuk mendapatkan data nilai rata-rata kekasaran permukaan spesimen uji.



### 3.6.2. Instalasi Pengujian

Instalasi pengujian dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Instalasi Pengujian

Keterangan Gambar :

1. Baut pengatur ketinggian batang pemegang *stylus*
2. Engsel batang pemegang *stylus*
3. Batang pemegang *stylus*
4. Poros pengarah
5. Meja spesimen
6. Ulir penggerak meja spesimen
7. Dudukan motor listrik
8. *Base*
9. Motor listrik
10. *Stylus*
11. Sensor *accelerometer ADXL202JQC*
12. Sistem akuisisi data
13. Komputer
14. Saklar motor listrik

### 3.7. Rancangan Penelitian

#### 3.7.1. Pengambilan dan Pengolahan Data

Pengambilan data kekasaran permukaan digunakan 1 titik pengamatan dengan rancangan pengambilan data sinyal analog yang berupa tegangan. Nilai tersebut kemudian ditabelkan seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Data pengamatan dari hasil sensor *accelerometer*.

No.	Jarak titik pengamatan	Tegangan (mV)
1.		
2.		
n		

Pengambilan data dilakukan 10 kali pengujian pada spesimen yang sama. Data yang didapatkan dari pengujian kemudian diolah untuk mendapatkan nilai kekasaran permukaan, di mana metode yang digunakan adalah metode pengukuran kekasaran rata-rata aritmatik (*Center Line Average*). Nilai kekasaran permukaan tersebut kemudian dianalisis dengan perhitungan statistik untuk mengetahui interval penduga kesalahan dari hasil pengukuran alat ukur.

Perhitungan statistik adalah sebagai berikut :

- Kekasaran permukaan rata-rata ( $\bar{R}_a$ )

$$\bar{R}_a = \frac{\sum R_a}{n} \tag{3-1}$$

- Simpangan baku ( $\delta$ )

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum (R_a - \bar{R}_a)^2}{n - 1}} \tag{3-2}$$

- Simpangan baku rata-rata ( $\bar{\delta}$ )

$$\bar{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}} \tag{3-3}$$

- Kesalahan relatif ( $k_r$ )

$$k_r = \frac{\delta}{R_a} \tag{3-4}$$

- Resiko kesalahan ( $\alpha$ )

Diambil  $\alpha = 1\%$ ,  $5\%$  atau  $10\%$  berdasarkan nilai kesalahan relatif ( $k_r$ )

- Derajat kebebasan (db)

$$db = n - 1 \quad (3-5)$$

- $t(\alpha/2; db)$

$$(3-6)$$

- Interval penduga kesalahan

$$\overline{R}_a - \{t(\alpha/2; db)\overline{\delta}\} \leq R_a \leq \overline{R}_a + \{t(\alpha/2; db)\overline{\delta}\} \quad (3-7)$$

Perhitungan statistik akan menentukan kecukupan data. Jika semua data hasil pengujian telah memenuhi dan terletak pada daerah diterima, maka tidak perlu melakukan pengujian lagi dan selanjutnya dapat dianalisis.

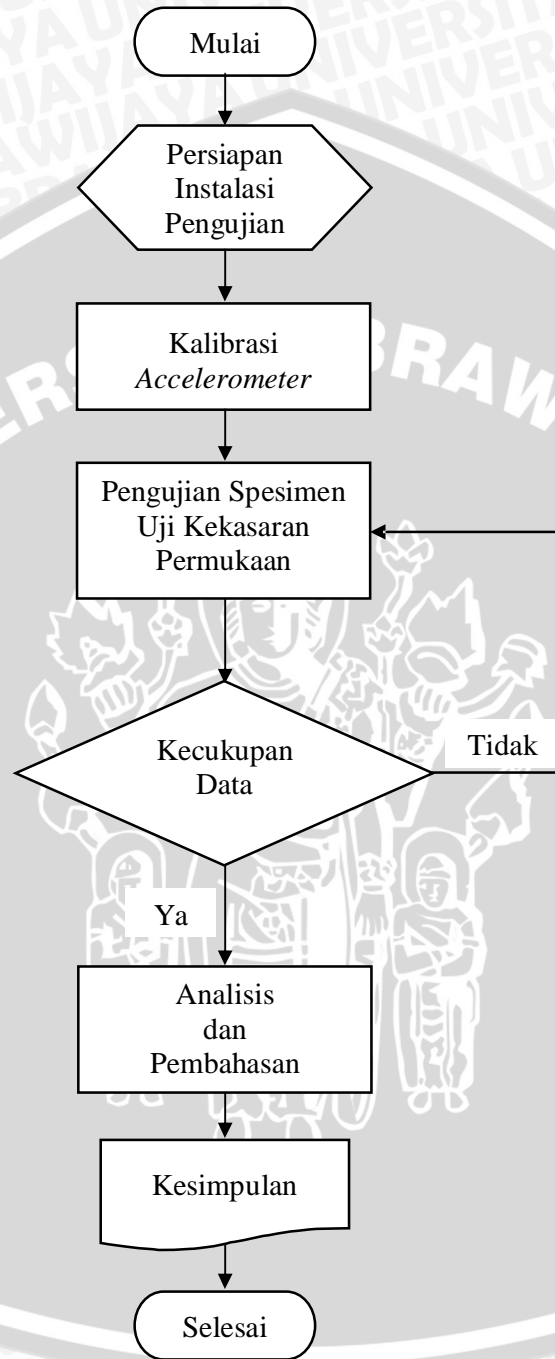
### 3.7.2. Analisis dan Pembahasan

Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui penyimpangan pembacaan kekasaran permukaan dari alat ukur, hasil dari pengujian akan dianalisis untuk mengetahui apakah alat ukur kekasaran permukaan yang menggunakan sensor *accelerometer* memiliki penyimpangan pembacaan yang lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan *strain gauge*, di mana sebagai acuan adalah hasil pembacaan alat ukur kekasaran permukaan *Mitutoyo Surftest 301*.



### 3.8. Diagram Alir Penelitian

Diagram alir proses penelitian ini dapat dijelaskan pada Gambar 3.2.



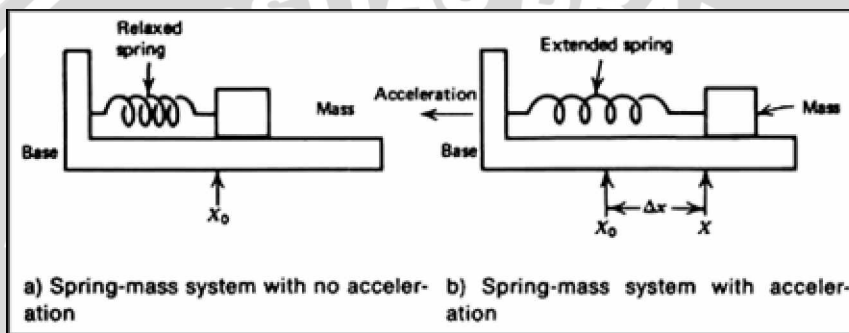
Gambar 3.2. Diagram alir penelitian

**BAB IV**  
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**4.1. Perencanaan**

**4.1.1. Prinsip Kerja Accelerometer ADXL202JQC**

Banyak *accelerometer* beroperasi berdasarkan pada satu prinsip dasar. Variasi yang ada hanya bagaimana prinsip dasar ini diimplementasikan. Pada prinsipnya berdasarkan pada hukum Newton ( $F = ma$ ).



Gambar 4.1. Dasar *spring mass system accelerometer*

Sumber : National Instrument Corporation, 2007

Pada gambar 4.1 dapat dilihat kombinasi dari massa yang bebas bergerak dengan *spring* yang tertanam pada tembok. Jika sistem tersebut mengalami percepatan ke kiri, hukum Newton menyatakan bahwa massa harus berada dalam pengaruh gaya  $F = m a$  (Agusarif, 2006).

$$k \cdot \Delta x = m \cdot a \tag{4-1}$$

$$\Delta x = \frac{m \cdot a}{k} \tag{4-2}$$

dengan :

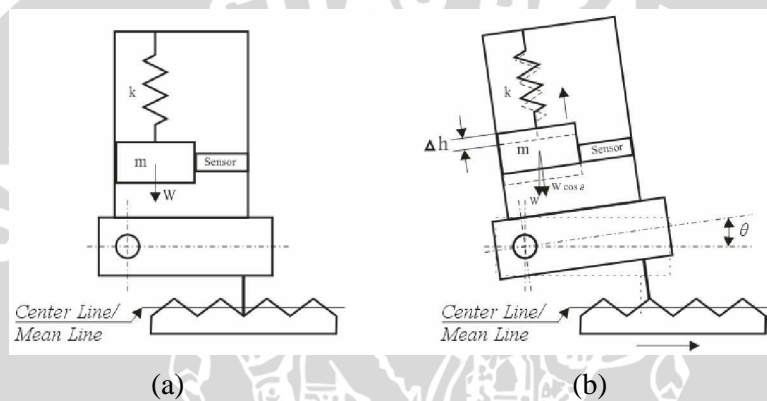
k = Konstanta pegas (N/m)

x = *Spring extension* (m)

m = Massa (kg)

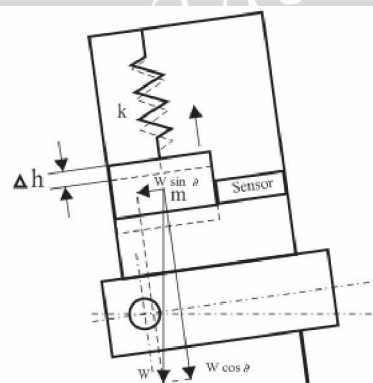
a = Percepatan ( $m/s^2$ )

*Accelerometer ADXL202JQC* adalah sistem pengukuran akselerasi dua sumbu lengkap pada IC tunggal yang berisi suatu sensor *polysilicon surface-micromachined* dan rangkaian sensor kondisi untuk menerapkan suatu struktur pengukuran akselerasi. Satu aplikasi yang paling populer dari *accelerometer ADXL202JQC* adalah pengukuran kemiringan. *Accelerometer* paling sensitif untuk kemiringan ketika *axis* sensitifnya tegak lurus terhadap gaya gravitasi, yaitu paralel terhadap permukaan bumi. Pada orientasinya untuk perubahan kemiringan kepekaannya paling tinggi.



Gambar 4.2. Prinsip dasar *accelerometer*, (a) Kondisi awal, (b) Kondisi setelah ada perubahan sudut.

Gambar 4.2 menunjukkan bahwa kemiringan yang terjadi karena perubahan profil kekasaran permukaan mengakibatkan beban  $W$  yang diberikan pada pegas menjadi  $W \cos \theta$ .



Gambar 4.3. Perubahan beban akibat kemiringan.

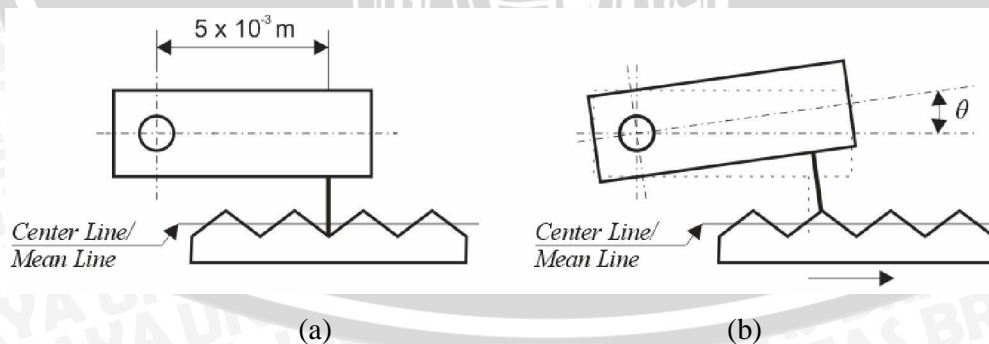


Gambar 4.3 menunjukkan beban  $W$  pada pegas menjadi  $W \cos \theta$ , karena harga  $W \cos \theta$  lebih kecil dari  $W$  akan mengakibatkan massa ( $m$ ) bergerak ke atas. Gerakan massa sepanjang  $\Delta h$ , akan dibaca oleh sensor gerakan yang ada pada *accelerometer*. Sensor akan merubah gerakan tersebut menjadi sinyal analog yang berupa tegangan.

#### 4.1.2. Alat Ukur Kekasaran Permukaan

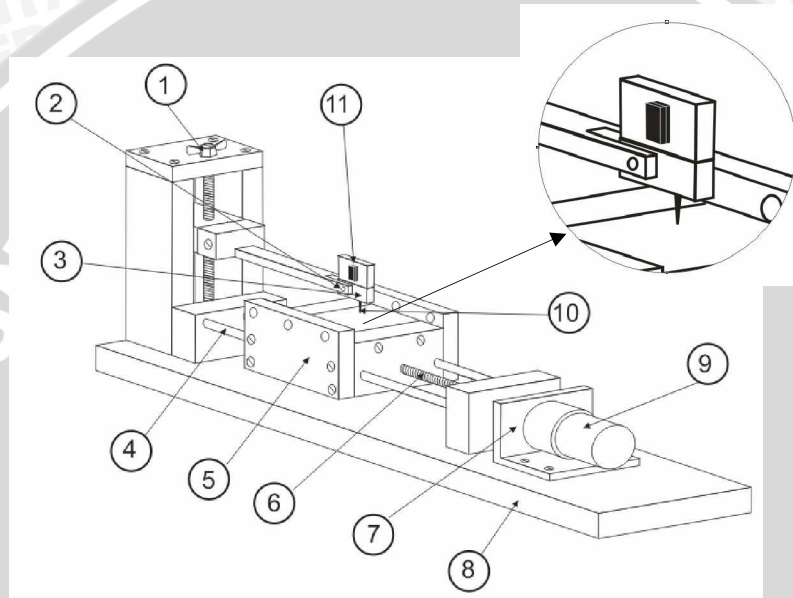
Seperti yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, alat ukur kekasaran permukaan yang direncanakan adalah menggunakan *transducer* atau sensor *accelerometer ADXL202JQC*. Pemakaian *accelerometer* sebagai sensor alat ukur kekasaran permukaan karena sensor *accelerometer* dapat digunakan untuk mengukur sudut kemiringan. Sudut kemiringan yang dibaca oleh sensor pada alat ukur ini adalah sudut kemiringan batang pemegang *stylus* akibat perubahan ketinggian profil kekasaran permukaan spesimen. Batang pemegang *stylus* dilengkapi dengan engsel agar dapat bergerak bebas mengikuti profil kekasaran permukaan yang terbaca oleh ujung *stylus* dan membentuk sudut yang akan dibaca oleh sensor, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Jarak ujung *stylus* terhadap engsel sangat pendek, yaitu  $5 \times 10^{-3}$  m. Hal ini bertujuan agar dengan perubahan ketinggian yang kecil dapat menghasilkan sudut kemiringan yang lebih besar dibandingkan dengan jarak yang lebih jauh atau panjang.



Gambar 4.4. (a) Jarak *stylus* terhadap engsel batang pemegang *stylus*, (b) Sudut kemiringan akibat perubahan ketinggian profil kekasaran permukaan.

Pada alat ini, yang bergerak adalah spesimen yang diukur. Dengan cara ini, diharapkan proses pembacaan lebih stabil dibandingkan bila sensor yang bergerak. Spesimen akan diletakkan pada meja yang akan digerakkan oleh sebuah motor listrik DC 12 *Volt* dengan menggunakan poros ulir. Meja spesimen dilengkapi dengan 2 poros pengarah sebagai rel atau landasan jalan. Agar bersifat fleksibel, dapat mengukur spesimen dengan berbagai ukuran, maka dilengkapi dengan pengatur ketinggian batang pemegang *stylus*.



Gambar 4.5. Desain alat ukur kekasaran permukaan yang direncanakan.

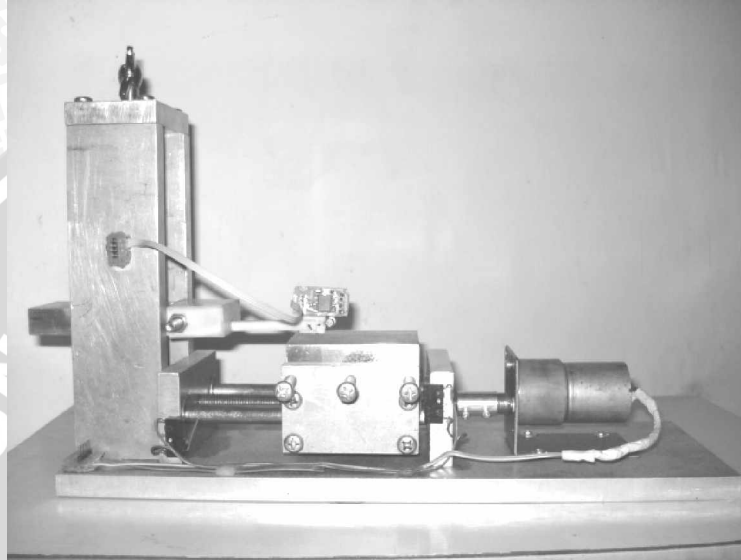
Keterangan Gambar 4.5 :

1. Baut pengatur ketinggian batang pemegang *stylus*
2. Engsel batang pemegang *stylus*
3. Batang pemegang *stylus*
4. Poros pengarah
5. Meja spesimen
6. Ulir penggerak meja spesimen
7. Dudukan motor listrik
8. *Base*
9. Motor listrik
10. *Stylus*
11. Sensor *accelerometer ADXL202JQC*

## 4.2. Pembuatan Alat Ukur Kekasaran Permukaan

### 4.2.1. Sistem Mekanis

Sistem mekanis adalah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 sebagai berikut :



Gambar 4.6. Sistem mekanis alat ukur kekasaran permukaan

Pembuatan sistem mekanis meliputi perencanaan dimensi dan bentuk alat ukur (desain gambar), *marking*, *machining* dan *assembling*.

#### 1. Perencanaan dimensi dan bentuk alat ukur (desain gambar)

Ini merupakan tahap awal dalam pembuatan alat ukur kekasaran permukaan. Dengan membuat gambar yang dilengkapi dengan dimensi akan memudahkan dalam proses *machining*, selain itu juga untuk mengetahui banyaknya bahan yang akan digunakan.

#### 2. *Marking*

*Marking* merupakan tahap memindahkan gambar bagian-bagian dari alat ukur pada bahan yang digunakan sesuai dengan dimensi atau ukurannya. Tujuan *marking* adalah untuk memudahkan dalam proses pemotongan bahan. *Marking* yang tepat juga dapat menghemat bahan dan proses *milling* pada hasil pemotongan tidak akan banyak membuang bahan.



### 3. *Machining*

Proses *machining* meliputi :

- a. Pemotongan, yaitu memotong bahan yang telah melalui proses *marking*.
- b. *Milling*, yaitu meratakan permukaan hasil pemotongan.
- c. *Drilling*, yaitu melubangi bahan yang telah dipotong untuk pemasangan baut dan pembuatan ulir dalam.
- d. Pembubutan, yaitu untuk membuat poros pengarah dan kopling penghubung poros ulir penggerak meja spesimen dengan poros motor listrik.

### 4. *Assembling*.

Setelah semua bagian dari alat ukur selesai dibuat, maka langkah berikutnya adalah proses *assembling* atau perakitan.

#### 4.2.2. *Stylus*

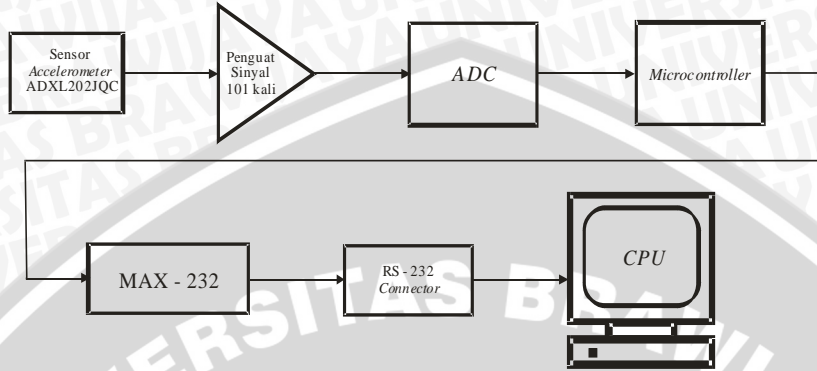
*Stylus* adalah jarum atau ujung pengusut yang berfungsi untuk meraba sepanjang permukaan yang diukur. Gerakan *stylus* berdasarkan bentuk profil dari kekasaran permukaan, dimana gerakan tersebut mengakibatkan batang pemegang *stylus* membentk sudut kemiringan. Hasil foto mikro menunjukkan bahwa jari-jari ujung *stylus* yang digunakan pada alat ukur adalah 20  $\mu\text{m}$ .

#### 4.2.3. Sistem Akuisisi Data

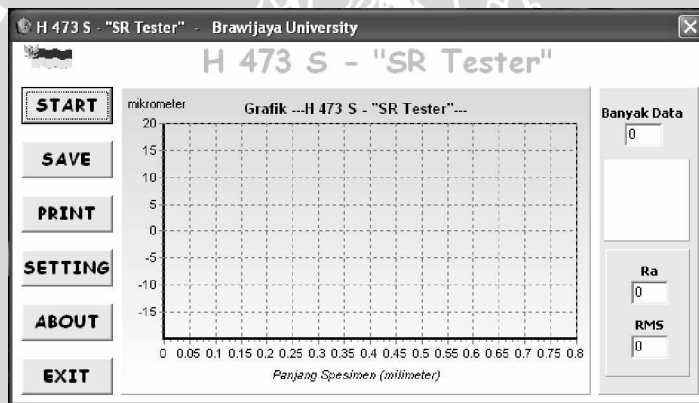
Sensor *accelerometer ADXL202JQC* mempunyai dua *output* data, yaitu *digital output* yang menghasilkan sinyal digital berupa sinyal *counter* dan *analog output* yang menghasilkan sinyal analog berupa tegangan. *Output* data yang digunakan pada penelitian ini adalah *analog output*.

Sensor *accelerometer* menghasilkan tegangan akibat perubahan sudut kemiringan terhadap permukaan bumi. Tegangan yang dihasilkan oleh sensor diperbesar 101 kali oleh penguat sinyal agar dapat terbaca oleh ADC (*Analog to Digital Converter*). Tegangan atau sinyal analog akan diubah ADC menjadi sinyal digital, kemudian *microcontroller* mengubah sinyal tersebut dari data komunikasi paralel menjadi data komunikasi serial agar dapat diterima oleh IC MAX-232. Fungsi dari IC MAX-232 adalah mengubah sinyal digital dari *range* 0 s/d 5 Volt

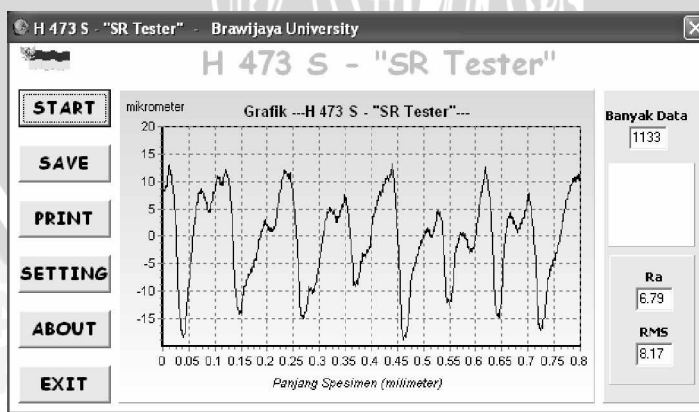
menjadi -25 s/d 25 Volt agar dapat diterima oleh komputer. Untuk lebih jelasnya ditunjukkan dengan diagram balok pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7. Diagram balok sistem akuisisi data



Gambar 4.8. Tampilan program komputer.



Gambar 4.9. Tampilan grafik profil kekasaran permukaan pada program komputer.

Gambar 4.8 merupakan tampilan dari program komputer. Dengan program komputer, sinyal akan diolah dengan dikonversikan menjadi satuan kekasaran permukaan ( $\mu\text{m}$ ) dan ditampilkan dalam bentuk grafik yang menggambarkan profil dari kekasaran permukaan seperti pada Gambar 4.9.

### 4.3. Data Perhitungan

#### 4.3.1. Perhitungan Motor

Motor yang digunakan pada alat ukur ini adalah motor dengan spesifikasi sebagai berikut :

Jenis	: DC tipe TG-85B-SG
Putaran <i>Output</i>	: 10,3 rpm
<i>Gear Ratio</i>	: 1/500
<i>Torque</i>	: 0,588 Nm
<i>Voltage Source</i>	: 12 Volt

Untuk mendapatkan data yang lebih banyak maka putaran motor diperkecil. Penurunan putaran tidak dilakukan dengan reduksi roda gigi, yaitu dengan menurunkan *voltage source* menjadi 6 V. Putaran yang dihasilkan adalah  $\pm 8$  rpm, maka kecepatan yang dihasilkan oleh motor pada poros ulir penggerak meja spesimen dapat dihitung sebagai berikut :

Diketahui :

$\Theta$ poros ( $d$ )	: $1 \cdot 10^{-2}$ m
Putaran motor ( $n$ )	: $\pm 8$ rpm

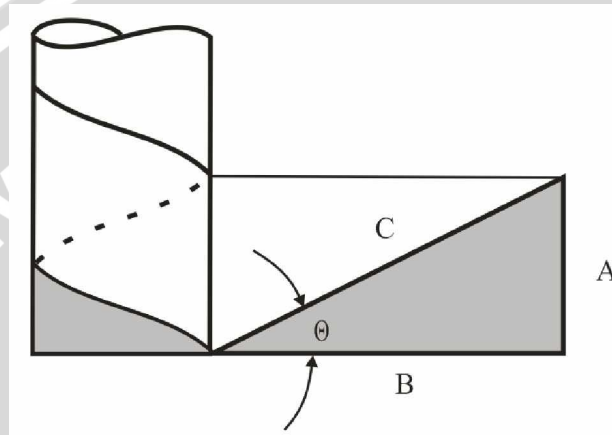
Maka :

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60} && (\text{m/s}) \\
 &= \frac{3,14 \cdot 1 \cdot 10^{-2} \cdot 8}{60} \\
 &= \mathbf{4,187 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}}
 \end{aligned}$$



### 4.3.2. Kecepatan Meja Spesimen

Penampang ulir dapat digambarkan sebagai sebuah segi tiga seperti Gambar 4.10.  $C$  merupakan panjang ulir atau panjang lintasan yang dilalui oleh meja spesimen untuk 1 putaran motor, namun jarak tempuh yang sesungguhnya untuk 1 putaran motor adalah  $A$ . Panjang  $A$  adalah  $1,5 \times 10^{-3}$  m, sedangkan  $B$  adalah keliling lingkaran dari poros ulir penggerak meja spesimen.



Gambar 4.10. Penampang Ulir

Keterangan Gambar 4.10 :

$A$  = Jarak antar puncak ulir (m)

$B$  = Keliling lingkaran poros (m)

$C$  = Panjang ulir (m)

$\theta$  = Sudut maju ulir ( $^{\circ}$ )

Diketahui :

$\theta$  poros ( $d$ ) :  $1 \cdot 10^{-2}$  m

$A$  :  $1,5 \cdot 10^{-3}$  m

**Keliling lingkaran poros ulir penggerak meja spesimen ( $B$ ) :**

$$B = \pi \cdot d \quad (\text{m})$$

$$= 3,14 \cdot 1 \cdot 10^{-2}$$

$$= \mathbf{3,14 \cdot 10^{-2} \text{ m}}$$

**Panjang ulir (C) :**

$$\begin{aligned} C &= \sqrt{A^2 + B^2} \quad (\text{m}) \\ &= \sqrt{(1,5 \cdot 10^{-3})^2 + (3,14 \cdot 10^{-2})^2} \\ &= 31,435 \cdot 10^{-3} \text{ m} \end{aligned}$$

**Sudut maju ulir ( $\theta$ ) :**

$$\begin{aligned} \theta &= \cos^{-1} \frac{B}{C} \quad (^\circ) \\ &= \cos^{-1} \frac{3,14 \cdot 10^{-2}}{31,436 \cdot 10^{-3}} \\ &= 2,742^\circ \end{aligned}$$

**Kecepatan meja spesimen :**

$$\begin{aligned} v_{ms} &= v \cdot \sin \theta \quad (\text{m/s}) \\ &= 4,187 \cdot 10^{-3} \cdot \sin 2,742^\circ \\ &= 2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} \end{aligned}$$

Atau dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned} v_{ms} &= \frac{A \cdot n}{60} \quad (\text{m/s}) \\ &= \frac{1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 8}{60} \\ &= 2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s} \end{aligned}$$

#### 4.3.3. Jumlah Data

Jumlah data yang dapat diambil dipengaruhi oleh parameter-parameter sebagai berikut :

Panjang sampel ( $L$ )	$= 8 \cdot 10^{-4} \text{ m}$
Kecepatan meja spesimen ( $v_{ms}$ )	$= 2 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$
Kec. Pengukuran ( $v_p$ )	$= \pm 3,54 \cdot 10^{-3} \text{ second}$

Jadi jumlah data yang didapat adalah :

$$\begin{aligned} \text{Data} &= \frac{L}{v_{ms} \cdot v_p} \\ &= \frac{8.10^{-4}}{2.10^{-4} \cdot 3,54.10^{-3}} \\ &= 1129,943 \approx \mathbf{1130} \end{aligned}$$

#### 4.3.4. Pembacaan Sensor

##### 1. Sensitifitas Sensor

Sensor *accelerometer* dapat membaca perubahan sudut terhadap permukaan bumi. Sensor dapat menghasilkan sinyal digital dari *digital output* maupun sinyal analog dari *analog output*. Untuk perubahan 90° terhadap permukaan bumi sensor akan menghasilkan *digital output* berupa sinyal *counter* sebesar 1 g atau *analog output* berupa tegangan sebesar 312 mV.

$$\begin{aligned} 90^\circ &= 312 \text{ mV} = 1 \text{ g} \\ 1^\circ &= 3,432 \text{ mV} = 0,011 \text{ g} \end{aligned}$$

##### 2. Noise

Sinyal yang dihasilkan masih terdapat *noise* meskipun sistem akuisisi data dilengkapi dengan *filter*. *Noise* pada dasarnya adalah gangguan yang terjadi pada sinyal yang disebabkan oleh komponen elektronik, tegangan listrik maupun dari lingkungan di sekitar. *Noise* yang dihasilkan oleh sensor cukup besar, hal ini dapat disebabkan karena sensor *accelerometer ADXL202JQC* memiliki tingkat sensitifitas yang besar. *Noise* dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{Bandwidth} = 50 \text{ Hz}$$

$$\text{Noise density} = 500 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$$

$$\begin{aligned} \text{Noise (rms)} &= (500 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}) \cdot (\sqrt{\text{BW} \cdot 1,5}) \quad (\mu\text{g}) \\ &= (500 \mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}) \cdot (\sqrt{50 \cdot 1,5}) \\ &= 4330,127 \mu\text{g} \\ &= \mathbf{1,351 \text{ mV}} \end{aligned}$$



Banyak cara untuk mengurangi *noise*, seperti *Digital FIR Filter*, *Mains Hum Noise Suppresion*, *Background Noise Suppresion*, *TMS Card* dan masih banyak lagi. Pada penelitian ini menggunakan *Moving Average Filter*, yaitu dengan mengolah data menggunakan Persamaan 4-3.

$$\hat{y}(i) = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x(i+j) \tag{4-3}$$

dengan :

$\hat{y}$  = Sinyal *output* hasil *moving average*

$x$  = Sinyal *input*

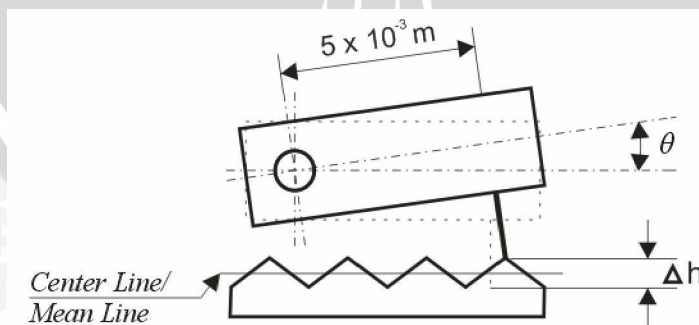
$M$  = Banyaknya sinyal *input* yang akan diproses *moving average*.

### 3. Pembacaan Kekasaran Permukaan

Panjang lengan ( $L$ ) yang digunakan pada alat ukur ini adalah  $5 \times 10^{-3}$  m atau 5000  $\mu\text{m}$ . Jika diharapkan pengukuran tiap  $0,01^\circ$  maka perubahan ketinggian yang terjadi adalah :

$$\begin{aligned} \Delta h &= L \cdot \sin \theta && (\text{m}, \mu\text{m}) \\ &= 5000 \cdot \sin 0,01^\circ \\ &= \mathbf{0,873 \mu\text{m}} \end{aligned}$$

Setiap perubahan ketinggian 1  $\mu\text{m}$  sensor akan menghasilkan tegangan sebesar  $3,933 \cdot 10^{-2}$  mV.



Gambar 4.11. Perubahan sudut akibat perubahan ketinggian.

#### 4.4. Pengambilan Data dan Pengolahan Data

##### 4.4.1. Data Noise

Untuk mengetahui besarnya *noise* yang dihasilkan oleh sensor dilakukan 100 kali pengambilan data tanpa pengukuran spesimen, rata-rata *noise* yang terjadi adalah sebesar 2,58  $\mu\text{m}$  atau 0,101 mV. Setelah kalibrasi, nilai *noise* menjadi 0,96  $\mu\text{m}$  atau 0,037 mV. Data *noise* dapat juga digunakan untuk mengetahui kekasaran permukaan terkecil yang dapat terbaca oleh alat ukur.

##### 4.4.2. Data Pengukuran Kekasaran Permukaan

Data hasil pengukuran kekasaran permukaan spesimen standar akan digunakan untuk kalibrasi alat ukur. Data ini juga akan digunakan sebagai klarifikasi alat ukur terhadap penyimpangan pembacaannya. Pada 10 kali pengukuran kekasaran permukaan spesimen standar *Mitutoyo Surftest 301*, data yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Data hasil pengukuran kekasaran permukaan spesimen standar (2,82  $\mu\text{m}$ ).

No.	Pengujian	Tegangan (mV)	$R_a$ (pembacaan) ( $\mu\text{m}$ )
1.	Pengujian 1	0.291	7.39
2.	Pengujian 2	0.297	7.56
3.	Pengujian 3	0.304	7.73
4.	Pengujian 4	0.294	7.47
5.	Pengujian 5	0.300	7.63
6.	Pengujian 6	0.299	7.59
7.	Pengujian 7	0.304	7.72
8.	Pengujian 8	0.291	7.40
9.	Pengujian 9	0.296	7.52
10.	Pengujian 10	0.291	7.40
	Rata -rata	0.297	7.54

Data yang dihasilkan masih belum memenuhi nilai yang diinginkan, maka perlu dilakukan proses kalibrasi alat ukur terhadap nilai kekasaran permukaan

spesimen standar *Mitutoyo Surftest 301*. Proses kalibrasi pembacaan alat ukur adalah sebagai berikut :

$$R_{a(\text{spesimen standar})} = \frac{(R_{a(\text{rata-rata pembacaan})})}{\text{Konstanta Kalibrasi}} \quad (4-4)$$

Persamaan (4-4) menjadi :

$$\text{Konstanta Kalibrasi} = \frac{(R_{a(\text{rata-rata pembacaan})})}{R_{a(\text{spesimen standar})}} \quad (4-5)$$

Maka nilai Konstanta Kalibrasi adalah :

$$\begin{aligned} \text{Konstanta Kalibrasi} &= \frac{(R_{a(\text{rata-rata pembacaan})})}{R_{a(\text{spesimen standar})}} \\ &= \frac{7,54}{2,82} \\ &= \mathbf{2,674} \end{aligned}$$

Data yang diinginkan dapat dicari dengan Persamaan (4-4),  $R_{a(\text{spesimen standar})}$  diganti dengan  $R_a$ . Sebagai contoh perhitungan kalibrasi pembacaan alat ukur kekasaran permukaan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} R_a &= \frac{(R_{a(\text{pembacaan})})}{\text{Konstanta Kalibrasi}} \\ &= \frac{7,39}{2,674} \\ &= \mathbf{2,764} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan kalibrasi pembacaan alat ukur kekasaran permukaan spesimen standar ditabelkan pada Tabel 4.2, dimana  $R_{a(\text{pembacaan})}$  dibagi konstanta kalibrasi didapatkan  $R_a$  pada kolom 2 dari kiri. Untuk spesimen 0,98  $\mu\text{m}$  dan spesimen 2,98  $\mu\text{m}$  ditabelkan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.



Tabel 4.2. Data pengukuran kekasaran permukaan spesimen standar 2,82  $\mu\text{m}$ .

No.	Pengujian	Tegangan (mV)	$R_{a(\text{pembacaan})}$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Penyimpangan pembacaan
1.	Pengujian 1	0.291	7.39	2.76	-0.06
2.	Pengujian 2	0.297	7.56	2.83	0.01
3.	Pengujian 3	0.304	7.73	2.89	0.07
4.	Pengujian 4	0.294	7.47	2.79	-0.03
5.	Pengujian 5	0.300	7.63	2.85	0.03
6.	Pengujian 6	0.299	7.59	2.84	0.02
7.	Pengujian 7	0.304	7.72	2.89	0.07
8.	Pengujian 8	0.291	7.40	2.77	-0.05
9.	Pengujian 9	0.296	7.52	2.81	-0.01
10.	Pengujian 10	0.291	7.40	2.77	-0.05
	Rata -rata	0.297	7.54	2.82	0.04

Tabel 4.3. Data pengukuran kekasaran permukaan spesimen 0,98  $\mu\text{m}$ .

No.	Pengujian	Tegangan (mV)	$R_{a(\text{pembacaan})}$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Penyimpangan pembacaan
1.	Pengujian 1	0.106	2.70	1.01	0.03
2.	Pengujian 2	0.105	2.67	1.00	0.02
3.	Pengujian 3	0.101	2.57	0.96	-0.02
4.	Pengujian 4	0.101	2.57	0.96	-0.02
5.	Pengujian 5	0.105	2.67	1.00	0.02
6.	Pengujian 6	0.104	2.65	0.99	0.01
7.	Pengujian 7	0.110	2.81	1.05	0.07
8.	Pengujian 8	0.099	2.53	0.95	-0.03
9.	Pengujian 9	0.108	2.74	1.02	0.04
10.	Pengujian 10	0.107	2.73	1.02	0.04
	Rata -rata	0.105	2.66	1.00	0.03

Tabel 4.4. Data pengukuran kekasaran permukaan spesimen 2,98  $\mu\text{m}$ .

No.	Pengujian	Tegangan (mV)	$R_a$ (pembacaan) ( $\mu\text{m}$ )	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	Penyimpangan pembacaan
1.	Pengujian 1	0.313	7.95	2.97	-0.01
2.	Pengujian 2	0.317	8.06	3.01	0.03
3.	Pengujian 3	0.308	7.83	2.93	-0.05
4.	Pengujian 4	0.323	8.22	3.07	0.09
5.	Pengujian 5	0.322	8.19	3.06	0.08
6.	Pengujian 6	0.312	7.93	2.96	-0.02
7.	Pengujian 7	0.322	8.20	3.07	0.09
8.	Pengujian 8	0.318	8.09	3.02	0.04
9.	Pengujian 9	0.312	7.93	2.96	-0.02
10.	Pengujian 10	0.311	7.91	2.96	-0.02
	Rata -rata	0.316	8.03	3.00	0.04

## 4.5. Analisis dan Pembahasan

### 4.5.1. Analisis Statistik

Untuk mengetahui apakah hasil pengukuran dari alat ukur kekasaran permukaan yang menggunakan sensor *accelerometer* dapat diterima atau tidak, maka dilakukan analisis dengan perhitungan statistik mencari interval penduga kesalahan.

Hipotesis statistik :

$$H_1 = \mu_1 \neq \mu_2$$

Ditolak jika ada perbedaan yang besar nilai kekasaran hasil pengukuran.

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2$$

Diterima jika tidak ada perbedaan yang besar nilai kekasaran hasil pengukuran.

Tabel 4.5. Data statistik spesimen standar.

No.	Pengujian	$R_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$R_a - \overline{R_a}$	$(R_a - \overline{R_a})^2$
1.	Pengujian 1	2.76	-0.06	0.0036
2.	Pengujian 2	2.83	0.01	0.0001
3.	Pengujian 3	2.89	0.07	0.0049
4.	Pengujian 4	2.79	-0.03	0.0009
5.	Pengujian 5	2.85	0.03	0.0009
6.	Pengujian 6	2.84	0.02	0.0004
7.	Pengujian 7	2.89	0.07	0.0049
8.	Pengujian 8	2.77	-0.05	0.0025
9.	Pengujian 9	2.81	-0.01	0.0001
10.	Pengujian 10	2.77	-0.05	0.0025
$\Sigma$				0.0208

Perhitungan statistik adalah sebagai berikut :

- Kekasaran permukaan rata-rata ( $\overline{R_a}$ )

$$\overline{R_a} = \frac{\Sigma R_a}{n} = 2,82$$

- Simpangan baku ( $\delta$ )

$$\delta = \sqrt{\frac{\Sigma (R_a - \overline{R_a})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,0208}{9}} = 0,0481$$

- Simpangan baku rata-rata ( $\overline{\delta}$ )

$$\overline{\delta} = \frac{\delta}{\sqrt{n}} = \frac{0,0481}{\sqrt{10}} = 0,0152$$

- Kesalahan relatif ( $k_r$ )

$$k_r = \frac{\overline{\delta}}{\overline{R_a}} = \frac{0,0152}{2,82} = 0,0054 = 0,54 \%$$



- Resiko kesalahan ( $\alpha$ )  
Diambil  $\alpha = 1\%$ , berdasarkan nilai kesalahan relatif ( $k_r$ )
- Derajat kebebasan (db)  
 $db = n - 1 = 10 - 1 = 9$
- Interval penduga kesalahan

$$\begin{aligned} \bar{R}_a - \{t(\alpha/2; db)\bar{\delta}\} &\leq R_a \leq \bar{R}_a + \{t(\alpha/2; db)\bar{\delta}\} \\ 2,82 - \{3,25 \cdot 0,0152\} &\leq R_a \leq 2,82 + \{3,25 \cdot 0,0152\} \\ 2,82 - \{0,0494\} &\leq R_a \leq 2,82 + \{0,0494\} \\ 2,77 &\leq R_a \leq 2,87 \end{aligned}$$

Perhitungan statistik menunjukkan bahwa dari 10 data pengukuran dengan alat ukur kekasaran permukaan yang menggunakan sensor *accelerometer*, 8 data dapat diterima dan 2 data ditolak karena lebih besar dari interval penduga kesalahan atau di luar daerah terima  $H_0$  dengan tingkat kesalahan 1 %.

Dengan perhitungan yang sama, didapatkan data statistik dari spesimen 0,98  $\mu\text{m}$  dan 2,98  $\mu\text{m}$  sebagai berikut :

Tabel 4.6. Data hasil perhitungan statistik spesimen 0,98  $\mu\text{m}$  dan 2,98  $\mu\text{m}$ .

Spesimen	$\bar{R}_a$	$\delta$	$\bar{\delta}$	$k_r$	$\alpha$	db	Interval Penduga Kesalahan
0,98 $\mu\text{m}$	0,98	0,036	0,011	1,1 %	1 %	9	$0,94 \leq R_a \leq 1,02$
2,98 $\mu\text{m}$	2,98	0,057	0,018	0,6 %	1 %	9	$2,9 \leq R_a \leq 3,04$

Perhitungan statistik menunjukkan bahwa dari 10 data pengukuran dengan alat ukur kekasaran permukaan yang menggunakan sensor *accelerometer* pada spesimen 0,98  $\mu\text{m}$ , 9 data dapat diterima dan 1 data ditolak karena lebih besar dari interval penduga kesalahan atau di luar daerah terima  $H_0$  dengan tingkat kesalahan 1 %. Sedangkan pada spesimen 2,98  $\mu\text{m}$ , perhitungan statistik menunjukkan

bahwa dari 10 data pengukuran, 7 data dapat diterima dan 3 data ditolak karena lebih besar dari interval penduga kesalahan atau di luar daerah terima  $H_0$  dengan tingkat kesalahan 1 %.

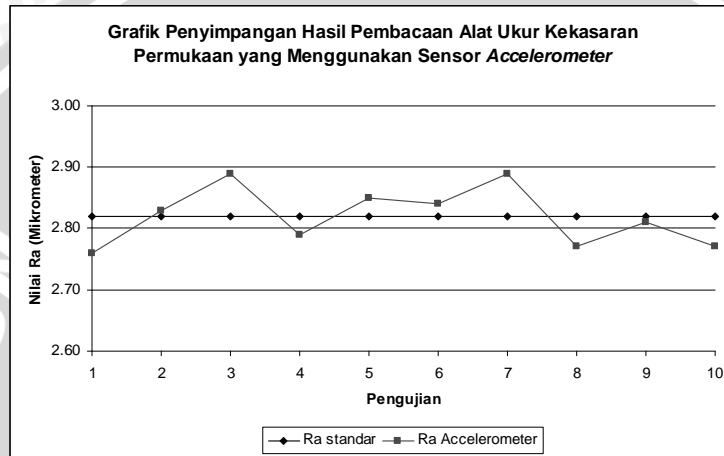
Data yang didapatkan menunjukkan bahwa penyimpangan rata-rata pembacaan alat ukur kekasaran permukaan yang menggunakan sensor *accelerometer* terhadap hasil pembacaan alat ukur *Mitutoyo Surftest 301* adalah  $0,04 \mu\text{m}$  untuk spesimen standar dengan nilai kekasaran permukaan  $2,82 \mu\text{m}$ ,  $0,03 \mu\text{m}$  untuk spesimen dengan nilai kekasaran permukaan  $0,98 \mu\text{m}$  dan  $0,04 \mu\text{m}$  untuk spesimen dengan nilai kekasaran permukaan  $2,98 \mu\text{m}$ .

#### 4.5.2. Pembahasan

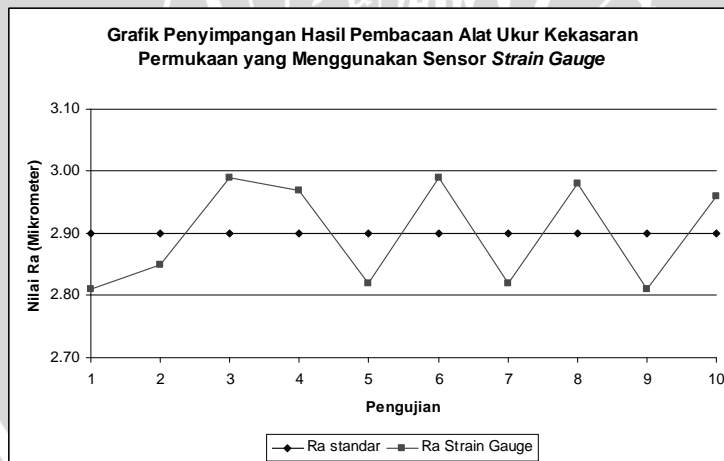
Pada alat ukur kekasaran permukaan ini, sistem mekanis yang dibuat menyesuaikan dengan prinsip kerja dari sensor *accelerometer ADXL202JQC* dalam fungsinya sebagai sensor yang dapat membaca sudut kemiringan. Untuk menghasilkan sudut kemiringan akibat dari perubahan ketinggian profil kekasaran permukaan, maka pada batang pemegang *stylus* diberi engsel agar dapat bergerak bebas membentuk sudut yang diharapkan. Sensor *accelerometer ADXL202JQC* akan menghasilkan sinyal dalam bentuk sinyal analog maupun sinyal digital, karena sensor ini memiliki dua *output* seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Sinyal yang dipakai pada alat ini adalah sinyal analog yang berupa tegangan. Sinyal diolah oleh sistem akuisisi data sedemikian rupa hingga menjadi data *input* program komputer. Dengan program komputer, data *input* akan diolah dan dikonversikan menjadi satuan kekasaran permukaan ( $\mu\text{m}$ ), kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik yang menggambarkan profil dari kekasaran permukaan.

Hasil penelitian pengujian kekasaran pada alat ukur kekasaran permukaan menunjukkan bahwa sensor *accelerometer ADXL202JQC* dapat digunakan sebagai sensor alat ukur kekasaran permukaan. Setelah dilakukan pengujian kekasaran pada alat ukur, didapatkan data yang memiliki nilai kekasaran yang berbeda dan dari data tersebut didapatkan penyimpangan rata-rata. Penyimpangan rata-rata pembacaan dari alat ukur kekasaran permukaan yang menggunakan sensor *accelerometer* terhadap hasil pembacaan alat ukur *Mitutoyo Surftest 301* adalah  $0,04 \mu\text{m}$  pada spesimen standar dengan nilai kekasaran permukaan  $2,82$

$\mu\text{m}$ . Nilai tersebut menunjukkan bahwa penyimpangan rata-rata pembacaan lebih kecil dibandingkan penyimpangan rata-rata pembacaan alat ukur kekasaran permukaan yang menggunakan sensor *strain gauge*, yaitu  $0,08 \mu\text{m}$  pada spesimen standar dengan nilai kekasaran permukaan  $2,90 \mu\text{m}$ . Perbedaan penyimpangan pembacaan dari 10 kali pengujian kekasaran permukaan spesimen standar dapat dilihat pada grafik Gambar 4.12.



(a)



(b)

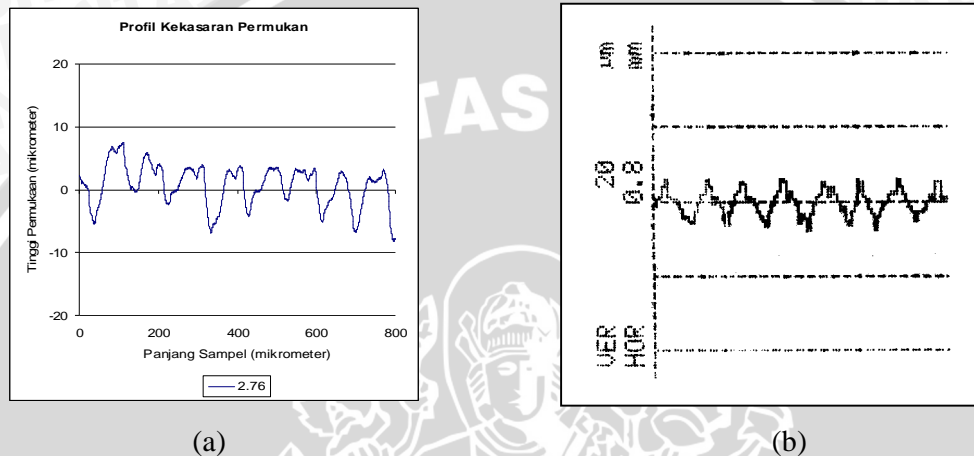
Gambar 4.12. Grafik penyimpangan pembacaan alat ukur kekasaran permukaan, (a) *Accelerometer*, (b) *Strain Gauge*.

Penyimpangan juga terjadi pada hasil pembacaan 2 spesimen yang lain, dimana penyimpangan rata-rata pembacaan adalah  $0,03 \mu\text{m}$  untuk spesimen



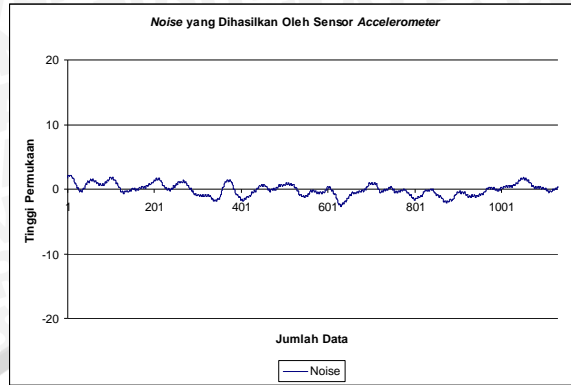
dengan nilai kekasaran permukaan  $0,98 \mu\text{m}$  dan  $0,04 \mu\text{m}$  untuk spesimen dengan nilai kekasaran permukaan  $2,98 \mu\text{m}$ .

Bentuk profil yang terbaca dari alat ukur ini tidak sama dengan hasil pembacaan alat ukur kekasaran permukaan standar *Mitutoyo Surftest 301*. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.13.



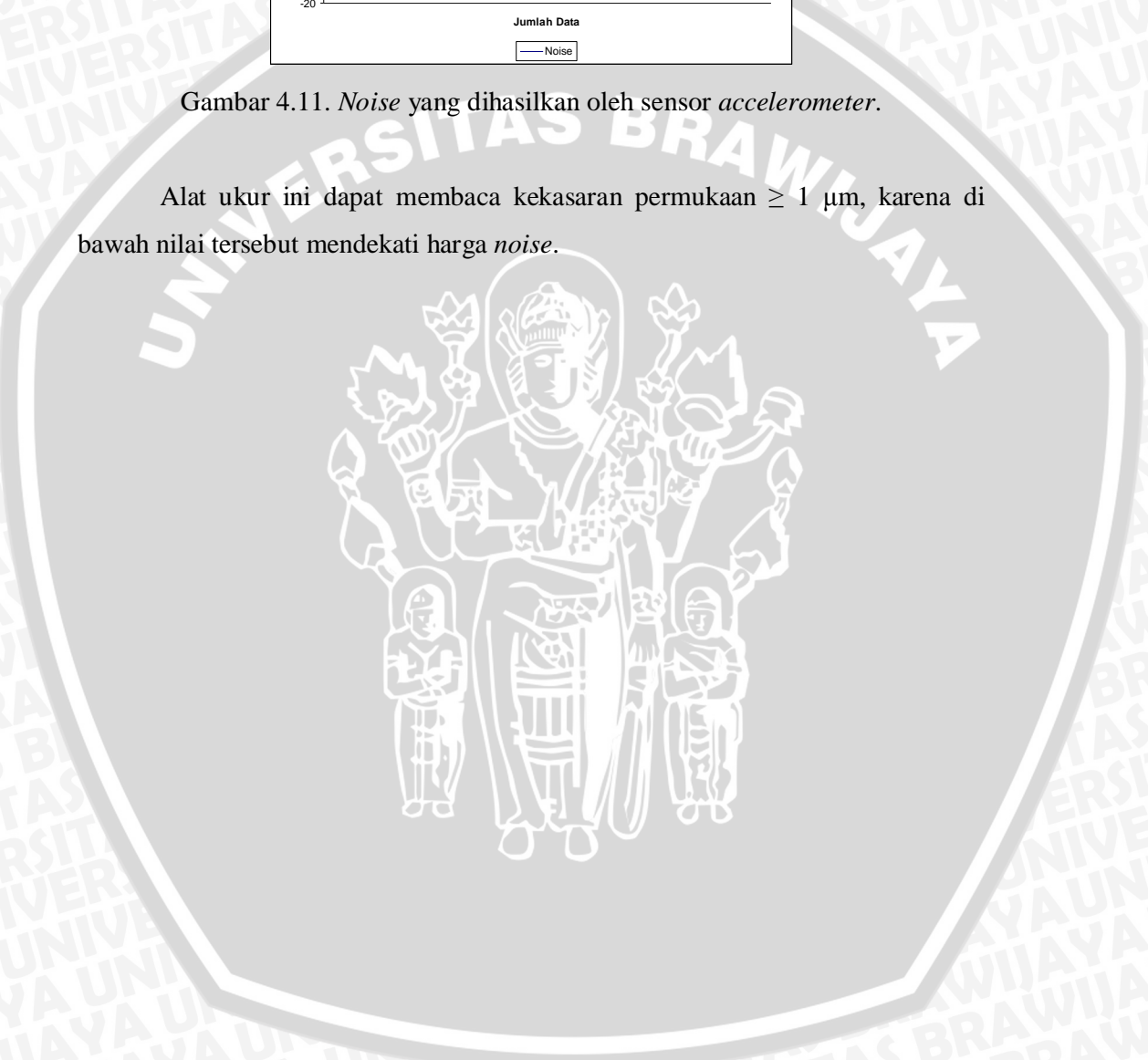
Gambar 4.13. Perbedaan bentuk profil yang terbaca oleh alat ukur kekasaran permukaan, (a) *Accelerometer*, (b) *Mitutoyo Surftest 301*.

Perbedaan tersebut disebabkan karena ujung *stylus* yang dipakai pada alat ukur mempunyai jari-jari yang besar, yaitu  $20 \mu\text{m}$ . Selain itu sensor *accelerometer* memiliki sensitifitas yang besar, sehingga *noise* yang terbaca juga besar. *Noise* yang terbaca oleh sensor dapat berasal dari tegangan listrik, komponen elektronika, sensor itu sendiri dan pengaruh lingkungan. *Noise* akan selalu ada dan tidak bisa dihilangkan, yang mungkin bisa dilakukan adalah memperkecil harga *noise*, yaitu dengan menggunakan *filter*. *Filter* dapat berupa *hardware* yang dapat ditambahkan pada sistem akuisisi data atau *filter* pada program. Pada alat ukur ini menggunakan *Moving Average Filter* untuk mengurangi *noise*. *Noise* yang dihasilkan oleh sensor *accelerometer* dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11. *Noise* yang dihasilkan oleh sensor *accelerometer*.

Alat ukur ini dapat membaca kekasaran permukaan  $\geq 1 \mu\text{m}$ , karena di bawah nilai tersebut mendekati harga *noise*.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian pengujian kekasaran permukaan pada alat ukur kekasaran permukaan (*surface roughness tester*) yang menggunakan sensor *accelerometer* adalah sebagai berikut :

1. Sistem mekanis dari alat ukur menggunakan batang pemegang *stylus* yang dilengkapi dengan engsel agar dapat bergerak bebas membentuk sudut kemiringan, hal ini berdasarkan pada prinsip kerja dari sensor *accelerometer ADXL202JQC*. Jari-jari ujung *stylus* yang digunakan pada alat ukur adalah 20  $\mu\text{m}$ .
2. Sensor *accelerometer ADXL202JQC* dapat digunakan sebagai sensor alat ukur kekasaran permukaan (*surface roughness tester*). Penyimpangan rata-rata pembacaan dari alat ukur kekasaran permukaan yang menggunakan sensor *accelerometer* terhadap hasil pembacaan alat ukur *Mitutoyo Surf test 301* adalah 0,04  $\mu\text{m}$  untuk spesimen standar dengan nilai kekasaran permukaan 2,82  $\mu\text{m}$ , 0,03  $\mu\text{m}$  untuk spesimen dengan nilai kekasaran permukaan 0,98  $\mu\text{m}$  dan 0,04  $\mu\text{m}$  untuk spesimen dengan nilai kekasaran permukaan 2,98  $\mu\text{m}$ . Dari data tersebut menunjukkan bahwa penyimpangan rata-rata pembacaan dari alat ukur lebih kecil dibandingkan penyimpangan rata-rata pembacaan alat ukur kekasaran permukaan yang menggunakan sensor *strain gauge*, yaitu 0,08  $\mu\text{m}$ . Alat ukur ini dapat membaca kekasaran permukaan  $\geq 1 \mu\text{m}$ .

#### 5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan adalah sebagai berikut :

1. Perlu adanya penambahan *filter* untuk mengurangi *noise* yang dihasilkan sensor, karena *noise* sangat berpengaruh pada hasil pembacaan, terutama bentuk profil kekasaran permukaan.
2. Perlu adanya perbaikan pada sistem mekanis maupun program agar dapat meningkatkan keakuratan pembacaan alat ukur.



## DAFTAR PUSTAKA

- Agusarif. 2006. *Sensor Gerakan*. MediaWiki.  
[http://www.agusarif.staff.ugm.ac.id/KontrolProses/index.php?title=Sensor\\_Gerakan](http://www.agusarif.staff.ugm.ac.id/KontrolProses/index.php?title=Sensor_Gerakan)
- Analog Devices, Inc. 1999. *Low Cost 62 g/610 g Dual Axis iMEMS® Accelerometers with Digital Output*. USA: 1999.  
<http://www.analog.com>
- Beckwith T.G., Buck N.L. dan Marangoni R.D. 1987. *Pengukuran Mekanis*. Jakarta: Erlangga.
- Boothroyd, G. 1985. *Fundamental of Metal Machining and Machine Tools*. USA: Mc Graw-Hall International Bok Company.
- Curtis, D.J. 1997. *Process Control Instrumentation Technology*. USA: Prentice Hall International. Inc.
- Hasnan, Ahmad S. 2006. *Mengenal Proses Deep Drawing (Introduction to Deep Drawing Process)*.  
<http://www.oke.or.id/tutorial/Mengenal%20Proses%20Drawing.doc>
- H.B.Paul, Adams, E.O. 1988. *Machine Design*. Auckland: Mc Graw-Hill Book Company.
- Jeswiest, J. 2005. *Surface Roughness I*. Canada: Queens University, Kingstone.
- Jeswiest, J. 2005. *A Brief Overview of Current Trends in Metrology and Surface Roughness*. Canada: Queens University, Kingstone.
- Malau, Viktor dan Jamasri. 2001. *Pencirian Bahan Adhesif dan Sambungan Adhesif Baja Karbon*. Jogjakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Manias, E. 2001. *Material Sciense and Engineering*. Pen State.
- Rochim, Taufiq. 1993. *Proses Permesinan*. Bandung: Penerbit ITB.
- Sanjaya, Anton. 2002. *Pengaruh Parameter Pemotongan Terhadap Penyimpangan Diameter dan Kekasaran Permukiman pada Proses Bubut Orthogonal*. Malang: Dept. of Mechanical Engineering Universitas Muhammadiyah Malang.
- Sharma, P.C. 2001. *A Textbook of Production Engineering*. New Delhi: Schand Company Ltd.

Soentono, Soedyartomo. 1998. *Korosi di Industri Nuklir*. Batan: Widyanuklida.

Spots, M.F. 1978. *Design of Machine Element 5<sup>th</sup> Edition*. USA: Prentice Hall Inc.

Surface Interface.Inc. 1998. *Surface Roughness & Grain Size Analysis*.  
<http://www.d2m.com/SIIWEBNEW/snpappsrough.html>.

Sutanto, Hermawan. 1998. *Konsep Mikrokontroler*.  
<http://members.tripod.com/mikrokontroler/6805/bab1.htm>

Tansey, Kevin. 2007. *SAR Interactions with Rough Surfaces*.  
<http://www.geog.le.ac.uk/.../kjt7/jordan/roughness.html>

TIM. 2000. *Panduan Penulisan Skripsi*. Malang: UPT Penerbitan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

Trisna Yuda, Rama. 2007. "Perencanaan dan Pengujian Alat Ukur Kekasaran Permukaan (*Surface Roughness Tester*) dengan Metode  $R_a$ ". *Skripsi Tidak Diterbitkan*. Malang: Jurusan Teknik Mesin FT Unibraw, 2007.

Vikstén, Fredrik. 2001. *On The Use of An Accelerometer for Identification of A Flexible Manipulator*. Sweden: Department of Electrical Engineering Linköping University.

Vorbuger, T., F. Joseph. 2002. *In The Rough*. USA: National Institute of Standards and Technology, and ndubusi Orji, University of north Carolina Charlotte.

Wasito, S. 1985. *Teknik Ukur dan Peranti Ukur Elektronik*. Jakarta: PT. Multi Media.

[http://robots6270.mit.edu/contests/2002/handouts/ADXL202\\_10\\_b.pdf](http://robots6270.mit.edu/contests/2002/handouts/ADXL202_10_b.pdf)

<http://www.dimensionengineering.com/accelerometers.htm>

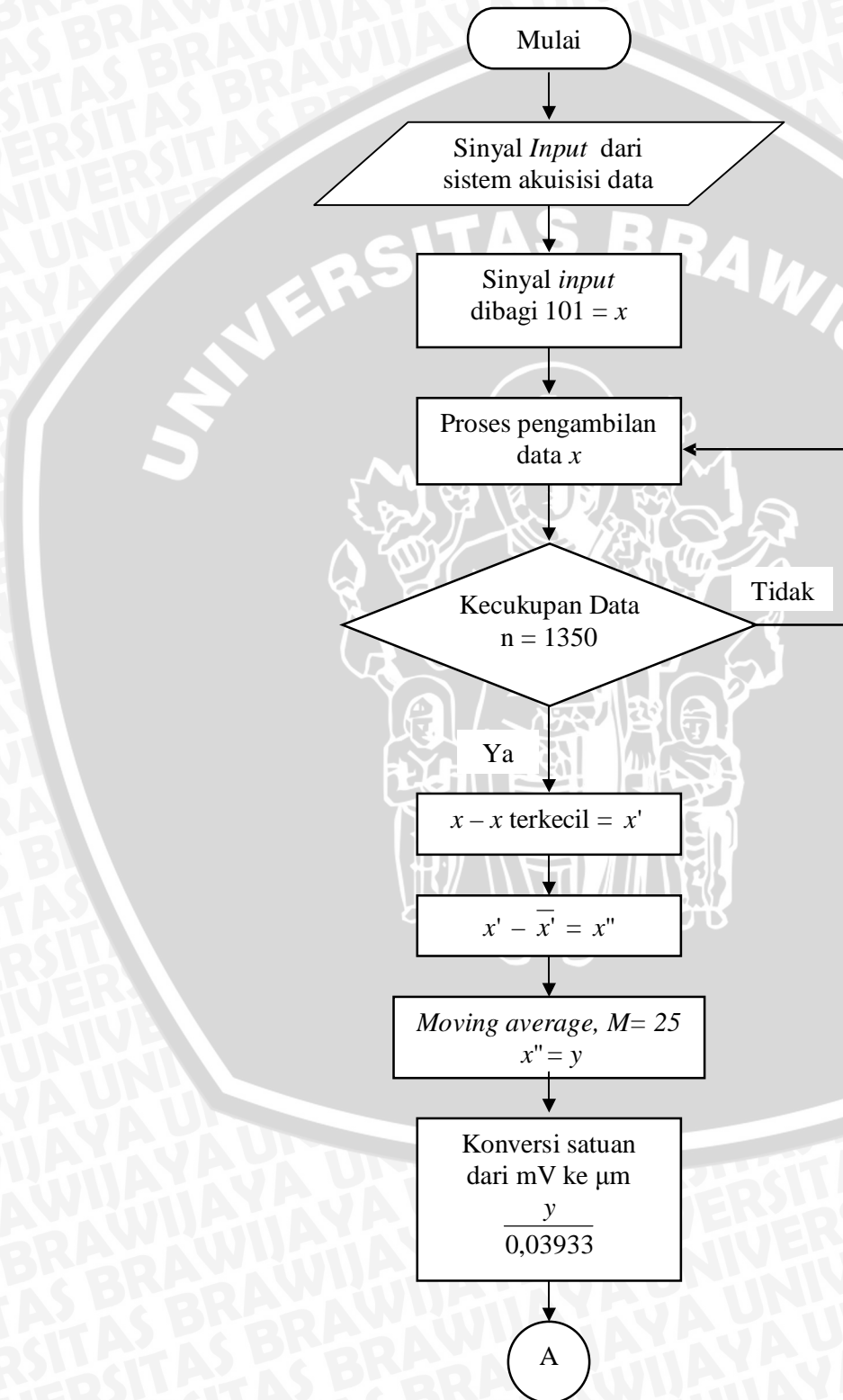
<http://www.mfg.mtu.edu/cyberman/quality/sfinish/terminology.html>

<http://www.toko-elektronika.com/tutorial/uc1.html>

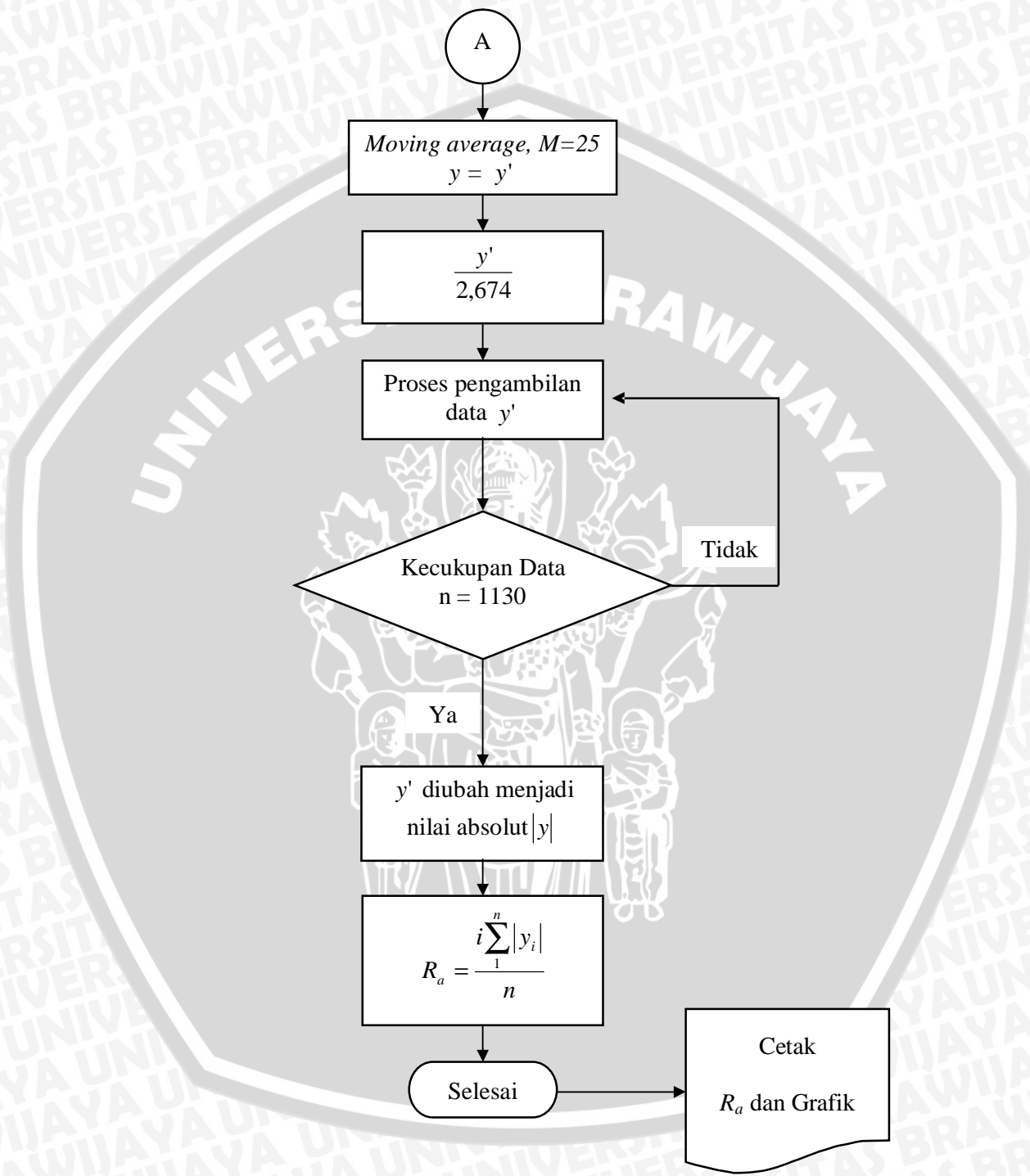
<http://zone.ni.com/devzone/cda/ph/p/id/12>

LAMPIRAN 1

Flowchart Program :







Moving average,  $M=25$   
 $y = y'$

$\frac{y'}{2,674}$

Proses pengambilan data  $y'$

Kecukupan Data  
 $n = 1130$

Tidak

Ya

$y'$  diubah menjadi nilai absolut  $|y|$

$$R_a = \frac{\sum_{i=1}^n |y_i|}{n}$$

Selesai

Cetak  $R_a$  dan Grafik

## LAMPIRAN 2

Contoh perhitungan.

1. Contoh data pengujian dengan nilai  $R_a = 2,83 \mu\text{m}$  :

No.	Jarak titik pengamatan	Tegangan (mV)	$y_{(\text{pembacaan})}$ ( $\mu\text{m}$ )	$y$ ( $\mu\text{m}$ )	$ y $ ( $\mu\text{m}$ )
1	0.707965	0.235152	5.978942	2.236000	2.236000
2	1.415929	0.205879	5.234659	1.957654	1.957654
3	2.123894	0.192187	4.886525	1.827459	1.827459
4	2.831858	0.189118	4.808495	1.798277	1.798277
5	3.539823	0.183452	4.664438	1.744403	1.744403
6	4.247788	0.159137	4.046199	1.513195	1.513195
7	4.955752	0.127268	3.235889	1.210155	1.210155
8	5.663717	0.102952	2.617650	0.978947	0.978947
9	6.371681	0.097995	2.491599	0.931806	0.931806
10	7.079646	0.117824	2.995791	1.120364	1.120364
11	7.787611	0.148277	3.770084	1.409933	1.409933
12	8.495575	0.146861	3.734069	1.396464	1.396464
13	9.203540	0.127267	3.235873	1.210149	1.210149
14	9.911504	0.114519	2.911745	1.088932	1.088932
15	10.619469	0.117352	2.983769	1.115868	1.115868
16	11.327434	0.118296	3.007777	1.124846	1.124846
17	12.035398	0.106020	2.695657	1.008120	1.008120
18	12.743363	0.077928	1.981380	0.740995	0.740995
19	13.451327	0.061403	1.561218	0.583863	0.583863
20	14.159292	0.062583	1.591227	0.595086	0.595086
...	...	...	...	...	...
1130	799.999998	-0.827404	-21.03748	-7.867581	7.867581141
$\Sigma$					3126.712307

Keterangan : nilai  $y$  adalah  $y_{(\text{pembacaan})}$  dibagi konstanta kalibrasi (2,674).

Nilai  $R_a$  dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 R_a &= \frac{\sum_{i=1}^n |y_i|}{n} \quad (\mu\text{m}) \\
 &= \frac{3126,712307}{1130} \\
 &= \mathbf{2,76 \mu\text{m}}
 \end{aligned}$$

## 2. Contoh *Moving Average*.

Data sebelum *moving average* :

No.	x
1	5,46
2	4,14
3	3,02
4	2,39
5	1,91
6	1,05
7	-0,16
8	-1,52
9	-2,57
10	-3,41

Jika *moving average* adalah 5 point, maka data didapatkan sebagai berikut :

$$\hat{y}(i) = \frac{1}{M} \sum_{j=0}^{M-1} x(i+j)$$

$$\begin{aligned} \hat{y}(1) &= \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5}{5} \\ &= \frac{5,46 + 4,14 + 3,02 + 2,39 + 1,91}{5} \\ &= 3,38 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan yang sama, maka data hasil *moving average* adalah :

No.	$\hat{y}$
1	3,38
2	2,50
3	1,64
4	0,73
5	-0,26
6	-1,32



### LAMPIRAN 3

Tabel spesifikasi sensor *accelerometer ADXL202JQC*.

ADXL202/ADXL210—SPECIFICATIONS <small>(<math>T_A = T_{MIN}</math> to <math>T_{MAX}</math>, <math>T_A = +25^\circ\text{C}</math> for J Grade only, <math>V_{DD} = +5\text{V}</math>, <math>R_{SET} = 125\text{ k}\Omega</math>, Acceleration = <math>0\text{ g}</math>, unless otherwise noted)</small>								
Parameter	Conditions	ADXL202JQC/AQC			ADXL210JQC/AQC			Units
		Min	Typ	Max	Min	Typ	Max	
<b>SENSOR INPUT</b>	Each Axis							
Measurement Range <sup>1</sup>		$\pm 1.5$	$\pm 2$		$\pm 8$	$\pm 10$		g
Nonlinearity	Best Fit Straight Line		0.2			0.2		% of FS
Alignment Error <sup>2</sup>			$\pm 1$			$\pm 1$		Degrees
Alignment Error	X Sensor to Y Sensor		$\pm 0.01$			$\pm 0.01$		Degrees
Transverse Sensitivity <sup>3</sup>			$\pm 2$			$\pm 2$		%
<b>SENSITIVITY</b>	Each Axis							
Duty Cycle per g	T1/T2 @ $+25^\circ\text{C}$	10	12.5	15	3.2	4.0	4.8	%/g
Sensitivity, Analog Output	At Pins $X_{FILT}$ , $Y_{FILT}$		312			100		mV/g
Temperature Drift <sup>4</sup>	$\Delta$ from $+25^\circ\text{C}$		$\pm 0.5$			$\pm 0.5$		% Rdg
<b>ZERO g BIAS LEVEL</b>	Each Axis							
0 g Duty Cycle	T1/T2	25	50	75	42	50	58	%
Initial Offset			$\pm 2$			$\pm 2$		g
0 g Duty Cycle vs. Supply			1.0	4.0		1.0	4.0	%/V
0 g Offset vs. Temperature <sup>4</sup>	$\Delta$ from $+25^\circ\text{C}$		2.0			2.0		mg $^\circ\text{C}$
<b>NOISE PERFORMANCE</b>								
Noise Density <sup>5</sup>	@ $+25^\circ\text{C}$		500	1000		500	1000	$\mu\text{g}/\sqrt{\text{Hz}}$
<b>FREQUENCY RESPONSE</b>								
3 dB Bandwidth	Duty Cycle Output		500			500		Hz
3 dB Bandwidth	At Pins $X_{FILT}$ , $Y_{FILT}$		5			5		kHz
Sensor Resonant Frequency			10			14		kHz
<b>FILTER</b>								
$R_{FILT}$ Tolerance	32 k $\Omega$ Nominal		$\pm 15$			$\pm 15$		%
Minimum Capacitance	At $X_{FILT}$ , $Y_{FILT}$	1000			1000			pF
<b>SELF TEST</b>								
Duty Cycle Change	Self-Test "0" to "1"		10			10		%
<b>DUTY CYCLE OUTPUT STAGE</b>								
$F_{SET}$			125 M $\Omega$ / $R_{SET}$			125 M $\Omega$ / $R_{SET}$		
$F_{SET}$ Tolerance	$R_{SET} = 125\text{ k}\Omega$	0.7		1.3	0.7		1.3	kHz
Output High Voltage	$I = 25\ \mu\text{A}$	$V_S - 200\text{ mV}$			$V_S - 200\text{ mV}$			mV
Output Low Voltage	$I = 25\ \mu\text{A}$			200			200	mV
T2 Drift vs. Temperature			35			35		ppm $^\circ\text{C}$
Rise/Fall Time			200			200		ns
<b>POWER SUPPLY</b>								
Operating Voltage Range		3.0		5.25	2.7		5.25	V
Specified Performance		4.75		5.25	4.75		5.25	V
Quiescent Supply Current			0.6	1.0		0.6	1.0	mA
Turn-On Time <sup>6</sup>	To 99%	160 $C_{FILT} + 0.3$			160 $C_{FILT} + 0.3$			ms
<b>TEMPERATURE RANGE</b>								
Operating Range	JQC	0		+70	0		+70	$^\circ\text{C}$
Specified Performance	AQC	-40		+85	-40		+85	$^\circ\text{C}$

LAMPIRAN 4

Spesifikasi motor listrik.



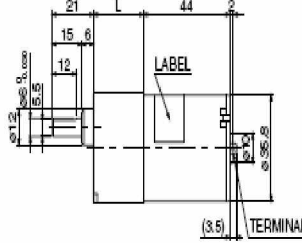
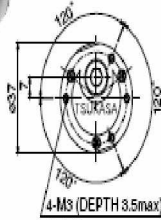
# TG-85

(5.4~7.8W) 5 SLOTS, COMPACT SIZE,  
HIGH TORQUE WITH LOW NOISE.

APPLICATION: COPY MACHINE, VENDING MACHINE, BANKING MACHINE, PRINTER,  
HOPPER, CUTTER, ATM, MEDICAL EQUIPMENT. etc.

## SG/SM

TG-85B  
TG-85C  
TG-85E

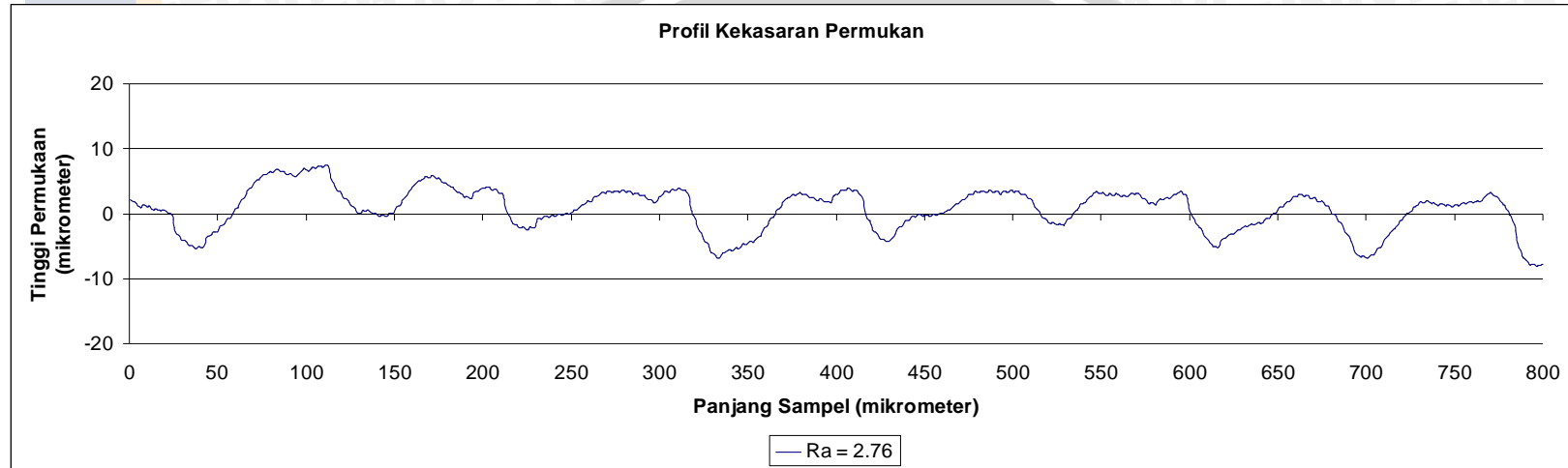


GEAR RATIO	L (mm)	STAGE	TORQUE (kg-cm)	WEIGHT (g)
1/5-1/10	20.5	2	1	100
1/12.5-1/30	23	3	2	105
1/36-1/100	25.5	4	3	110
1/120-1/300	28	5	6	115
1/360-1/1000	30.5	6	6	120
1/1500-1/3000	33	7	6	125

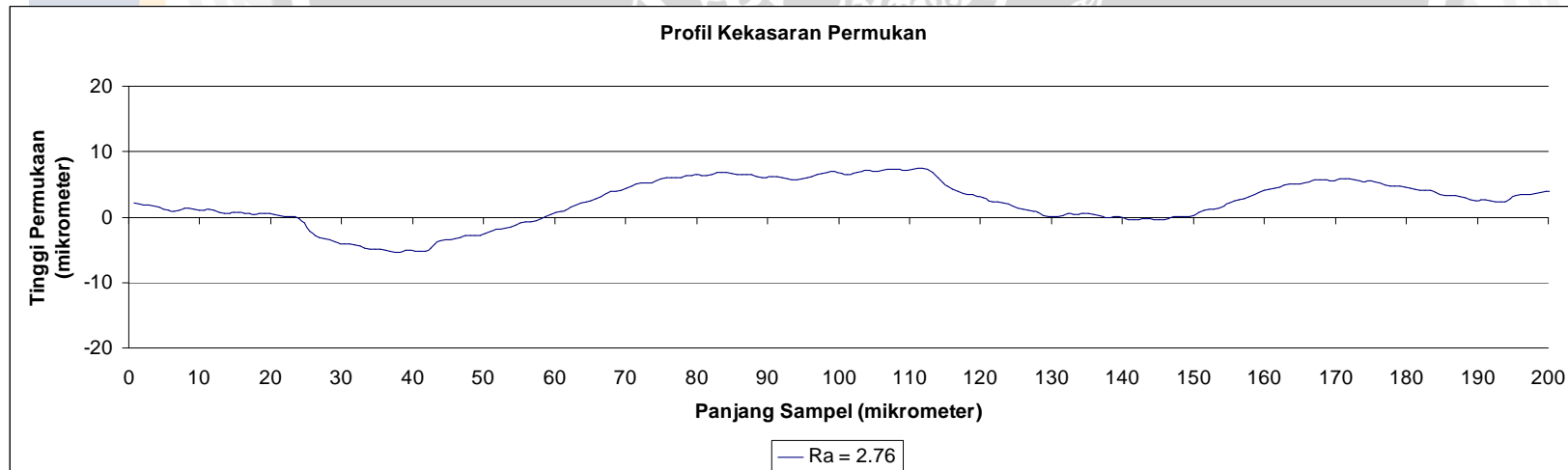
GEAR RATIO	L (mm)	STAGE	TORQUE (kg-cm)	WEIGHT (g)
1/5-1/10	23	2	1	100
1/12.5-1/30	25.5	3	2	105
1/36-1/100	28	4	3	110
1/120-1/300	30.5	5	6	115
1/360-1/1000	33	6	6	120

Allowable torque-speed characteristics

MODEL	GEAR RATIO	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1																			
		5	10	15	18	25	30	36	50	60	75	100	120	150	200	250	300	500	750	1000	1500
TG-85B-SG (12V)	SPEED(r/min)	913	448	295	247	179	154	135	92.4	78.9	64.6	49.6	38.9	32	24.6	20	16.8	10.3	6.9	5.2	3.5
	TORQUE(mN-m)	39.2	88.2	127.4	147	196	196	245	294	294	294	294	588	588	588	588	588	588	588	588	588
	TORQUE(kg-cm)	0.4	0.9	1.3	1.5	2	2	2.5	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6	6	6
TG-85C-SG (24V)	SPEED(r/min)	910	447	294	247	179	153	135	91.9	78.3	63.9	49	38.7	31.7	24.3	19.7	16.6	10.1	6.8	5.1	3.4
	TORQUE(mN-m)	39.2	88.2	127.4	147	196	196	245	294	294	294	294	588	588	588	588	588	588	588	588	588
	TORQUE(kg-cm)	0.4	0.9	1.3	1.5	2	2	2.5	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6	6	6
TG-85E-SG (24V)	SPEED(r/min)	1302	643	425	356	257	219	180	131	111	90.1	68.6	55	44.7	34.1	27.6	23.1	14	9.4	7.1	4.7
	TORQUE(mN-m)	39.2	88.2	127.4	147	196	196	245	294	294	294	294	588	588	588	588	588	588	588	588	588
	TORQUE(kg-cm)	0.4	0.9	1.3	1.5	2	2	2.5	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6	6	6
TG-85B-SM (12V)	SPEED(r/min)	913	448	295	247	179	154	135	92.4	78.9	64.6	49.6	38.9	32	24.6	20	16.8	10.3	6.9	5.2	—
	TORQUE(mN-m)	39.2	88.2	127.4	147	196	196	245	294	294	294	294	588	588	588	588	588	588	588	588	—
	TORQUE(kg-cm)	0.4	0.9	1.3	1.5	2	2	2.5	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6	6	—
TG-85C-SM (24V)	SPEED(r/min)	910	447	294	247	179	153	135	92	78.3	64	49	38.7	31.7	24.3	19.7	16.6	10.1	6.8	5.1	—
	TORQUE(mN-m)	39.2	88.2	127.4	147	196	196	245	294	294	294	294	588	588	588	588	588	588	588	588	—
	TORQUE(kg-cm)	0.4	0.9	1.3	1.5	2	2	2.5	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6	6	—
TG-85E-SM (24V)	SPEED(r/min)	1302	643	425	356	257	219	180	131	111	90.1	68.6	55	44.7	34.1	27.6	23.1	14	9.4	7.1	—
	TORQUE(mN-m)	39.2	88.2	127.4	147	196	196	245	294	294	294	294	588	588	588	588	588	588	588	588	—
	TORQUE(kg-cm)	0.4	0.9	1.3	1.5	2	2	2.5	3	3	3	3	3	6	6	6	6	6	6	6	—



Grafik profil kekasaran Permukaan dengan  $R_a = 2,83 \mu\text{m}$ , dengan panjang sampel 800  $\mu\text{m}$ .



Grafik profil kekasaran Permukaan dengan  $R_a = 2,83 \mu\text{m}$ , dengan panjang sampel 200  $\mu\text{m}$  dari grafik di atas.



