



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGUKURAN *ROUNDNESS* DINAMIS DAN PENGUKURAN
WHEEL ALIGNMENT PADA SEPEDA MOTOR**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

DEDI KARTOMO

04 05 02 0219

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
KEKHUSUSAN MANUFAKTUR
DEPOK
JULI 2009**

i

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
Dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Dedi Kartomo

NPM : 04 05 02 0219

Tanda Tangan :

Tanggal : 6 Juli 2009



Universitas Indonesia

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Dedi Kartomo
NPM : 04 05 02 0219
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Pengukuran *Roundness* Dinamis dan pengukuran
Wheel Alignment pada Sepeda Motor

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Hendri D.S. Budiono, M.Eng. ()
Penguji : Dr. Ir. Gandjar Kiswanto, M.Eng. ()
Penguji : Sugeng Supriadi, ST., MS.Eng ()
Penguji : Mohammad Adhitya, ST., MSc. ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 6 Juli 2009

Universitas Indonesia

KATA PENGANTAR/UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT., karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Ir. Hendri D.S. Budiono, M.Eng selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) pihak bengkel Prima Guna Hatta Asri yang telah banyak membantu dalam kegiatan manufaktur alat;
- (3) Bapak Yudi dari LUK Puspipstek Serpong yang telah membantu saya dalam proses pengambilan data;
- (4) orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral dan;
- (5) para sahabat dan teman dekat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 6 Juli 2009

Dedi Kartomo

Universitas Indonesia

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dedi Kartomo

NPM : 04 05 02 0219

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PENGUKURAN *ROUNDNESS* DINAMIS DAN PENGUKURAN *WHEEL ALIGNMENT* PADA SEPEDA MOTOR

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 6 Juli 2009

Yang menyatakan

(Dedi Kartomo)

Universitas Indonesia

ABSTRAK

Nama : Dedi Kartomo
Program Studi : Teknik Mesin
Judul : Pengukuran *Roundness* Dinamis dan Pengukuran *Wheel Alignment* pada Sepeda Motor

Jumlah kecelakaan lalu lintas semakin meningkat tiap tahunnya, perlu dilakukan peningkatan keamanan dalam berkendara khususnya pada sepeda motor. Roda menjadi bagian yang sangat vital dalam kemandirian dan kenyamanan berkendara tetapi hingga saat ini belum ada alat ukur yang kompeten untuk mengukur *roundness* dan *wheel alignment*. Oleh sebab itu dirancanglah sebuah alat yang kompak untuk melakukan pengukuran *roundness* dan *wheel alignment* dalam satu paket alat. Dengan menggunakan *strain gauges* dan sinar laser yang memiliki keakuratan tinggi, maka pengukuran *roundness* dan *wheel alignment* dapat dilakukan dengan presisi. Dengan metode pengukuran dinamis maka bisa didapatkan hasil pengukuran sesuai dengan keadaan sesungguhnya saat sepeda motor melaju di jalan.

Kata kunci:

Roundness, *Wheel alignment*, sinar laser, *strain gauge*, pengukuran dinamis.

ABSTRACT

Name : Dedi Kartomo
Study Program : Mechanical Engineering
Title : Dynamic Roundness and Wheel Alignment
Measurement on Motorcycle

Road accident increase every year, It needs an improvement of safety riding especially on motorcycle riding. Wheel become the most important part to develop a good comfort and safety riding. Nowadays, there haven't a measuring tool which can measure accurately. For that reason there is important to create a tool that can measure problem in wheel roundness and alignment accurately. Using strain gauges to mesure roundness and laser beam to measure the alignment can answer this kind problem. With dynamic measurement method, It can represent the real condition in riding a motorcycle.

Keywords:

Roundness, Wheel alignment, laser beam, strain gauge, dynamic measurement.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Permasalahan	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Metodologi Penelitian	7
1.6 Sistematika Penulisan	11
2 LANDASAN TEORI	12
2.1 Roda Sepeda Motor.....	12
2.1.1 <i>Camber Angle</i> dan <i>Slip Angle</i>	13
2.1.2 Gaya dan Momen pada Roda	13
2.2 Prinsip <i>Wheel Alignment (Spooring)</i>	15
2.3 Kekasaran Permukaan.....	17
2.4 <i>Strain Gauge</i>	19
2.4.1 <i>Strain, Stress</i> dan <i>Poisson's Ratio</i>	19
2.4.2 Prinsip Kerja <i>Strain Gauges</i>	21
2.4.3 Jenis-Jenis <i>Strain Gauges</i>	22
2.4.4 Struktur <i>Foil</i> pada <i>Strain gauges</i>	23
2.4.5 Prinsip Pengukuran <i>Strain</i>	24
2.4.6 Sistem Pengkabelan <i>Strain Gauges</i>	25
2.4.6.1 Sistem 1-Gauges	25
2.4.6.2 Sistem 2-Gauges	26
2.4.6.3 Sistem 3-Gauges	26
2.4.7 Tegangan Keluaran dari Berbagai Konfigurasi Jembatan <i>Wheatstone</i>	27
2.4.7.1 Tegangan Keluaran pada Sistem 1	27
2.4.7.2 Tegangan Keluaran pada Sistem 2	28
2.4.7.3 Tegangan Keluaran pada Sistem 3	29
2.4.8 <i>Strain</i> pada Batang	30
2.4.9 Kompensasi Temperatur oleh <i>Strain Gauges</i> .	30

2.4.10	Pengaruh Temperatur Terhadap <i>Leadwire</i> pada <i>2-Wire System</i>	33
2.4.11	Pengaruh dari Hambatan Material Insulasi	35
2.4.12	Pengaruh Pemasangan yang Tidak Tepat (<i>Missalignment</i>)	36
2.4.13	Metode Kompensasi Panjang Kabel Kepala ...	36
2.4.14	Metode Mendapatkan Nilai Kalibrasi dengan <i>Tip Parallel Resistance</i>	37
2.4.15	Metode Perekatan <i>Strain Gauges</i> dan <i>Dampproofing Treatment</i>	39
2.5	Tegangan Eksitasi	41
2.6	Amplifikasi.....	41
2.7	<i>Filtering</i>	43
2.8	Isolasi	43
2.9	<i>Offset Nulling</i>	44
2.10	<i>RemoteSensing</i>	44
2.11	Laser	45
2.12	Statistik dalam Pengukuran	46
2.12.1	Definisi Statistik	46
2.12.2	Statistik Deskriptif	46
2.12.3	Regresi Linier	47
3	RANCANGAN PENGUKURAN.....	50
3.1	Pengamatan Masalah.....	50
3.2	Rancangan Awal	51
3.3	Pemilihan Sepeda Motor untuk Pengujian.....	53
3.4	Perhitungan Gaya	76
3.4.1	Gaya Horizontal yang Diterima <i>Base Material</i>	56
3.4.2	Gaya Vertikal yang Diterima <i>Base Material</i> ..	56
3.4.3	Konsep Desain <i>Base Material</i>	58
3.5	Pemilihan Komponen Alat Ukur.....	59
3.5.1	Pemilihan Komponen Alat Ukur <i>Roundness</i> ..	59
	3.5.1.1 Pemilihan <i>Strain Gauges</i>	59
	3.5.1.2 Pemilihan Jembatan <i>Wheatstone</i>	60
	3.5.1.3 Pemilihan Data <i>Logger</i>	61
	3.5.1.4 Pemilihan Sistem Pengkabelan <i>Strain Gauges</i>	61
	3.5.1.5 Pemilihan Software	62
3.5.2	Pemilihan Komponen Alat Ukur <i>Wheel Alignment</i>	62
3.6	Proses Kalibrasi Alat Ukur.....	63
3.6.1	Proses Kalibrasi Alat Ukur <i>Roundness</i>	63
3.6.2	Proses Kalibrasi Alat Ukur <i>Wheel Alignment</i>	63
3.7	Proses Pengukuran dengan Alat Ukur.....	64
3.7.1	Proses Pengukuran <i>Roundness</i>	64
3.7.2	Proses Pengukuran <i>Wheel Alignment</i>	68

4 KALIBRASI DAN PENGAMBILAN DATA.....	71
4.1 Kalibrasi Alat Ukur <i>Roundness</i>	71
4.1.1 Set-up Kalibrasi Alat Ukur <i>Roundness</i>	71
4.1.2 Metodologi Kalibrasi Alat Ukur <i>Roundness</i> ...	72
4.1.3 Kalibrasi pada <i>Base Material A</i>	73
4.1.3 Kalibrasi pada <i>Base Material B</i>	75
4.1.3 Kalibrasi pada <i>Base Material C</i>	77
4.1.3 Kalibrasi pada <i>Base Material D, E, F, dan G</i> ..	79
4.2 Pengukuran <i>Roundness</i> Roda Belakang.....	81
4.2.1 Pengukuran <i>Roundness</i> Statis Roda Belakang.	82
4.2.2 Pengukuran <i>Roundness</i> Dinamis Roda Belakang Kecepatan 20 km/jam	84
4.2.3 Pengukuran <i>Roundness</i> Dinamis Roda Belakang Kecepatan 40 km/jam	92
4.3 Pengukuran <i>Roundness</i> Roda Depan	95
4.3.1 Pengukuran <i>Roundness</i> Dinamis Roda Depan Kecepatan 20 km/jam	95
4.3.2 Pengukuran <i>Roundness</i> Dinamis Roda Depan Kecepatan 40 km/jam	97
4.3.3 Pengukuran <i>Roundness</i> Dinamis Roda Depan Melalui Hambatan	100
4.4 Pengukuran <i>Wheel Alignment</i>	101
4.4.1 Kalibrasi Alat Ukur <i>Wheel Alignment</i>	101
4.4.2 Pengukuran <i>Wheel Alignment</i>	103
5 ANALISA	106
5.1. Analisa Penugukuran <i>Roundness</i>	106
5.2. Analisa Penugukuran <i>Wheel Alignment</i>	109
6 KESIMPULAN DAN SARAN	111
6.1. Kesimpulan	111
6.2. Saran	112
DAFTAR ACUAN	113

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Mechanical Properties of Industrial Materials</i>	21
Tabel 2.2	Klasifikasi <i>Strain Gauges</i>	23
Tabel 2.3	<i>Section Modulus</i> Berbagai Penampang	31
Tabel 2.4	Koefisien Ekspansi Linier Berbagai Material	33
Tabel 2.5	<i>Reciprocating Resistance</i> dan Nilai Ekuivalen <i>Strain</i> yang Timbul Akibat Kenaikan Temperatur pada <i>Leadwire</i>	33
Tabel 2.6	Spesifikasi Berbagai <i>Leadwire</i> dan <i>Reciprocating Resistance</i>	37
Tabel 3.1	Penjualan Terlaris Semester I 2007 untuk Bebek 125cc ke Atas	54
Tabel 3.2	Penjualan Produk Honda Indonesia tahun 2008	54
Tabel 3.3	Spesifikasi Data <i>Logger</i>	61
Tabel 4.1	Kalibrasi <i>Base Material A</i>	73
Tabel 4.2	Pengujian <i>Repeatability Base Material A</i>	74
Tabel 4.3	Kalibrasi <i>Base Material B</i>	75
Tabel 4.4	Pengujian <i>Repeatability Base Material B</i>	76
Tabel 4.5	Kalibrasi <i>Base Material C</i>	77
Tabel 4.6	Pengujian <i>Repeatability Base Material C</i>	78
Tabel 4.7	Pengujian <i>Base Material D, E, F, dan G</i>	78
Tabel 4.8	Pengujian <i>Repeatability Base Material D, E, F, dan G</i>	81
Tabel 4.9	Defleksi pada Pengukuran <i>Roundness</i> Statis Roda Belakang..	84
Tabel 4.10	Defleksi pada Pengukuran <i>Roundness</i> Roda Belakang Jalan Datar Kecepatan 20 km/jam	87
Tabel 4.11	Defleksi pada Pengukuran <i>Roundness</i> Roda Belakang Jalan Menurun Kecepatan 20 km/jam	89
Tabel 4.12	Defleksi pada Pengukuran <i>Roundness</i> Roda Belakang Jalan Menikung Kecepatan 20 km/jam	91
Tabel 4.13	Kalibrasi Alat Ukur <i>Wheel alignment</i>	102
Tabel 4.14	Pengukuran <i>Wheel alignment</i>	104
Tabel 5.1	Defleksi Hasil Pengukuran <i>Roundness</i> Roda Belakang	107
Tabel 5.2	Defleksi Hasil Pengukuran <i>Roundness</i> Roda Depan	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Diagram Perbandingan Jumlah Sepeda Motor dan Mobil di Jakarta	1
Gambar 1.2.	Grafik Penjualan Sepeda Motor Honda, Yamaha, dan Merk Lain	2
Gambar 1.3.	Diagram Jumlah Kecelakaan Tahun 2003 – 2007	3
Gambar 1.4.	Statistik Korban Tewas Akibat Kecelakaan Lalu Lintas.....	4
Gambar 1.5.	<i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	8
Gambar 2.1	Komponen Penyusun Roda Belakang Sepeda Motor	12
Gambar 2.2	Gaya dan Momen yang Dialami Roda Kendaraan.....	14
Gambar 2.3	Alat <i>Spooling</i> Roda Mobil	15
Gambar 2.4	Alat Ukur <i>Toe-in Alignment</i>	16
Gambar 2.5	Komponen Penyusun Roda Mobil	16
Gambar 2.6	Profil Kekasaran dan Kekasaran Permukaan	18
Gambar 2.7	Batang yang Mengalami Tarik dan Tekan	19
Gambar 2.8	Jenis-Jenis <i>Strain Gauges</i> Berdasarkan Konfigurasinya.....	20
Gambar 2.9	Struktur Pembentuk <i>Strain gauges</i>	21
Gambar 2.10	Aplikasi Jembatan <i>Wheatstone</i> pada <i>Strain gauges</i>	25
Gambar 2.11	Konfigurasi Sistem 1- <i>gauges</i>	25
Gambar 2.12	Konfigurasi Sistem 2- <i>gauges</i>	26
Gambar 2.13	Konfigurasi Sistem 4- <i>gauges</i>	27
Gambar 2.14	Pengukuran <i>Bending</i> dengan Konfigurasi Sistem 1- <i>gauges</i> .	27
Gambar 2.15	Aplikasi Sistem Konfigurasi 2- <i>gauges</i> pada Batang.....	28
Gambar 2.16	Sistem 2- <i>gauges</i> Konfigurasi 1	29
Gambar 2.17	Sistem 2- <i>gauges</i> Konfigurasi 2	29
Gambar 2.18	Pengukuran <i>Bending Stress</i> dengan Sistem 2- <i>gauges</i>	30
Gambar 2.19	Sistem 4- <i>gauges</i>	30
Gambar 2.20	Pengaruh Ekspansi Linier Temperatur Material Terhadap <i>Strain Gauges</i>	32
Gambar 2.21	Grafik Karakteristik Suhu dari Kompensasi-Temperatur <i>Foil Strain Gauges</i>	32
Gambar 2.22	Rangkaian <i>Strain Gauges</i> dengan Hambatan dalam pada <i>Leadwire</i>	34
Gambar 2.23	Aplikasi 3- <i>wire system</i>	35
Gambar 2.24	Rangkaian <i>Strain Gauges</i> dengan Hambatan Material Insulasi	35
Gambar 2.25	<i>Strain Gauges</i> dengan Pemasangan yang Tidak Tepat.....	36
Gambar 2.26	<i>Tip Parallel Resistance</i> untuk Kalibrasi <i>Strain</i>	38
Gambar 2.27	Operasional Amplifier dengan Sumber Daya	42
Gambar 2.28	<i>Voltage-Controlled Voltage Source</i>	42
Gambar 2.29	Isolator di antara Dua Rangkaian	43
Gambar 2.30	<i>Flowchart</i> Statistik	47
Gambar 2.31	Contoh Garis Regresi Linier	54
Gambar 3.1	<i>Chamber angle</i>	50
Gambar 3.2.	<i>Slip Angle</i>	51

Gambar 3.3	Alat Ukur Belakang.....	52
Gambar 3.4	Posisi 3 Titik Pengukuran pada Roda Depan.....	52
Gambar 3.5	Alat Ukur Depan	53
Gambar 3.6	Honda Supra X-125.....	55
Gambar 3.7	Spesifikasi Honda Supra X 125	55
Gambar 3.8	Gaya Lateral Hasil Proyeksi Gaya Traksi	56
Gambar 3.9	Gaya Lateral Hasil Proyeksi Gaya Pembebanan Vertikal.....	57
Gambar 3.10	Proyeksi Gaya Vertikal pada Posisi <i>Base Material</i>	57
Gambar 3.11	Gaya yang Bekerja pada Base material.....	58
Gambar 3.12.a	Merk dan Jenis Strain Gauges yang Dipakai	59
Gambar 3.12.b	Merk Strain Gauges Datasheet.....	59
Gambar 3.13	Laser Transmitter	63
Gambar 3.14	Titik Acuan Pengukuran Roda Depan.....	64
Gambar 3.15	Titik Acuan Pengukuran Roda Belakang.....	65
Gambar 3.16	<i>Flowchart</i> Proses Pengukuran <i>Roundness</i>	67
Gambar 3.17	Prinsip Kerja Pengukuran <i>Wheel alignment</i>	69
Gambar 3.18	Besarnya Pergeseran Poros	69
Gambar 3.19	<i>Flowchart</i> Proses Pengukuran <i>Wheel Alignment</i>	70
Gambar 4.1	Set-up Kalibrasi.....	71
Gambar 4.2	Instalasi <i>Data Logger</i>	72
Gambar 4.3	Distribusi Data Kalibrasi <i>Base Material A</i>	73
Gambar 4.4	Distribusi Data Kalibrasi <i>Base Material B</i>	75
Gambar 4.5	Distribusi Data Kalibrasi <i>Base Material C</i>	77
Gambar 4.6	Distribusi Data Kalibrasi <i>Base Material D, E, F, dan G</i>	80
Gambar 4.7	Alat Ukur Roda Belakang Terpasang pada Sepeda Motor ...	81
Gambar 4.8	Grafik Pengukuran Statis Roda Belakang.....	82
Gambar 4.9	Grafik Pengukuran <i>Roundness</i> Statis Roda Belakang Satu Siklus.....	82
Gambar 4.10	Grafik Defleksi vs Waktu Pengukuran <i>Roundness</i> Statis Roda Belakang	84
Gambar 4.11	Grafik Pengukuran <i>Roundness</i> Dinamis Roda Belakang Kecepatan 20 km/jam.....	85
Gambar 4.12	Grafik Pengukuran <i>Roundness</i> Dinamis Roda Belakang Jalan Datar Kecepatan 20 km/jam	86
Gambar 4.13	Grafik Pengukuran <i>Roundness</i> Dinamis Roda Belakang Jalan Datar Kecepatan 20 km/jam <i>Base Material F</i>	86
Gambar 4.14	Grafik Defleksi vs Waktu Pengukuran <i>Roundness</i> Roda Belakang Jalan Datar Kecepatan 20 km/jam	88
Gambar 4.15	Grafik Pengukuran <i>Roundness</i> Dinamis Roda Belakang Jalan Menurun Kecepatan 20 km/jam.....	88
Gambar 4.16	Grafik Pengukuran Statis Roda Belakang Jalan Menikung Kecepatan 20 km/jam.....	90
Gambar 4.17	Grafik Pengukuran <i>Roundness</i> Dinamis Roda Belakang Kecepatan 40 km/jam.....	92
Gambar 4.18	Grafik Pengukuran <i>Roundness</i> Dinamis Roda Belakang Jalan Datar Kecepatan 40 km/jam	93

Gambar 4.19	Grafik Pengukuran <i>Roundness</i> Dinamis Roda Belakang Jalan Datar Kecepatan 40 km/jam <i>Base Material F</i>	93
Gambar 4.20	Grafik Defleksi vs Waktu Pengukuran <i>Roundness</i> Roda Belakang Jalan Datar Kecepatan 40 km/jam	94
Gambar 4.21	Grafik Pengukuran <i>Roundness</i> Dinamis Roda Belakang Jalan Menikung Kecepatan 40 km/jam	94
Gambar 4.22	Grafik Defleksi vs Waktu Pengukuran <i>Roundness</i> Roda Belakang Jalan Menikung Kecepatan 40 km/jam	95
Gambar 4.23	Alat Ukur Roda Depan Terpasang pada Sepeda Motor	95
Gambar 4.24	Grafik Pengukuran <i>Roundness</i> Dinamis Roda Depan Kecepatan 20 km/jam	96
Gambar 4.25	Grafik Pengukuran <i>Roundness</i> Dinamis Roda Depan Kecepatan 20 km/jam satu siklus	97
Gambar 4.26	Grafik Defleksi vs Waktu Pengukuran <i>Roundness</i> Roda Depan Kecepatan 40 km/jam	97
Gambar 4.27	Grafik Pengukuran <i>Roundness</i> Dinamis Roda Depan Kecepatan 40 km/jam	98
Gambar 4.28	Grafik Pengukuran <i>Roundness</i> Dinamis Roda Depan Kecepatan 40 km/jam satu siklus	98
Gambar 4.29	Grafik Defleksi vs Titik Posisi Pengukuran <i>Roundness</i> Roda Belakang Depan Kecepatan 40 km/jam	99
Gambar 4.30	Grafik Defleksi vs Waktu Pengukuran <i>Roundness</i> Roda Depan Kecepatan 40 km/jam	99
Gambar 4.31	Grafik Pengukuran <i>Roundness</i> Dinamis Roda Depan Melalui Hambatan	100
Gambar 4.32	Grafik Defleksi vs Waktu Pengukuran <i>Roundness</i> Roda Depan Melalui Hambatan	100
Gambar 4.33	Kalibrasi <i>Wheel Alignment</i>	102
Gambar 4.34	Kalibrasi <i>Wheel Alignment</i> Seluruh Pengujian	103
Gambar 4.35	<i>Set-up</i> Sepeda Motor Untuk Pengukuran <i>Wheel Alignment</i> .	103
Gambar 4.36	<i>Adjustmen</i> Pemasangan Poros	105

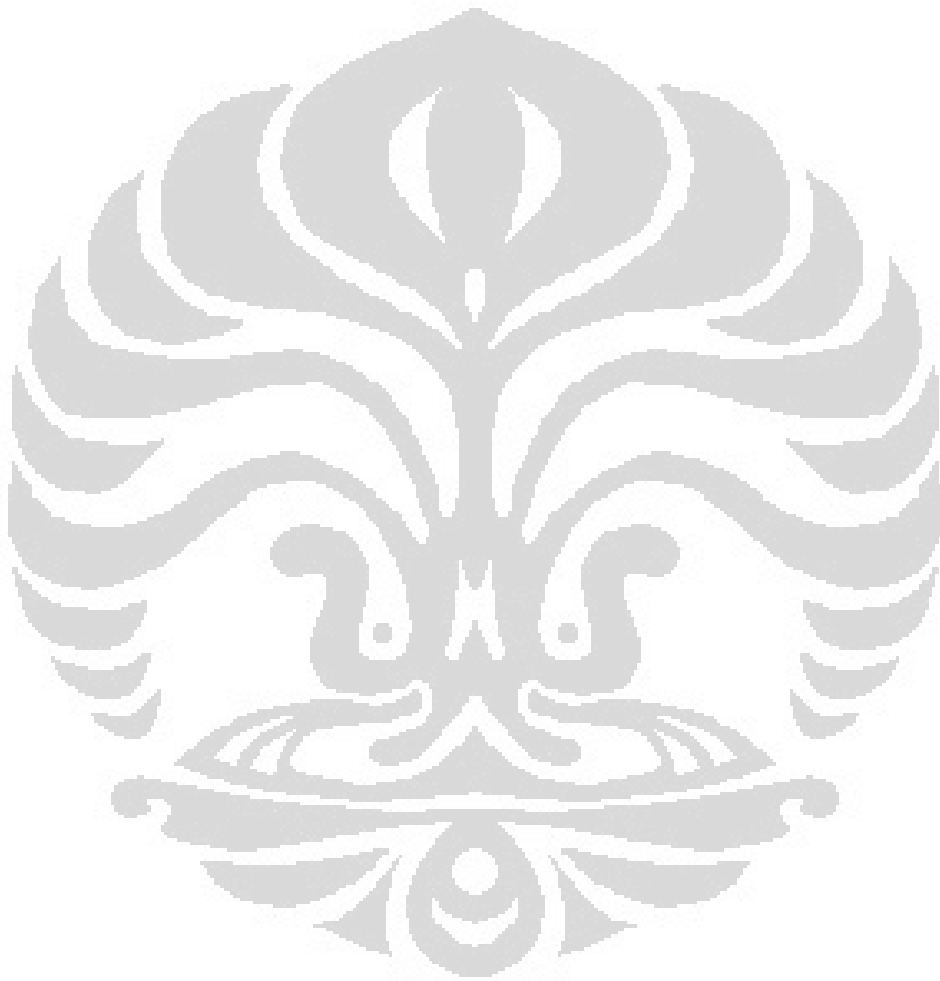
DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan	Dimensi
a	percepatan	m/s^2
b	Lebar penampang	mm
c	Jarak terjauh antara permukaan material yang diukur dengan pusat material	mm
e_0	Tegangan <i>out-put</i>	Volt
f_0	Koefisien tekanan pada ban	
f_s	Koefisien tekanan pada ban	
g	Percepatan gravitasi	m/s^2
h	Panjang penampang	mm
h	Tinggi pusat massa dari kendaraan	M
h_a	Titik pusat terjadinya hambatan aerodinamis	
h_d	Tinggi pusat tarikan beban dari kendaraan	M
l_2	Jarak antara sumbu belakang dengan pusat massa	M
m	massa	Kg
n_s	Safety factor	
ν	Poisson's ratio	
A	Luas penampang	mm^2
E_{exc}	Tegangan eksitasi	Volt
F_{traksi}	Gaya traksi ; gaya yang diperlukan kendaraan untuk maju	N
I	Momen inersia	
K_s	Gage factor	
L	Jarak dari pusat roda depan dan roda belakang	M
M	Momen Bending	
R	Hambatan elektrik	Ω
R_a	Hambatan aerodinamis	
R_d	Drawbar load	
R_g	Hambatan karena gradibilitas	
V	kecepatan	Km/h
W	beban	N
Y_s	Yield Strength	MPa
α	Kecepatan laju kendaraan	m/s^2
α_t	Koefisien hambatan termal	
ϵ	Regangan	
σ_{all}	Normal stress yang diizinkan	Pa
σ_d	Normal stress yang diperkirakan	Pa
σ_{xy}	Bending stress	
Notasi	Keterangan	Dimensi
μ	Koefisien adhesifitas ban dengan jalanan	

Universitas Indonesia

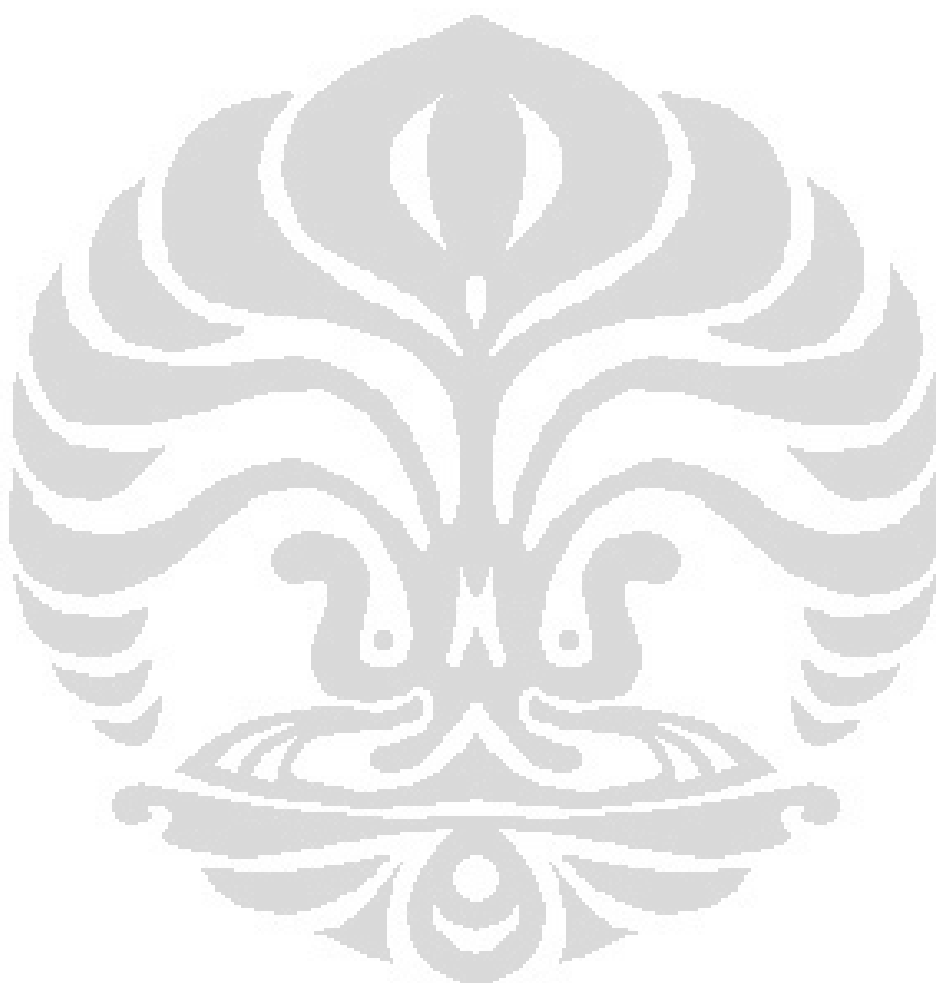
τ_{xy}
 β
 θ Shear stress
Koefisien ekspansi linear
Besarnya sudut

o



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Gambar Teknik <i>Assembly</i> Alat Ukur Depan	115
Lampiran 2	Gambar Teknik Part List 1	116
Lampiran 3	Gambar Teknik Part List 2.....	117

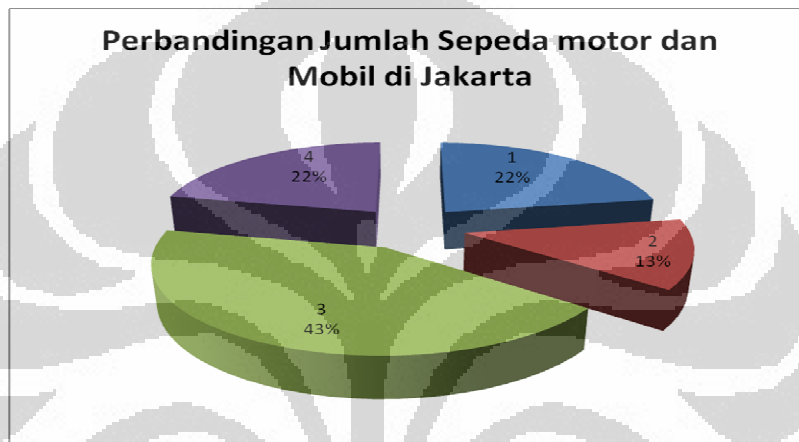


BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengguna sepeda motor di Indonesia khususnya di Jakarta telah mencapai angka yang sangat besar. Berdasarkan data pengamatan yang dilakukan oleh direktorat POLRI tahun 2006 dapat terlihat bahwa jumlah sepeda motor di Jakarta mencapai 43% atau 2 kali lipat lebih banyak dibandingkan jumlah mobil.



Gambar 1.1 Diagram Perbandingan Jumlah Sepeda Motor dan Mobil di Jakarta

Sumber : Direktorat Lalu Lintas POLRI, 2006

1. Jumlah motor yang berdomisili di Jakarta (2.718.864 buah)
2. Jumlah mobil yang berdomisili di Jakarta (1.557.525 buah)
3. Jumlah motor pendatang (5.194.011 buah)
4. Jumlah mobil pendatang (2.646.660 buah)

Angka kepemilikan tersebut dipastikan meningkat secara pesat, jika kita perhatikan grafik penjualan sepeda motor yang dilakukan oleh beberapa perusahaan besar otomotif di Indonesia.



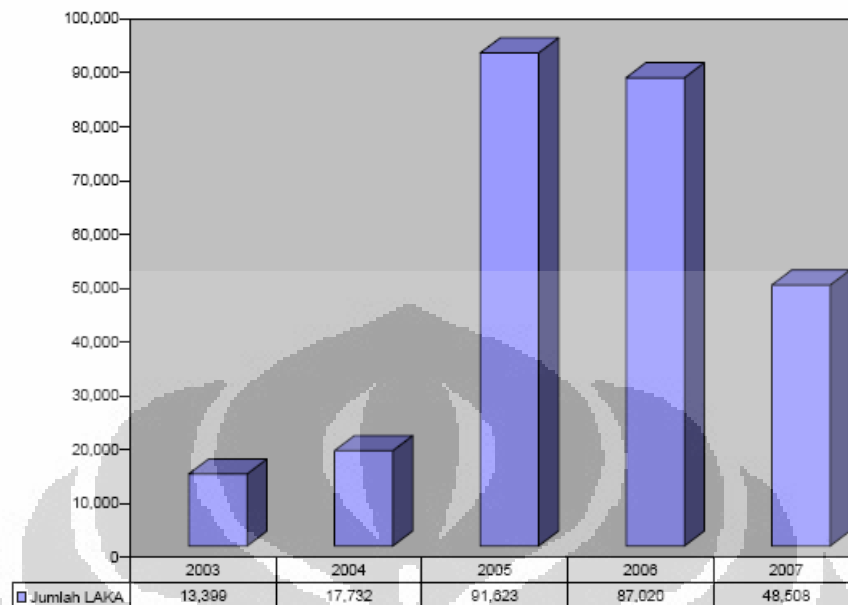
Gambar 1.2 Grafik Penjualan Sepeda Motor Honda, Yamaha, dan Merk Lain

Sumber: triatmono.wordpress.com

Dari gambar 1.2 di atas, terlihat bahwa Yamaha pada awal tahun 2005 setiap bulannya hanya melakukan penjualan di bawah 10.000 unit, sedangkan Honda bisa memasarkan pada awal tahun 2005 hampir 2.5 kali lipatnya. Tidak hanya terhadap Honda, Yamaha juga masih kalah jika dibandingkan dengan dengan gabungan motor lainnya seperti Suzuki, Kawasaki, dan lain-lain. Tetapi mulai tahun 2007, penjualan Yamaha tiap bulan hanya kalah sekitar 6000 unit, atau selisih 4% dibandingkan dengan penjualan yang dilakukan oleh Honda. Kemudian di bulan Agustus 2008 lalu, Honda berhasil memecahkan rekor MURI dengan melakukan penjualan 1 bulan terbanyak.

Dampak dari banyaknya kendaraan khususnya sepeda motor ini adalah munculnya angka kecelakaan lalu lintas yang sangat besar.

Jumlah LAKA 2003 - 2007

**Gambar 1.3 Diagram Jumlah Kecelakaan Tahun 2003 - 2007**

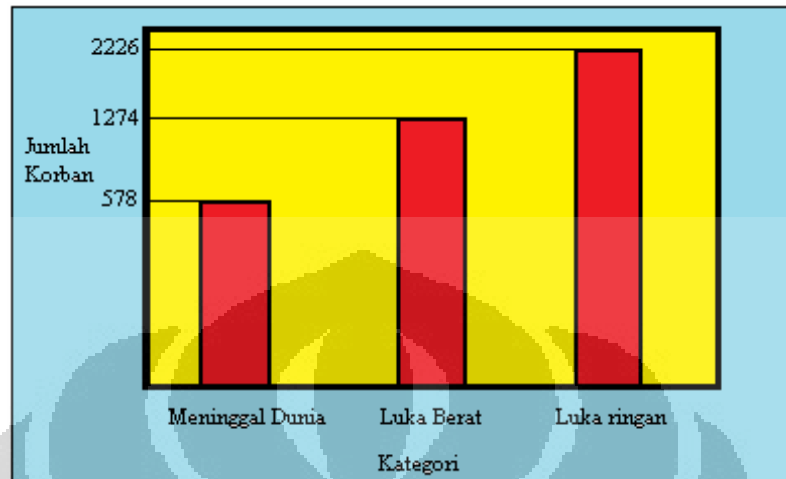
Sumber : starbuckerseconomists.blogspot.com

Jika kita perhatikan gambar 1.3 yang menunjukkan jumlah kecelakaan dari tahun 2003-2007, maka bisa disimpulkan bahwa puncak jumlah kecelakaan terjadi pada tahun 2005. Pada tahun 2006 terjadi penurunan walaupun hanya sekitar 3000 kecelakaan, sampai di tahun 2007 angka kecelakaan menurun cukup drastis hingga mencapai 49000. Penurunan ini tidak bisa dikatakan memuaskan karena berarti pada tahun 2007 setiap harinya terjadi kecelakaan sebanyak 130 kali, dimana 75% dari kecelakaan melibatkan sepeda motor. Menurut Heru Sutomo, Koordinator Forum Keselamatan Transportasi dari Masyarakat Transportasi Indonesia (MTI)

Akan tetapi, jumlah kecelakaan yang terjadi tidak bisa dijadikan patokan untuk menentukan jumlah korban jiwa. Jika kita bandingkan antara gambar 1.3 di atas dan gambar 1.4 di bawah, maka terlihat bahwa jumlah korban meninggal akibat kecelakaan pada tahun 2007 adalah yang terbanyak, padahal jumlah kecelakaan lebih sedikit daripada tahun 2005 dan 2006. Hal ini tentu saja sangat memprihatinkan jika dibuat rata-rata jumlah korban meninggal per hari selama

Universitas Indonesia

tahun 2007 adalah sebanyak 45 orang. Data tersebut tidak termasuk korban luka sebanyak lebih dari 65000 orang selama tahun 2007. Untuk tahun 2008 terjadi penurunan jumlah kecelakaan yang mengakibatkan korban meninggal.



Gambar 1.4 Statistik Korban Tewas Akibat Kecelakaan Lalu Lintas

Sumber : VIVAnews.com/ Nipuna Dhiraprana

Terkait dengan masalah kecelakaan tersebut, penyebabnya dapat ditinjau dari aspek teknis dan non-teknis. Dari segi non-teknis penyebab kecelakaan yang paling utama adalah kesalahan pengemudi, seperti :

1. Kelalaian pengemudi untuk menggunakan perlengkapan untuk keamanan
2. Kurang kesadaran pengemudi untuk menaati peraturan lalu lintas
3. Cara berkendara yang beresiko
4. Kondisi pengemudi yang tidak fit

Sedangkan dari segi teknis penyebab kecelakaan diantaranya adalah :

1. Kerusakan pada mesin sepeda motor
2. Kondisi jalan yang kurang bagus seperti jalan berlubang
3. Kondisi komponen sepeda motor seperti rem atau ban yang tidak sempurna

Rem dan ban adalah dua komponen vital sepeda motor. Jika kondisinya tidak dijaga dengan baik hingga mengakibatkan ban aus atau rem yang blong maka kecelakaan akan sangat rentan terjadi.

Menjaga supaya roda kendaraan dalam keadaan stabil dan lurus adalah hal yang sangat penting untuk mendapatkan hasil yang baik dalam berkendara. Trend yang terjadi belakangan ini dalam dunia manufaktur otomotif adalah membuat kendaraan yang semakin ringan. Kendaraan terdahulu yang memiliki massa yang lebih berat memang bisa membantu kestabilan dengan cara meredam getaran-getaran yang terjadi sebelum pengendara bisa merasakannya. Suspensi juga berperan sama. Faktor lain yang sangat mempengaruhi kestabilan kendaraan adalah teknologi roda. Umumnya, roda yang lebih responsif dengan profil yang lebih rendah, dimana dapat memberikan feedback dari jalan lebih besar, digunakan untuk alasan performa dan selera. Hasilnya pengendara akan merasakan ketidakstabilan yang terjadi walaupun disebabkan oleh guncangan yang kecil.

Sayangnya, pengukuran kemiringan roda sepeda motor yang ada saat ini belum cukup mampu memberikan kepastian kualitas tersebut. Tidak seperti yang ada pada mobil, dimana terdapat proses *spooling* dan *balancing*, sepeda motor belum ada standard yang jelas mengenai posisi kemiringan dan kestabilan putaran rodanya. Pengukuran yang dilakukan pada sepeda motor masih berupa secara manual, yaitu dengan mengandalkan penglihatan mata telanjang dan perasaan si penguji, apakah sepeda motor tersebut nyaman untuk dikendarai atau tidak. Keadaan *unbalance* dapat diakibatkan karena berat maupun geometri yang tidak merata pada berbagai sisi roda. Pada roda sepeda motor keadaan *unbalance* tersebut dapat diketahui dengan timbulnya *run-out* yang cukup besar akibat geometri yang tidak merata.

Ada juga satu metode yang dapat digunakan untuk mengatasi miss-alignment pada sepeda motor, termasuk antara rangka dengan roda belakangnya, yaitu dengan metode press. Tetapi metode ini pun masih sangat sederhana dan diragukan keakuratannya sehingga diperlukan sebuah alat dan cara baru yang dapat digunakan untuk mengukur kestabilan putaran roda pada sepeda motor.

1.2 Perumusan Permasalahan

Sebuah penelitian yang muncul akibat besarnya angka kecelakaan karena kesalahan pada roda sepeda motor. Penelitian ini berupa pembuatan alat ukur

Universitas Indonesia

untuk mengetahui seberapa besar kesalahan yang terjadi pada roda sepeda motor tersebut. Kesalahan pada roda sepeda motor disebabkan oleh dua hal, penyebab pertama adalah akibat pemasangan roda belakang yang tidak tepat yang dapat diukur dengan menjadikan roda depan sebagai acuan. Penyebab kedua adalah akibat ketidak bundaran *velg* roda yang menimbulkan keadaan *unbalance* yang berupa *run-out* (melanjutkan penelitian sebelumnya). Penelitian ini menggunakan konsep pengukuran kelurusan roda depan dan belakang atau lebih dikenal dengan istilah *wheel alignment* atau *spooring* dan pengukuran kebundaran *roundness* yang sering kita dengar dengan istilah “*stel velg*” dengan metode baru yaitu pengukuran secara dinamis tanpa melepas roda baik roda depan maupun roda belakang. Hasil penelitian ini dapat menggantikan tes uji *quality control* pada pabrik produsen sepeda motor yang saat ini masih dilakukan secara manual oleh seorang penguji dengan mengandalkan *feeling*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah:

1. Mengetahui besarnya nilai *roundness* pada roda sepeda motor dengan melakukan pengukuran *roundness* statis dan pengukuran *roundness* dinamis.
2. Mengetahui besarnya faktor pengganggu pada pengukuran *roundness* dinamis terhadap pengukuran *roundness* statis menggunakan metode statistik.
3. Melakukan pengukuran *wheel alignment* atau *spooring* pada sepeda motor.

1.4 Batasan Masalah

Batasan dari penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini adalah pengujian alat ukur *roundness* dan *wheel alignment* pada roda sepeda motor dan tidak melakukan perbaikan terhadap objek yang diukur.
2. Pengukuran pada roda depan dilakukan hanya dalam keadaan dinamis dengan cara menjalankan sepeda motor.

3. Pengukuran *roundness* roda belakang dilakukan dengan pengukuran statis dan dinamis.
4. Pengukuran *wheel alignment* beracuan pada roda depan dengan keadaan pemasangan stang sempurna.

1.5 Metodologi Penelitian

Pertama adalah mencari konsep pengukuran setelah didapatkan desain alat ukur dengan perhitungan beban yang dilakukan oleh Ricky. Setelah alat ukur ditetapkan desain akhirnya dengan pertimbangan terhadap perhitungan dan analisa terhadap bentuk, dimensi, aplikasi gaya, dan fungsi dari alat tersebut. Proses pendesainan menggunakan *Autodesk Inventor 2009* dilakukan oleh Ragiel Naradiagung. Selain itu juga ditetapkan material yang sesuai dengan kebutuhan. Pada tahap ini, sudah tidak ada lagi perubahan terhadap desain karena dianggap sudah memenuhi semua persyaratan.

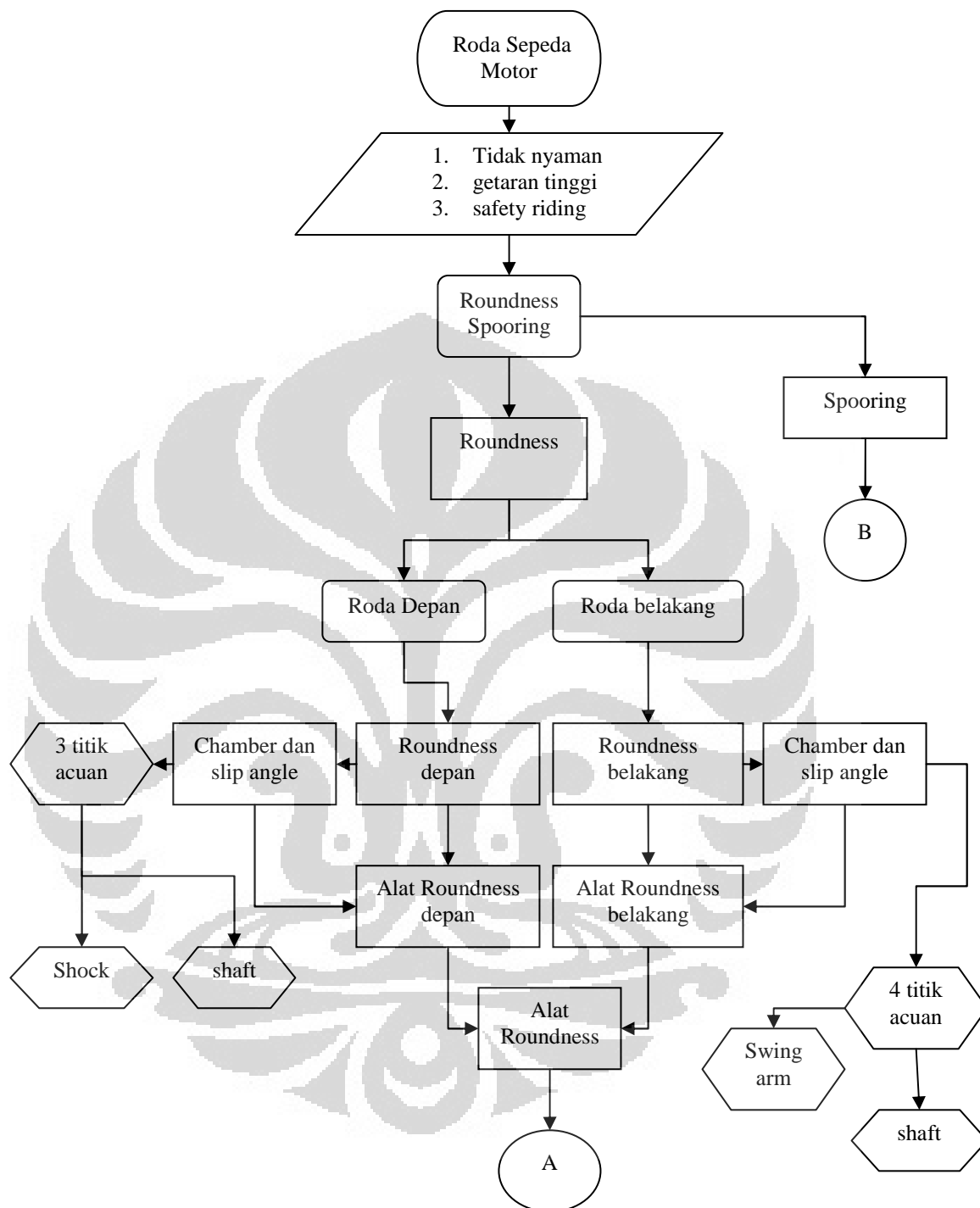
Kemudian tahap kedua adalah studi literatur yang digunakan sebagai panduan dalam proses perancangan dan penghitungan elemen-elemen mesin yang digunakan, seperti *camber angle* dan *slip angle*, termasuk prinsip *spooring*, metode statistik dalam pengukuran, komponen mekanik dan elektronik pada pengukuran seperti *strain gauges*, jembatan *wheatstone*, data loggr, laser, dan komponen lain yang menunjang pengukuran.

Tahap ketiga adalah instalasi sensor. Instalasi untuk pengukuran *roundness* adalah *strain gauges* dan komponen elektronik lainnya, kemudian disambungkan dengan DAQ yang telah tersambung dengan Komputer yang telah terinstal program akuisisi data *strain gauges* tersebut. Instalasi untuk pengukuran *wheel alignment* atau *spooring* adalah pemasangan laser dan receivernya.

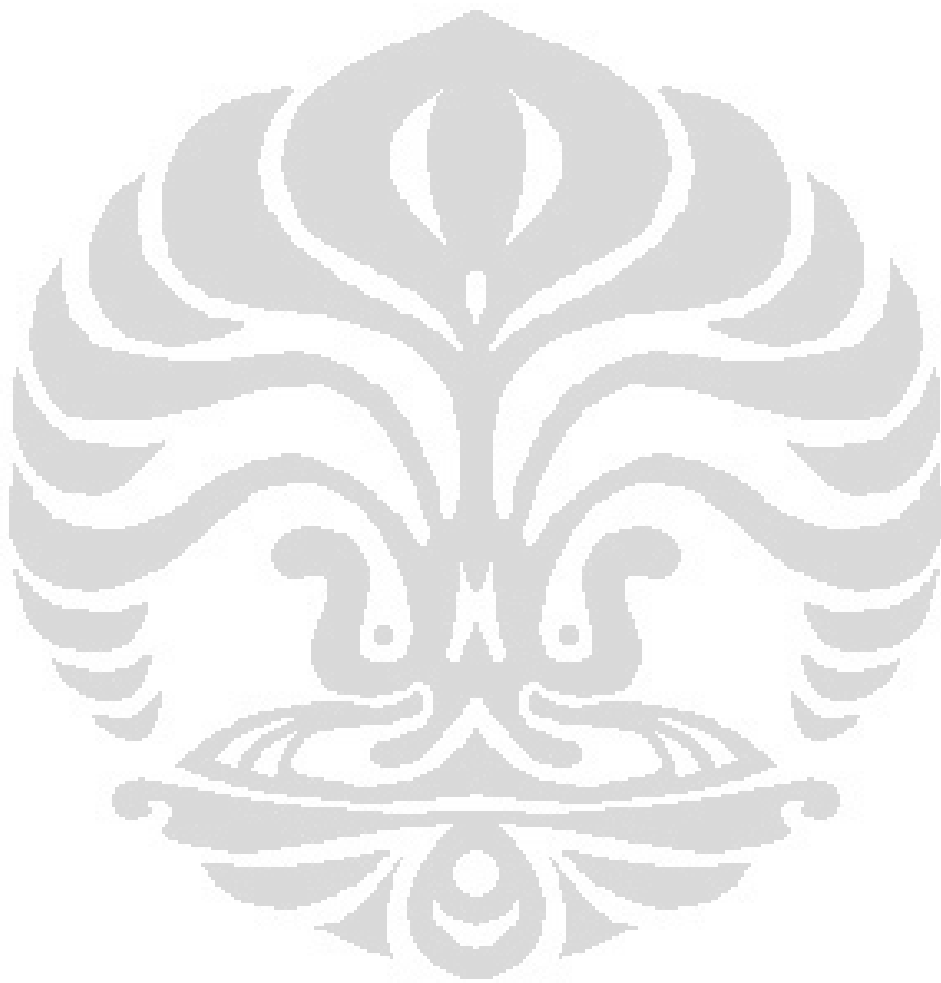
Tahap keempat adalah menguji keakuratan dan kehandalan alat ukur yang telah dibuat, dengan melakukan kalibrasi yang dilanjutkan pemasangan alat tersebut pada sepeda motor dan mengoperasikannya sesuai dengan konsep yang telah ditentukan untuk dilakukan pengukuran sesuai dengan prosedur pengukuran yang telah ditentukan

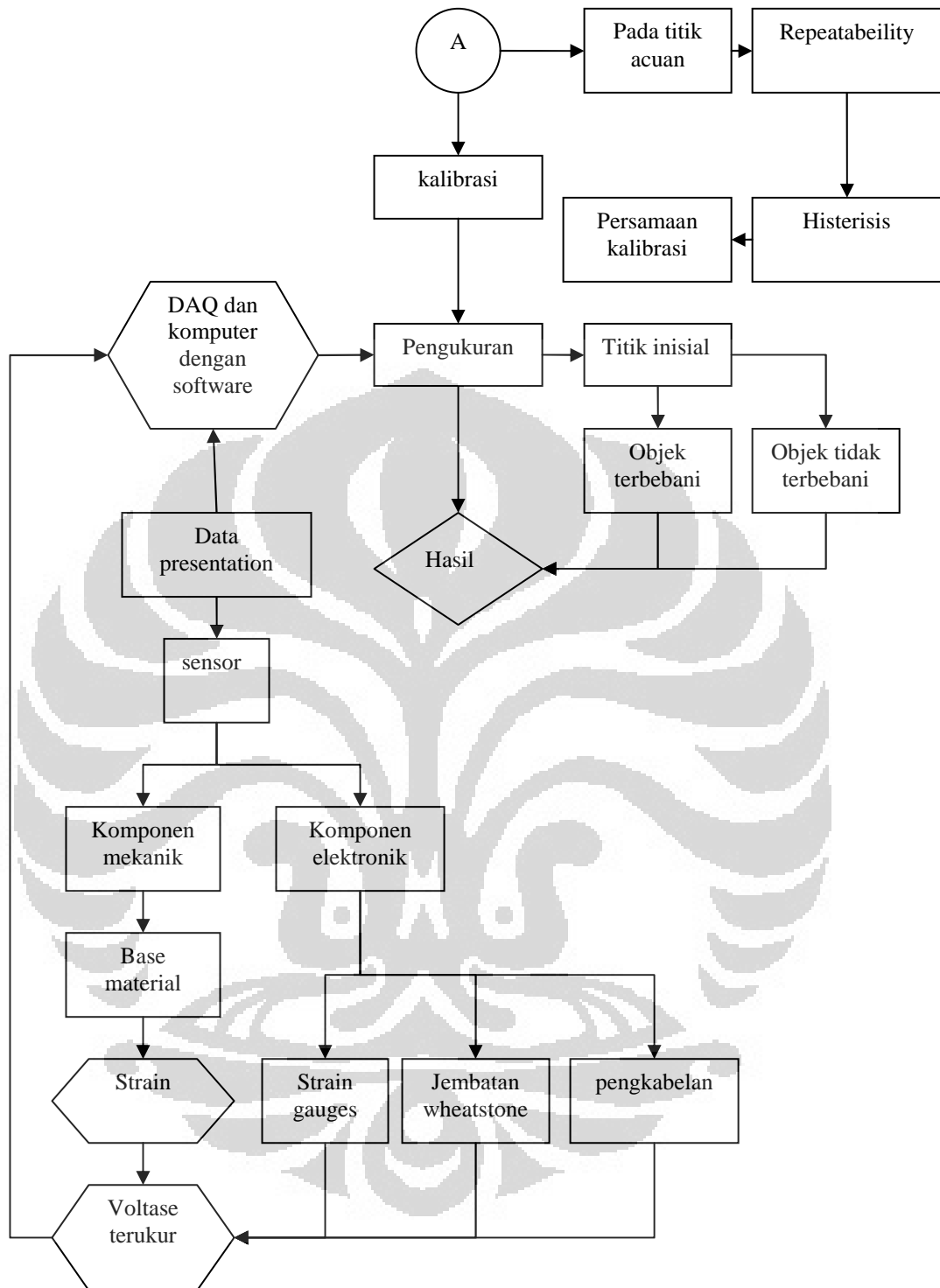
Sehingga secara keseluruhan, tahap metodologi yang dilakukan adalah seperti ditunjukkan Gambar 1.5 berikut ini:

Universitas Indonesia

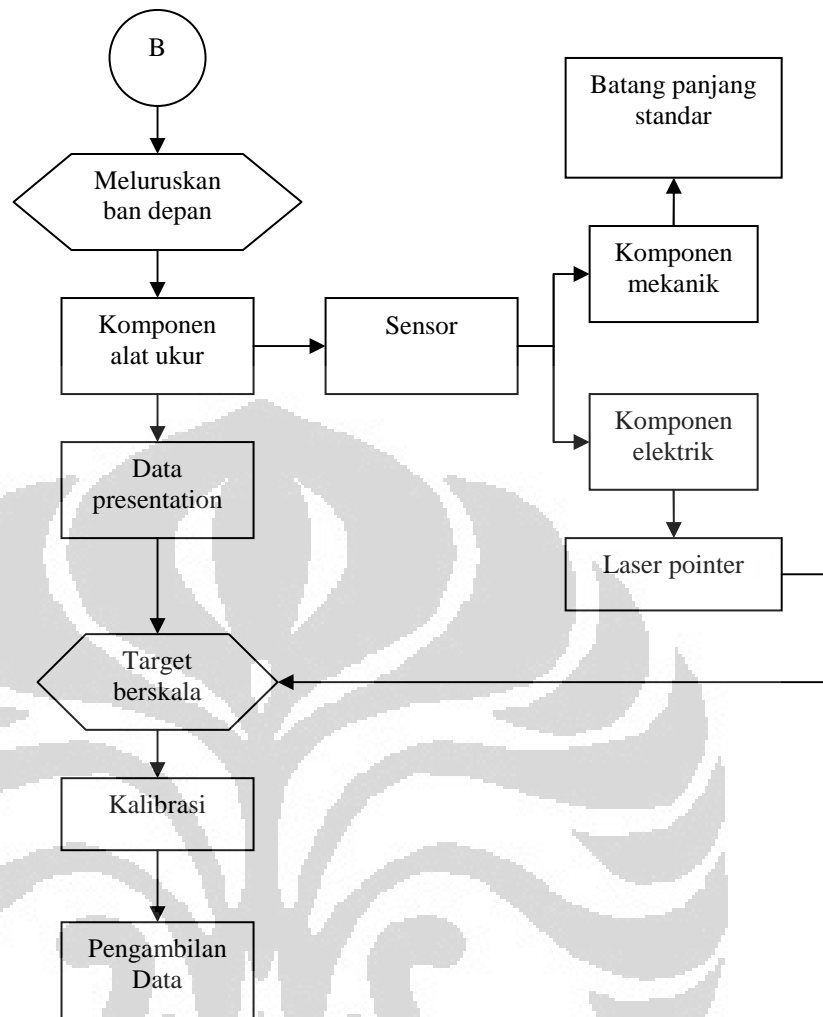


Gambar 1.5 *Flowchart* Metodologi Penelitian





Gambar 1.5 *Flowchart* Metodologi Penelitian



Gambar 1.5 *Flowchart* Metodologi Penelitian

1.6 Sistematika Penulisan

- **BAB 1 PENDAHULUAN**

Bab pertama terdiri dari latar belakang, pokok permasalahan, tujuan, pembatasan masalah, metodologi dan sistematika penulisan dalam skripsi sehingga dapat terlihat gambaran skripsi secara umum.

- **BAB 2 LANDASAN TEORI**

Bab ini berisi landasan teori yang digunakan untuk melakukan penelitian dan pemecahan masalah, yaitu teori mengenai velg dan ban, chamber angle dan slip angle, proses spooling, material dan mechanical properties, statistik pada pengukuran, serta teori mengenai strain gauges.

- **BAB 3 RANCANGAN PENGUKURAN**

Bab ini mengenai solusi apa yang didapatkan untuk memecahkan masalah tugas akhir ini dan argumen mengenai mengapa solusi ini dipakai.

- **BAB 4 KALIBRASI DAN PENGAMBILAN DATA**

Bab ini menjabarkan tentang metode kalibrasi untuk alat ukur *roundness* dan *wheel alignment* yang dilanjutkan dengan proses pengambilan data dengan mengukur *roundness* pada roda depan dan belakang dan pengambilan data simpangan jatuhnya titik laser dari titik pusat target pada pengukuran *wheel alignment*.

- **BAB 5 ANALISA**

Bab ini menjelaskan analisa hasil penelitian dan fenomena-fenomena yang terjadi

- **BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini menjelaskan kesimpulan dari hasil penelitian, serta saran-saran yang diberikan penulis untuk penelitian selanjutnya

- **DAFTAR ACUAN**

Bagian ini berisi semua sumber acuan, baik buku maupun internet, yang digunakan untuk mendukung penelitian ini.

- **LAMPIRAN**

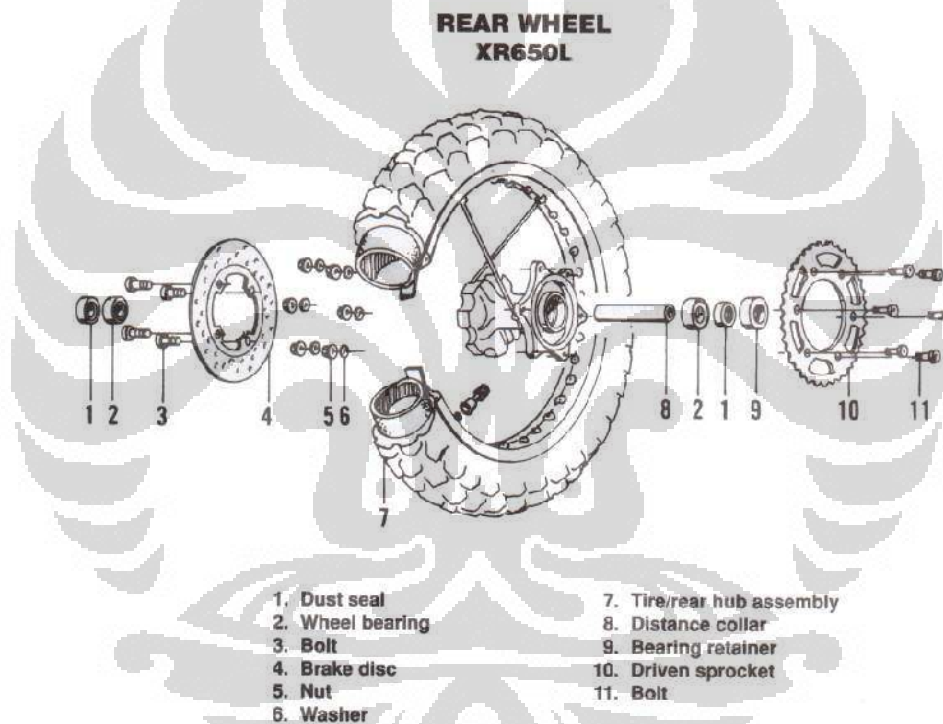
Bagian ini berisi data atau referensi yang digunakan dalam melakukan penelitian ini.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Roda Sepeda Motor

Salah satu pemegang peranan penting dalam kendaraan adalah roda. Roda menjadi pemegang peranan penting dalam hal kenyamanan dan keamanan (*safety*). Kesalahan yang terjadi pada roda dapat mengakibatkan banyak gangguan pada kendaraan tersebut. Terdapat banyak komponen penyusun roda dengan masing-masing fungsi yang saling menopang satu sama lain. Berikut ini adalah pembahasan tentang roda sepeda motor.



Gambar 2.1 Komponen Penyusun Roda Belakang Sepeda Motor

Sumber: www.freepatentsonline.com

Pada gambar di atas, bisa dilihat apa saja komponen yang terdapat pada roda belakang sepeda motor. Posisi kemiringan roda tersebut sangat ditentukan oleh pemasangan komponen-komponen diatas. Jika pemasangan tidak dilakukan secara benar, misalnya antara *bearing* dengan *sprocket* atau dengan *shaft*, maka akan mengakibatkan roda miring.

2.1.1 *Camber Angle* dan *Slip Angle*

Camber angle atau sudut camber adalah sudut yang dibentuk antara sumbu vertikal roda dan sumbu vertikal sebuah mobil jika dilihat dari bagian depan atau belakang. *Camber angle* ini sangat penting dalam sistem pengendalian atau steering dan sistem negatif. Jika bagian atas roda lebih jauh daripada bagian bawahnya, ini disebut camber positif. Sedangkan jika bagian bawah roda yang lebih jauh, maka disebut camber negatif.

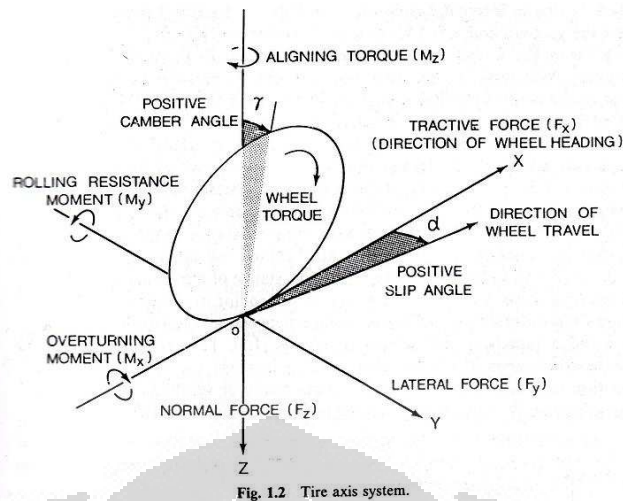
Slip angle atau sudut slip adalah sudut antara arah putaran laju roda yang seharusnya dengan arah yang ditunjuk oleh roda tersebut. Sudut slip ini menghasilkan gaya perpendicular terhadap arah laju roda, yang disebut *cornering force*. Gaya ini meningkat secara linear pada beberapa sudut awal, kemudian meningkat secara tidak linear sampai titik maksimum sebelum akhirnya berkurang. Sudut slip pada setiap ban dipengaruhi oleh banyak faktor, jika dipakai faktor-faktor tersebut dapat diuraikan bahwa sudut slip dipengaruhi oleh konstruksi ban, gaya lateral, gaya normal., tekanan ban, keausan ban, dan gaya longitudinal dari ban. Sering dirasakan pada saat kendaraan berbelok/menikung percepatan atau perlambatan yang diberikan pada kendaraan akan merubah sifat *handlingnya*.

Sepeda motor sangat membutuhkan suatu kepastian tentang kelayakan dan kualitas dari roda yang terpasang padanya. Salah satu kepastian kualitas yang harus dimiliki adalah kepastian tentang keamanan roda yang terpasang terkait dengan masalah tingkat kestabilan putaran roda tersebut. Tidak seperti mobil yang stabil, risiko ini sangat rentan bagi bikers. Tingkat kestabilan putaran roda ini akan dapat menaikkan tingkat keamanan dari kendaraan ini sendiri ketika sedang berjalan di jalan raya.

2.1.2 *Gaya dan Momen pada Roda*

Deskripsi mengenai karakteristik roda merupakan hal penting dalam analisa dinamika kendaraan beroda. Dengan alasan tersebut, sudah banyak penelitian yang dilakukan untuk merumuskan karakteristik roda.

Pada saat bergerak, roda mengalami tiga gaya dan tiga momen, yaitu :



Gambar 2.2 Gaya dan Momen yang Dialami Roda Kendaraan

Sumber: Theory of Ground Vehicles (page 7)

Gaya :

- Gaya traksi : terjadi pada komponen arah x, ini adalah gaya utama yang menggerakkan kendaraan
- Gaya Lateral : terjadi pada komponen arah y (kearah samping dari roda dan kendaraan).
- Gaya Normal : adalah komponen gaya pada arah z (komponen utamanya adalah berat kendaraan beserta muatannya)

Momen :

- M_x : adalah Overturning moment (moment yang terjadi pada sumbu x yang terjadi pada roda dan jalan)
- M_y : Rolling resistance (moment yang terjadi pada sumbu y)
- M_z : Aligning moment (moment pada sumbu z)

Perpindahan pusat tekanan normal arah longitudinal (arah x) = rolling resistance / normal load

Perpindahan pusat tekanan normal arah lateral = overturning moment / normal load.

Resultan shear stress arah longitudinal pada permukaan kontak dapat diukur dari gaya traksinya. Driving torque pada sumbu rotasi (sumbu x) di roda menghasilkan gaya yang mempercepat gerakan kendaraan, dan braking torque menghasilkan gaya yang memperlambat gerakan kendaraan.

Ada dua sudut penting yang berhubungan dengan roda yang sedang berputar, yaitu *slip angle* dan *camber angle*:

- a) *Slip angle* : sudut antara arah gerak roda dengan garis perpotongan antara permukaan jalan dengan permukaan roda (*wheel plane*)
- b) *Camber angle* : sudut yang terbentuk antara permukaan xz dengan *wheel plane*.

Gaya lateral (kearah samping /sumbu y) antara roda dengan permukaan jalan adalah fungsi dari kedua sudut tersebut.

2.2 Prinsip Wheel Alignment (Spooring)

Spooring atau FWA (*Front Wheel Alignment*) adalah proses mengembalikan kondisi steering system kendaraan ke posisi semula sesuai dengan standard kendaraan tersebut. *Spooring* yang ada sekarang ini, hanya dapat diaplikasikan terhadap kendaraan beroda empat atau lebih.



Gambar 2.3 Alat *Spooring* Roda Mobil

Sumber: www.goodgarage.com

Pada sebuah kendaraan yang telah lama dipakai, keselarasan dan keseimbangan roda harus diperbaiki karena keausan komponen kaki-kaki mobil yang bisa menyebabkan terjadinya penyimpangan pada sudut kelurusan roda. Tujuan utama dari proses *spooring* adalah untuk menyelaraskan antara posisi roda kanan dan kiri. Efek yang ditimbulkan dari tidak seimbangny roda kiri dan kanan

ini bisa membuat mobil limbung dan bahkan berat sebelah. Pekerjaan *spooring* meliputi:

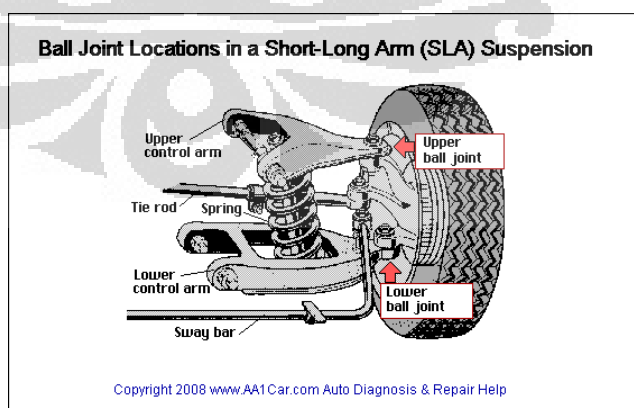
1. Penyetelan *toe-in toe-out* dimana keselarasan roda yg diatur supaya kendaraan tersebut dapat melaju lurus.
2. Penyetelan camber untuk menghindari ban botak hanya di satu sisi.
3. Penyetelan caster untuk memudahkan pengemudi mengendalikan steering dan kembali ke posisi lurus setelah berbelok.



Gambar 2.4 Alat Ukur *Toe-in Alignment*

Sumber: www.advantagewheelalignment.com

Diantara beberapa komponen yang paling vital dalam menentukan keselarasan roda dan kemudi ada empat, yaitu: *tie rod*, *end tie rod*, *ball joint* dan *bushing*, seperti yang terdapat pada Gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.5 Komponen Penyusun Roda Mobil

Sumber: www.2carpros.com

Tierod dan *end tierod* bertugas dalam meneruskan gaya belok dari kemudi ke roda-roda. Komponen yang terbuat dari logam ini secara berkala dapat aus karena pemakaian. Begitu juga dengan *balljoint*, komponen dari logam yang bertugas menopang *knuckle arm* ini juga aus karena pemakaian. Sedangkan *bushing* yang berfungsi sebagai titik tumpu pergerakan suspensi sangat mungkin pecah karena terbuat dari karet.

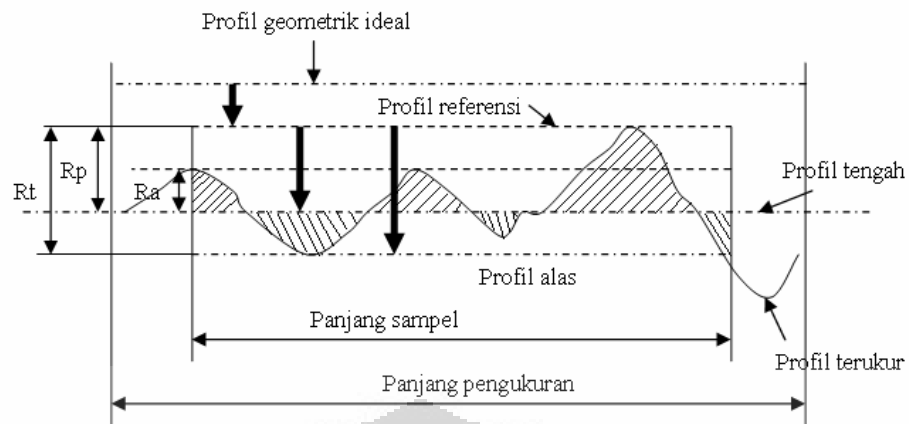
2.3 Kekasaran Permukaan

Dalam pemasangan strain gauges, permukaan objek yang akan ditempelkan strain gauges harus memiliki kekasaran sesuai dengan syarat pemasangannya. Parameter yang biasa digunakan pada pengukuran kekasaran permukaan adalah kekasaran aritmatik dan kekasaran total.

Sebelum membahas kekasaran aritmatik dan kekasaran total perlu diketahui terlebih dahulu profil kekasaran permukaan.

Dalam bukunya Taufiq Rochim membagi profil kekasaran permukaan menjadi lima:

- a) Profil geometrik ideal ialah profil permukaan sempurna (dapat berupa garis lurus, lengkung, atau busur).
- b) Profil terukur, merupakan profil permukaan terukur
- c) Profil referensi, adalah profil yang digunakan sebagai acuan untuk menganalisis ketidakteraturan konfigurasi permukaan. Profil ini dapat berupa garis lurus atau garis dengan bentuk sesuai dengan profil geometrik ideal, serta menyinggung puncak tertinggi profil terukur dalam satuan panjang sampel.
- d) Profil akar/ alas, yaitu profil referensi yang digeserkan ke bawah (arah tegak lurus terhadap profil geometrik ideal pada suatu panjang sampel) sehingga menyinggung titik terendah profil terukur.
- e) Profil tengah, adalah nama yang diberikan kepada profil referensi yang digeserkan ke bawah (arah tegak lurus terhadap profil geometrik ideal) sedemikian rupa sehingga jumlah luas bagi daerah-daerah di atas profil tengah sampai ke profil terukur adalah sama dengan jumlah luas daerah di bawah profil tengah sampai profil terukur.



Gambar 2.6 Profil Kekasaran dan Kekasaran Permukaan

Sumber: <telah diolah kembali> Spesifikasi, Metrologi, & kontrol Kualitas (halaman 56)

Berdasarkan profil-profil yang diterangkan di atas dijelaskan kekasaran permukaan sebagai berikut:

- Kekasaran total, R_t (μm) adalah jarak antara profil referensi dengan profil alas.
- Kekasaran perataan, R_p (μm) adalah jarak rata-rata antara profil referensi dengan profil terukur. Sehingga R_p sama dengan jarak antara profil referensi dengan profil tengah.

$$R_p = \frac{1}{\ell} \int_0^{\ell} y_i dx \quad (2.1)$$

- Kekasaran rata-rata aritmetik, R_a (μm) adalah harga rata-rata aritmetik bagi harga absolutnya jarak antar profil terukur dengan profil tengah.

$$R_a = \frac{1}{\ell} \int_0^{\ell} |h_i| dx \quad (2.2)$$

- Kekasaran rata-rata kuadratik, R_g (μm) adalah akar bagi jarak kuadrat rata-rata antara profil terukur dengan profil tengah.

$$R_g = \sqrt{\frac{1}{\ell} \int_0^{\ell} h_i^2 dx} \quad (2.3)$$

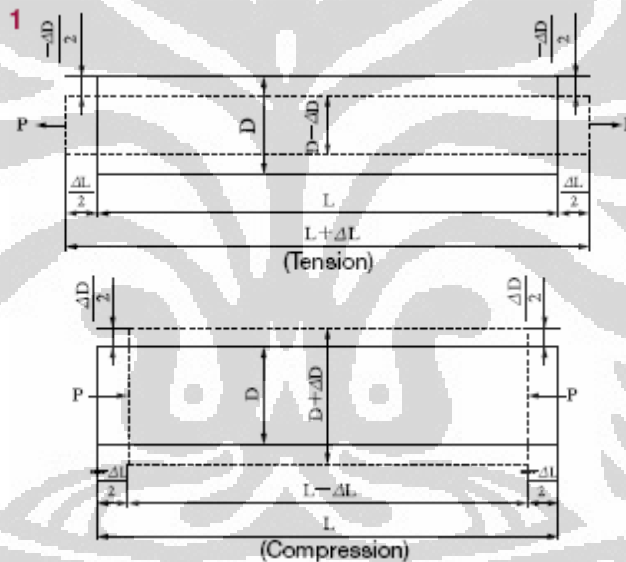
- e) Kekasaran total rata-rata, R_z (μm), merupakan jarak rata-rata profil alas ke profil terukur pada lima puncak tertinggi dikurangi profil alas terukur pada lima lembah terendah.

$$R_z = \sum [R_1 + R_2 + \dots + R_5 - R_6 - \dots - R_{10}] / 5 \quad (2.4)$$

2.4 Strain Gauges

2.4.1 Strain, Stress dan Poisson's Ratio

Ketika sebuah material menerima gaya tarik (*tensile force*) P , material akan mengalami tekanan (*stress*) yang berhubungan dengan gaya yang dialaminya itu. Secara proporsional dengan tekanan tersebut, penampang akan berkontraksi dan bertambah panjang sebesar ΔL dari panjang material mula-mula L .



Gambar 2.7 Batang yang Mengalami Tarik dan Tekan

Sumber: *How Strain Gauges Works*

Rasio dari pertambahan panjang dengan panjang mula-mula disebut *tensile strain* dan dirumuskan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \quad (2.5)$$

ε : Strain

L : Panjang mula-mula

ΔL : Pertambahan panjang

Perhatikan gambar bagian bawah dari Gambar 2.7. Apabila material menerima gaya tekan (*compressive force*), maka material akan mengalami *compressive strain* yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \frac{-\Delta L}{L} \quad (2.6)$$

Sebagai contoh, apabila sebuah gaya tarik membuat material dengan panjang 100mm bertambah panjang sebesar 0,01mm, *strain* yang terjadi pada material tersebut adalah:

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{0,01}{100} = 0,0001 = 100 \times 10^{-6} \quad (2.7)$$

Strain adalah bilangan absolut dan dituliskan dengan nilai numeriknya beserta $\times 10^{-6}$ *strain*, $\mu \varepsilon$ atau $\mu\text{m/m}$.

Hubungan dari *stress* dan *strain* yang diinisiasikan pada sebuah material yang menerima gaya dirumuskan oleh hukum *Hooke* sebagai berikut:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (2.8)$$

σ : Stress

E : Elastic modulus

ε : *Strain*

Stress diperoleh dengan mengkalikan *strain* dengan *elastic modulus* material. Ketika material mengalami gaya tarik maka material akan memanjang pada arah axial dan juga akan berkontraksi pada arah transversal. Perpanjangan pada arah axial dinamakan *longitudinal strain* dan kontraksi pada arah transversal dinamakan *transverse strain*. Nilai absolut dari perbandingan antara *longitudinal strain* dan *transverse strain* dinamakan *Poisson's ratio*, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$v = \left| \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \right| \quad (2.9)$$

v : *Poisson's ratio*

ε_1 : *Longitudinal strain* $\frac{\Delta L}{L}$ atau $-\frac{\Delta L}{L}$ (Gambar 2.7)

ε_2 : *Transverse strain* $\frac{\Delta D}{D}$ atau $-\frac{\Delta D}{D}$ (Gambar 2.7)

Poisson's ratio berbeda-beda tergantung dari material. Berikut adalah properti-properti dari material yang sering digunakan pada aplikasi industri, termasuk pada property tersebut adalah *Poisson's ratio*.

Tabel 2.1 Mechanical Properties of Industrial Materials

Material	Young's Modulus E (GPa)	Shearing Modulus G (GPa)	Tensile Strength** (MPa)	Poisson's Ratio ν
Carbon steel (C0.1 - 0.25%)	205	78	363 - 441	0.28 - 0.3
Carbon steel (C > 0.25%)	206	79	417 - 569	0.28 - 0.3
Spring steel (quenched)	206 - 211	79 - 81	588 - 1667	0.28 - 0.3
Nickel steel	205	78	549 - 657	0.28 - 0.3
Cast iron	98	40	118 - 235	0.2 - 0.29
Brass (casting)	78	29	147	0.34
Phosphor bronze	118	43	431	0.38
Aluminum	73	27	186 - 500	0.34
Concrete	20 - 29	9 - 13	—	0.1

Sumber: *How Strain Gauges Works*

2.4.2 Prinsip Kerja *Strain Gauges*

Setiap material memiliki hambatan yang spesifik. Sebuah gaya tarik (gaya tekan) akan menambah (mengurangi) hambatan dengan menambah panjang (mengkontraksi) material. Misalkan hambatan mula-mula adalah R dan *strain* menginisiasikan perubahan hambatan sebesar ΔR , maka kita dapat mengkonklusikan persamaan sebagai berikut:

$$\frac{\Delta R}{R} = K_s \frac{\Delta L}{L} = K_s \cdot \epsilon \quad (2.10)$$

Dimana, K_s adalah *gauges factor*, sebuah koefisien yang mengekspresikan sensitivitas dari *strain gauges*. Pada umumnya *strain gauges* menggunakan *copper-nickel* atau *nickel-chrome alloy* sebagai elemen resistif, dan *gauges factor* yang dihasilkan dari alloy ini adalah sekitar 2. Walaupun *strain gauges* mampu mendeteksi besarnya *strain* yang terjadi pada elemen dan mengkonversi mekanisme *strain* ini menjadi perubahan hambatan listrik, tetapi karena *strain* merupakan fenomena infinitesimal yang tak nampak, jadi perubahan hambatan yang terjadi sangat kecil. Agar hambatan listrik yang kecil ini mampu untuk dihitung, maka diperlukan suatu amplifier dengan menggunakan sirkuit listrik yang disebut dengan jembatan Wheatstone.

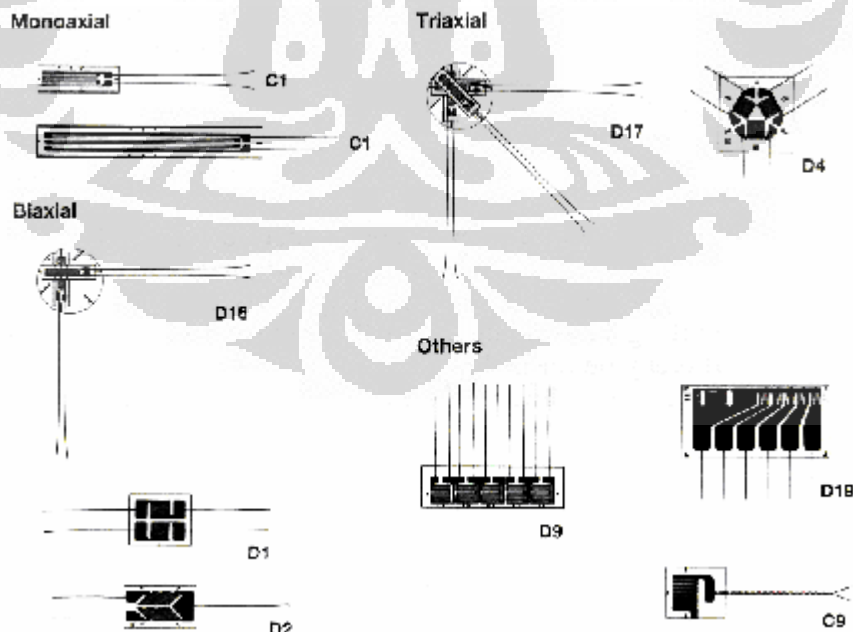
2.4.3 Jenis-Jenis *Strain Gauges*

Terdapat bermacam-macam jenis strain gauges. Dari jenis elemen resistifnya, strain gauges di bagi atas:

1. Foil Strain Gauges (Cu-Ni alloy, Ni-Cr alloy)
2. Wire Strain Gauges (Cu-Ni alloy, Ni-Cr alloy)
3. Semikonduktor Strain Gauges (monocrystal silicon)

Material dari carrier matrix mempengaruhi karakteristik dari strain gauges, sama halnya dengan material dari elemen resistifnya. Umumnya carrier matrix menggunakan polyimide atau material organik lainnya. Strain gauges yang beroperasi untuk temperatur yang tinggi umumnya menggunakan material jenis keramik, dan untuk strain gauges yang ditempelkan pada benda hasil las, carrier matrix-nya menggunakan logam seperti inconel 600. Berdasarkan carrier-matrix materialnya, strain gauges terdiri atas bermacam-macam jenis, misalnya strain gauges yang menggunakan kertas sebagai carrier matrixnya, fenol, epoxy, polyimide, dan lain-lain.

Berdasarkan konfigurasi strain gauges terdiri atas konfigurasi monoaksial, konfigurasi biaksial, konfigurasi triaksial, dan konfigurasi khusus untuk keperluan khusus.



Gambar 2.8 Jenis-Jenis *Strain Gauges* Berdasarkan Konfigurasi

Sumber: *How Strain Gauges Works*

Secara garis besarnya klasifikasi strain gauges sebagai berikut :

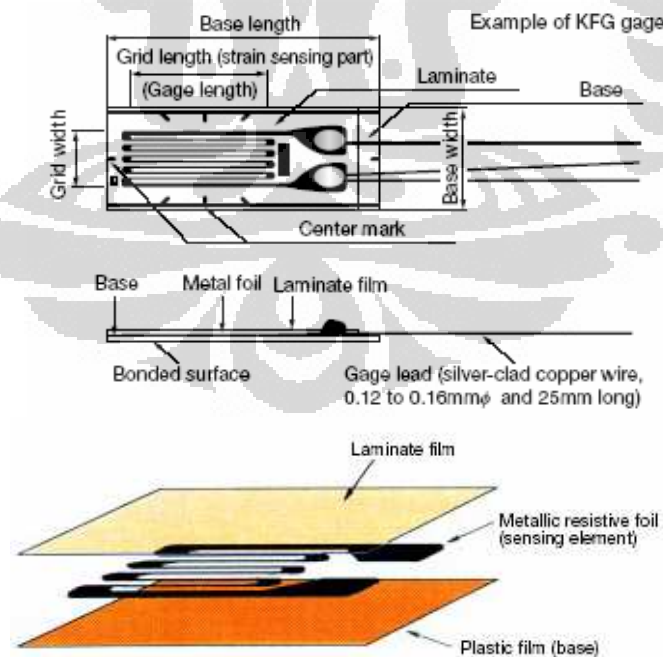
Tabel 2.2 Klasifikasi *Strain Gauges*

Material Elemen Resistif	Foil strain gauges (Cu-Ni alloy, Ni-Cr alloy, etc.) Wire strain gauges (Cu-Ni alloy, Ni-Cr alloy, etc.) Semiconductor strain gauges (monocrystal silicon, etc.)
Material Carrier Matrix	Paper Phenol/epoxy Polyimide
Panjang Gauges	0.14-120mm Monoaxis
Bentuk	Multiaksis (seperti gauges rosette) Gauges yang memiliki alur khusus
Hambatan Gauges	60 - 1000ohm atau lebih (semiconductor gauges, lebih dari 10Kohm)

Sumber: *How Strain Gauges Works*

2.4.4 Struktur *Foil* pada *Strain gauges*

Sebuah foil *strain gauges* memiliki *metal foil photo-etched* dengan pola berliku-liku pada sebuah insulator elektrik yang terbuat dari resin yang tipis dan di bagian pangkalnya juga terdapat *gauges leads*, deskripsi *strain gauges* dapat terlihat pada gambar di bawah.



Gambar 2.9 Struktur Pembentuk *Strain gauges*

Sumber: *What is Strain Gauges*

Strain gauges direkatkan pada objek yang akan diukur dengan menggunakan bahan adesif tertentu. *Strain* yang terjadi pada bagian objek yang akan diukur ini ditransfer menuju elemen peraba melalui dasar *gauges* (*gauges base*). Untuk memperoleh pengukuran yang akurat, *strain gauges* dan bahan adesifnya harus cocok dengan material yang diukur dan kondisi operasi termasuk suhu.

2.4.5 Prinsip Pengukuran *Strain*

Strain menginisiasikan perubahan hambatan dengan sangat kecil. Oleh karena itu, untuk pengukuran *strain* sebuah jembatan *Wheatstone* digunakan untuk mengkonversi perubahan hambatan menjadi perubahan tegangan. Misal pada Gambar 2.10, hambatan (Ω) adalah R_1 , R_2 , R_3 , dan R_4 dan tegangan jembatan (V) adalah E_{exc} . Maka, tegangan keluaran e_0 (V) dapat diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$e_0 = \frac{R_1 R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + R_2)(R_3 + R_4)} \cdot E_{exc} \quad (2.11)$$

Misalkan hambatan R_1 adalah *strain gauges* dan berubah besarnya sebanyak ΔR akibat *strain*. Maka, tegangan keluaran adalah,

$$e_0 = \frac{(R_1 + \Delta R)R_3 - R_2 R_4}{(R_1 + \Delta R + R_2)(R_3 + R_4)} \cdot E_{exc}$$

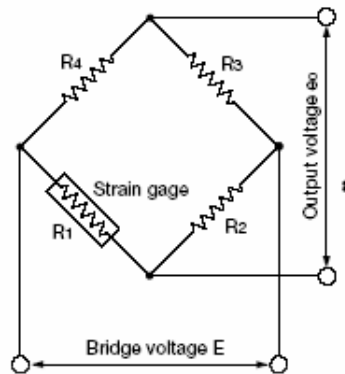
Apabila, $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$,

$$e_0 = \frac{R^2 - R\Delta R - R^2}{(2R + \Delta R)2R} \cdot E_{exc}$$

Sejak R dianggap jauh lebih besar dari nilai ΔR ,

$$e_0 = \frac{1}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R} \cdot E = \frac{1}{4} \cdot K_s \cdot \varepsilon \cdot E_{exc} \quad (2.12)$$

Berdasarkan persamaan di atas, diperoleh keluaran hambatan yang proporsional dengan perubahan hambatan, sebagai contoh akibat perubahan *strain*. Keluaran tegangan yang sangat kecil ini diamplifikasi untuk pembacaan analog atau pun indikasi digital dari *strain*.



Gambar 2.10 Aplikasi Jembatan *Wheatstone* pada *Strain gauges*

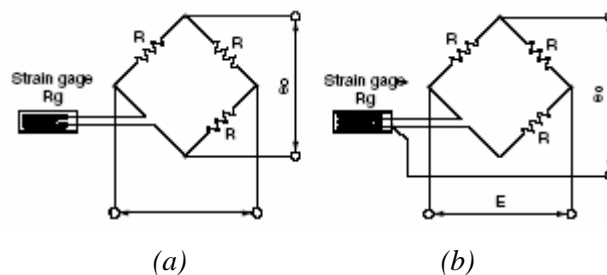
Sumber: *How Strain Gauges Works*

2.4.6 Sistem Pengkabelan *Strain gauges*

Sebuah jembatan *Wheatstone* dari *strain gauges* memiliki konfigurasi 1, 2 atau 4 *gauges* tergantung dari kebutuhan pengukuran. Pengkabelan yang umum digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.11, 2.12 dan 2.13.

2.4.6.1 Sistem 1-*gauges*

Pada sistem 1-*gauges*, sebuah *strain gauges* dihubungkan pada sebuah sisi dari jembatan *Wheatstone* dan sebuah resistor diletakkan pada setiap 3 sisi jembatan yang lain. Sistem ini dapat dengan mudah dikonfigurasi, dan sistem ini adalah yang paling umum digunakan pada pengukuran *stress* atau *strain*. Sistem 1-*gauges* dengan 2-kabel ditunjukkan pada Gambar 2.11 (a) menerima banyak pengaruh dari *leads*. Oleh karena itu, apabila diperlukan antisipasi perubahan temperatur yang cukup besar dan *leadwire* yang cukup panjang, sistem 1-*gauges* dengan 3-kabel seperti yang ditunjukkan Gambar 2.11 (b) harus digunakan.

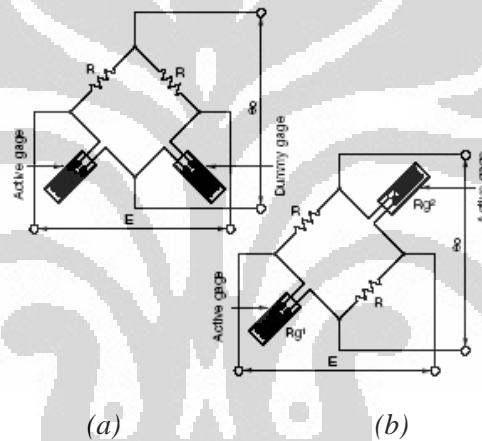


Gambar 2.11 Konfigurasi Sistem 1-*gauges*

Sumber: *How Strain Gauges Works*

2.4.6.2 Sistem 2-gauges

Dengan sistem 2-gauges, 2 buah *strain gauges* dihubungkan pada jembatan dengan konfigurasi satu pada setiap dua sisi atau kedua *strain gauges* pada satu sisi saja. Sebuah resistor tetap dihubungkan pada setiap 2 atau 3 sisi yang lain. Perhatikan Gambar 2.12 (a) dan Gambar 2.12 (b) di bawah ini. Terdapat dua metode, yaitu metode *active-dummy*, dimana sebuah *strain gauges* digunakan untuk mengkompensasi perubahan temperatur dan metode *active-active* dimana kedua *strain gauges* berfungsi sebagai *strain gauges* aktif. Sistem 2-gauges digunakan untuk mengeliminasi komponen *strain*. Tergantung pada kebutuhan pengukuran, 2 buah *strain gauges* dihubungkan ke jembatan dengan cara yang berbeda-beda.

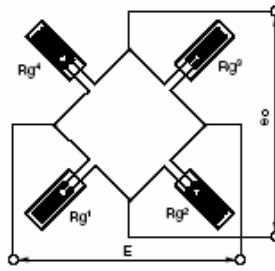


Gambar 2.12 Konfigurasi Sistem 2-gauges

Sumber: *How Strain Gauges Works*

2.4.6.3 Sistem 4-gauges

Perhatikan Gambar 2.13, pada sistem 4-gauges, terdapat 4 buah *strain gauges* yang dihubungkan pada setiap keempat sisi jembatan. Rangkaian ini akan menghasilkan keluaran yang besar dari *transducer strain-gauges* dan memperbaiki kompensasi temperatur demikian pula dapat mengeliminasi komponen *strain* dibandingkan *strain target*.



Gambar 2.13 Konfigurasi Sistem 4-gauges

Sumber: *How Strain Gauges Works*

2.4.7 Tegangan Keluaran dari Berbagai Konfigurasi Jembatan *Wheatstone*

2.4.7.1 Tegangan Keluaran pada Sistem 1-gauges

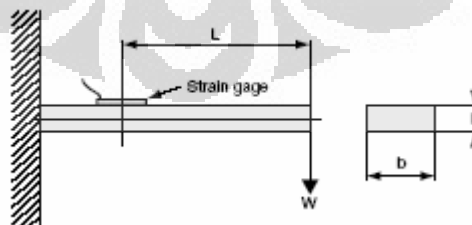
Seperti yang diilustrasikan gambar di bawah, sebuah *strain gauges* dilekatkan pada permukaan atas dari batang yang memiliki penampang kotak. Apabila beban W diberikan pada ujung batang, daerah perekatan *strain gauges* memiliki besar tegangan permukaan σ :

$$\sigma = \varepsilon_0 \cdot E$$

Strain ε_0 diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$\varepsilon_0 = \frac{6WL}{Ebh^2} \quad (2.13)$$

Dimana, b : Lebar dari batang
 h : Tebal dari batang
 L : Jarak dari titik beban ke bagian tengah *strain gauges*



Gambar 2.14 Pengukuran *Bending* dengan Konfigurasi Sistem 1-gauges

Sumber: *How Strain Gauges Works*

2.4.7.2 Tegangan Keluaran pada Sistem 2-gauges

Terdapat dua metode konfigurasi pada sistem 2-gauges ini, dimana setiap metode memiliki kegunaan masing-masing. Metode pertama adalah pemasangan seperti pada Gambar 2.12 (a). Keluaran tegangan yang terjadi pada rangkaian ini adalah:

$$e = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} \right) E_{exc} \quad \text{atau, } e = \frac{1}{4} K(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) E_{exc} \quad (2.14)$$

Sementara itu, metode kedua adalah untuk kasus pemasangan sesuai dengan Gambar 2.12 (b), keluaran tegangan yang terjadi adalah:

$$e = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} + \frac{\Delta R_2}{R_2} \right) E_{exc} \quad \text{atau} \quad e = \frac{1}{4} K(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) E_{exc} \quad (2.15)$$

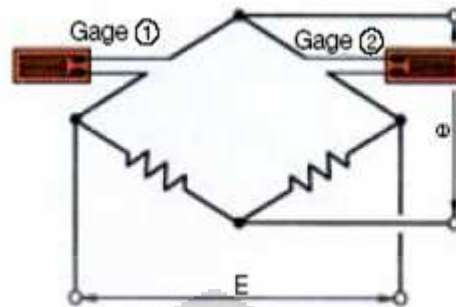
Berdasarkan rumusan di atas dapat dikatakan bahwa, *strain* yang dihasilkan oleh *strain gauges* kedua akan mengurangi/menambah *strain* yang dihasilkan oleh *strain gauges* pertama, bila pemasangan kedua *strain gauges* berada pada sisi yang bersebelahan/berlawanan.



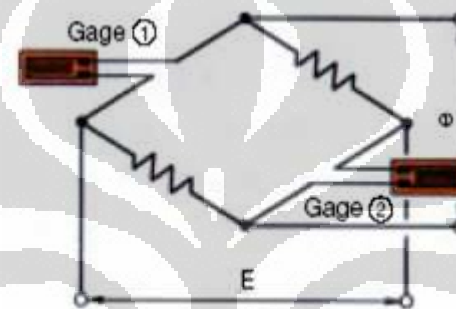
Gambar 2.15 Aplikasi Sistem Konfigurasi 2-gauges pada Batang

Sistem 2-gauges umum digunakan pada kasus sebagai berikut. Untuk mengetahui secara terpisah dari parameter regangan akibat *bending* atau *tensile* yang dihasilkan batang yang terkena gaya, dua buah *strain gauges* diletakkan pada posisi yang sama masing-masing pada setiap sisi atas dan bawah, seperti yang terlihat pada gambar. Kedua *strain gauges* ini terhubung pada jembatan *Wheatstone* berikut, *strain gauges* 1 akan merasakan regangan tarik (positif) dan *strain gauges* 2 akan merasakan regangan tekan (negatif). Nilai absolut dari kedua

regangan adalah serupa, yang berbeda hanya polaritasnya saja, hal ini karena kedua *strain gauges* memiliki jarak yang sama terhadap ujung terkenanya gaya.



Gambar 2.16 Sistem 2-gauges Konfigurasi 1



Gambar 2.17 Sistem 2-gauges Konfigurasi 2

Sumber: *How Strain Gauges Works*

Untuk mengukur *bending stress* saja hal yang dilakukan adalah melakukan *offset* dari regangan tarik dengan cara mengkonfigurasi *strain gauges 2* pada sisi yang bersebelahan dengan *strain gauges 1* pada jembatan Wheatstone. Maka tegangan keluaran yang terjadi adalah :

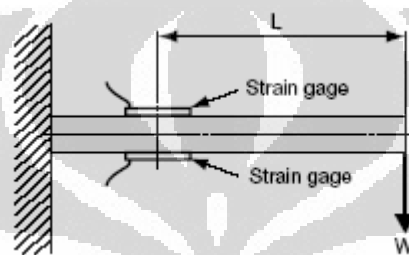
$$e = \frac{1}{4} K(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) E_{exc} \quad (2.16)$$

Apabila batang mengalami tarikan (*tensile stress*), kedua *strain gauges* akan merasakan regangan tarik yang sama-sama bernilai positif, sehingga dari persamaan akan menghasilkan keluaran 0 ($\varepsilon_1 - \varepsilon_2$). Sementara itu, *bending stress* akan mengakibatkan *strain gauges 1* bernilai positif dan *strain gauges 2* bernilai negatif, dari persamaan $e = \frac{1}{4} K(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) E_{exc}$, maka nilai *strain gauges 2* akan menambah nilai *strain gauges 1*, sehingga diperoleh keluaran tegangan dengan nilai dua kali lipat. Oleh karena itu, rangkaian seperti Gambar 2.16 hanya dapat mengukur *bending stress* saja.

Apabila *strain gauges 2* dihubungkan pada sisi yang berlawanan dengan *strain gauges 1*, tegangan keluaran dari jembatan Wheatstone adalah:

$$e = \frac{1}{4} K(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) E_{exc} \quad (2.17)$$

Persamaan ini berlawanan dengan persamaan sebelumnya, tegangan keluaran jembatan *Wheatstone* akan nol bila mengalami *bending strain* dan akan mengeluarkan keluaran dua kali lipat bila mengalami *tensile strain*. Maka dari itu, konfigurasi jembatan seperti pada Gambar 2.16 dapat menghilangkan pengaruh *bending strain*, akan tetapi tetap mampu mengukur *tensile strain*.



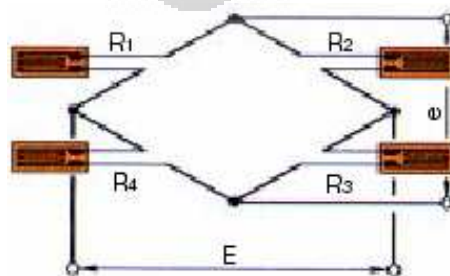
Gambar 2.18 Pengukuran *Bending Stress* dengan Sistem 2-gauges

Sumber: *How Strain Gauges Works*

2.4.7.3 Tegangan Keluaran pada Sistem 4-gauges

Sistem 4-gauges memiliki 4 buah *strain gauges* yang dirangkai pada setiap sisi dari jembatan. Meskipun system ini jarang digunakan dalam pengukuran regangan, akan tetapi system ini sering digunakan dalam transduser *strain gauges*. Ketika keempat *strain gauges* mengalami perubahan hambatan menjadi masing-masing $R_1 + \Delta R_1$, $R_2 + \Delta R_2$, $R_3 + \Delta R_3$, dan $R_4 + \Delta R_4$, maka tegangan keluaran dari jembatan adalah:

$$e = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right) E_{exc} \quad (2.18)$$



Gambar 2.19 Sistem 4-gauges

Sumber: *How Strain Gauges Works*

Apabila *strain gauges* pada keempat sisi memiliki spesifikasi yang serupa, termasuk *gauges factor*, K , dan menerima *strain* masing-masing ε_1 , ε_2 , ε_3 , dan ε_4 , maka persamaan (2.18) menjadi:

$$e = \frac{1}{4} \cdot K(\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4)E_{exc} \quad (2.19)$$

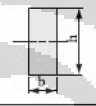
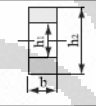
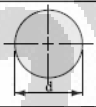
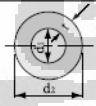
2.4.8 Strain pada Batang

Strain ε_o pada batang diperoleh dengan menggunakan persamaan

$$\varepsilon_o = \frac{M}{ZE} \quad (2.20)$$

Dimana, M : *Bending moment*
 Z : *Section modulus*
 E : *Young's modulus*

Tabel 2.3 Section Modulus Berbagai Penampang

Cross Section	Section Modulus Z
	$\frac{1}{6}bh^2$
	$\frac{1}{6} \cdot \frac{b(h_2^3 - h_1^3)}{h^2}$
	$\frac{\pi}{32}d^3$
	$\frac{\pi}{32} \cdot \frac{d_2^4 - d_1^4}{d_2}$

Sumber: *How Strain Gauges Works*

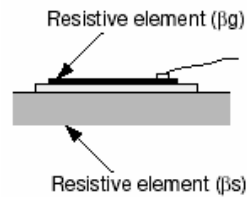
2.4.9 Kompensasi Temperatur oleh *Strain Gauges*

Misalkan objek yang akan diukur dan elemen hambatan dari *strain gauges* memiliki koefisien ekspansi linier β_s dan β_g . Maka, *strain gauges* yang dilekatkan pada permukaan dari objek akan mengalami *strain* yang diinduksikan oleh perubahan tempertur sebesar ε_T per 1°C dan dapat dirumuskan oleh persamaan berikut ini :

$$\varepsilon_T = \frac{\alpha}{K_s} + (\beta_s - \beta_g) \quad (2.21)$$

Dimana,

- α : Koefisien perubahan hambatan oleh temperatur dari elemen hambatan
 K_s : *Gauges* faktor dari *strain gauges*

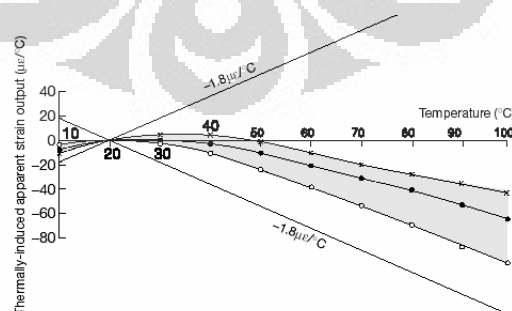


Gambar 2.20 Pengaruh Ekspansi Linier Temperatur Material Terhadap *Strain Gauges*

Sumber: *How Strain Gauges Works*

Kompensasi temperatur *strain gauges* dirancang sedemikian rupa sehingga ϵ_T pada persamaan di atas dapat bernilai mendekati nol dengan cara mengendalikan koefisien perubahan hambatan oleh temperatur dari elemen hambatan *strain gauges* (α) yang sesuai dengan dengan koefisien ekspansi linear dari objek ukur. Parameter α dari elemen hambatan dapat dikontrol dengan proses perlakuan panas (*heat treatment*) selama proses produksi foil.

Ketika direkatkan pada material yang sesuai, kompensasi-temperatur *strain gauges* dapat meminimalkan timbulnya *strain* pada jangkauan kompensasi temperatur hingga $\pm 1,8\mu\epsilon/^\circ\text{C}$ (grafik di bawah menampilkan keluaran regangan yang timbul dari 3-wire *strain gauges* KYOWA). Oleh karena setiap jenis *strain gauges* diatur berdasarkan koefisien ekspansi linear dari material objek ukur, aplikasi *strain gauges* pada jenis material lain tidak hanya dapat berakibat hilangnya kemampuan kompensasi temperatur tetapi juga dapat menimbulkan kesalahan pengukuran yang besar.



Gambar 2.21 Grafik Karakteristik Suhu dari Kompensasi-Temperatur Foil *Strain Gauges*

Sumber: *How Strain Gauges Works*

Tabel 2.4 Koefisien Ekspansi Linier Berbagai Material

Material	Linear Exp. Coef.	Material	Linear Exp. Coef.
Quartz glass	0.4	Beryllium	11.5
Amber	1.1	Common steel	11.7
Brick	3.0 to 5.0	Inconel X	12.1
Tungsten	4.5	Nickel	13.3
Lumber (grain dir.)	5.0	Gold	14.0
Molybdenum	5.2	SUS 304	16.2
Zirconium	5.4	Beryllium copper	16.7
Cobar	5.9	Copper	16.7
Concrete	6.8 to 12.7	Brass	21.0
Titanium alloy	8.5	2024-T4 aluminum	23.2
Platinum	8.9	2014-T4 aluminum	23.4
Soda-lime glass	9.2	Magnesium alloy	27.0
SUS 631	10.3	Lead	29.0
SUS 630	10.6	Acrylic resin	Approx. 65 to 100
Cast iron	10.8	Polycarbonate	66.6
NiCrMo steel	11.3	Rubber	Approx. 77

Sumber: *How Strain Gauges Works*

2.4.10 Pengaruh Temperatur Terhadap *Leadwire* pada *2-Wire System*

Tabel 2.5 Reciprocating Resistance dan Nilai Ekuivalen *Strain* yang Timbul Akibat Kenaikan Temperatur pada *Leadwire*

Leadwire Model	Cross-Sectional Area of Conductor (mm ²)	Reciprocating Resistance of 10m long Leadwire approx. (Ω)	Apparent Strain* with 10m Extension approx. (με/°C)
L-5	0.5	0.7	11.3
L-9	0.11	3.2	50.6
L-6	0.08	4.4	69.0

*120Ω gage

Sumber: *How Strain Gauges Works*

Strain yang timbul akibat induksi termal ε_T (με/°C) diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

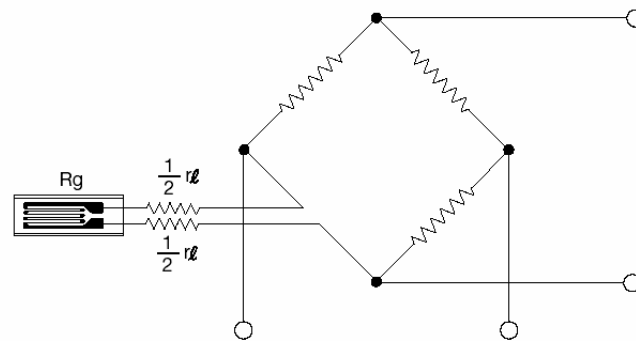
$$\varepsilon_T = \frac{r_l}{R_g + r_l} \cdot \frac{\alpha}{K_s} \quad (2.22)$$

Dimana, R_g : Hambatan dari *strain gauges* (Ω)

r_l : Hambatan dari kabel kepala(Ω)

K_s : *Gauges* faktor

α : Koefisien hambatan oleh temperatur dari kabel tembaga (ΔR/R/°C), $3,9 \times 10^{-3}$



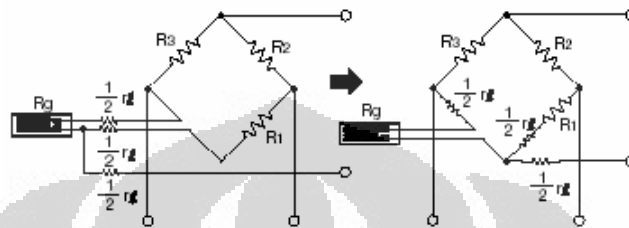
Gambar 2.22 Rangkaian *Strain Gauges* dengan Hambatan dalam pada *Leadwire*

Sumber: *How Strain Gauges Works*

Metode Kompensasi Efek Temperatur dari *Leadwire* (*3-wire system*). Untuk memperoleh kompensasi-temperatur-mandiri yang efektif hendaknya menggunakan sistem *1-gauges*. Meskipun sudah tersedianya kemampuan kompensasi-temperatur-mandiri dari *strain gauges*, bila kabel kepala yang digunakan adalah sistem 2-kabel, dan panjang kabel kepala relatif panjang, keluaran *strain* dari jembatan tetap akan dipengaruhi oleh efek temperatur yang terjadi pada kabel kepala. Sebagai contoh, tembaga digunakan untuk material kabel kepala, memiliki koefisien hambatan oleh temperatur sebesar $3,93 \times 10^{-3}/^{\circ}\text{C}$. Apabila luas penampang kabel $0,3 \text{ mm}^2$, hambatan dalam $0,062 \Omega/\text{m}$, jarak *strain gauges* ke sisi jembatannya 10m, maka panjang kabel adalah 20m. Efek temperatur yang diperoleh adalah setara *strain* sebesar 20×10^{-6} untuk setiap perubahan 1°C . Untuk menghindari efek temperatur tersebut maka diadopsi sistem 3-kabel.

Apabila 3 kabel kepala dihubungkan seperti yang terlihat pada gambar di bawah, setengah dari hambatan kabel kepala akan terdapat pada sisi sebelah dari jembatan Wheatstone, hal ini untuk mengkompensasi perubahan hambatan akibat temperatur dengan cara kedua sisi jembatan yang bersebelahan tersebut akan mengalami perubahan hambatan yang sama akibat perubahan temperatur, maka dari itu keluaran tegangan dari jembatan Wheatstone akan terbebas dari pengaruh temperatur pada kabel kepala. Pengaruh temperatur yang terhubung langsung pada amplifier dapat diabaikan karena pada amplifier tersedia impedansi masukan yang besar.

Yang menjadi catatan penting dalam penggunaan sistem 3-kabel adalah ketiga buah kabel harus pada jenis, panjang dan penampang yang sama untuk memperoleh pengaruh temperatur yang sama. Apabila kabel tersebut terkena sinar matahari secara langsung, pembungkus kabel juga harus memiliki warna yang serupa.

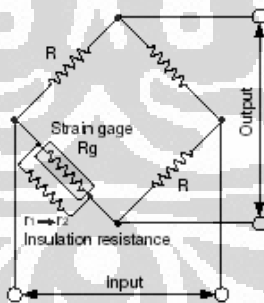


Gambar 2.23 Aplikasi 3-wire system

Sumber: *How Strain Gauges Works*

2.4.11 Pengaruh dari Hambatan Material Insulasi

Hambatan dari material insulasi *strain gauges* tidak akan mempengaruhi hasil pengukuran apabila memiliki hambatan di atas $100\text{M}\Omega$. Akan tetapi, apabila hambatan tersebut berkurang secara drastis pada saat pengukuran berlangsung, maka akan terdapat kesalahan pada hasil pengukuran.



Gambar 2.24 Rangkaian *Strain Gauges* dengan Hambatan Material Insulasi

Sumber: *How Strain Gauges Works*

Apabila hambatan insulasi berkurang dari r_1 menjadi r_2 seperti pada gambar di atas, kesalahan pada *strain* adalah:

$$\varepsilon = \frac{R_g (r_1 - r_2)}{K_s r_1 r_2} \quad (2.23)$$

Misalnya, $R_g = 120\Omega$ (hambatan *strain gauges*)

$K_s = 2,00$ (*gauges factor*)

$r_1 = 1000\text{M}\Omega$ (hambatan insulasi awal)

$r_2 = 10\text{M}\Omega$ (hambatan insulasi setelah berubah)

maka, kesalahan *strain* yang terjadi adalah mendekati $6\mu\epsilon$.

Selama pengukuran *strain* kesalahan seperti ini akan tidak akan tampak. Pada aplikasinya, penurunan hambatan insulasi ini tidak akan memiliki nilai yang konstan, dan hambatan ini akan berubah secara tajam karena pengaruh temperatur dan kelembapan, serta pengaruh lingkungan lainnya. Adalah hal yang tidak mungkin untuk mengetahui insulasi bagian mana pada rangkaian yang mengalami penurunan hambatan. Oleh karena itu, tindakan preventif sangat perlu dilakukan.

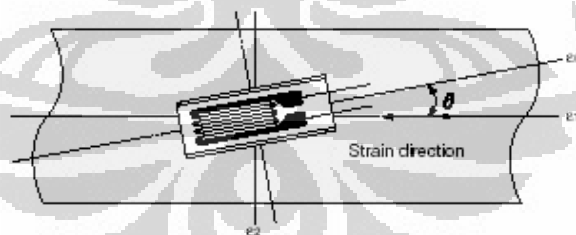
2.4.12 Pengaruh Pemasangan yang Tidak Tepat (*Missalignment*)

Strain ϵ_0 yang terukur oleh *strain gauges* yang tidak tepat terpasang dengan sudut penyimpangan θ dari arah prinsipal *strain*, dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\epsilon_0 = \frac{1}{2} \{(\epsilon_1 + \epsilon_2) + (\epsilon_1 - \epsilon_2) \cos 2\theta\} \quad (2.24)$$

Apabila $\epsilon_2 = -\nu\epsilon_1$ (ν : Poisson's ratio) pada kondisi menerima gaya pada satu sumbu saja,

$$\epsilon_0 = \frac{1}{2} \epsilon_1 \{(1 - \nu) + (1 + \nu) \cos 2\theta\} \quad (2.25)$$



Gambar 2.25 *Strain Gauges* dengan Pemasangan yang Tidak Tepat

Sumber: *How Strain Gauges Works*

2.4.13 Metode Kompensasi Panjang Kabel Kepala

Apabila panjang kabel kepala pada sistem 1-*gauges* atau sistem 2-*gauges* relatif panjang ($>1\text{m}$), maka penambahan hambatan diinisiasikan secara seri pada *strain gauges*, hal ini berakibat pada penurunan *gauges factor*. Sebagai contoh, apabila kabel kepala dengan panjang 10m dan penampang $0,3\text{mm}^2$ digunakan,

gauges factor akan berkurang sebesar 1%. Pada aplikasi sistem 4-*gauges*, penambahan panjang juga akan mengurangi tegangan keluaran jembatan. Pada kasus ini, *strain* yang sebenarnya terjadi dapat diperoleh dengan rumusan sebagai berikut:

$$\varepsilon = \left(1 + \frac{r_l}{R_g} \right) \times \varepsilon_i \quad (2.26)$$

Dimana, ε_i : *Strain* terukur

R_g : Hambatan *strain gauges*

r_l : Hambatan total dari kabel kepala

Tabel 2.6 Spesifikasi Berbagai *Leadwire* dan *Reciprocating Resistance*

Cross-Section (mm ²)	Number/Diameter of Strands	Reciprocating Resistance per 10m (Ω)	Remarks
0.08	7/0.12	4.4	L-6, 7
0.11	10/0.12	3.2	L-9, 10
0.3	12/0.18	1.17	L-2
0.5	20/0.18	0.7	L-5

Sumber: *How Strain Gauges Works*

pada sistem 3-kabel digunakan hambatan satu-arah (hambatan satu arah = 0.5 dari hambatan reciprocating)

2.4.14 Metode Mendapatkan Nilai Kalibrasi dengan *Tip Parallel Resistance*

Ketika perpanjangan kabel kepala mencapai beberapa ratus meter atau untuk memperoleh nilai kalibrasi yang tepat, penggunaan metode *Tip Parallel Resistance* adalah sangat tepat. Kalibrasi ini dilakukan untuk mengetahui nilai regangan sebenarnya yang dialami *strain gauges*, hubungan antara tegangan keluaran e dengan regangan *strain gauges* ε , untuk sistem 1-*gauges* adalah

$$\varepsilon = \frac{4e}{K_s \varepsilon}$$

menggunakan persamaan diatas dapat memberikan nilai regangan yang tidak tepat, hal ini dapat disebabkan oleh pengaruh panjangnya kabel kepala, kesalahan arah pemasangan, hambatan insulasi dan faktor-faktor lain yang telah disebutkan di atas. Konsep *Tip Parallel Resistance* ini adalah dengan penambahan hambatan paralel pada *strain gauges*, hambatan-total-paralel antara *strain gauges* setelah

meregang dan resistor tambahan adalah sama dengan hambatan awal *strain gauges*. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$\frac{1}{R_{parallel}} = \frac{1}{R_g + \Delta R} + \frac{1}{r}$$

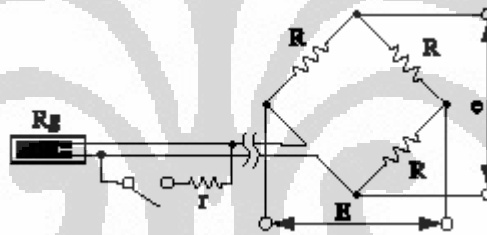
$$* R_{parallel} = R_g$$

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{R_g} - \frac{1}{R_g + \Delta R} \quad (2.27)$$

$$r = \frac{R_g (R_g + \Delta R)}{\Delta R}$$

$$r = \frac{R_g}{K_s \epsilon}$$

Dimana, R_g : Hambatan dari *strain gauges*
 K_s : *Gauges Factor* dari *strain gauges*
 ϵ : Nilai regangan kalibrasi

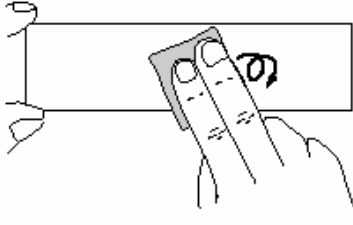
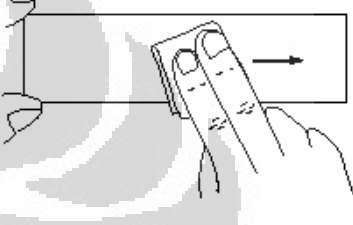
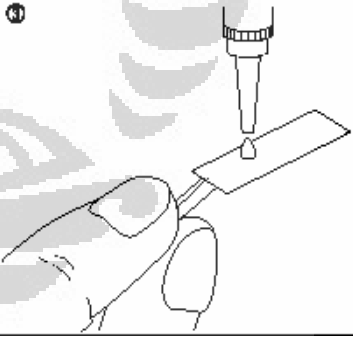


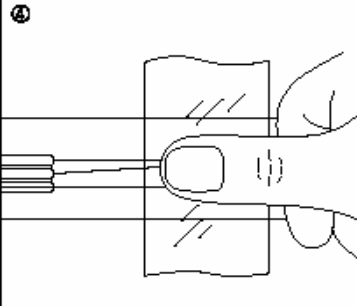
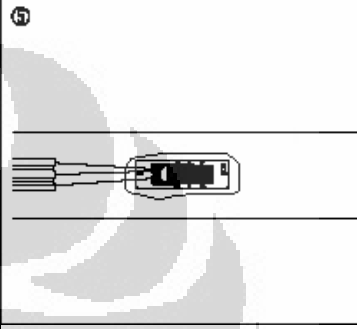
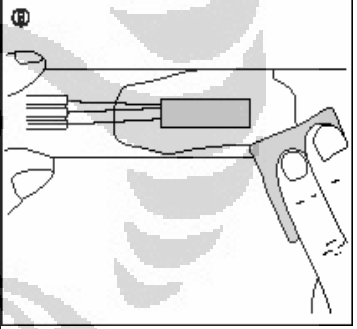
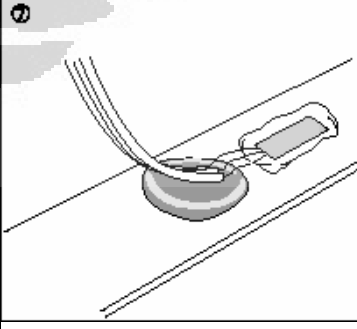
Gambar 2.26 *Tip Parallel Resistance* untuk Kalibrasi *Strain*

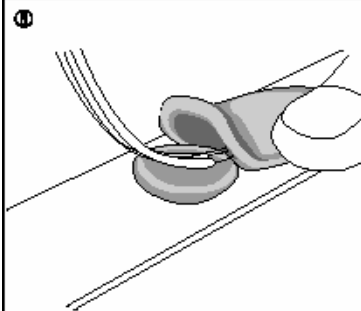
Sumber: *How Strain Gauges Works*

Bila setelah dipasang resistor paralel tambahan dan sistem mengalami regangan, tegangan keluaran jembatan menunjukkan nilai nol, maka hal ini menunjukkan bahwa regangan yang dialami *strain gauges* sebenarnya adalah sebesar nilai regangan kalibrasi.

2.4.15 Metode Peretakan *Strain Gauges* dan *Dampproofing Treatment*

1	<p>Seperti menggambar lingkaran dengan sandpaper (#300), kekasaran yang diizinkan untuk strain gauges adalah Ra 0,4 - 0,8 μm. poles daerah peretakan <i>strain gauges</i>, daerah ini harus memiliki lebar yang lebih besar dari ukuran <i>strain gauges</i>.</p>	<p>①</p> 
2	<p>Dengan menggunakan katun mampu serap, atau kertas SILBON yang direndam pada pelarut highly volatile seperti aseton, dengan tekanan kuat usaplah daerah peretakan <i>strain gauges</i> pada satu arah saja. Pelarut ini akan dengan mudah menghilangkan minyak dan lemak. Arah pengusapan yang bolak-balik tidak akan membersihkan permukaan. Setelah dibersihkan, berikan tanda untuk posisi <i>strain gauges</i>.</p>	<p>②</p> 
3	<p>Bedakan dan pastikan mana posisi depan (metal foil part) dan bagian belakang <i>strain gauges</i>. Berikan setitik adesif pada permukaan belakang dan segera mungkin letakkan <i>strain gauges</i> pada daerah peretakan. (Jangan meratakan adesif pada permukaan belakang, apabila ini dilakukan proses pengeringan akan berlangsung jauh lebih cepat).</p>	<p>③</p> 

4	<p>Tutup <i>strain gauges</i> dengan lembaran polyethylene kemudian dengan kuat tekan <i>strain gauges</i> yang tertutup dengan menggunakan jempol tangan selama kurang lebih 1 menit (jangan melepas tekanan sebelum 1 menit). Lakukan tahap 3 dan 4 secara cepat, jika tidak perekat akan segera kering.</p>	
5	<p>Ketika <i>strain gauges</i> telah terikat pada permukaan, jangan mencoba untuk mengangakatnya lagi guna mengatur posisi. Ketika adesif sudah kering, lepaskan lembaran polyethylene dan cek kondisi cairan adesif. Idealnya, cairan adesif tersebut akan tersebar merata disekitar <i>strain gauges</i>.</p>	
6	<p>Apabila adesif tersebar sangat jauh dari <i>strain gauges</i>, hilangkan bagian yang jauh tersebut dengan cutter atau sandpaper. Letakkan kabel kepala <i>strain gauges</i> dengan kondisi kendur.</p>	
7	<p>Letakkan kabel kepala <i>strain gauges</i> memanjang ke belakang. Letakkan sepotong coating agent di bawah kabel kepala dengan posisi kabel yang sedikit kendur.</p>	

8	Tutup <i>strain gauges</i> , adesif yang mengelilingi, dan bagian kabel kepala dengan potongan coating agent yang lain. Jangan lupa untuk menekan potongan coating agent terlebih dahulu dengan jari sehingga lebih melebar dan dapat menutupi <i>strain gauges</i> dan bagian kabel kepala secara sempurna.	
9	Pengecekan pengkabelan dilakukan dengan menggunakan ohm meter, hambatan yang dihasilkan oleh strain gauges tipe FLA 6-11 adalah 120 ohm.	

2.5 Tegangan Eksitasi

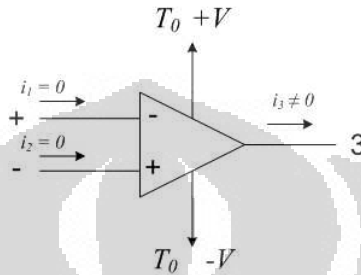
Modul pengkondisi sinyal *strain gauges* menyediakan sumber tegangan yang konstan untuk rangkaian jembatan *Wheatstone*. Tegangan eksitasi yang umum disediakan modul pengkondisi sinyal adalah 3,333 volt hingga 10 volt. Dengan tegangan eksitasi yang besar, maka tegangan keluar yang dihasilkan juga bertambah secara proporsional. Tegangan yang terlalu besar dapat mengakibatkan *error* yang besar akibat pemanasan pada elemen.

2.6 Amplifikasi

Keluaran tegangan dari rangkaian jembatan *strain gauges* adalah sangat kecil. Pada umumnya, tegangan keluaran dari jembatan *strain gauges* adalah sekitar 10 mV/V (10mV tegangan keluaran untuk setiap 1V tegangan eksitasi). Dengan tegangan eksitasi sekitar 10V, maka tegangan keluaran adalah sekitar 100mV. Oleh karena itu, pengkondisian sinyal untuk *strain gauges* pada umumnya menggunakan amplifier untuk meningkatkan resolusi pengukuran dan meningkatkan rasio sinyal terhadap gangguan (noise).

Terdapat dua hal penting yang perlu diketahui dalam menganalisa rangkaian op amp, yakni: arus yang masuk pada terminal input op amp adalah nol dan beda tegangan di antara kedua input terminal juga nol.

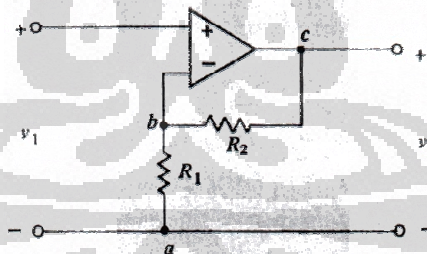
Penting untuk diingat, bahwa generalisasi Hukum Kirchoff untuk arus tidak berlaku pada op amp Gambar 2.27. Apabila arus input adalah nol bukan berarti arus output juga nol. Hal ini dapat terlihat lebih jelas pada Gambar 2.28, dimana hubungan terhadap sumber daya diperlihatkan. Maka dari itu, Hukum Kirchoff untuk arus tidak dapat diaplikasikan pada terminal 3, karena adanya terminal yang tidak terlihat, jadi kita tidak dapat mengetahui berapa arus output.



Gambar 2.27 Operasional Amplifier dengan Sumber Daya

Sumber: *Introduction to Mechatronics and Measurement Systems*

Perhatikanlah gambar di bawah ini. v_2 adalah tegangan keluaran dari op amp dan, seperti yang kita lihat, adalah fungsi dari tegangan masukan v_1 dan dua buah resistor.



Gambar 2.28 Voltage-Controlled Voltage Source

Sumber: *Introduction to Mechatronics and Measurement Systems*

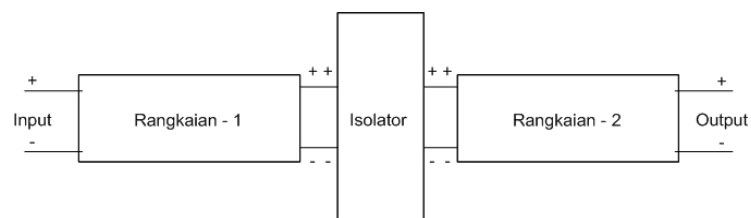
2.7 Filtering

Strain gauges biasanya terletak di lingkungan yang banyak gangguan elektrikal. Oleh karena itu, sangatlah penting untuk mengeliminasi gangguan tersebut sehingga dapat diperoleh keluaran yang tepat. Lowpass filters dapat digunakan bersebelahan dengan strain gauges, komponen itu dapat menghilangkan gangguan frekuensi tinggi dan biasa diaplikasikan pada berbagai kondisi lingkungan.

2.8 Isolasi

Isolasi, adalah sebuah pengkondisian yang penting untuk menghindari efek dari pembebanan elektrikal antara dua buah rangkaian atau sistem yang berdekatan. Isolator adalah sebuah rangkaian yang memungkinkan sinyal ditransfer dari satu rangkaian ke rangkaian yang lain, sementara itu menjaga kedua rangkaian atau sistem terisolasi secara elektrik antara satu sama lain. Impedansi keluaran yang dihasilkan oleh rangkaian awal atau impedansi masukan yang diterima oleh rangkaian setelahnya dapat mengganggu transmisi sinyal diantara kedua rangkaian. Rangkaian isolasi sangat diperlukan apabila isolasi di antara kedua rangkaian ini sangat diperlukan. Gambar 2.29 menunjukkan hubungan isolator.

Gain dari isolator bernilai satu, keluaran dihubung singkat dengan *noninverting terminal* dari op amp. Dengan menggunakan persamaan dapat diperoleh *gain* dari rangkaian adalah satu, berkenaan dengan hal ini, berapa pun kekuatan sinyal yang tersedia dari input, maka op amp akan mengalirkan sinyal yang sama pada rangkaian-2 tanpa adanya perubahan. Karena impedansi yang dihasilkan oleh op amp adalah sangat tinggi, sehingga yang terjadi adalah rangkaian-2 terisolasi dari rangkaian-1.



Gambar 2.29 Isolator di antara Dua Rangkaian

Sumber: *Introduction to Mechatronics and Measurement Systems*

2.9 Offset Nulling

Ketika rangkaian Jembatan Wheatstone telah terbentuk, maka dipastikan tegangan keluaran yang dihasilkan adalah tidak sama dengan nol ($e \neq 0$), meskipun tidak terjadi regangan sama sekali pada *strain gauges*. Variasi dari hambatan dari setiap sisi jembatan dan perbedaan hambatan dari masing-masing kabel dapat mengakibatkan tegangan keluaran awal yang tidak sama dengan nol. Offset nulling dapat dilakukan melalui dua cara, yakni melalui peranti keras atau pun peranti lunak.

1. Kompensasi peranti lunak

Dengan metode kompensasi ini, nilai tegangan, yang keluar saat pertama kali sistem diberi tegangan eksitasi dan *strain gauges* belum mengalami regangan, dijadikan besar nilai *offset* untuk membuat nilai awal menjadi nol. Metode ini cukup sederhana, mudah, cepat dan tidak memerlukan pengaturan manual. Kerugian dari kompensasi peranti lunak ini adalah *offset* pada jembatan *Wheatstone* tidak dihilangkan. Apabila *offset* yang terjadi cukup besar, hal ini dapat membatasi *gain* dari *amplifier* yang dapat diberikan pada tegangan keluaran, sehingga dapat mengurangi jangkauan dinamik penukuran.

2. Kompensasi peranti keras

Proses stabilisasi untuk kompensasi *offset* dengan peranti keras adalah dengan menggunakan potensiometer, atau resistor variable. Dengan mengatur besar hambatan pada resistor variable yang menjadi elemen di salah satu sisi jembatan *Wheatstone* maka proses pengaturan tegangan keluaran jembatan dapat dilakukan hingga mendapatkan nilai nol.

2.10 Remote Sensing

Apabila rangkaian *strain gauges* terletak jauh dari pengkondisi sinyal dan sumber tegangan eksitasi, terdapat kemungkinan terjadinya *error* yakni tegangan jatuh akibat hambatan pada kabel yang menghubungkan jembatan dan sumber tegangan eksitasi. Modul pengkondisi sinyal terdapat kemampuan untuk melakukan *remote sensing* untuk mengkompensasi *error* ini. Kabel pendeteksi jarak jauh dihubungkan pada titik saat rangkaian jembatan dan sumber eksitasi terhubung. Kabel pendeteksi ekstra ini bertugas mengatur besar sumber eksitasi melalui *amplifier feedback* negatif untuk mengkompensasi kerugian pada kabel

dan mengirimkan tegangan yang tepat diperlukan untuk rangkaian jembatan. Pada Sistem Pendeteksi Gaya Multi Axis aplikasi ini tidak perlu digunakan mengingat panjang kabel yang digunakan antara rangkaian jembatan dan sumber eksitasi adalah sangat pendek ($< 1\text{m}$).

2.11 Laser

Laser (singkatan dari bahasa Inggris: Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) adalah sebuah alat yang menggunakan efek mekanika kuantum, pancaran terstimulasi, untuk menghasilkan sebuah cahaya yang koherens dari medium "lasing" yang dikontrol kemurnian, ukuran, dan bentuknya. Pengeluaran dari laser dapat berkelanjutan dan dengan amplituda-konstan (dikenal sebagai CW atau gelombang berkelanjutan), atau detak, dengan menggunakan teknik Q-switching, modelocking, atau gain-switching.

Dalam operasi detak, banyak daya puncak yang lebih tinggi dapat dicapai. Sebuah medium laser juga dapat berfungsi sebagai amplifier optikal ketika di-seed dengan cahaya dari sumber lainnya. Signal yang diperkuat dapat menjadi sangat mirip dengan signal input dalam istilah panjang gelombang, fase, dan polarisasi; Ini tentunya penting dalam komunikasi optikal. Kata kerja "lase" berarti memproduksi cahaya koherens, dan merupakan pembentukan-belakang dari istilah laser.

Sumber cahaya umum, seperti bola lampu incandescent, memancarkan foton hampir ke seluruh arah, biasanya melewati spektrum elektromagnetik dari panjang gelombang yang luas. Banyak sumber cahaya juga incoherens; yaitu, tidak ada hubungan fase tetap antara foton yang dipancarkan oleh sumber cahaya. Secara kontras, laser biasanya memancarkan foton dalam cahaya yang sempit, dijelaskan-baik, terpolarisasi, sinar koherens mendekati-monokromatik, terdiri dari panjang gelombang tunggal atau warna.

2.12 Statistik dalam Pengukuran

2.12.1 Definisi Statistik

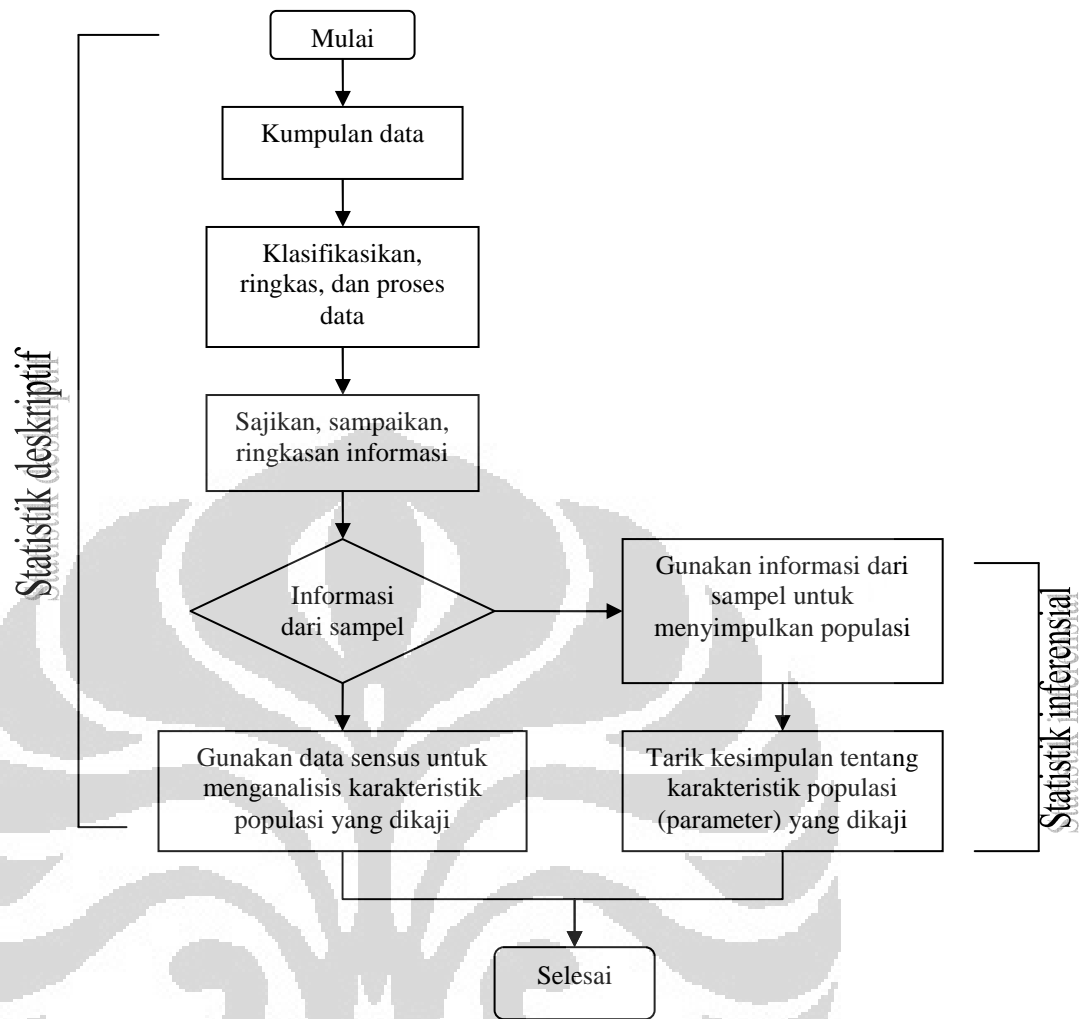
Statistik adalah suatu metode ilmiah dalam mengumpulkan, mengklasifikasikan, meringkas, menyajikan, menginterpretasikan, dan menganalisis data guna mendukung pengambilan kesimpulan yang valid dan berguna sehingga dapat menjadi dasar pengambilan keputusan yang masuk akal.

Metode pemecahan masalah statistik dilakukan dengan sebuah pendekatan yang teratur. Dalam hal ini, ada beberapa langkah yang dapat diikuti untuk mendapatkan jawaban yang rasional terhadap masalah-masalah statistik. Langkah-langkah dasar pemecahan masalah tersebut adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi masalah.
2. Pengumpulan fakta-fakta yang ada.
3. Pengumpulan data baru (alat bantu dan sampel), meliputi:
 - *Judgement sample*
 - *Probability sample*, terbagi menjadi *simple random sampel*, *systematic sample*, *stratified sample*, dan *cluster sample*
4. Pengklasifikasian dan peringkasan data.
5. Penyajian dan analisis data
6. pengambilan keputusan

2.12.2 Statistik Deskriptif

Statistik Deskriptif merupakan tahapan statistik yang meliputi kegiatan mengumpulkan, meringkas, menginterpretasikan, dan menyajikan data dari suatu kelompok yang terbatas, tanpa menganalisis dan menarik kesimpulan yang bisa berlaku bagi kelompok yang lebih luas. Sedangkan pengambilan kesimpulan mengenai parameter populasi berdasarkan informasi yang diperoleh dari statistik sampel merupakan ruang lingkup statistik inferensial

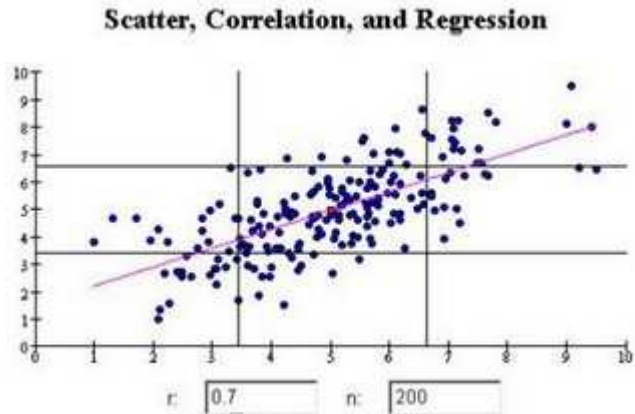


Gambar 2.30 Flowchart Statistik

Sumber: Prinsip-Prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains (halaman 5)

2.12.3 Regresi Linier

Dalam analisis regresi linier sederhana akan ditentukan persamaan yang menghubungkan dua variabel yang dapat dinyatakan sebagai bentuk persamaan pangkat hubungan dua variabel yang dapat dinyatakan sebagai bentuk persamaan pangkat satu (persamaan linier/persamaan garis lurus).



Gambar 2.31 Contoh Garis Regresi Linier

Sumber: www.surveyansearch.blogspot.com

Persamaan umum garis regresi untuk regresi linier sederhana adalah:

$$\hat{y} = a + bx \quad (2.28)$$

dimana:

\hat{y} = nilai estimasi variabel terikat

a = titik potong garis regresi pada sumbu y atau nilai estimasi \hat{y} bila $x = 0$

b = gradien garis regresi (perubahan nilai estimate \hat{y} per satuan perubahan nilai x)

x = nilai variabel bebas

Terdapat dua sifat yang harus dipenuhi sebuah garis lurus untuk dapat menjadi garis regresi linier yang cocok (*fit*) dengan titik data pada diagram pancar, yaitu:

1. Jumlah simpangan (deviasi) positif dari titik-titik yang tersebar diatas garis regresi sama dengan (saling menghilangkan) jumlah simpangan negatif dari titik-titik yang tersebar di bawah garis regresi. Dengan kata lain,

$$\sum \Delta y = \sum (y - \hat{y}) = 0 \quad (2.29)$$

2. Kuadrat dari simpangan-simpangan mencapai nilai minimum (*least square value of deviations*). Jadi:

$$\sum (\Delta y)^2 = \sum (y - \hat{y})^2 = \text{minimum} \quad (2.30)$$

Dengan menggunakan kedua sifat di atas dan menggabungkannya dengan prinsip-prinsip kalkulus diferensial untuk menentukan nilai ekstrim sebuah fungsi,

maka dapat diturunkan hubungan-hubungan untuk mendapatkan nilai-nilai konstanta a dan b pada persamaan garis regresi, yang hasilnya sebagai berikut:

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (2.31)$$

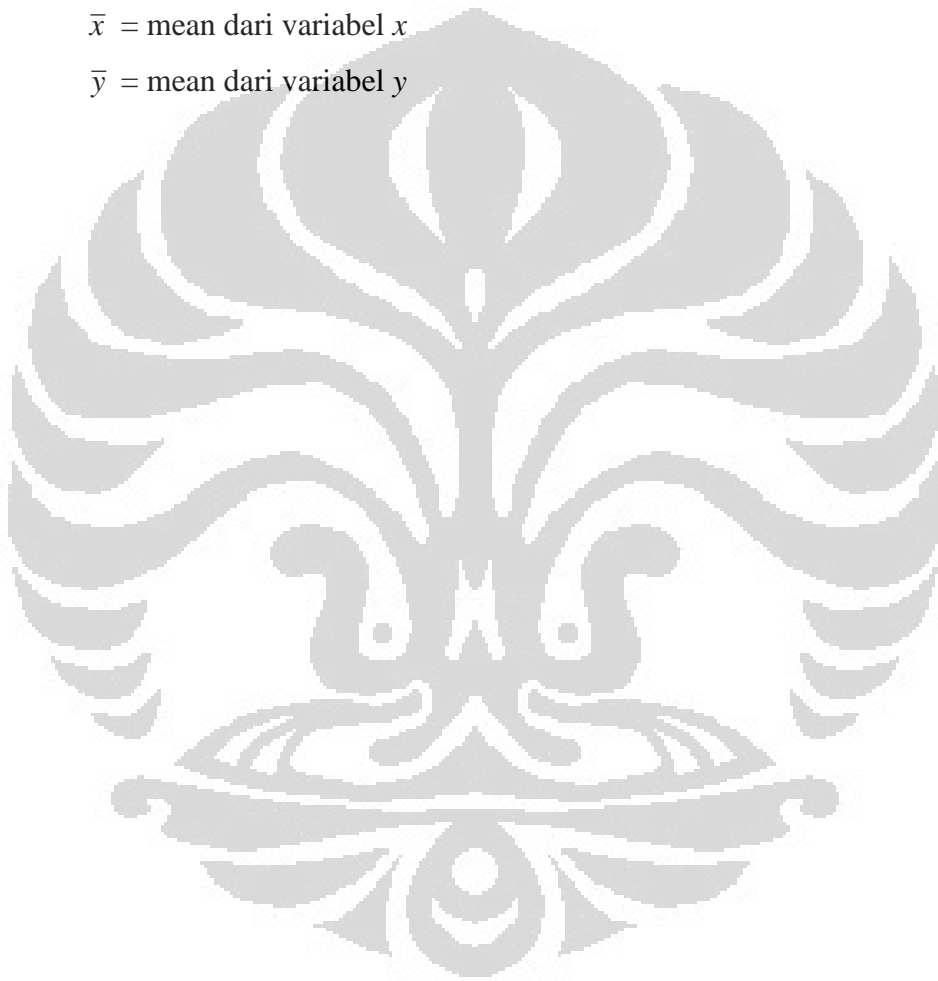
$$a = \bar{y} - b\bar{x} \quad (2.32)$$

di mana:

n = jumlah titik (pasangan pengamatan (x,y))

\bar{x} = mean dari variabel x

\bar{y} = mean dari variabel y

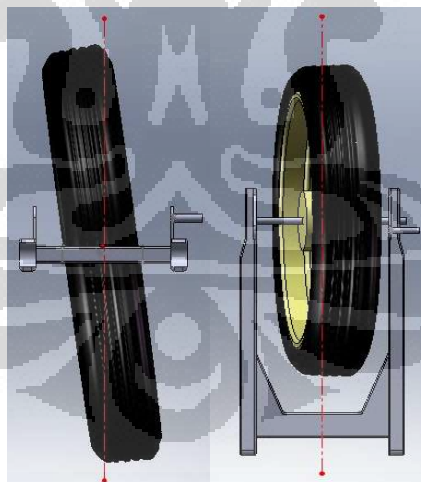


BAB 3

RANCANGAN PENGUKURAN

3.1 Pengamatan Masalah

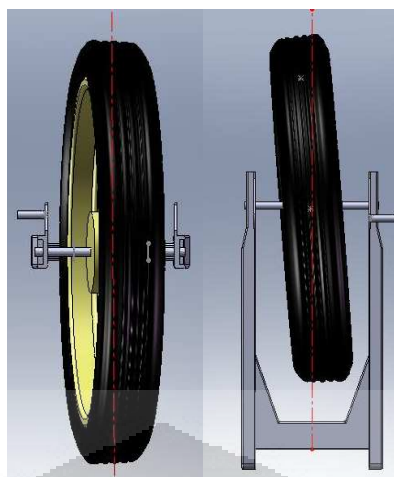
Run-out pada sepeda motor bisa disebabkan oleh ketidakbundaran dan pemasangan shaft yang mengakibatkan ketidak lurusan roda depan dengan roda belakang. *Run-out* adalah kondisi kemiringan roda yang menyebabkan terjadinya *slip angle* dan juga *camber angle*. *Run-out* yang muncul akibat ketidakbundaran velg dan pemasangan shaft mengakibatkan masalah-masalah yang berkaitan dengan kenyamanan, keselamatan dan keawetan dari ban. *Run-out* itu sendiri terbagi menjadi dua, yakni *run-out* lokal akibat ketidakbundaran dan *run-out* secara keseluruhan akibat pemasangan shaft. *Run-out* akibat ketidakbundaran bersifat lokal pada satu titik pada velg di mana pada bagian tersebut telah terjadi deformasi velg dari bentuk yang sesungguhnya. Oleh sebab itu *run-out* akibat ketidakbundaran dapat menimbulkan munculnya *camber angle* dan *slip angle* namun bersifat lokal atau tidak terdistribusi di semua titik pada velg.



(a) tampak depan (b) tampak atas

Gambar 3.1 *Camber angle*

Untuk *run-out* yang disebabkan karena pemasangan shaft bersifat menyeluruh sepanjang keliling lingkaran dari velg namun sudut yang terjadi adalah sudut pada arah horisontal atau lebih kita kenal dengan sebutan *slip angle*.



(a) tampak depan (b) tampak atas

Gambar 3.2 Slip Angle

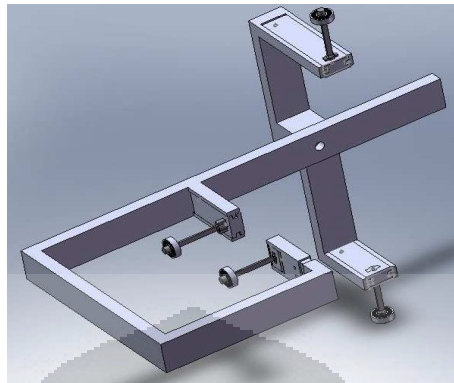
3.2 Rancangan awal

Run-out lokal akibat ketidak bundaran dapat diukur menggunakan alat pengukuran roundness yang telah dilakukan pada penelitian sebelumnya untuk pengukuran roda belakang. Pada penelitian kali ini alat tersebut dikembangkan dengan menambahkan alat ukur pada roda depan.

Pada rancangan ini penentuan desain didasarkan pada kebutuhan penempatan sensor, posisi pemasangan alat, *adjustmen* untuk pemasangan, tempat alat ukur berpegangan, dan desain dari sepeda motor itu sendiri. Untuk pengukuran pada roda belakang yang menjadi konsiderasi desain adalah sebagai berikut:

1. Komponen yang digunakan sebagai acuan posisi sepeda motor adalah *swing arm* dan *shaft* atau poros roda.
2. Diperlukan 4 titik pada roda yang digunakan untuk mengukur *camber angle* dan *slip angle* roda.
3. Dimensi roda belakang sepeda motor
4. Metode pengukuran
5. Pemasangan alat pengukur pada roda

Dengan mempertimbangkan parameter-parameter di atas maka di dapatkan desain sebagai berikut:



Gambar 3.3 Alat Ukur Belakang

Penelitian yang dilakukan kali ini masih mengadopsi teknologi yang sama pada penelitian sebelumnya, dengan melakukan beberapa perbaikan dan pengembangan. Diantaranya dengan menambahkan alat ukur untuk roda depan. Untuk pengukuran pada roda depan parameter-parameter yang menjadi acuan dan batasan desain adalah sebagai berikut:

1. Komponen yang digunakan sebagai acuan posisi sepeda motor adalah lengan *shock absorber*.
2. Diperlukan 3 titik pada roda yang digunakan untuk mengukur *roundness*.
3. Dimensi roda depan sepeda motor
4. Metode pengukuran
5. Pemasangan alat pengukur pada roda



Gambar 3.4 Posisi 3 Titik Pengukuran pada Roda Depan

Dengan mempertimbangkan parameter-parameter di atas maka di dapatkan disain rancangan awal sebagai berikut:

Universitas Indonesia



Gambar 3.5 Alat Ukur Depan

Setelah didapat rancangan awal maka perlu dilakukan tahap berikutnya yaitu perhitungan gaya, dimensi, dan pemilihan material yang digunakan agar disain awal tersebut benar-benar mampu melakukan fungsinya dengan baik.

3.3 Pemilihan Sepeda Motor untuk Pengujian

Sepeda motor yang akan digunakan sebagai objek pengujian adalah jenis Honda Supra X-125, dengan spesifikasi roda belakang tipe jari-jari 80/90 - 17 M/C 44P, yang menunjukkan dimensi dari ban, lebar ban 80 mm, tebal ban 55 mm, dan ukuran velg 17 inch. Dan spesifikasi roda depan tipe jari-jari 70/90 - 17 M/C 38P, yang menunjukkan dimensi dari ban, lebar ban 70 mm, tebal ban 50 mm, dan ukuran velg 17 inch. Pemilihan ini didasarkan pada jumlah sepeda motor tipe Supra X-125 ini yang mendominasi jumlah motor di Indonesia. Adapun data penjualan sepeda motor Supra X-125 dijelaskan pada tabel Pemilihan Honda hasil pengamatan dari seorang pecinta Otomotif:

Tabel 3.1 Penjualan Terlaris Semester I 2007 untuk Bebek 125cc ke Atas

Rangking	Model/ tipe	Penjualan (unit)
1	Honda Supra X 125	225,729
2	Yamaha Jupiter MX 135	165,258
3	Suzuki Shogun 125	46,592
4	Suzuki Satria F150	24,411
5	Kawasaki Kaze ZX130	6,406

Sumber: triatmo.wordpress.com

Tabel 3.2 Penjualan Produk Honda Indonesia tahun 2008

No	Penjualan 2008	Unit	%
1	Honda Supra X-125	784,282	27.28
2	Honda Revo	676,909	23.55
3	Honda Fit X	519,509	18.07
4	Honda CS1	86,859	3.03
5	Honda Beat	208,490	7.25
6	Honda Vario	322,143	11.21
7	Honda Tiger	70,989	2.47
8	Honda Megapro	153,012	5.32
9	Honda Blade	52,383	1.82
	Total	2,874,576	100

Sumber: triatmo.wordpress.com

Honda Supra-X 125 terbagi menjadi beberapa tipe yaitu: Honda Supra-X 125, Honda Supra-X 125R, dan Honda Supra-X 125 pgmfi. Yang terpilih sebagai objek penelitian adalah Supra X-125 model standar dengan roda jari-jari. Pemilihan ini didasarkan karena jumlah roda jari-jari lebih sering digunakan dan memerlukan perawatan dalam kurun waktu tertentu.



Universitas Indonesia

Gambar 3.6 Honda Supra X-125

Sumber: www.astra-honda.com

Spesifikasi sepeda motor Honda Supra x-125 adalah sebagai berikut:

SPESIFIKASI :	
Panjang X lebar X tinggi	: 1.889 x 702 x 1.094 mm
Jarak sumbu roda	: 1.242 mm
Jarak terendah ke tanah	: 138 mm
Berat kosong	: 105kg / 103 (Tipe Spoke)
Tipe rangka	: Tulang punggung
Tipe suspensi depan	: Teleskopik
Tipe suspensi belakang	: Lengan ayun dan peredam kejut ganda
Ukuran ban depan	: 70/90 - 17M / C 38P
Ukuran ban belakang	: 80/90 - 17M / C 44P
Rem depan	: Cakram double piston
Rem belakang	: Cakram single piston / Tromol (Tipe Spoke)
Kapasitas tangki bahan bakar	: 3,7 liter
Tipe mesin	: 4 langkah, SOHC, pendinginan udara
Diameter x langkah	: 52,4 x 57,9 mm
Volume langkah	: 124,8 cc
Perbandingan kompresi	: 9,0 : 1
Daya maksimum	: 9,3 PS / 7.500 rpm
Torsi maksimum	: 1,03 kgf.m / 4000 rpm
Kapasitas minyak pelumas mesin	: 0,7 liter pada penggantian periodik
Kopling Otomatis	: Otomatis sentrifugal
Gigi transmisi	: Kecepatan bertautan tetap
Pola pengoperan gigi	: N-1-2-3-4-N (rotari)
Starter	: Pedal dan elektrik
Aki	: 12 V - 3,5 Ah
Busi	: ND U20EPR9 / NGK CPR6EA-9
Sistem pengapian	: Carburator - DC CDI

Sumber : Astra Honda

Gambar 3.7 Spesifikasi Honda Supra X 125

Sumber: www.astra-hondamotor.com

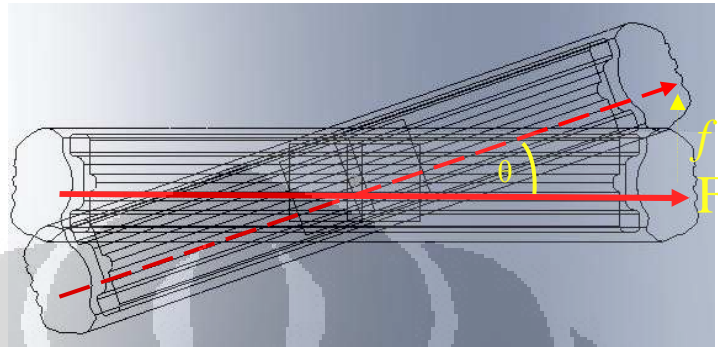
3.4 Perhitungan Gaya

3.4.1 Gaya Horizontal yang Diterima *Base Material*

Gaya yang bekerja pada arah horizontal berasal dari perhitungan gaya traksi, sedangkan yang bekerja pada arah vertikal adalah hasil dari perhitungan beban yang dilakukan oleh Ricky didapatkan gaya maksimal.

$$F_{max} = 1068,56 N$$

Selanjutnya gaya tersebut diproyeksikan ke arah lateral dari roda untuk mendapatkan gaya yang menghasilkan kemiringan terhadap roda. Gaya lateral (f) ini merupakan gaya yang akan diterima oleh komponen dan akan dideteksi oleh sensor, seperti pada gambar di bawah ini:

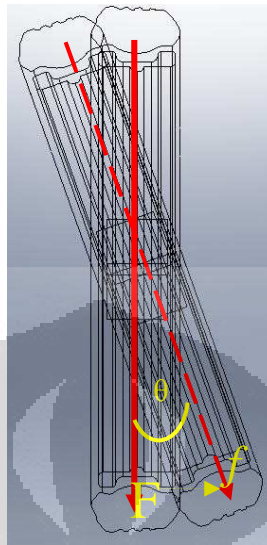


Gambar 3.8 Gaya Lateral Hasil Proyeksi Gaya Traksi

didapatkan gaya hasil proyeksi gaya traksi ke arah lateral sebesar 19,36 N. Gaya lateral ini adalah gaya yang diterima oleh komponen alat ukur.

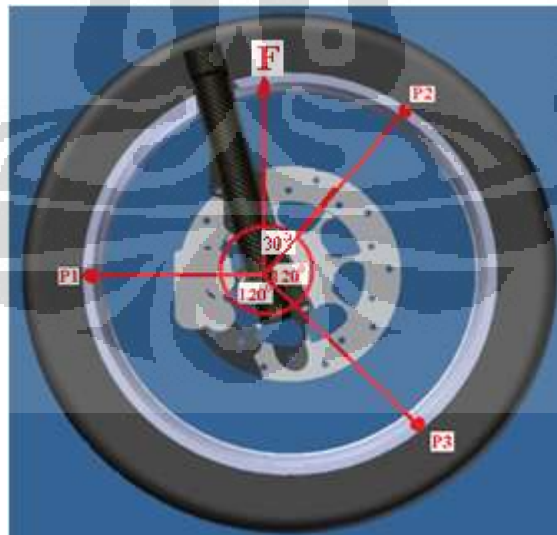
3.4.2 Gaya Vertikal yang Diterima *Base Material*

Berdasarkan perhitungan gaya yang telah dilakukan didapatkan gaya yang terjadi pada roda depan sepeda motor akibat beban secara vertikal adalah 187 N.



Gambar 3.9 Gaya Lateral Hasil Proyeksi Gaya Pembebanan Vertikal

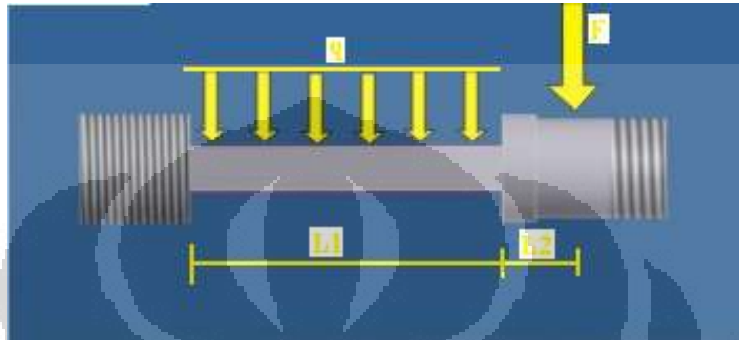
Dengan peletakan *base material* yang membantuk sudut masing-masing 120° seperti pada Gambar 3.10 Sehingga didapatkan bahwa dari kemiringan roda yang membentuk camber angle sebesar $1,038^\circ$, didapatkan gaya hasil proyeksi gaya beban vertikal ke arah lateral sebesar 3,91 N. Gaya lateral ini adalah gaya yang diterima oleh komponen alat ukur.



Gambar 3.10 Proyeksi Gaya Vertikal pada Posisi Base Material

3.4.3 Konsep Desain *Base Material*

Base material merupakan komponen alat ukur yang sangat penting dalam menentukan keakuratan dan kesensitifitasan pengukuran. Selain itu *base material* juga digunakan untuk dipasangkan *strain gage* yang merupakan sensor dalam mengukur kemiringan roda depan sepeda motor tersebut. Sehingga komponen ini harus berupa plat berpenampang *rectangular*.



Gambar 3.11 Gaya yang Bekerja pada Base material

Berdasarkan perhitungan dari beberapa kondisi yang telah dihitung didapat besar gaya yaitu,

- Horizontal

1. Jalan biasa = 19,36 N
2. Jalan mendatar dan direm = 9,66 N
3. Jalan menurun dan direm = 9,86 N

- Vertikal

1. Jalan biasa = 3,91 N
2. Jalan mendatar dan direm = 27,4 N
3. Jalan menurun dan direm = 22,9 N

Karena terdapat variasi besar gaya yang diterima oleh *base material*, maka diambil gaya yang paling besar nilainya yaitu 27,4 N untuk mengantisipasi hal-hal diluar dugaan yang mungkin terjadi saat pengujian alat ukur ini.

Dengan melakukan analisa perhitungan didapat *base material* alat ukur roda depan dengan panjang 47 mm, lebar 5 mm, tebal 4mm dengan material aluminium alloy 6061 dan untuk base material alat ukur roda belakang dengan panjang 57 mm, lebar 5 mm, tebal 4mm dengan material aluminium alloy 6061.

3.5 Pemilihan Komponen Alat Ukur

Pemilihan komponen alat ukur terdiri dari dua bagian, pengukuran *roundness* dan pengukuran *wheel alignment*.

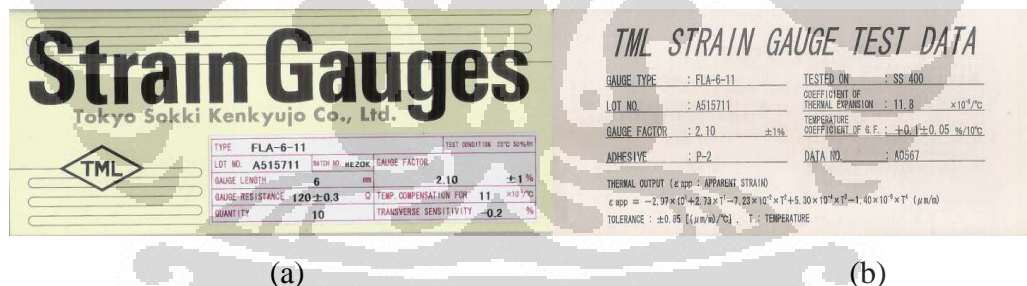
3.5.1 Pemilihan Komponen Alat Ukur *Roundness*

Pemilihan alat ukur *roundness* terdiri dari:

- Pemilihan strain gauges
- Pemilihan Jembatan Wheatstone
- Pemilihan data logger
- Pemilihan Sistem Pengkabelan Strain Gage
- Pemilihan software

3.5.1.1 Pemilihan Strain Gauges

Adapun strain gage yang akan digunakan adalah strain gage dengan spesifikasi *self temperature compensation* untuk bahan steel, berikut ini adalah spesifikasi dari strain gage yang dipakai



Gambar 3.12: (a) Merk dan Jenis Strain Gauges yang Dipakai; (b) Strain Gauges Datasheet

Strain Gage Spesification:

Merk : TML

Type : FLA-6-11

Gage Length: 6 mm

Gage Resistance: 120 ± 0,3 Ω

Gage Faktor: 2,1 ± 1 %

Temp compensation for: Steel (SS 400)

Coefficient of Thermal Expansion: 11,8E5 /°C

Universitas Indonesia

Temp coefficient of Gage Factor: $+0,1 \pm 0,05 \%/10^\circ C$

Tolerance: $\pm 0,85 (\mu m/m)^\circ C$

Strain ε_0 limit: 30×10^{-3} strain

Dari datasheet yang disertakan bersama strain gage dipastikan temperatur kompensasi dari strain gage sendiri masih bekerja efektif untuk temperatur pengujian antara temperatur 27-35 °C, sehingga kondisi pengujian yang tidak terlalu lama, dimana pengujian hanya untuk mengukur satu putaran roda penuh tidaklah memakan waktu yang terlalu lama, sehingga tidak terdapat perubahan temperature dengan fluktuasi yang tinggi.

3.5.1.2 Pemilihan Jembatan Wheatstone

Sistem yang diamati pada kasus ini adalah bending yang terjadi pada base material. Untuk mengamati hal tersebut maka dari ketiga jembatan *Wheatstone* yang ada, konfigurasi setengah jembatan dengan konfigurasi untuk mengukur *bending stress* seperti yang terlihat pada gambar 2.15 yang menggambarkan pemasangan strain gage pada base material, dan gambar 2.16 yang menggambarkan rangkaian jembatan *Wheatstone* dengan strain gage yang terpasang pada sisi jembatan yang berlawanan dengan posisi yang sama. Dengan konfigurasi ini akan diperoleh tegangan yang 2 kali lebih besar seperti yang terlihat pada persamaan 2.41 berikut :

$$e = \frac{1}{4} K (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) E_{exc}$$

Karena pemasangan pemasangan strain gage pada sisi yang berlawanan dengan jarak dari ujung yang terkena gaya sama besar pada base material, sehingga strain gage 1 akan menghasilkan ε yang bernilai positif, dan strain gage 2 akan menghasilkan ε yang bernilai negative, sehingga ε total yang diperoleh adalah 2 kali lipat. Selain itu efek dari temperatur juga akan terkompensasikan karena salah satu gage akan berfungsi juga sebagai *dummy*.

Besar tegangan yang keluar dari jembatan *Wheatstone* dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan 2.42 tersebut, dan memasukkan Gage Faktor

dari strain gage yang digunakan dan besarnya strain yang terdapat pada base material, berikut ini adalah perhitungannya:

$$e = \frac{1}{4} K(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) E_{exc}$$

$$e = \frac{1}{4.2,1(0.633 - 0.633)} E_{exc}$$

$$e = 0.664 E_{exc}$$

Jadi, untuk tiap 1 volt tegangan eksitasi, akan diperoleh tegangan keluaran sebesar 0.664 volt tegangan *out put*.

3.5.1.3 Pemilihan Data Logger

Data logger yang digunakan harus dapat memenuhi kebutuhan kalibrasi dan pengukuran serta tersedia di PUSPITEK sebagai tempat kalibrasi dan pengambilan data. Terpilih dua buah data logger untuk kalibrasi dan pengukuran.

Tabel 3.3 Spesifikasi Data Logger

Fungsi	Requirement	Chosen Data logger	Specification
Kalibrasi	Pengukuran Statis Resolusi tinggi Display Analisa menggunakan software	TDS-303	Measures up to 1000 channel High resolution ($0.1 \times 10^{-6} \varepsilon$) Speed 0.06 second/channel Built in switching box Monitor display
Pengukuran	Pengukuran Statis Pengukuran dinamis Resolusi tinggi Recorded Analisa menggunakan software	SDSR DC-104R	Measures up to 1000 channel High resolution ($0.1 \times 10^{-6} \varepsilon$) Speed 0.005 second/channel Data recording Software DADiSP/2000

Sumber: TML Smart Dynamic Strain Recorder Catalog

3.5.1.4 Pemilihan Pengkabelan Strain Gauges

Pengkabelan pada sistem yang menggunakan Strain Gage sering menimbulkan masalah bila memiliki panjang yang cukup signifikan, yang mengakibatkan bertambahnya hambatan akibat panjang kabel yang digunakan. Toleransi akibat panjang kabel ini harus mulai diperhitungkan apabila kabel panjangnya melebihi 10 meter, walaupun panjang kabel yang digunakan adalah sepanjang 10 m, namun tetap akan diusahakan untuk menghilangkan efek dari

panjang kabel tersebut agar mendapatkan hasil yang lebih akurat dengan menggunakan metode *3-wire system*.

3.5.1.5 Pemilihan Software

Software yang digunakan untuk kalibrasi dan pengambilan data harus memenuhi requirement sebagai berikut:

- a) untuk pengukuran statis dan dinamis
- b) menghasilkan grafik
- c) mengolah data recorded

Terpilih software DADiSP/2000 yang merupakan software rekomendasi dari data logger SDSR DC-104R. Kemudian data dikonversikan dalam format yang kompatibel dengan Microsoft Excel untuk pengolahan data lebih lanjut.

3.5.2 Pemilihan Komponen Alat Ukur *Wheel alignment*

Secara garis besar alat ukur wheel alignment terdiri dari laser transmitter, laser receiver, dan batang standar. Batang standar ditentukan dengan mengukur dimensi-dimensi alat ukur sehingga didapatkan alat pengukuran kelurusan yang presisi.

Pemilihan laser transmitter harus memenuhi persyaratan tertentu. Sinar yang dihasilkan lurus hingga sepanjang *wheelbase* (1,242 m), diameter penampang sinar laser konstan pada jarak pengukuran, dan laser transmitter dapat dipasangkan padaudukan laser transmitter. Kondisi kerja dari laser adalah bekerja pada intensitas cahaya, kelembaban, dan suhu ruangan.

Terpilih sebuah laser transmitter dengan spesifikasi sebagai berikut:

Output mode	: gelombang konstan
Panjang gelombang laser	: 532 nm
Output power	: <50 mW
Diameter sinar laser	: 1 mm
Batteries	: 2 x 1.5 Volt (AAA)



Gambar 3.13 Laser Transmitter

Sumber: www.microcap.com

Receiver laser yang digunakan adalah receiver dengan pembacaan manual berupa target dengan skala.

3.6 Proses Kalibrasi Alat Ukur

3.6.1 Proses Kalibrasi untuk Alat Ukur *Roundness*

Proses kalibrasi dilakukan dengan cara membandingkan antara displacement (jarak perpindahan) yang dialami oleh ujung base material yang diselubungi dengan bearing dengan melakukan penekanan pada ujung base material dengan dilakukan pengukuran jarak perpindahan dengan menggunakan displacement transducer, kemudian dibandingkan dengan besarnya strain yang timbul pada base material.

Menggunakan magnetic stand sebagai pegangan agar alat pada kondisi yang benar-benar diam dan keadaan inisial dimana semua dapat diset nol.

Kalibrasi dilakukan di tiap base material menggunakan metode statistik tertentu Hasil kalibrasi berupa diagram dengan persamaan trend line $y=ax+b$, dimana a dan b adalah angka hasil perbandingan displacement transducer dan strain gauges terukur, x adalah displacement sebenarnya yang terjadi pada base material, dan y adalah strain terukur pada strain gauges.

3.6.2 Proses Kalibrasi Pengukuran *wheel alignment*

Proses kalibrasi untuk wheel alignment adalah untuk menganalisa *error* dari alat ukur itu sendiri. *Error* yang terjadi berupa ketidak lurusan sinar laser terhadap laser receiver yang berupa target. Hal ini dapat disebabkan oleh sinar

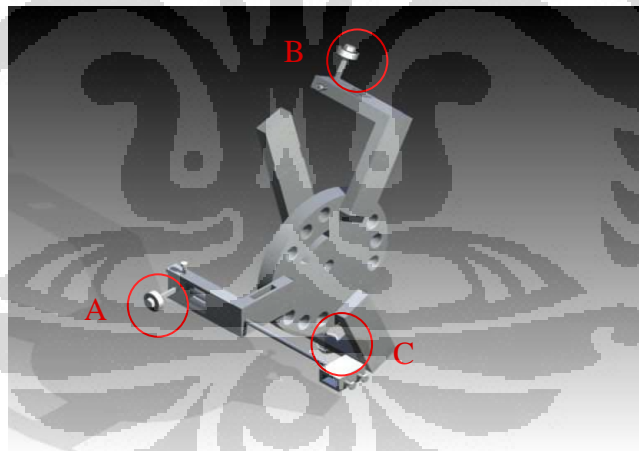
laser transmitter yang tidak sesumbu dengan *casing* nya dan kontruksi mekanik yang kurang presisi. Secara garis besar proses kalibrasi adalah sebagai berikut:

- a) Pemasangan alat pada stand dengan acuan kelurusan benda lain
- b) Menganalisa besarnya jarak yang terjadi antara laser dan titik pusat target
- c) Pengukuran dengan penambahan jarak ukur dengan mengamati jatuhnya titik laser pada target
- d) Pengulangan untuk mengetahui faktor repeatability alat

3.7 Proses Pengukuran dengan Alat Ukur

3.7.1 Proses Pengukuran *Roundness*

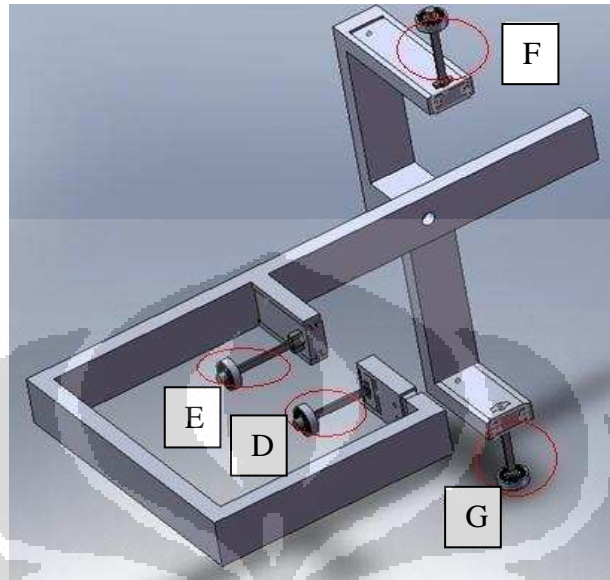
Untuk pengukuran roda depan menggunakan 3 titik acuan dengan asumsi nilai roundness maksimal yang terukur di salah satu sisi akan mewakili di sisi sebaliknya dengan memperhatikan konstruksi velg. Pengukuran dilakukan pada kecepatan 20 km/jam, 40 km/jam, dan pengukuran melewati halangan berupa jalan bergelombang.. Peletakan titik acuan dijelaskan pada Gambar 3.14 berikut ini:



Gambar 3.14 Titik Acuan Pengukuran Roda Depan

Proses pengukuran dilakukan dalam keadaan statis dan keadaan dinamis. Untuk pengukuran roda belakang dilakukan dua proses pengukuran yaitu pengukuran statis dengan memanfaatkan putaran dari mesin sebagai tenaga putar roda saat pengukuran dan pengukuran dinamis dengan menjalankan sepeda motor pada kecepatan pengukuran yaitu 20 km/jam dan 40 km/jam. Strain gauge

dipasang pada titik acuna tertentu, untuk pengukuran roda belakang diambil empat titik acuna seperti terteta pada Gambar 3.15 di bawah ini.



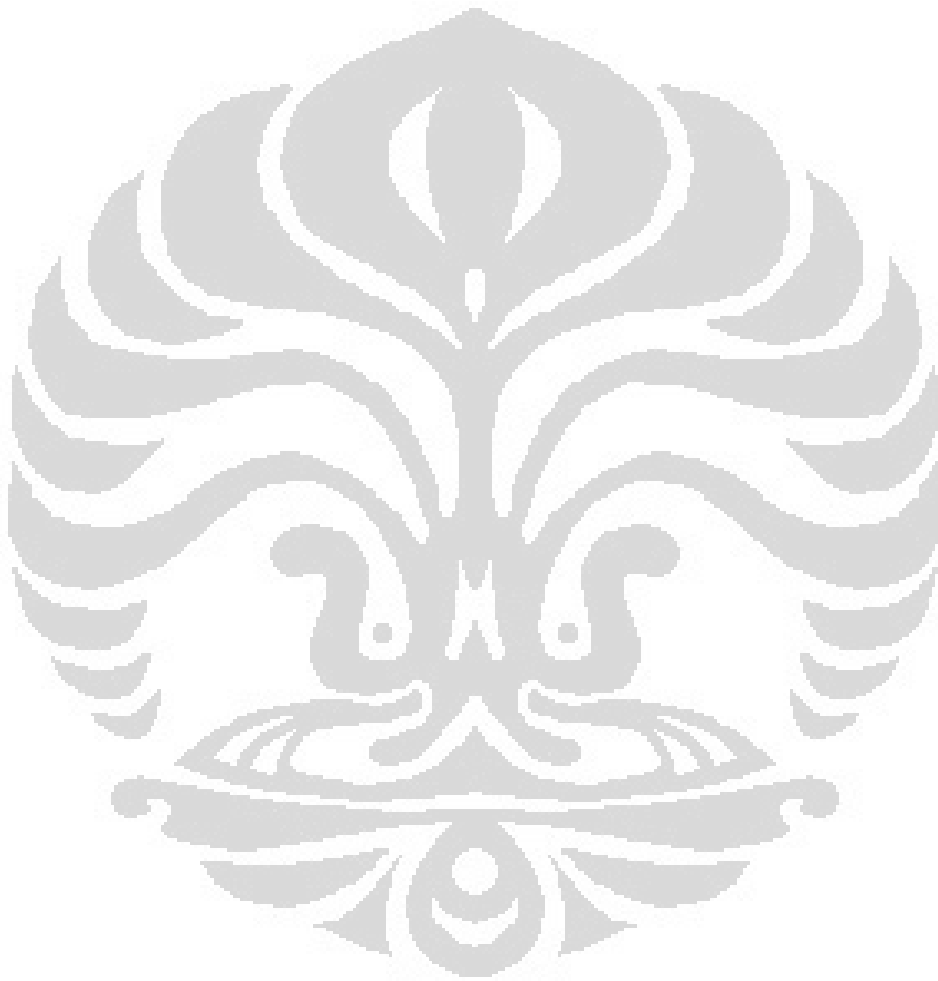
Gambar 3.15 Titik Acuna Pengukuran Roda Belakang

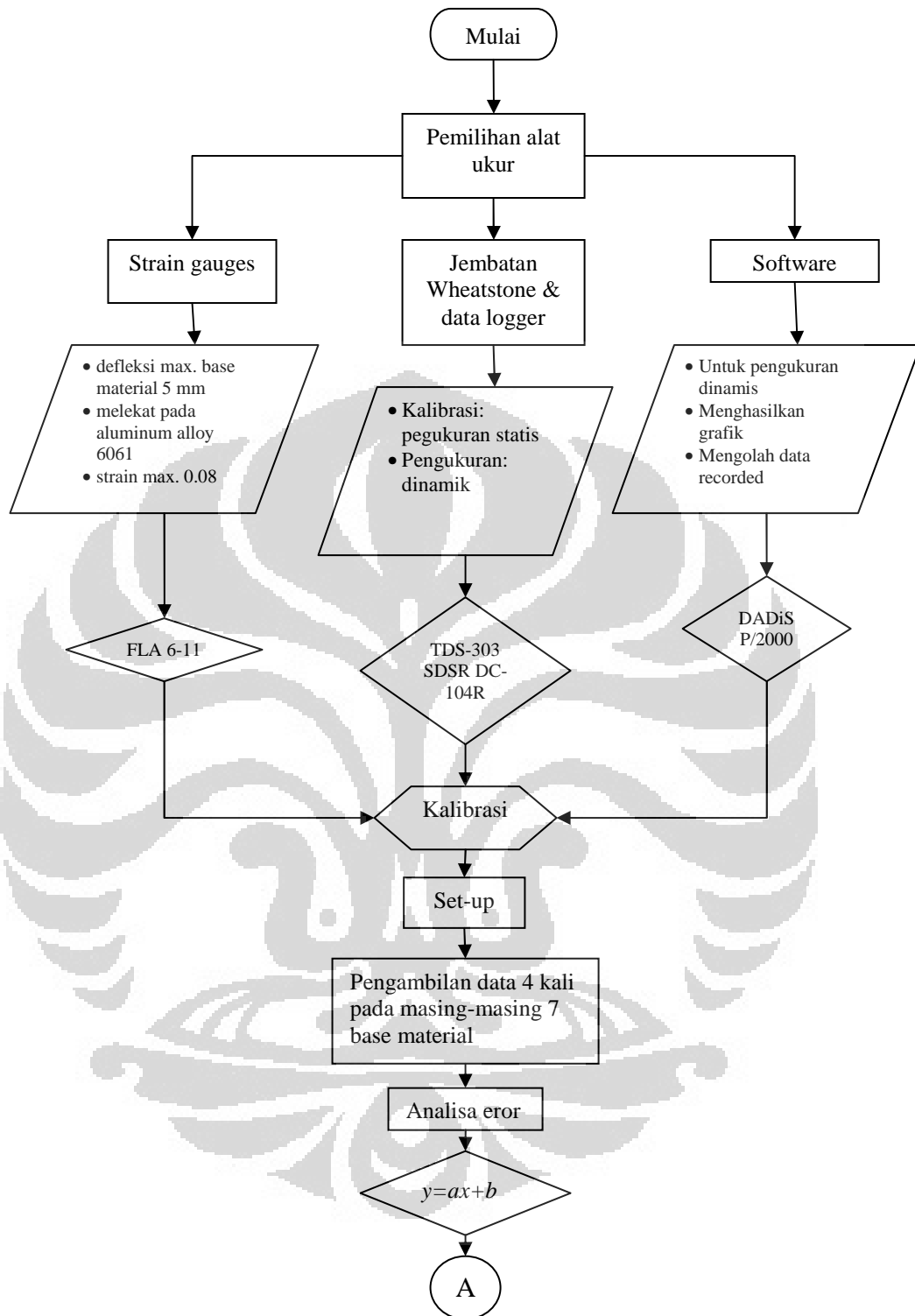
Pada gambar tersebut titik F dan titik G adalah titik acuna untuk menentukan besarnya camber angle secara parsial, sedangkan titik D dan E adalah titik acuna untuk menentukan slip angle secara parsial di bagian titik acuna tersebut.

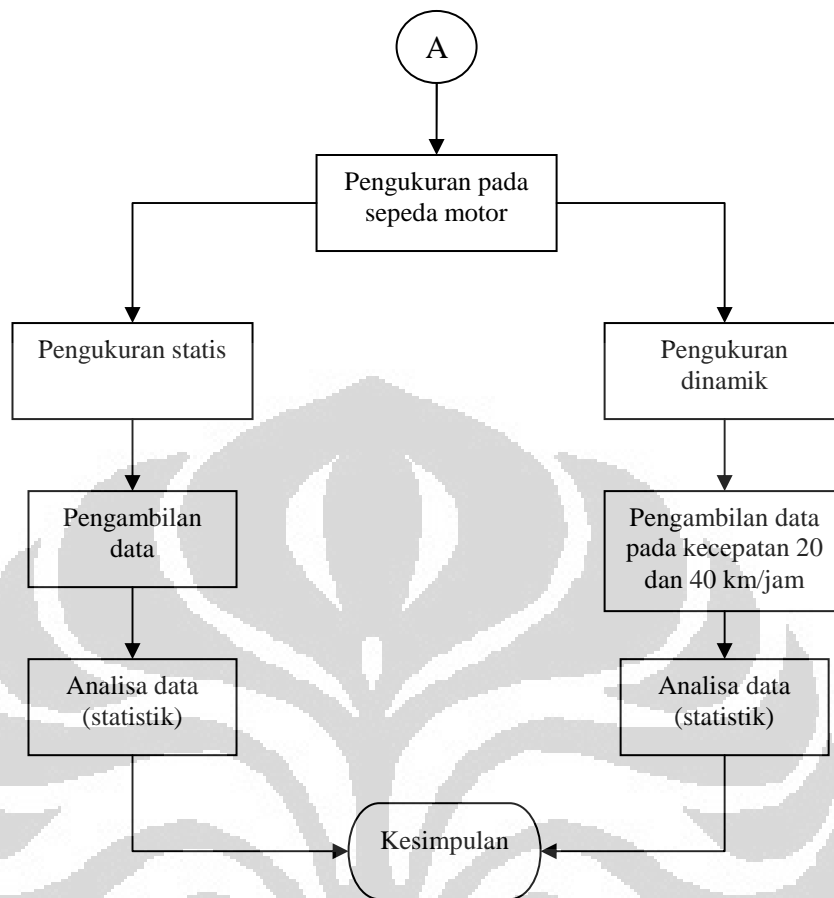
Susunan alat untuk melakukan pengukuran terdiri dari komponen transduser dan *Data conditioning*. Komponen transduser sendiri terdiri dari komponen mekanik berupa base material untuk penempelan strain gage besertadudukannya untuk pemasangan di swing arm sepeda motor, dan komponen elektronik berupa strain gage, beserta jembatan *Wheatstone* dan sistem pengkabelannya. *Data conditioning* dan data presentation berupa *data logger* yang terhubung dengan komputer yang telah terinstalasi program untuk pengolahan data hasil pengukuran strain gage tersebut, yaitu *data logger* SDSR DC-104R, dengan software DC-104R CONTROLLER yang telah terinstalasi pada komputer. Dalam hal ini susunan jembatan *Wheatstone* tidaklah kita buat dengan menyusun strain gage dengan beberapa resistor, akan tetapi langsung menyambungkan kabel strain gage kedalam data logger yang telah terlebih dahulu dikonfigurasi pada kondisi setengah jembatan untuk mengukur bending stress.

Universitas Indonesia

Sehingga kita dapat ringkas seluruh proses yang dilakukan dalam pengukuran *roundness* menggunakan sebuah diagram alir pada Gambar 3.16 flowchart proses pengukuran *roundness*:



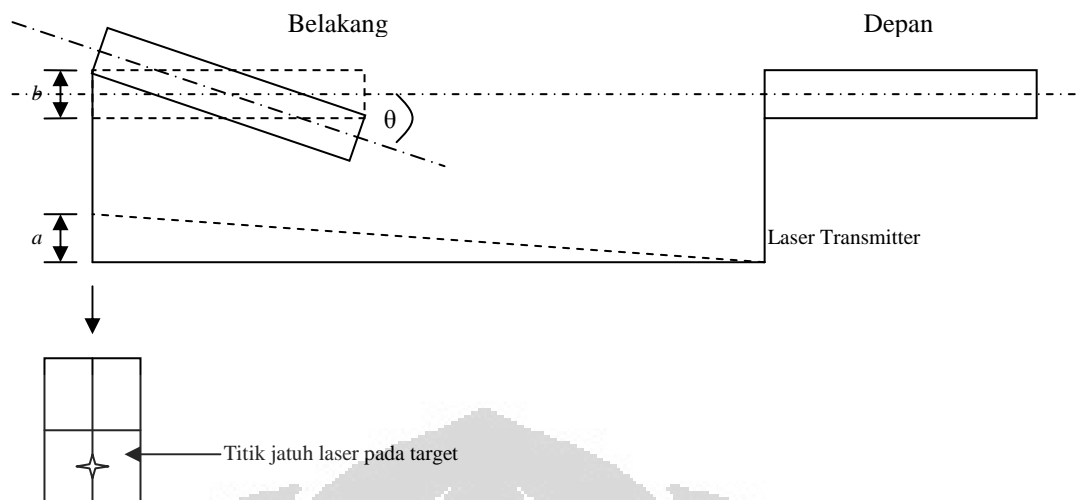




Gambar 3.16 *Flowchart* Proses Pengukuran Roundness

3.8.2 Proses Pengukuran *Wheel alignment*

Pengukuran *Wheel alignment* untuk sepeda motor belum pernah dilakukan sebelumnya kecuali untuk kepentingan balap yang sifatnya dirahasiakan. Proses Pengukuran kelurusan dilakukan dengan mendeteksi kelurusan roda belakang terhadap roda depan. Roda depan dijadikan acuan dengan pertimbangan pemasangan poros roda depan adalah tetap, tidak mungkin terjadi kesalahan pemasangan shaft roda depan pada motor dalam keadaan normal. Prinsip kerja laser untuk pengukuran ini baru diterapkan pada mobil yang lebih kita kenal dengan sebutan *spooring*. Prinsip kerja alat ukur wheel alignment dengan menggunakan laser dan batang panjang standar dijelaskan oleh Gambar 3.17.



Gambar 3.17 Prinsip Kerja Pengukuran *Wheel alignment*

Keterangan gambar:

a : jarak titik jatuhnya laser pada target ke titik tengah target

b : run-out

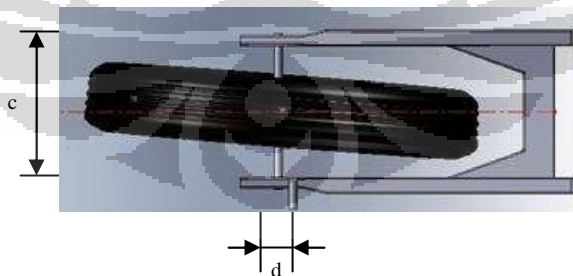
r : jari-jari velg

$a = b$

$$\tan \theta = \frac{a}{r}$$

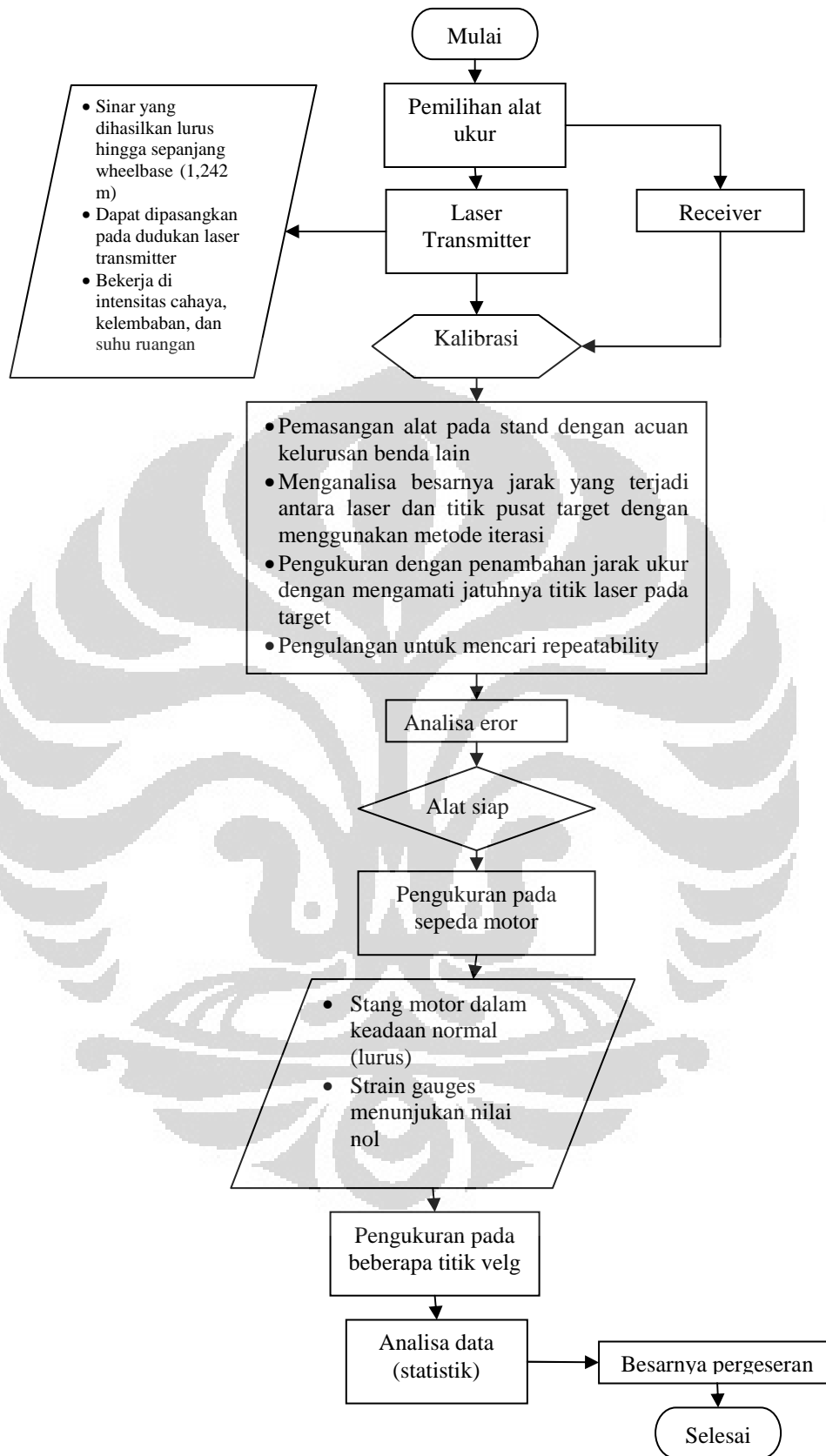
$$\theta = \tan^{-1} \frac{a}{r}$$

Pengsetan pemasangan poros setelah diketahui ketidak lurus roda depan terhadap roda belakang dihitung dengan memperhitungkan swing arrrm dan jari-jari roda seperti dijelaskan pada Gambar 3.18 di bawah ini:



Gambar 3.18 Besarnya Pergeseran Poros

Pada gambar di atas besarnya c adalah jarak antara ke dua *swing arm* untuk pemasangan poros (untuk Supra X 125) sudut yang terjadi pada poros adalah θ sama dengan sudut *run-out*. pengesetan pemasangan poros dilakukan pada nilai d dihitung dengan menggunakan persamaan: $d = c \cdot \tan \theta$



Gambar 3.19 Flowchart Proses Pengukuran Wheel Alignment

BAB 4 KALIBRASI DAN PENGAMBILAN DATA

4.1 Kalibrasi Alat Ukur *Roundness*

Tujuan dari kalibrasi adalah untuk mengukur error dari alat itu sendiri sekaligus mengetahui nilai konversi dari strain yang terjadi ke dalam nilai defleksi yang terjadi pada ujung *base material*. Kalibrasi ini juga dapat digunakan untuk menguji kehandalan alat dalam hal kemampuan alat untuk melakukan pengukuran berulang-ulang (*repeatability*) dan menyatakan bahwa alat itu tidak *fatigue* saat digunakan.

4.1.1 Set-up Kalibrasi Alat Ukur *Roundness*

Sebelum melakukan kalibrasi maka perlu dilakukan set-up alat yang meliputi:

- a) instalasi *strain gauges* sesuai dengan prosedur yang dijelaskan pada Bab II pada tiap *base material* dengan metode setengah jembatan *wheat stone*
- b) pemasangan *displacement transducer* pada *magnetic stand* yang diletakan pada ragum
- c) *displacement transducer* dilekatkan pada ujung base material yang nanti akan mengalami kontak dengan velg seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1



Gambar 4.1 Set-up Kalibrasi

- d) koneksikan *displacement transducer* dan *strain gauges* pada data logger TDS-303 seperti ditunjukkan pada Gambar 4.2



Gambar 4.2 Instalasi Data Logger

4.1.2 Metodologi Kalibrasi Alat Ukur *Roundness*

Terdapat dua alat ukur pada kalibrasi alat ukur *roundness* ini, pertama adalah *displacement transducer* untuk mengukur defleksi yang terjadi (dalam satuan milimeter), dan yang kedua adalah alat pengukur strain pada strain gauges (dalam satuan mikrometer). Output pada kalibrasi ini berupa *display* pada layar data logger yang dapat diprint.

Metode pengambilan data adalah dengan melakukan pembebanan pada ujung *base material* sehingga terjadi defleksi. Defleksi ini akan dibaca oleh *strain gauges* sebagai strain dari foil pada strain gauges yang terbaca pada data logger, sedangkan *displacement* atau defleksi pada ujung *base material* dibaca oleh *displacement transducer*. Pembebanan dilakukan dari nol hingga nilai *strain* sekitar dua ribu. Nilai dua ribu menyatakan setengah dari maksimum *strain* pada desain *base material* dengan konfigurasi jembatan *wheatstone* menggunakan konfigurasi setengah jembatan (dua *strain gauges*). Pengambilan data dilakukan masing-masing empat kali pada tiap *base material* dimana tiga kali pengambilan data dilakukan pada arah positif, sesuai arah gaya yang nanti akan diterima *base material* saat pengukuran sebenarnya dan satu kali ke arah negatif (arah berlawanan), untuk menjamin bahwa *base material* tidak plastis atau pun *fatigue*.

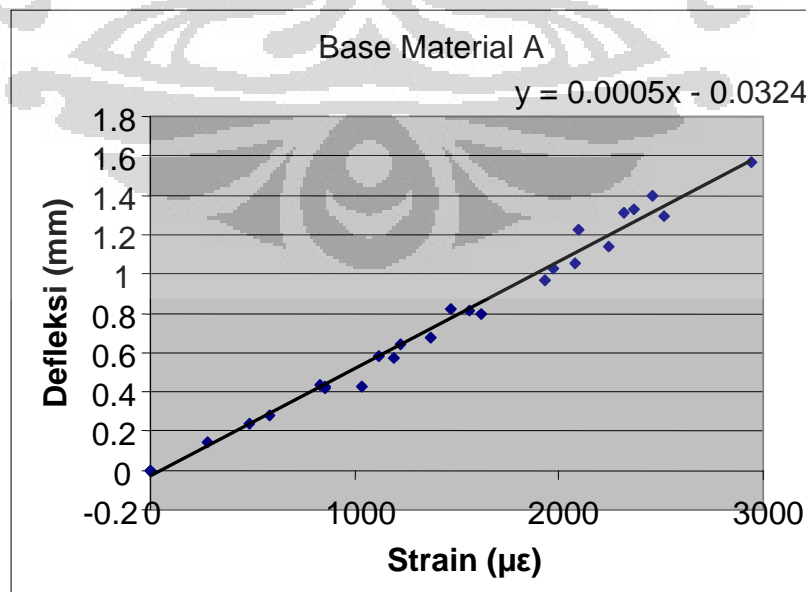
4.1.3 Kalibrasi pada *Base Material A*

Data yang didapat pada kalibrasi *base material A* terlihat pada Tabel 4.1 berikut ini:

Tabel 4.1 Kalibrasi *Base Material A*

Pengujian	Strain ($\mu\epsilon$)	Defleksi (mm)	Pengujian	Strain ($\mu\epsilon$)	Defleksi (mm)
I 1	0	0	III 1	0	0
2	280	0.14	2	831	0.434
3	487	0.238	3	1038	0.428
4	853	0.414	4	1120	0.58
5	1373	0.678	5	1564	0.816
6	1616	0.8	6	2243	1.14
7	1933	0.964	7	2518	1.29
II 1	0	0	IV 1	0	0
2	587	0.282	2	1469	0.824
3	852	0.428	3	2095	1.222
4	1195	0.572	4	2320	1.31
5	1222	0.644	5	2365	1.332
6	1976	1.03	6	2459	1.4
7	2077	1.056	7	2945	1.57

Data tersebut diplot ke dalam sebuah diagram titik kemudian dengan menggunakan metode regresi linear akan didapatkan sebuah fungsi yang merupakan nilai konversi dari strain pada *strain gauges* ke defleksi yang terjadi pada ujung *base material*. Fungsi yang dihasilkan oleh *base material A* adalah $y = 0.0005x - 0.0324$.



Gambar 4.3 Distribusi Data Kalibrasi *Base Material A*

Metode yang digunakan pada proses pengujian *repeatability* adalah dengan merata-ratakan nilai hasil kalibrasi berdasarkan fungsi yang dihasilkan di tiap kalibrasi. Nilai kalibrasi semakin baik jika mendekati nilai 100%, nilai itu di dapat dari deviasi yang dihasilkan pada pengukuran.

$$repeatability = \left[1 - \left(\frac{\text{nilai max} - \text{nilai min}}{\text{rata} - \text{rata}} \right) \right] \times 100\%$$

Tabel 4.2 Pengujian Repeatability Base Material A

No.	Jarak Perpindahan (mm)	Strain kalibrasi				Strain Rata-rata ($\mu\epsilon$)	Repeatability (%)
		1	2	3	4		
1	0.2	405.8	424.4	436.0	367.3	408.375	83.17
2	0.4	805.8	824.4	836.0	700.7	791.725	82.91
3	0.6	1205.8	1224.4	1236.0	1034.0	1175.05	82.8
4	0.8	1605.8	1624.4	1636.0	1367.3	1558.375	82.75
5	1	2005.8	2024.4	2036.0	1700.7	1941.725	83.14
6	1.2	2405.8	2424.4	2436.0	2034.0	2325.05	82.92
7	1.4	2805.8	2824.4	2836.0	2367.3	2708.375	82.85
8	1.6	3205.8	3224.4	3236.0	2700.7	3091.725	83.1
9	1.8	3605.8	3624.4	3636.0	3034.0	3475.05	82.88
10	2	4005.8	4024.4	4036.0	3367.3	3858.375	83.14

Dapat dilihat nilai *repeatability* adalah sekitar 83%, nilai ini cukup baik. Adapun nilai yang membuat deviasi semakin besar adalah pada kalibrasi ke empat di mana arah pembebanan dibalik menjadi berlawanan arah dengan beban yang nantinya akan diterima base material. Jika kalibrasi keempat tidak dikutsertakan maka nilai *repeatability* akan semakin besar.

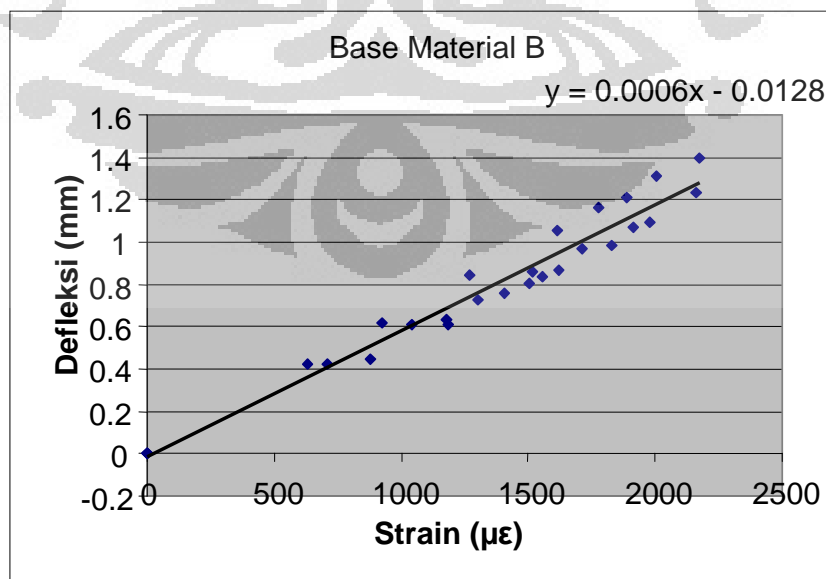
4.1.4 Kalibrasi pada *Base Material B*

Data yang didapat pada kalibrasi *base material B* terlihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Kalibrasi *Base Material B*

Pengujian	Strain ($\mu\epsilon$)	Defleksi (mm)	Pengujian	Strain ($\mu\epsilon$)	Defleksi (mm)
I 1	0	0	III 1	0	0
2	707	0.424	2	880	0.444
3	1041	0.614	3	1181	0.636
4	1182	0.614	4	1505	0.802
5	1555	0.838	5	1622	0.87
6	1885	1.214	6	1828	0.988
7	2172	1.4	7	1977	1.092
II 1	0	0	IV 1	0	0
2	1299	0.728	2	634	0.42
3	1405	0.76	3	924	0.616
4	1514	0.858	4	1269	0.842
5	1709	0.97	5	1613	1.052
6	1916	1.072	6	1780	1.162
7	2159	1.234	7	2005	1.308

Data tersebut diplot ke dalam sebuah diagram titik kemudian dengan menggunakan metode regresi linear akan didapatkan sebuah fungsi yang merupakan nilai konversi dari *strain* pada *strain gauges* ke defleksi yang terjadi pada ujung *base material*. Fungsi yang dihasilkan oleh *base material B* adalah $y = 0.0006x - 0.0128$.



Gambar 4.4 Distribusi Data Kalibrasi *Base Material B*

Dengan metode yang sama pada pengujian *repeatability* pada *base material A* maka di dapat nilai *repeatability* pada *base material B* seperti ditunjukkan pada Tabel 4.4 di bawah ini.

Tabel 4.4 Pengujian *Repeatability Base Material B*

No.	Jarak Perpindahan (mm)	Strain kalibrasi				Strain Rata-rata ($\mu\epsilon$)	Repeatability (%)
		1	2	3	4		
1	0.2	414.33	347.00	431	295.57	371.98	68.07
2	0.4	747.67	680.33	831	581.29	710.07	76.57
3	0.6	1081.00	1013.67	1231	867.00	1048.17	79.58
4	0.8	1414.33	1347.00	1631	1152.71	1386.26	81.13
5	1	1747.67	1680.33	2031	1438.43	1724.36	82.07
6	1.2	2081.00	2013.67	2431	1724.14	2062.45	82.70
7	1.4	2414.33	2347.00	2831	2009.86	2400.55	83.15
8	1.6	2747.67	2680.33	3231	2295.57	2738.64	83.49
9	1.8	3081.00	3013.67	3631	2581.29	3076.74	83.76
10	2	3414.33	3347.00	4031	2867.00	3414.83	83.97

Besar nilai rata-rata *repeatability* adalah 80,45%, nilai ini cukup baik. Adapun nilai yang membuat deviasi semakin besar adalah pada kalibrasi ke empat di mana arah pembebanan dibalik menjadi berlawanan arah dengan beban yang nantinya akan diterima base material.

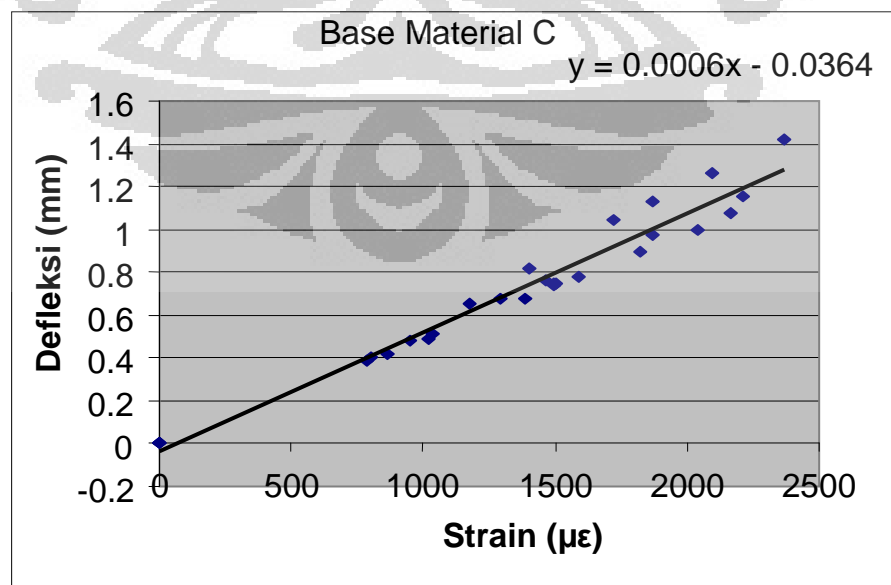
4.1.5 Kalibrasi pada *Base Material C*

Data yang didapat pada kalibrasi *base material C* terlihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Kalibrasi *Base Material C*

Pengujian	Strain ($\mu\epsilon$)	Defleksi (mm)	Pengujian	Strain ($\mu\epsilon$)	Defleksi (mm)
I 1	0	0	III 1	0	0
2	806	0.4	2	865	0.422
3	954	0.478	3	1036	0.512
4	1295	0.674	4	1495	0.74
5	1463	0.764	5	1498	0.746
6	1873	0.976	6	1501	0.75
7	2212	1.156	7	2165	1.072
II 1	0	0	IV 1	0	0
2	789	0.384	2	1175	0.652
3	1019	0.492	3	1403	0.816
4	1387	0.676	4	1719	1.044
5	1588	0.776	5	1870	1.132
6	1823	0.896	6	2096	1.264
7	2039	1	7	2371	1.422

Data tersebut diplot ke dalam sebuah diagram titik kemudian dengan menggunakan metode regresi linear akan didapatkan sebuah fungsi yang merupakan nilai konversi dari *strain* pada *strain gauges* ke defleksi yang terjadi pada ujung *base material*. Fungsi yang dihasilkan oleh *base material C* adalah $y = 0.0006x - 0.0364$.



Gambar 4.5 Distribusi Data Kalibrasi *Base Material C*

Dengan metode yang sama pada pengujian *repeatability* pada *base material A* maka di dapat nilai *repeatability* pada *base material C* seperti ditunjukkan pada Tabel 4.6 di bawah ini.

Tabel 4.6 Pengujian *Repeatability Base Material C*

No.	Jarak Perpindahan (mm)	Strain kalibrasi				Strain Rata-rata ($\mu\epsilon$)	Repeatability (%)
		1	2	3	4		
1	0.2	423.2	406.6	403.8	365.00	399.65	85.44
2	0.4	823.2	806.6	803.8	698.33	782.98	84.05
3	0.6	1223.2	1206.6	1203.8	1031.67	1166.32	83.58
4	0.8	1623.2	1606.6	1603.8	1365.00	1549.65	83.34
5	1	2023.2	2006.6	2003.8	1698.33	1932.98	83.19
6	1.2	2423.2	2406.6	2403.8	2031.67	2316.32	83.10
7	1.4	2823.2	2806.6	2803.8	2365.00	2699.65	83.03
8	1.6	3223.2	3206.6	3203.8	2698.33	3082.98	82.98
9	1.8	3623.2	3606.6	3603.8	3031.67	3466.32	82.93
10	2	4023.2	4006.6	4003.8	3365.00	3849.65	82.90

Besar nilai rata-rata *repeatability* adalah 83,45%, nilai ini cukup baik. Adapun nilai yang membuat deviasi semakin besar adalah pada kalibrasi ke empat di mana arah pembebanan dibalik menjadi berlawanan arah dengan beban yang nantinya akan diterima base material.

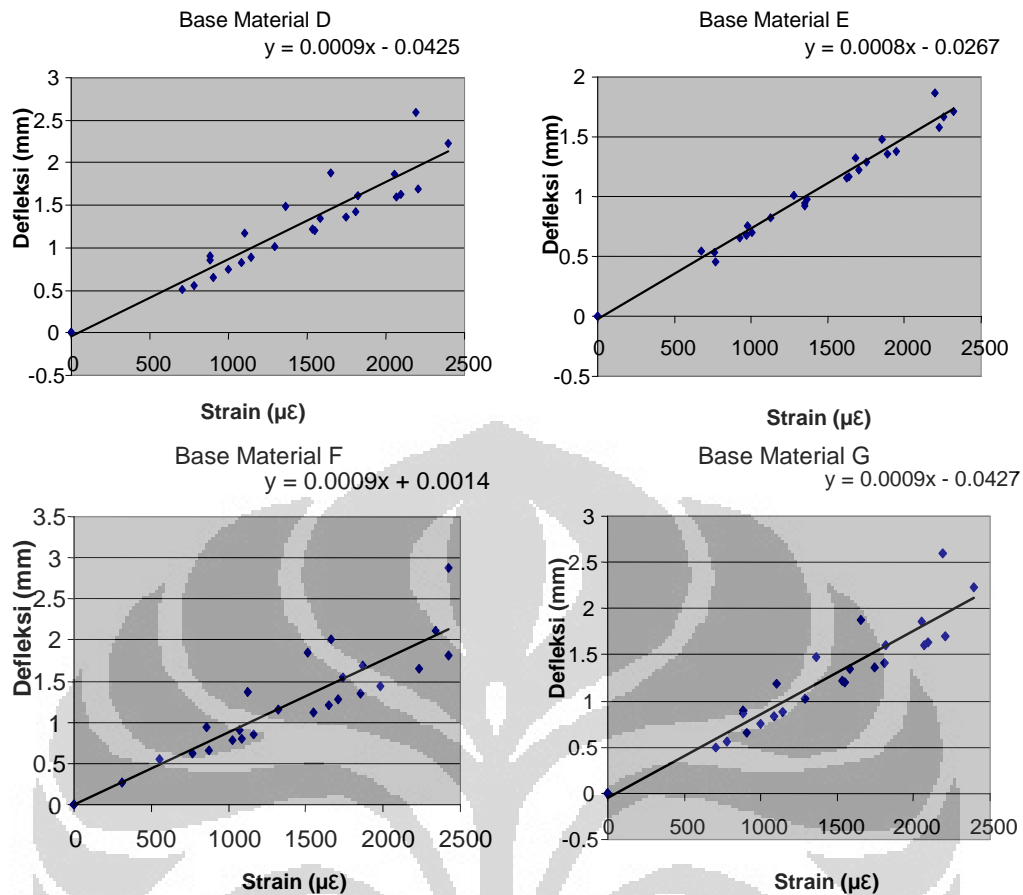
4.1.6 Kalibrasi pada *Base Material D, E, F, dan G*

Prosedur pengambilan data untuk kalibrasi alat ukur roda belakang yang meliputi *base material D, E, F, dan G*, sama dengan prosedur pengambilan data pada kalibrasi alat ukur depan yang meliputi *base material A, B, dan C*. Berikut ini adalah data hasil kalibrasi pada *base material D, E, F, dan G*:

Tabel 4.7 Pengujian *Base Material D, E, F, dan G*

Uji	Strain	Defleksi	Uji	Strain	Defleksi	Uji	Strain	Defleksi	Uji	Strain	Defleksi
D 1	0	0	E 1	0	0	F 1	0	0	G 1	0	0
2	782	0.552	2	766	0.452	2	770	0.624	2	782	0.552
3	1144	0.884	3	928	0.66	3	1069	0.898	3	1144	0.884
4	1584	1.342	4	1352	0.92	4	1322	1.16	4	1584	1.342
5	1821	1.61	5	1353	0.95	5	1739	1.544	5	1821	1.61
6	2052	1.864	6	1703	1.224	6	1870	1.684	6	2052	1.864
7	2398	2.232	7	2257	1.668	7	2342	2.106	7	2398	2.232
1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
2	703	0.502	2	759	0.534	2	312	0.258	2	703	0.502
3	906	0.656	3	1005	0.702	3	1083	0.802	3	906	0.656
4	1549	1.202	4	1622	1.158	4	1164	0.856	4	1549	1.202
5	1811	1.416	5	1887	1.358	5	1551	1.128	5	1811	1.416
6	2070	1.6	6	1750	1.288	6	1851	1.348	6	2070	1.6
7	2206	1.696	7	2322	1.708	7	2423	1.814	7	2206	1.696
1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
2	1002	0.752	2	969	0.678	2	873	0.66	2	1002	0.752
3	1082	0.83	3	1127	0.82	3	1027	0.786	3	1085	0.83
4	1294	1.018	4	1364	0.982	4	1651	1.202	4	1294	1.018
5	1533	1.214	5	1641	1.166	5	1709	1.28	5	1533	1.214
6	1744	1.368	6	1945	1.382	6	1984	1.434	6	1744	1.368
7	2098	1.63	7	2224	1.574	7	2235	1.656	7	2098	1.63
1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
2	881	0.858	2	673	0.55	2	551	0.55	2	881	0.858
3	882	0.904	3	975	0.754	3	860	0.94	3	882	0.904
4	1106	1.178	4	1282	1.012	4	1122	1.36	4	1106	1.178
5	1365	1.482	5	1684	1.32	5	1514	1.842	5	1365	1.482
6	1653	1.882	6	1852	1.482	6	1664	2.015	6	1653	1.882
7	2194	2.594	7	2198	1.872	7	2423	2.875	7	2194	2.594

Untuk mendapatkan fungsinya digunakan metode regresi linear (trendline garis) dari grafik masing-masing *base material*. Berikut ini adalah grafik dari kalibrasi pada *base material D, E, F, dan G*:



Gambar 4.6 Distribusi Data Kalibrasi *Base Material D, E, F, dan G*

Untuk pengujian *repeatability* pada alat ukur roda belakang digunakan keseluruhan dari keempat base material. Dengan cara ini bisa dilihat performa atau kehandalan alat secara keseluruhan, bukan hanya pada tiap *base material*. Metode yang digunakan sama dengan pengujian *repeatability* pada alat ukur roda depan.

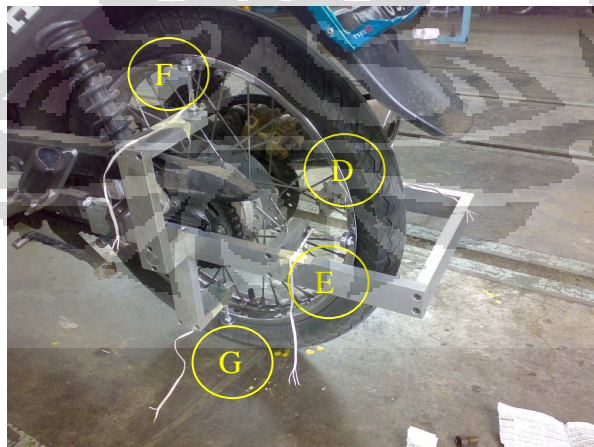
Tabel 4.8 Pengujian *Repeatability* Base Material D, E, F, dan G

No.	Jarak Perpindahan (mm)	Strain kalibrasi				Strain Rata-rata ($\mu\epsilon$)	Repeatability (%)
		D	E	F	G		
1	0.2	269.4	283.4	223.8	269.67	261.57	82.46
2	0.4	491.7	533.4	446.0	491.89	490.73	90.65
3	0.6	713.9	783.4	668.2	714.11	719.90	93.63
4	0.8	936.1	1033.4	890.4	936.33	949.07	95.16
5	1	1158.3	1283.4	1112.7	1158.56	1178.23	96.11
6	1.2	1380.6	1533.4	1334.9	1380.78	1407.40	96.74
7	1.4	1602.8	1783.4	1557.1	1603.00	1636.57	97.20
8	1.6	1825.0	2033.4	1779.3	1825.22	1865.73	97.54
9	1.8	2047.2	2283.4	2001.6	2047.44	2094.90	97.81
10	2	2269.4	2533.4	2223.8	2269.67	2324.07	98.03

Dengan nilai rata-rata *repeatability* yang sangat baik yaitu sebesar 94,53%. Dengan ini bisa dikatakan bahwa alat ukur roda belakang memiliki kehandalan yang sangat baik.

4.2 Pengukuran Roundness Roda Belakang

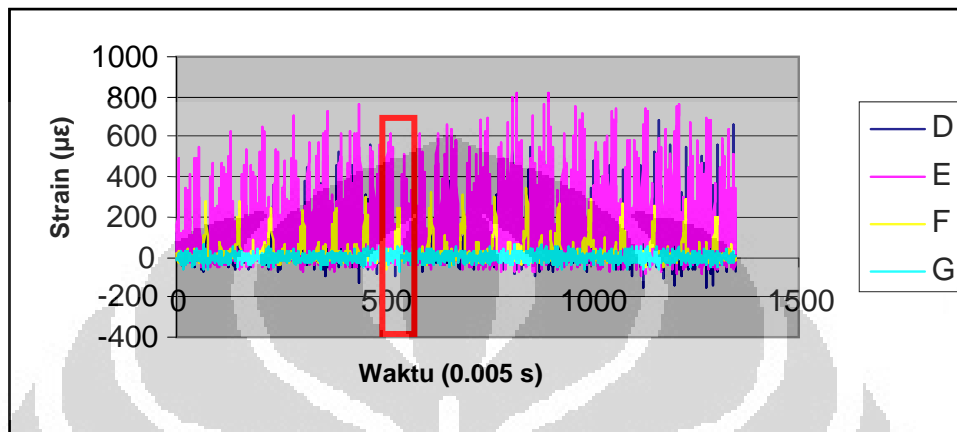
Pengukuran roda depan dilakukan dalam tiga tahap, pertama dalam keadaan statis, kedua dengan motor dijalankan dengan kecepatan 20 km/jam dan ketiga motor dijalankan dengan kecepatan 40 km/jam.



Gambar 4.7 Alat Ukur Roda Belakang Terpasang pada Sepeda Motor

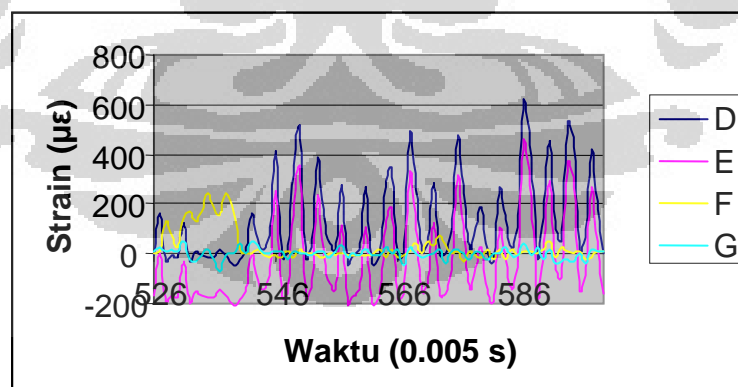
4.2.1 Pengukuran *Roundness* Statis Roda Belakang

Pengukuran statis dilakukan dengan keadaan tanpa beban. Beban ditumpukan pada standar tengah dan tenaga putar berasal dari mesin sepeda motor. Data mulai diambil saat roda berputar dengan kecepatan konstan 20 km/jam terbaca pada sepeda meter. Hasil data ditampilkan dalam grafik berikut:



Gambar 4.8 Grafik Pengukuran Statis Roda Belakang

Tiap pengukuran terdiri dari banyak siklus. Diambil satu siklus untuk dijadikan sampel pengolahan data. Pengambilan siklus sampel ini harus dalam keadaan ideal dimana kecepatan roda sudah stabil sesuai dengan kecepatan yang diinginkan yaitu 20 km/jam. Gambar 4.9 menunjukkan grafik pengukuran roda belakang pada satu siklus



Gambar 4.9 Grafik Pengukuran *Roundness* Statis Roda Belakang Satu Siklus

Keempat kurva di atas menunjukkan bahwa grafik E, F, dan G serupa hanya saja posisi puncak dan lembahnya bergeser. Hal ini disebabkan ketiga base material mengukur hal yang sama dengan posisi yang berbeda. Pada kurva D bisa

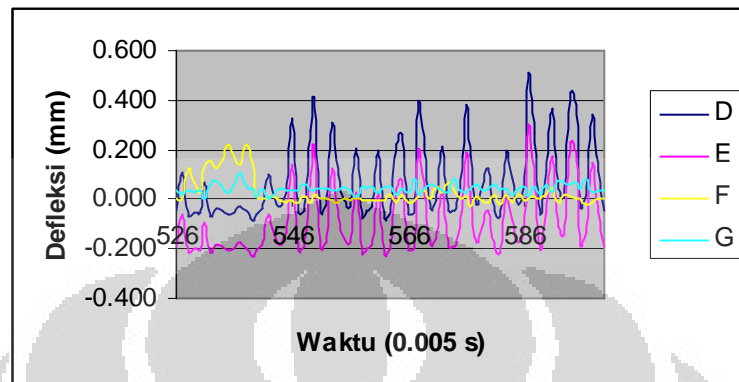
kita lihat sangat berbeda dengan kurva lainnya , hal ini karena *base material D* mengukur sisi lain dari velg, berbeda dengan base material E, F, dan G.

Dengan menggunakan fungsi yang didapat dari hasil kalibrasi maka kita dapatkan data sebagai berikut:

Tabel 4.9 Defleksi pada Pengukuran *Roundness* Statis Roda Belakang

Waktu (0.005 s)	Defleksi (mm)			
	D	E	F	G
526	0.125	-0.194	0.005	0.037
527	0.064	-0.060	0.007	0.018
529	0.035	-0.197	0.068	0.030
531	0.014	-0.090	0.133	0.001
533	-0.026	-0.186	0.120	0.073
535	0.046	-0.205	0.219	0.027
537	0.003	-0.176	0.138	0.106
538	0.048	-0.196	0.223	0.048
539	0.014	-0.231	0.149	0.043
541	0.001	-0.186	0.000	0.043
543	0.039	-0.143	-0.014	0.016
545	0.037	-0.132	-0.011	0.039
547	0.026	-0.204	-0.009	0.037
549	0.050	0.094	-0.015	0.037
550	0.048	0.211	0.019	0.039
551	0.001	-0.200	0.005	0.045
553	0.050	0.123	-0.004	0.036
555	0.012	-0.160	0.001	0.055
557	0.046	0.030	0.005	0.012
559	-0.006	-0.196	-0.002	0.043
561	0.037	0.025	-0.008	0.027
563	0.016	-0.199	0.018	0.052
565	0.023	0.080	0.019	0.043
567	0.037	-0.192	-0.004	0.082
569	0.021	-0.045	0.039	0.043
571	0.041	-0.160	-0.048	0.052
573	-0.066	-0.194	-0.066	0.027
575	0.044	-0.112	0.001	0.036
577	-0.111	0.005	-0.027	0.043
579	0.050	-0.106	-0.006	0.032
581	0.003	-0.191	0.019	0.063
583	0.046	0.017	0.019	0.041
585	0.037	-0.175	0.016	0.046
587	0.048	0.301	0.007	0.009
589	0.041	-0.210	0.005	0.023
591	0.048	0.171	0.045	0.025
593	0.044	-0.141	0.023	0.072
595	0.021	0.187	0.001	0.072
597	0.032	-0.135	-0.018	0.081
599	-0.015	-0.050	0.007	0.032

Dari tabel data di atas didapatkan informasi nilai defleksi terbesar (modus) dari *base material* D sebesar 0,125 mm, pada *base material* E sebesar 0,301 mm, *base material* F sebesar 0,223 mm, dan pada *base material* G sebesar 0,106 mm. Jika ditampilkan dalam grafik defleksi vs waktu adalah sebagai berikut:



Gambar 4.10 Grafik Defleksi vs Waktu Pengukuran *Roundness* Statis Roda Belakang

Jika kita perhatikan maka nilai terbesar (modus) terjadi pada *base material* D. Hal ini bukan disebabkan karena velg sangat tidak bundar melainkan pada set-up pertama saat diambil nilai nol. Saat diambil nilai nol, *base material* E sebenarnya berada dalam posisi negatif atau titik sentuh bearing *base material* dan velg berada pada posisi dimana ketidakbundaran bernilai negatif (velg tidak bundar ke arah dalam).

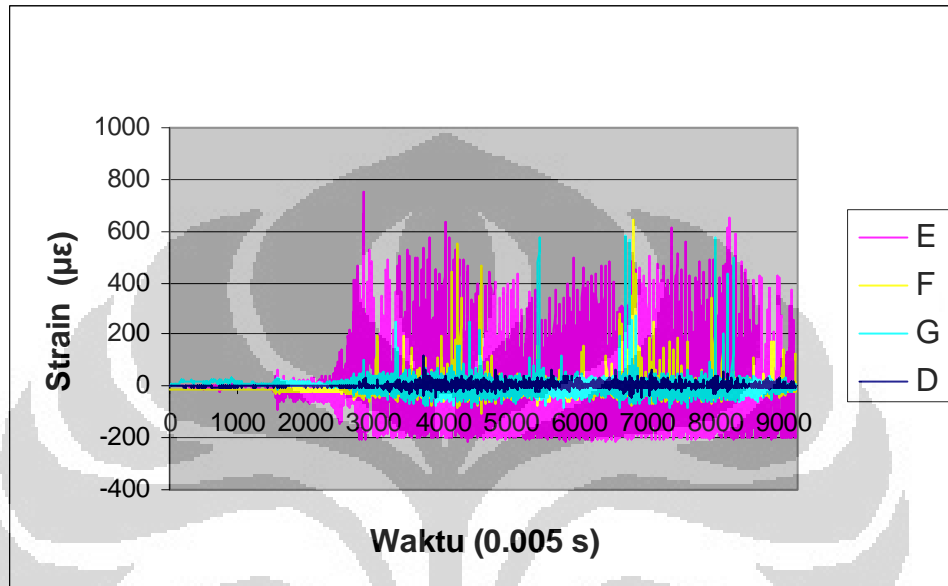
4.2.2 Pengukuran *Roundness* Dinamis Roda Belakang Kecepatan 20 km/jam

Pengukuran *roundness* dinamis roda belakang kecepatan 20 km/jam dilakukan dengan cara menjalankan sepeda motor dengan kecepatan konstan 20 km/jam. Pengukuran dinamis ini bertujuan membandingkan antara pengukuran statis dan dinamis serta seberapa besar faktor dinamis yang mempengaruhi pengukuran.

Track yang dilalui sepeda motor dalam pengambilan data pada pengukuran dinamis adalah sebagai berikut:

- a) jalan datar lurus sepanjang 30 meter
- b) jalan menurun dengan sudut elevasi 30° dengan panjang 10 meter
- c) jalan datar menikung sepanjang 20 meter

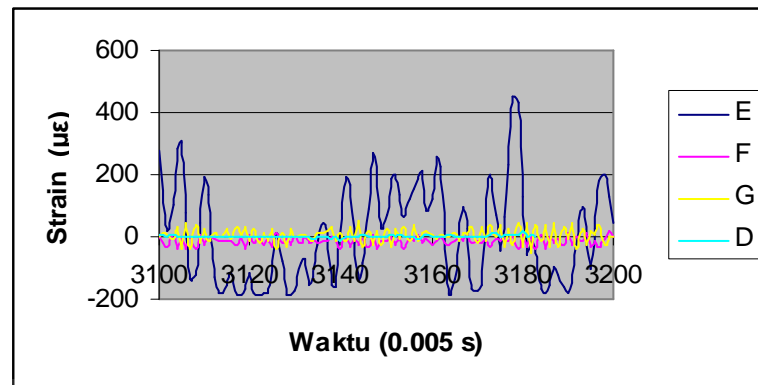
Pengambilan data dilakukan dengan keadaan diam, mesin dinyalakan, melaju hingga mencapai kecepatan konstan 20 km/jam, jalan menurun dengan pengereman untuk menjaga kecepatan konstan 20 km/jam, kemudian jalan konstan kembali dengan jalan menikung. Hasil data ditampilkan dalam grafik pada Gambar 4.14 berikut:



Gambar 4.11 Grafik Pengukuran *Roundness* Dinamis Roda Belakang Kecepatan 20 km/jam

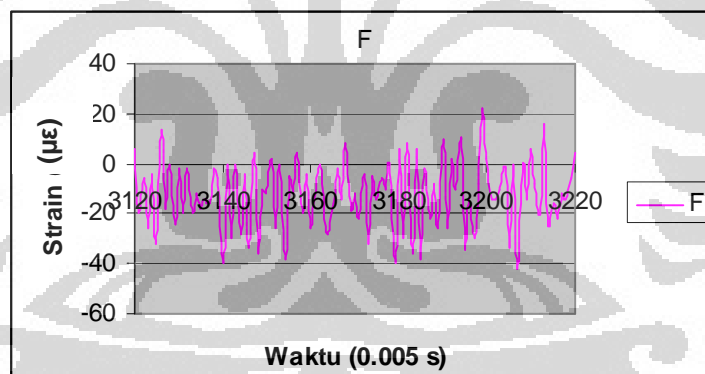
Pada detik ke nol hingga sekitar 1500×0.005 detik terlihat *strain* mendekati nol. Keadaan ini adalah keadaan di mana pada saat data logger dinyalakan untuk mencatat data dengan sepeda motor dalam keadaan diam. Pada detik ke 1500×0.005 terlihat mulai ada kenaikan puncak maupun lembah kurva, pada saat ini motor mulai melaju hingga keadaan konstan pada detik ke 3000×0.005 hingga detik ke 3800×0.005 . Dilanjutkan jalan menurun dan kemudian jalan datar menikung.

Analisa dilakukan untuk tiga keadaan, yaitu keadaan konstan kecepatan 20 km/jam, keadaan menurun kecepatan konstan 20km/jam, dan keadaan menikung kecepatan konstan 20 km/jam. Pada pengambilan data kecepatan konstan 20 km/jam didapatkan data pengukuran sebagai berikut:



Gambar 4.12 Grafik Pengukuran *Roundness* Dinamis Roda Belakang Jalan Datar Kecepatan 20 km/jam

Dalam grafik tersebut tidak terlihat adanya similiaritas antar kurva yang dihasilkan tiap base material padahal seharusnya menghasilkan kurva yang identik karena basematerial E, F, dan G mengukur benda yang sama. Oleh sebab itu perlu dilakukan pengambilan sampel salah satu kurva base material untuk menunjukkan adanya kesamaan. Diambil kurva F sebagai sampel sehingga didapat grafik seperti pada Gambar 4.16.



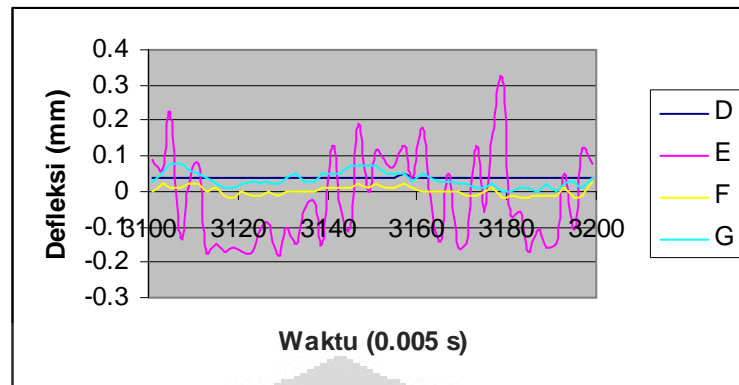
Gambar 4.13 Grafik Pengukuran *Roundness* Dinamis Roda Belakang Jalan Datar Kecepatan 20 km/jam Base Material F

Setelah dilakukan pemisahan dan pembesaran skala grafik, jelas sekali terlihat kesamaan (*similarity*) antara kurva *base material* F dan E. Berikutnya perlu dicari defleksi (*displacement*) yang sebenarnya terjadi pada ujung base material. Tabel 4.10 di bawah ini menunjukkan distribusi satu siklus defleksi yang terjadi pada pengukuran *roundness* dinamis roda belakang dengan jalan datar kecepatan konstan 20 km/jam.

**Tabel 4.10 Defleksi pada Pengukuran *Roundness* Roda Belakang Jalan Datar
Kecepatan 20 km/jam**

Waktu (0.005s)	Defleksi (mm)			
	D	E	F	G
3101	0.04	0.09	0.00	0.03
3103	0.04	0.06	0.02	0.05
3105	0.04	0.22	0.01	0.08
3107	0.04	-0.13	0.01	0.08
3109	0.04	0.01	0.02	0.06
3111	0.04	0.08	0.02	0.05
3113	0.04	-0.17	0.00	0.04
3115	0.04	-0.15	0.01	0.02
3117	0.04	-0.17	-0.01	0.01
3119	0.04	-0.16	-0.02	0.01
3121	0.04	-0.17	0.00	0.02
3123	0.04	-0.17	-0.01	0.03
3125	0.04	-0.11	-0.01	0.02
3127	0.04	-0.09	0.00	0.03
3129	0.04	-0.18	-0.01	0.02
3131	0.04	-0.10	0.00	0.04
3133	0.04	-0.15	0.00	0.05
3135	0.04	-0.05	0.00	0.03
3137	0.04	-0.03	0.00	0.03
3139	0.04	-0.15	0.01	0.05
3141	0.04	0.13	0.01	0.05
3143	0.04	-0.04	0.01	0.05
3145	0.04	-0.10	0.01	0.07
3147	0.04	0.19	0.02	0.07
3149	0.04	0.00	0.01	0.07
3151	0.04	0.12	0.02	0.07
3153	0.04	0.08	0.01	0.05
3155	0.04	0.07	0.01	0.05
3157	0.05	0.13	0.02	0.05
3159	0.04	0.04	0.01	0.03
3161	0.04	0.18	0.00	0.05
3163	0.04	-0.01	0.00	0.04
3165	0.04	-0.14	0.00	0.03
3167	0.04	0.05	0.00	0.03
3169	0.04	-0.16	0.00	0.02
3171	0.04	-0.15	-0.01	0.02
3173	0.04	0.13	-0.01	0.01
3175	0.04	-0.06	0.00	0.01
3177	0.04	0.16	0.01	0.02
3179	0.04	0.32	-0.02	0.00
3181	0.04	-0.07	-0.01	0.00
3183	0.04	-0.06	-0.02	0.01

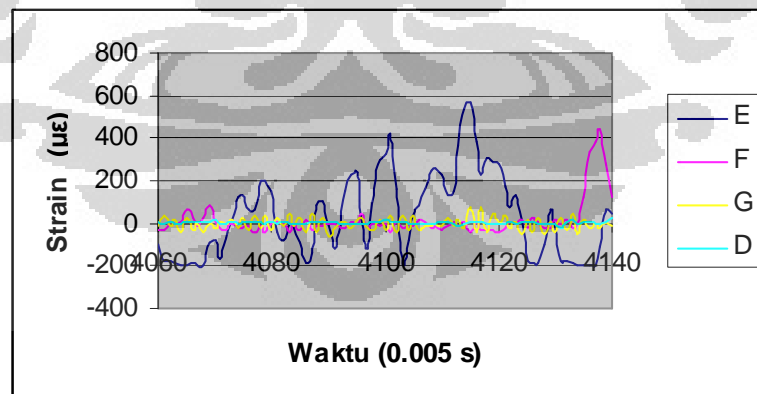
Diplot ke dalam grafik menjadi seperti ditunjukkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.14 Grafik Defleksi vs Waktu Pengukuran *Roundness* Roda Belakang Jalan Datar Kecepatan 20 km/jam

Jika dibandingkan pengukuran statis dengan kecepatan putaran roda 20 km/jam dan pengukuran dinamis dengan kecepatan konstan 20 km/jam tidak ada perubahan yang signifikan. Hal ini disebabkan karena pada jalan lurus datar tidak terdapat faktor pengganggu pada pengukuran. Getaran yang dihasilkan oleh motor juga tidak jauh berbeda.

Untuk pengukuran di jalan menurun dengan melakukan pengereman untuk mempertahankan kecepatan tetap 20 km/jam. Didapatkan data pengukuran yang ditunjukkan oleh grafik di bawah ini:



Gambar 4.15 Grafik Pengukuran *Roundness* Dinamis Roda Belakang Jalan Menurun Kecepatan 20 km/jam

Perhatikan Grafik 4.17 jika dibandingkan dengan Grafik 4.15 maka terlihat bentuk kurva yang sama, hanya saja nilai *strain* yang terjadi pada Grafik

4.17 lebih besar. Hal ini disebabkan oleh faktor pengaruh pengukuran dinamis dalam kasus ini adalah jalan yang menurun dan pengereman.

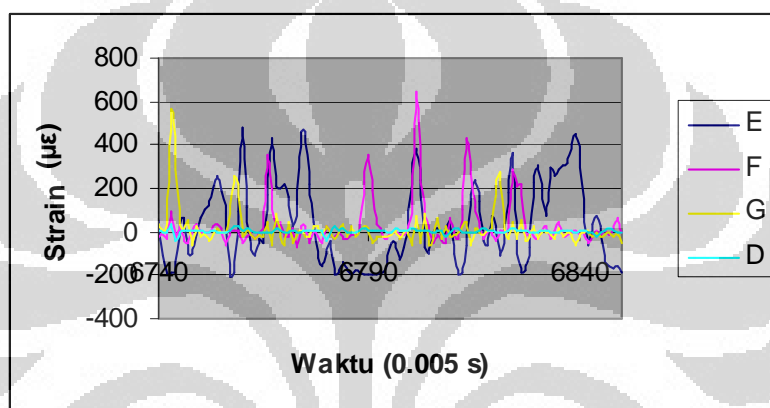
Defleksi yang terjadi pada ujung base material pada pengukuran statis roda belakang dengan jalan menurun kecepatan konstan 20 km/jam terlihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.16 Defleksi pada Pengukuran *Roundness* Roda Belakang Jalan Menurun Kecepatan 20 km/jam

Waktu (0.005s)	Defleksi (mm)			
	D	E	F	G
4071	0.04	-0.16	0.00	0.04
4073	0.04	-0.02	0.01	0.02
4075	0.04	0.08	-0.01	0.02
4077	0.04	0.02	-0.03	0.01
4079	0.04	0.13	-0.03	0.01
4081	0.04	-0.06	0.02	0.02
4083	0.04	-0.03	-0.02	0.00
4085	0.04	-0.10	-0.01	0.02
4087	0.04	-0.13	-0.01	0.08
4089	0.04	0.06	0.00	0.02
4091	0.04	-0.12	0.01	0.06
4093	0.04	0.09	-0.01	0.04
4095	0.05	0.16	0.01	0.02
4097	0.04	-0.13	-0.01	0.06
4099	0.04	0.21	0.00	0.07
4101	0.04	0.31	-0.03	0.01
4103	0.04	-0.18	-0.01	0.01
4105	0.04	0.00	0.00	0.01
4107	0.04	0.10	0.02	0.05
4109	0.04	0.18	0.00	0.04
4111	0.04	0.08	0.00	0.02
4113	0.05	0.26	0.01	0.02
4115	0.04	0.43	-0.03	-0.02
4117	0.04	0.16	-0.01	-0.02
4119	0.05	0.20	-0.02	0.00
4121	0.04	0.11	0.00	0.01
4123	0.04	0.08	0.01	0.03
4125	0.04	-0.17	0.00	0.03
4127	0.04	-0.18	0.02	0.09
4129	0.05	0.02	0.00	0.04
4131	0.06	-0.17	0.01	0.02
4133	0.03	-0.18	-0.01	0.00
4135	0.04	-0.19	0.13	0.09
4137	0.05	-0.18	0.36	0.04
4139	0.04	0.02	0.26	0.04

Modus yang muncul pada tabel di atas terjadi tepat pada titik velg yang menyebabkan defleksi maksimum pada base material. Titik velg itu juga menjadi modus dalam pengukuran baik dalam keadaan statis maupun dinamis lainnya pada pengukuran roda belakang. Pada pengukuran ini terjadi nilai defleksi yang cukup ekstrim yaitu 0.36 mm. Namun nilai ini masih di bawah batas *run-out* maksimal dari spesifikasi Honda Supra X 125 yaitu sebesar 0.5 mm.

Analisa berikutnya pada pengukuran *roundness* roda belakang adalah pengukuran dinamis dengan kecepatan konstan 20 km/jam dengan jalan menikung.



Gambar 4.16 Grafik Pengukuran Statis Roda Belakang Jalan Menikung Kecepatan 20 km/jam

Strain yang terjadi pada keadaan ini lebih besar dibandingkan pada keadaan-keadaan sebelumnya. Hal ini disebabkan saat sepeda motor menikung maka akan terjadi *camber angle* yang mempengaruhi *base material* terutama yang terletak pada sumbu vertikal yaitu *base material* F dan G.

Untuk besarnya defleksi yang terjadi bisa dilihat pada Tabel 4.12.

**Tabel 4.12 Defleksi pada Pengukuran *Roundness* Roda Belakang Jalan
Menikung Kecepatan 20 km/jam**

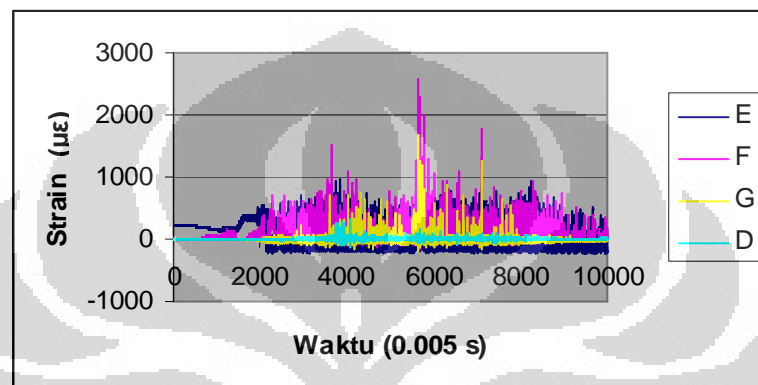
Waktu (0.005s)	Defleksi (mm)			
	D	E	F	G
6743	0.01	-0.18	0.1	0.46
6745	0.04	0	0.03	-0.01
6747	0.04	-0.11	-0.03	0
6749	0.04	-0.04	0.05	-0.02
6751	0.04	0.06	0.01	-0.04
6755	0.04	0.12	0.03	-0.05
6759	0.02	0.05	0.02	0.16
6761	0.03	0.07	-0.01	-0.03
6763	0.04	-0.11	-0.02	-0.07
6765	0.05	-0.07	0.03	-0.06
6767	0.04	0.32	0.14	-0.1
6769	0.04	0.13	0.06	-0.06
6771	0.05	0.1	-0.01	0
6773	0.05	0.06	-0.05	-0.04
6775	0.04	0.35	0.03	-0.06
6777	0.03	0.01	0.02	-0.02
6779	0.08	-0.16	-0.03	-0.05
6781	0.04	-0.06	0.01	-0.05
6783	0.03	-0.18	0.02	-0.04
6785	0.04	-0.17	-0.01	-0.06
6787	0.04	-0.17	0	-0.06
6791	0.04	-0.19	0.18	-0.09
6793	0.04	-0.17	0.03	-0.06
6795	0.04	-0.07	0.01	-0.06
6797	0.04	-0.13	0	-0.07
6799	0.04	0	0.02	-0.04
6801	0.03	0.28	0.6	0.02
6803	0.04	-0.08	0.1	0.03
6805	0.04	-0.03	-0.03	-0.07
6807	0.04	-0.04	-0.02	-0.07
6809	0.04	0.02	0.07	-0.06
6813	0.05	-0.08	0.4	0
6815	0.04	0.17	0.12	-0.03
6817	0.03	-0.06	-0.01	-0.06
6819	0.04	0.04	0.01	-0.03
6821	0.05	-0.11	0.02	0.2
6823	0.04	0.12	0.02	-0.07
6825	0.04	-0.07	0.21	-0.07
6827	0.04	-0.17	-0.01	-0.08
6829	0.05	0.16	-0.01	-0.02
6831	0.04	0.13	0.02	-0.04
6833	0.04	0.21	-0.02	-0.04
6835	0.04	0.2	0.06	-0.03
6837	0.04	0.23	0	-0.05
6839	0.04	0.33	0.02	-0.09

Universitas Indonesia

Sesuai dengan teori pada kendaraan, terjadi *camber angle* yang menyebabkan *base material* terdefleksi sangat besar hingga mencapai 0,6 mm. Nilai ini sudah melebihi batas *run-out* yang diizinkan sebesar 0,5mm.

4.2.3 Pengukuran *Roundness* Dinamis Roda Belakang Kecepatan 40 km/jam

Data hasil pengukuran *roundness* dinamis roda belakang dengan kecepatan konstan 40 km/jam ditampilkan dalam grafik pada gambar 4.19.

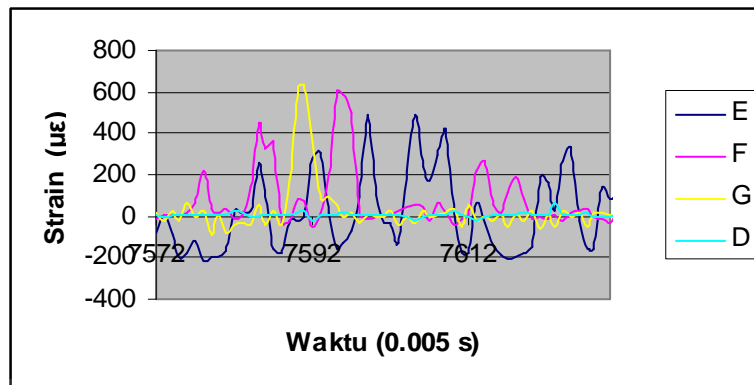


Gambar 4.17 Grafik Pengukuran *Roundness* Dinamis Roda Belakang Kecepatan 40 km/jam

Dari detik ke nol hingga detik ke $2000 \times 0,005$ adalah keadaan motor diam, kemudian melaju hingga mencapai kecepatan 40 km/jam pada detik ke $4000 \times 0,005$ dimana sepeda motor langsung berada pada jalan menurun. Pada detik ke $6000 \times 0,005$ sepeda motor berada dalam keadaan menikung dan jalan datar dengan kecepatan konstan berada pada detik ke $7000 \times 0,005$ hingga $8000 \times 0,005$.

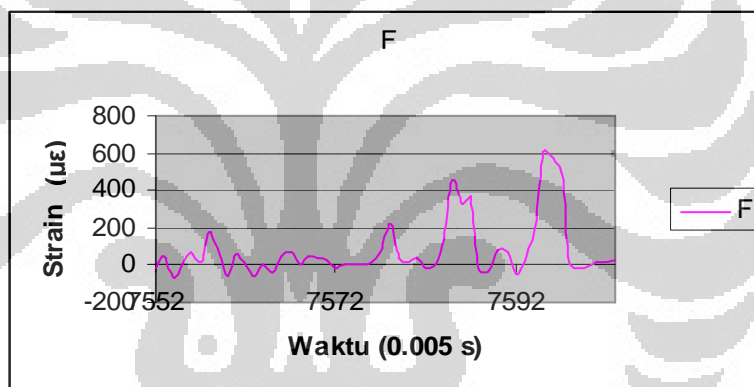
Karena tidak terjadi perbedaan yang signifikan antara jalan datar dan jalan menurun maka pembahasan jalan datar sudah mewakili jalan menurun. Untuk analisa jalan menikung dengan kecepatan 40 km/jam harus dilakukan analisa tersendiri mengingat hasil data yang sangat berbeda.

Analisa pada jalan datar dengan kecepatan 40 km/jam adalah sebagai berikut:



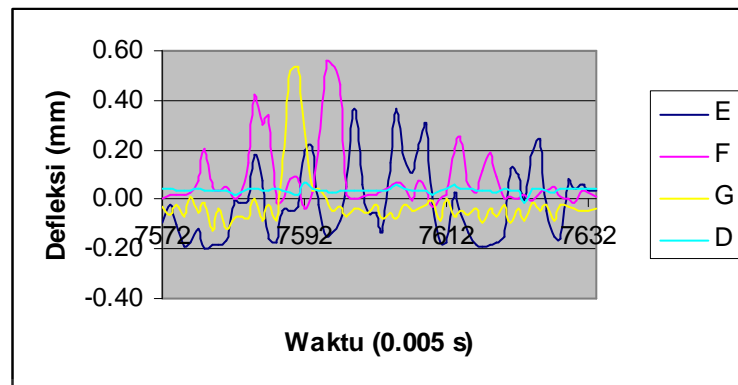
Gambar 4.18 Grafik Pengukuran *Roundness* Dinamis Roda Belakang Jalan Datar Kecepatan 40 km/jam

Untuk membuktikan kesamaan kurva dari *base material* E,F, dan G yang mengukur objek yang sama maka perlu dipisahkan salah satu kurva *base material*.



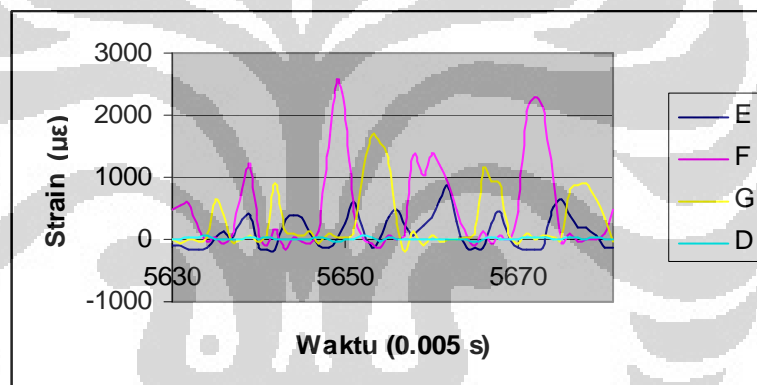
Gambar 4.19 Grafik Pengukuran *Roundness* Dinamis Roda Belakang Jalan Datar Kecepatan 40 km/jam *Base Material* F

Jika dibandingkan dengan Grafik 4.20 maka karakteristik kurva E dan F terlihat jelas kesamaannya. Grafik di bawah ini menunjukkan defleksi yang terjadi pada tiap *base material*. Nilai terbesar pada pengukuran ini adalah 0,06 mm untuk *base material* D, 0,37 mm untuk *base material* E, 0,54 mm untuk *base material* F, 0,53 mm untuk *base material* G.



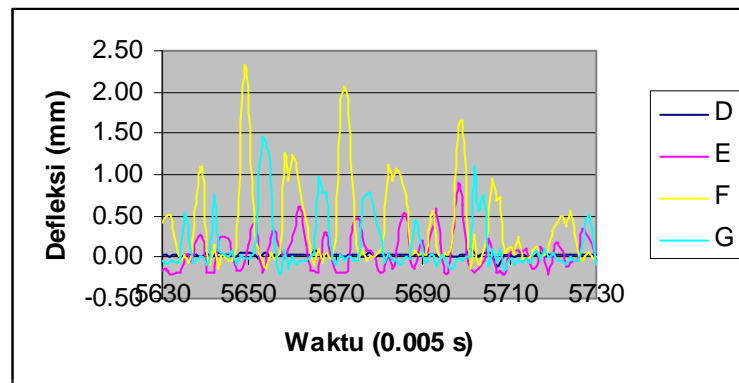
Gambar 4.20 Grafik Defleksi vs Waktu Pengukuran *Roundness* Roda Belakang Jalan Datar Kecepatan 40 km/jam

Untuk pengukuran dengan jalan menikung di mana kecepatan tetap dijaga konstan 40 km/jam hasil pengukuran ditunjukkan pada grafik di bawah ini:



Gambar 4.21 Grafik Pengukuran *Roundness* Dinamis Roda Belakang Jalan Menikung Kecepatan 40 km/jam

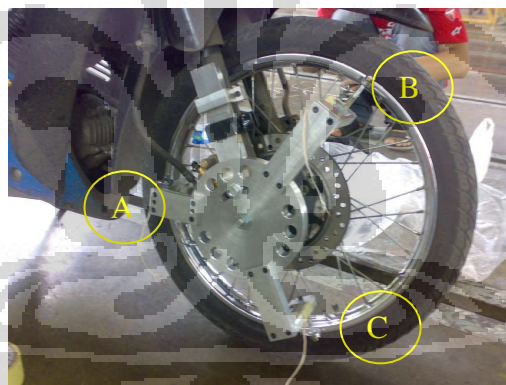
Di antara semua kondisi pengukuran *roundness* roda belakang maka keadaan menikung dengan kecepatan 40 km/jam adalah keadaan yang menghasilkan *run-out* terbesar. Hal ini diakibatkan adanya *camber angle* yang menekan base material dan sepeda motor melaju dengan kecepatan yang lebih tinggi yaitu 40 km/jam. Defleksi maksimum pada *base material* D adalah 0.11 mm, 0.92 mm pada *base material* E, 2.33 mm pada *base material* F, dan 1.46 mm pada *base material* G.



Gambar 4.22 Grafik Defleksi vs Waktu Pengukuran *Roundness* Roda Belakang Jalan Menikung Kecepatan 40 km/jam

4.3 Pengukuran *Roundness* Roda Depan

Pengukuran roda depan dilakukan dalam tiga tahap, pertama dengan motor dijalankan dengan kecepatan 20 km/jam, kedua motor dijalankan dengan kecepatan 40 km/jam, dan ketiga motor dilewatkan pada hambatan berupa tanggul-tanggul.



Gambar 4.23 Alat Ukur Roda Depan Terpasang pada Sepeda Motor

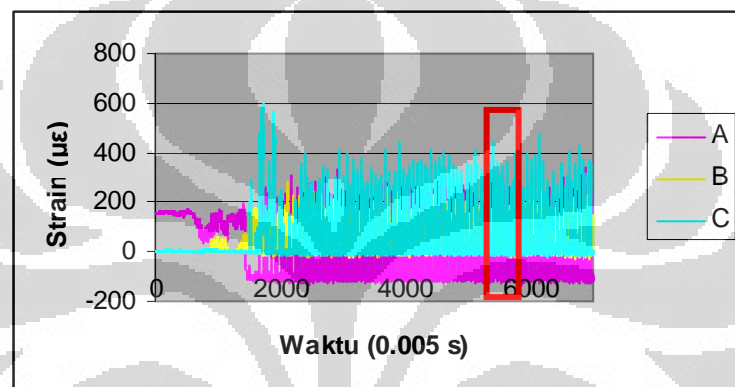
4.3.1 Pengukuran *Roundness* Dinamis Roda Depan Kecepatan 20 km/jam

Pengukuran Dinamis Roda Depan Pada kecepatan 20 km/jam dilakukan dengan cara menjalankan sepeda motor dengan kecepatan konstan 20 km/jam. Pengukuran dinamis ini bertujuan mengukur kebundaran roda dalam keadaan dinamis dan pengaruh perubahan kecepatan terhadap defleksi yang terjadi pada base material.

Track yang dilalui sepeda motor dalam pengambilan data adalah sebagai berikut:

- jalan datar lurus sepanjang 30 meter
- jalan menurun dengan sudut elevasi 30° dengan panjang 10 meter
- jalan datar menikung sepanjang 20 meter

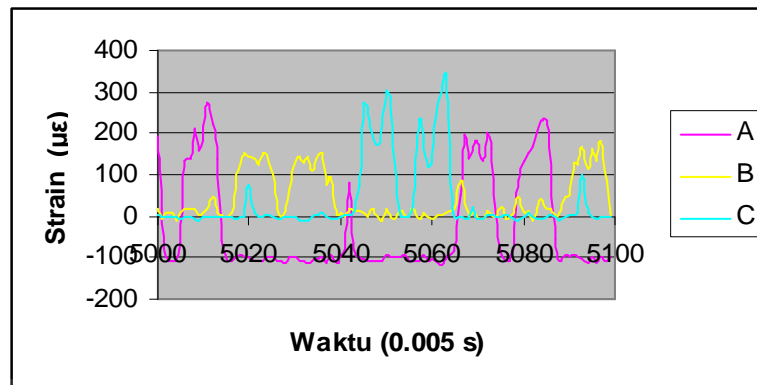
Pengambilan data dilakukan dengan keadaan diam, mesin dinyalakan, melaju hingga mencapai kecepatan konstan 20 km/jam, jalan menurun dengan pengereman untuk menjaga kecepatan konstan 20 km/jam, kemudian jalan menikung. Hasil data ditampilkan dalam grafik berikut:



Gambar 4.24 Grafik Pengukuran *Roundness* Dinamis Roda Depan Kecepatan 20 km/jam

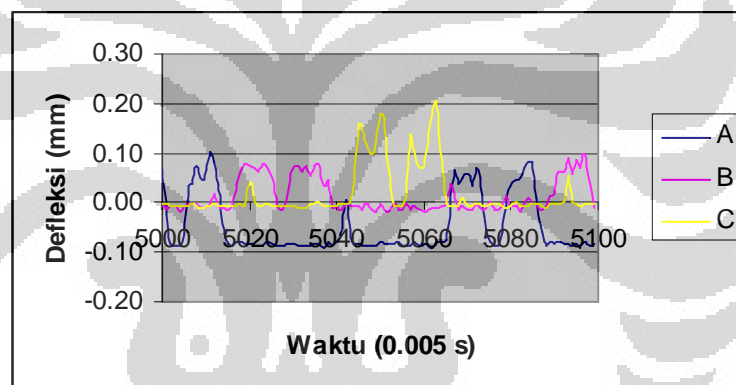
Dalam grafik tidak ada perubahan yang signifikan antara keadaan jalan datar, menurun maupun menikung dengan kecepatan konstan 20 km/jam. Hal ini disebabkan konstruksi *shock* depan yang bersifat lebih kokoh di bandingkan konstruksi roda belakang dengan *swing arm* dan *shock* yang relatif dapat berubah-ubah pada tiap komponennya saat menerima *load* tertentu.

Karena hasil pengukuran sama di setiap kondisi maka cukup satu siklus untuk mewakili semua *track* jalan.



Gambar 4.25 Grafik Pengukuran *Roundness* Dinamis Roda Depan Kecepatan 20 km/jam satu siklus

Terlihat jelas karakteristik kurva base material A, B dan C sama. Hal ini karena pada alat ukur roda depan semua *base material* mengukur objek yang sama. Defleksi hasil pengukuran ditampilkan pada grafik di bawah ini.



Gambar 4.26 Grafik Defleksi vs Waktu Pengukuran *Roundness* Roda Depan Kecepatan 20 km/jam

Defleksi yang dihasilkan relatif sangat kecil. Nilai maksimal defleksi untuk *base material* A, B, dan C berturut-turut adalah 0,1 mm, 0,09 mm, 0.2 mm.

4.3.2 Pengukuran *Roundness* Dinamis Roda Depan Kecepatan 40 km/jam

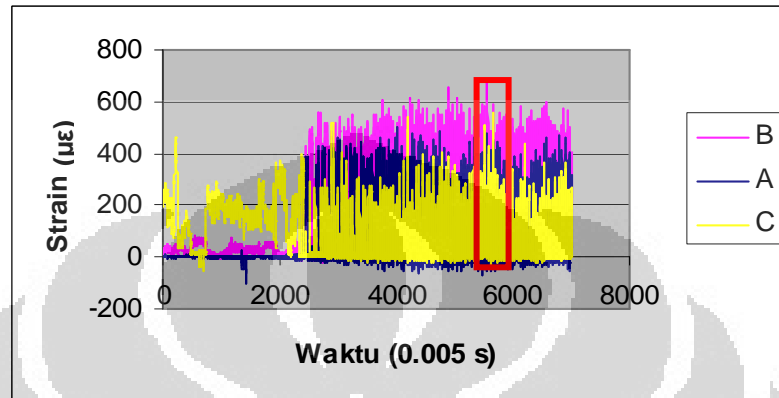
Pengukuran Dinamis Roda Depan Pada kecepatan 40 km/jam dilakukan dengan cara menjalankan motor dengan kecepatan konstan 40 km/jam.

Track yang dilalui sepeda motor dalam pengambilan data adalah sebagai berikut:

- a) jalan datar lurus sepanjang 30 meter
- b) jalan menurun dengan sudut elevasi 30° dengan panjang 10 meter

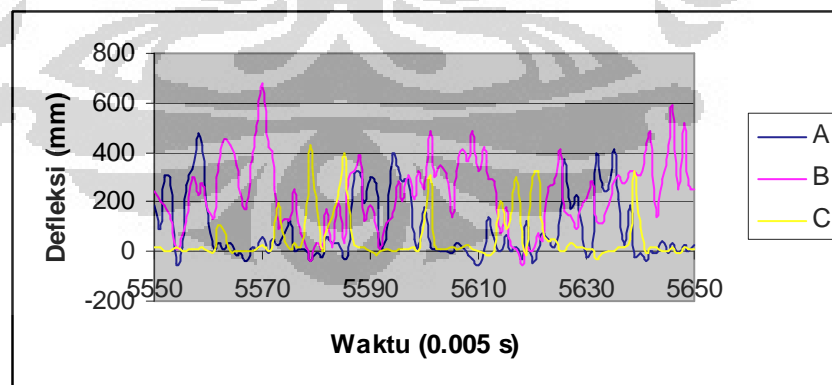
c) jalan datar menikung sepanjang 20 meter

Pengambilan data dilakukan dengan keadaan diam, mesin dinyalakan, melaju hingga mencapai kecepatan konstan 40 km/jam, jalan menurun dengan pengereman kemudian jalan konstan kembali dengan jalan menikung. Hasil data ditampilkan dalam grafik berikut:



Gambar 4.27 Grafik Pengukuran *Roundness* Dinamis Roda Depan Kecepatan 40 km/jam

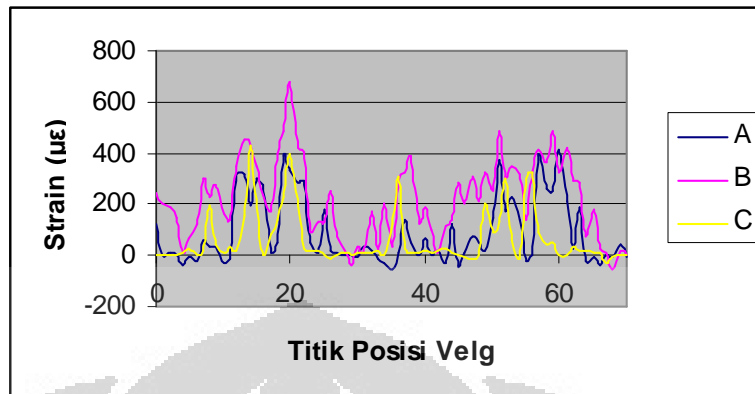
Seperti halnya pada pengukuran dengan kecepatan 20 km/jam, pada pengukuran dengan kecepatan 40 km/jam pun tidak terjadi perbedaan antara kondisi jalan lurus datar, menurun, maupun menikung. Oleh sebab itu analisa cukup dilakukan pada satu siklus.



Gambar 4.28 Grafik Pengukuran *Roundness* Dinamis Roda Depan Kecepatan 40 km/jam satu siklus

Belum terlihat kesamaan kurva A, B, dan C. Dengan menumpuk kurva sesuai dengan posisi titik yang diukur akan terlihat karakteristik kesamaan kurva.

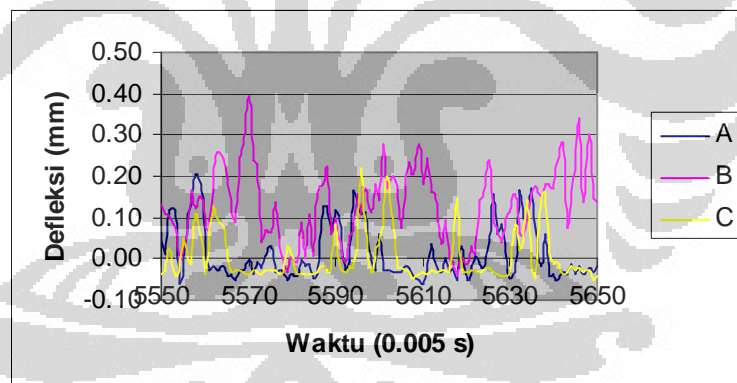
Berikut ini adalah grafik setelah disesuaikan berdasarkan posisi titik yang diukur pada velg:



Gambar 4.29 Grafik Defleksi vs Titik Posisi Pengukuran *Roundness* Roda Belakang Depan Kecepatan 40 km/jam

Setelah dilakukan penggeseran kurva sesuai dengan posisi titik velg yang diukur maka didapatkan karakteristik kurva yang sama.

Defleksi yang terjadi pada tiap base material ditunjukkan pada grafik di bawah ini:



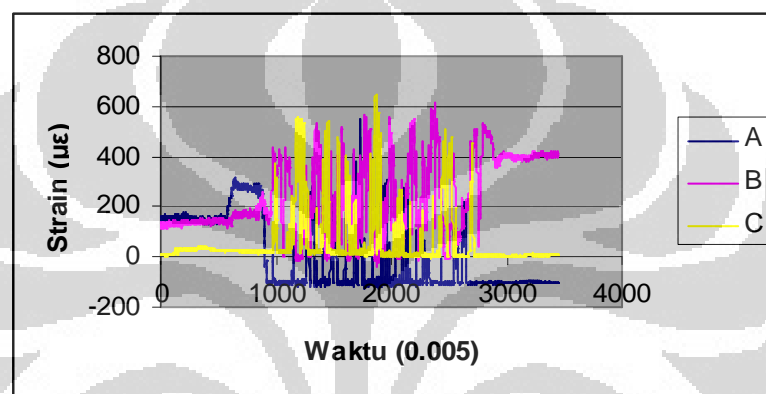
Gambar 4.30 Grafik Defleksi vs Waktu Pengukuran *Roundness* Roda Depan Kecepatan 40 km/jam

Defleksi yang dihasilkan relatif lebih besar dibandingkan pengukuran pada kecepatan 20 km/jam. Nilai maksimal defleksi untuk base material A, B, dan C berturut-turut adalah 0,2 mm, 0,12 mm, 0,22 mm.

4.3.3 Pengukuran *Roundness* Dinamis Roda Depan Melalui Hambatan

Pengukuran *roundness* dinamis roda depan melalui hambatan dilakukan dengan cara menjalankan sepeda motor melalui track berupa susunan tanggul (3 polisi tidur) dengan jarak antara polisi tidur 20 cm.

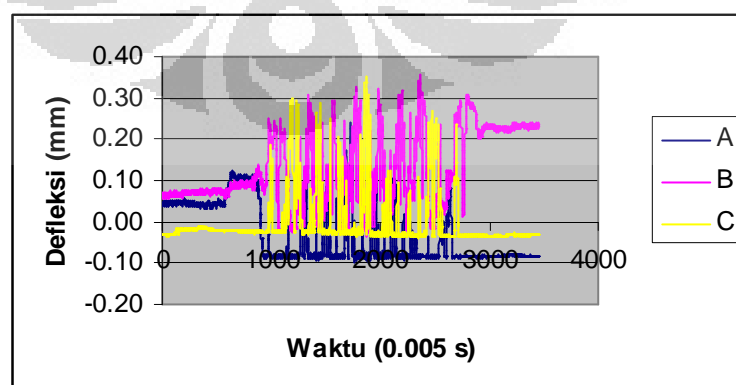
Tujuan pengukuran ini adalah untuk menguji dua hal, pertama kehandalan alat ukur dan kedua pengaruh *impact load* pada *roundness*. Pengukuran ini juga dapat dijadikan suatu paramater seberapa tidak nyaman sebuah sepeda motor saat melalui hambatan seperti tanggul (polisi tidur). Hasil data ditampilkan dalam grafik berikut:



Gambar 4.31 Grafik Pengukuran *Roundness* Dinamis Roda Depan Melalui Hambatan

Terlihat tiga puncak dengan nilai strain yang tinggi, hal ini menggambarkan jumlah polisi tidur yang dilalui yaitu sebanyak tiga polisi tidur.

Defleksi yang terjadi pada tiap base material ditunjukkan pada garfik di bawah ini:



Gambar 4.32 Grafik Defleksi vs Waktu Pengukuran *Roundness* Roda Depan Melalui Hambatan

Defleksi yang dihasilkan relatif lebih besar dibandingkan pengukuran pada kecepatan 20 km/jam. Nilai maksimal defleksi untuk base material A, B, dan C berturut-turut adalah 0,24 mm, 0,36 mm, dan 0,35 mm.

Pengujian ini menunjukkan bahwa alat ukur memiliki kehandalan karena setelah melewati hambatan berupa susunan polisi tidur, base material kembali pada posisi awalnya kecuali pada base material B. Pengujian ini juga menunjukkan bahwa tanggul mengurangi kenyamanan dalam berkendara menggunakan sepeda motor tipe ini karena *ron-out* hasil pengukuran menjadi lebih besar dibandingkan pengukuran dinamis pada kecepatan 20 km/jam atau 40 km/jam. Atau dengan kata lain faktor dinamik yang berupa beban kejut (*impact load*) memiliki pengaruh cukup besar.

4.4 Pengukuran *Wheel Alignment*

Pengukuran *Wheel alignment* ini bertujuan untuk mengetahui kelurusan antara roda depan dan roda belakang. Ketidak lurusan ini diakibatkan oleh pemasangan poros roda belakang yang tidak benar. Sebelum dilakukan pengukuran maka perlu dilakukan kalibrasi terlebih dahulu.

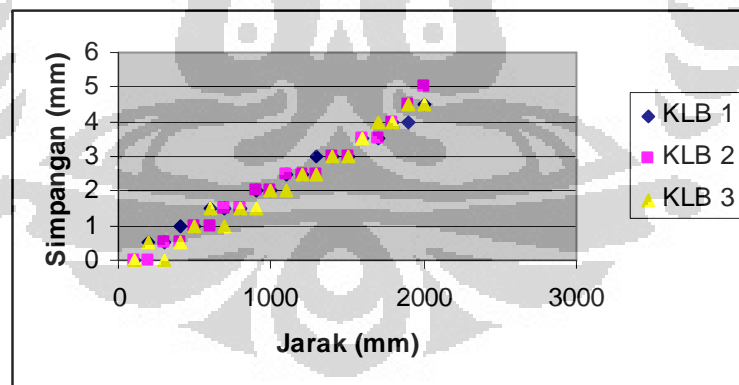
4.4.1 Kalibrasi Alat Ukur *Wheel Alignment*

Kalibrasi dilakukan dengan cara menembakan laser ke target dengan jarak tertentu, kemudian jaraknya semakin ditambah dengan nilai tertentu hingga melebihi jarak pengukuran sebenarnya yaitu sepanjang wheel base sepeda motor 1242 mm. Pengambilan data kalibrasi dilakukan sebanyak 3 kali untuk memperkecil error. Hasil pengambilan data untuk kalibrasi ditunjukkan pada Tabel 4.13. Dengan konstruksi batang dengan panjang yang telah ditentukan, maka titik jatuh sinar laser akan jatuh pada jarak 22 mm dari tepi luar target. Nilai ini berlaku untuk sinar laser jika hanya jika laser 100% lurus. Atau dengan kata lain belum diberi nilai tambahan hasil kalibrasi.

Tabel 4.13 Kalibrasi Alat Ukur *Wheel alignment*

Jarak (mm)	Simpangan (mm)		
	1	2	3
100	0	0	0
200	0.5	0	0.5
300	0.5	0.5	0
400	1	0.5	0.5
500	1	1	1
600	1.5	1	1.5
700	1.5	1.5	1
800	1.5	1.5	1.5
900	2	2	1.5
1000	2	2	2
1100	2.5	2.5	2
1200	2.5	2.5	2.5
1300	3	2.5	2.5
1400	3	3	3
1500	3	3	3
1600	3.5	3.5	3.5
1700	3.5	3.5	4
1800	4	4	4
1900	4	4.5	4.5
2000	4.5	5	4.5

Untuk mendapatkan fungsi kalibrasi maka perlu diplot ke dalam sebuah grafik seperti pada Gambar 4.33

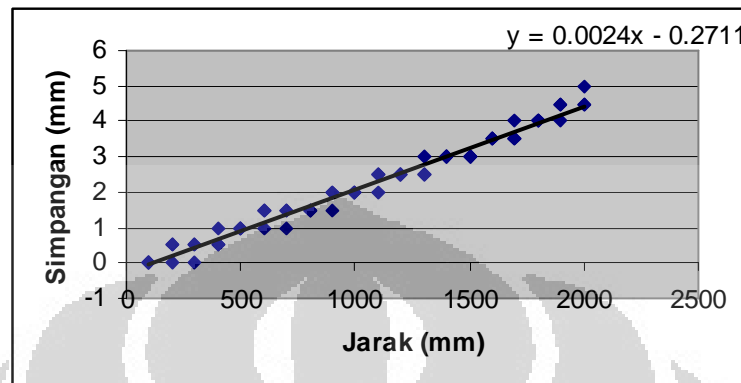
**Gambar 4.33 Kalibrasi *Wheel Alignment***

Untuk mendapatkan nilai konversi keseluruhan dari kalibrasi 1, 2, dan 3, maka distribusi dari semua kalibrasi digabungkan dan dengan regresi linear dihasilkan trend line dengan fungsi $y=0.0024x-0.2711$. Dengan panjang wheel base yang tetap maka setiap nilai yang terbaca pada target laser ditambah dengan nilai $y + 22$ mm.

$$y = 0.0024 \times 1242 - 0.2711$$

$$= 2.7097$$

Sehingga nilai kalibrasi menjadi $y = x - 2.7097$ dimana nilai y menyatakan *run-out*



Gambar 4.34 Kalibrasi *Wheel Alignment* Seluruh Pengujian

4.4.2 Pengukuran *Wheel Alignment*

Untuk menjamin keadaan roda lurus, maka perlu dilakukan *set-up* alat terlebih dahulu. Alat bantu yang diperlukan dalam pengukuran *wheel alignment* adalah sebuah jalur lurus yang berbentuk rel yang memiliki kelurusan yang tinggi. Gambar 4.33 di bawah ini menunjukkan *set-up* alat pada pengukuran *wheel alignment*.



Gambar 4.35 *Set-up* Sepeda Motor Untuk Pengukuran *Wheel Alignment*

Pengukuran dilakukan sebanyak dua kali guna memperbanyak sampel untuk dianalisa. Pengukuran pertama dilakukan dengan menjadikan satu titik velg roda depan sebagai acuan kelurusan roda belakang. Pengukuran kedua

menggunakan titik velg acuan roda depan setelah diputar 180°. Tabel 4.14 dibawah ini adalah data hasil pengukuran *wheel alignment*.

Tabel 4.14 Pengukuran *Wheel alignment*

Sampel	Uji 1 (mm)	Uji 2 (mm)	run-out 1 (mm)	run-out 2 (mm)
1	25.5	26	0.79	1.29
2	25	25	0.29	0.29
3	26	24.5	1.29	-0.21
4	26	25	1.29	0.29
5	27	25	2.29	0.29
6	26.5	25.5	1.79	0.79
7	25.5	26	0.79	1.29
8	25.5	26.5	0.79	1.79
9	25	27	0.29	2.29
10	25.5	27	0.79	2.29
11	25	27	0.29	2.29
12	26	26	1.29	1.29
13	25	26.5	0.29	1.79
14	26	26	1.29	1.29
15	26	25.5	1.29	0.79
16	26	25.5	1.29	0.79
17	26	26	1.29	1.29
18	25	26	0.29	1.29
19	25	27	0.29	2.29
20	25.5	26	0.79	1.29

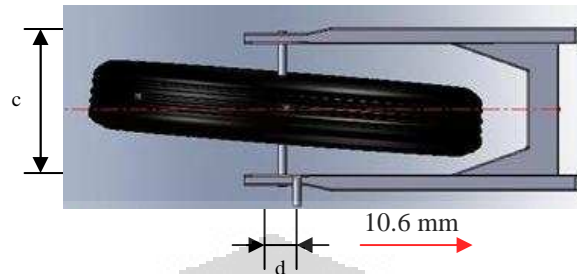
Uji 1 dan uji 2 adalah jarak jatuhnya sinar laser pada target saat pengukuran. Run-out 1 dan run-out 2 merupakan nilai penyimpangan sesungguhnya setelah nilai uji disubstitusikan ke dalam fungsi kalibrasi. Run-out yang terjadi cukup besar dengan nilai rata-rata (mean) 1,09 mm, melebihi standar dari Honda sebesar 0,5 mm. Hal ini di sebabkan pemasangan poros roda belakang yang tidak tepat. Adapun kesalahan pemasangan poros adalah:

$$\begin{aligned}\tan \theta &= \frac{a}{r} \\ \theta &= \tan^{-1} \frac{a}{r} \\ &= \tan^{-1} \frac{1.09}{21.59} \\ &= 2.89^{\circ}\end{aligned}$$

Keterangan:

b : run-out

r : jari-jari velg



Gambar 4.36 Adjustmen Pemasangan Poros

$$\begin{aligned} d &= c \cdot \tan \theta \\ &= 210 \tan 2.89 \\ &= 10.6 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka pemasangan poros yang ditunjukkan oleh notasi d harus digeser sebesar 10.6 mm ke arah kanan.

BAB 5 ANALISA

5.1 Analisa Pengukuran *Roundness*

Tabel 5.1 dan 5.2 adalah rangkuman dari keseluruhan hasil pengukuran.

Tabel 5.1 Defleksi Hasil Pengukuran *Roundness* Roda Belakang

Defleksi Base material (mm)		D		E		F		G	
		Modus	Mean	Modus	Mean	Modus	Mean	Modus	Mean
Statis		0.13	0.026	0.3	0.015	0.22	0.033	0.11	0.042
Dinamis 20	Datar	0.05	0.040	0.32	0.017	0.02	0.003	0.08	0.037
	Menurun	0.06	0.042	0.43	0.020	0.36	0.018	0.09	0.029
	Menikung	0.08	0.040	0.33	0.016	0.6	0.048	0.46	0.024
Dinamis 40	Datar	0.06	0.038	0.37	0.019	0.54	0.064	0.53	0.029
	Menurun	0.06	0.037	0.46	0.022	0.93	0.085	0.6	0.033
	Menikung	0.11	0.039	0.92	0.055	2.33	0.387	1.46	0.142

Tabel 5.2 Defleksi Hasil Pengukuran *Roundness* Roda Depan

Defleksi Base material (mm)	A		B		C	
	Modus	Mean	Modus	Mean	Modus	Mean
Dinamis 20	0.1	0.016	0.09	0.013	0.2	0.018
Dinamis 40	0.2	0.017	0.12	0.013	0.22	0.018
Hambatan	0.24	0.015	0.36	0.131	0.35	0.102

Kalibrasi pada alat ukur depan menghasilkan fungsi yang didapat dengan metode regresi linear dari distribusi data di tiap pengujian. Pengujian di tiap *base material* dilakukan sesuai dengan prosedur standar kalibrasi strain gauges, tiga kali ke arah positif dan satu kali ke arah negatif. Fungsi kalibrasi untuk *base material* A adalah $y = 0.0005x - 0.0324$ dengan *repeatability* sebesar 83%, untuk *base material* B adalah $y = 0.0006x - 0.0128$ dengan *repeatability* sebesar 80,45%, dan untuk *base material* C adalah $y = 0.0006x - 0.0364$ dengan *repeatability* sebesar 83,45%. *Repeatability* berkisar pada nilai 83%, nilai yang cukup baik walaupun masih jauh dari 100%. Hal ini bukan berarti bahwa alat ukur tidak baik melainkan alat ukur akan lebih efektif jika digunakan hanya untuk mengukur nilai positif (satu arah gaya) saja.

Kalibrasi alat ukur roda belakang dilakukan dengan metode yang sama dan menghasilkan fungsi defleksi untuk *base material* D adalah $y=0.0009x-$

0.0425, untuk *base material* E adalah $y=0.0008x-0.0267$, untuk *base material* F adalah $y=0.0009x+0.0014$, dan untuk *base material* G adalah $y=0.0009x-0.0427$. Pengujian untuk memperoleh *repeatability* pada alat ukur roda belakang, tidak dilakukan pada tiap *base material* seperti pada alat ukur roda depan. Pengujian *repeatability* dilakukan sekaligus pada keempat *base material*. Nilai yang di dapat adalah 92%. Menyatakan bahwa alat ini bekerja dengan baik secara keseluruhan.

Jika dibandingkan hasil kalibrasi alat ukur depan dan belakang maka terlihat bahwa alat ukur belakang lebih mampu menghasilkan defleksi yang lebih besar dengan *strain* yang sama pada rangkaian *strain gauges*. Hal ini disebabkan karena adanya perbedaan konstruksi, dalam hal ini adalah ukuran panjang *base materia*.. Alat ukur roda belakang mempunyai panjang *base material* 50mm sedangkan alat ukur roda depan mempunyai panjang *base material* 40mm.

Dari pengukuran statis didapatkan nilai tertinggi (modus) dari *base material* D sebesar 0,125 mm, pada *base material* E sebesar 0,301 mm, *base material* F sebesar 0,223 mm, dan pada *base material* G sebesar 0,106 mm. Banyak teori yang menyatakan bahwa pengukuran statis cukup untuk mewakili keadaan kerja benda sesungguhnya. Namun pada pengukuran kali ini Penulis ingin mengetahui keadaan sesungguhnya dengan cara melakukan pengukuran dinamis. Pengukuran dinamis ini sekaligus bertujuan untuk mengetahui seberapa besar faktor-faktor yang menyebabkan hasil pengukuran dinamis berbeda dengan pengukuran statis. Penulis menyebut faktor-faktor tersebut sebagai faktor dinamis. Faktor dinamis dapat berupa getaran, beban, beban *impact*, beban *cyclic*, dan faktor pengaruh lainnya.

Pengukuran dilakukan pada tiga kondisi jalan:

- d) jalan datar lurus sepanjang 30 meter
- e) jalan menurun dengan sudut elevasi 30° dengan panjang 10 meter
- f) jalan datar menikung sepanjang 20 meter

Hasil pengukuran dinamis yg dilakukan dengan kecepatan 20 km/jam jalan datar lurus untuk *base material* D sebesar 0,05 mm, pada *base material* E sebesar 0,32 mm, *base material* F sebesar 0,02 mm, dan pada *base material* G sebesar 0,08 mm. Pada *base material* D, F dan G nilai *strain* dan defleksi yang dihasilkan lebih kecil daripada pada pengukuran statis padahal seharusnya nilai yang

dihasilkan menjadi lebih besar akibat faktor dinamis. Hal ini mungkin disebabkan terjadi kesalahan pada saat set-up alat sebelum pengukuran dinamis dimana pengesetan nol pada *strain guages* dilakukan saat *base material* sudah dalam keadaan terdefleksi akibat pengukuran dari statis hingga dinamis dilakukan secara kontinu.

Hasil pengukuran dinamis yg dilakukan dengan kecepatan 20 km/jam jalan menurun untuk *base material* D sebesar 0,06 mm, pada *base material* E sebesar 0,43 mm, *base material* F sebesar 0,36 mm, dan pada *base material* G sebesar 0,09 mm. Dan untuk pengukuran dinamis yg dilakukan dengan kecepatan 20 km/jam jalan menikung didapatkan deflesksi untuk *base material* D sebesar 0,08 mm, pada *base material* E sebesar 0,33 mm, *base material* F sebesar 0,6 mm, dan pada *base material* G sebesar 0,46 mm.

Penambahan kecepatan juga dilakukan pada pengukuran dengan kondisi jalan yg berbeda-beda guna mengetahui sebanyak-banyaknya fenomena-fenomena yang terjadi dalam pengukuran dinamis. Dengan penambahan kecepatan menjadi 40 km/jam defleksi yg terjadi semakin besar. Hal ini menandakan faktor dinamis semakin besar pengaruhnya terhadap pengukuran. Hal ini juga dapat dijadikan parameter kenyamanan dalam menggunakan sepeda motor. Kondisi paling ekstrim terjadi pada saat jalan menikung dan kecepatan pengukuran tertinggi 40 km/jam. Defleksi maksimum pada *base material* D adalah 0.11 mm, 0.92 mm pada *base material* E, 2.33 mm pada *base material* F, dan 1.46 mm pada *base material* G. Dengan konstruksi *swing arm* dan *shock* pada sepeda motor yang demikian, maka sangat mungkin terjadi *camber angle* yang mengakibatkan *base material* yang berada pada sumbu vertikal mengalami gaya yang sangat besar.

Pengukuran roundness alat ukur roda depan memiliki tujuan yang agak berbeda di mana selain mengukur roundness secara dinamis pengujian ini juga menguji kehandalan alat dengan cara melakukan pengukuran dengan kondisi melalui hambatan. *Strain* yang dihasilkan pada kondisi jalan lurus datar, menurun maupun menikung dengan kecepatan sama 20 km/jam relatif tidak menunjukkan perbedaan. Nilai maksimal defleksi yang dihasilkan untuk *base material* A, B, dan C berturut-turut adalah 0,1 mm, 0,09 mm, 0.2 mm. Nilai ini adalah nilai yang kecil yang menandakan kondisi roda depan memenuhi standar dari spesifikasi Honda.

Pada *base material* B nilai yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan *base material* A dan C. Fenomena ini berkaitan dengan *rigidity*. Pada konstruksi alat ukur depan, lengan *base material* B memiliki ukuran paling panjang yang dapat menghasilkan deformasi pada lengan lebih besar dibandingkan lengan A dan C. Konstrain yang seluruhnya di terima oleh baut juga menyebabkan lengan alat ukur ikut terdorong, hal ini tentunya membuat pengukuran menjadi tidak baik.

Faktor dinamis pada pengukuran roda depan tidak terlalu besar. Hanya penambahan kecepatan saja yang berpengaruh, sedangkan keadaan jalan menurun dan menikung tidak memiliki pengaruh yang cukup berarti. Hal ini terjadi karena konstruksi dari *shock* roda depan yang lebih stabil dan kokoh.

Pengukuran melalui hambatan menunjukkan dua pengujian, kehandalan alat ukur dan *roundness* dinamis yang mempengaruhi pengendara. Kehandalan alat cukup baik karena *base material* dapat kembali ke posisi awal setelah melewati hambatan. Kenyaman berkendara sangat berkurang saat melewati hambatan berupa tanggul-tanggul karena defleksi yang dihasilkan pada pengukuran ini relatif jauh lebih besar dari pada pengukuran dinamis tanpa hambatan. Nilai maksimal defleksi untuk *base material* A, B, dan C berturut-turut adalah 0,24 mm, 0,36 mm, dan 0,35 mm. Perubahan *roundness* di sini bukan lantas velg mengalami deformasi karena melalui hambatan, melainkan hambatan tersebut mengganggu kinerja alat ukur, jika dianalogikan alat ukur sebagai pengendara, maka gangguan sebesar itulah yang akan diterima pengendara.

5.2 Analisa Pengukuran *Wheel alignment*

Wheel alignment adalah sebuah konsep baru dalam dunia otomotif sepeda motor, blum banyak alat penunjang untuk desain maupun kalibrasi alat ini. Seperti halnya kalibrasi yang tidak memadai dan *laser digital receiver* yang tidak terjangkau memaksa pengukuran dilakukan secara manual. Hasil yang didapat pada desain alat belum dapat disimpulkan sebagai ketidak lurusan antara roda depan dan roda belakang. Hal ini disebabkan karena objek pengukuran adalah velg di mana velg itu sendiri memiliki nilai ketidakbundaran. Namun kecenderungan alat ini menyatakan bahwa nilai yang didapat saat pengukuran adalah menyatakan ketidaklurusan roda depan dan belakang karena bersifat homogen di semua sample, berbeda dengan roundness yang menyatakan ketidakbundarannya hanya pada parsial bagian yang mengalami kerusakan (ketidakbundaran) velg. Didapat *run-out* 1.09 mm dan sudut run out $2,89^\circ$ akibat ketidak lurusan roda depan dan belakang yang disebabkan pemasangan poros roda belakang. Untuk memperbaiki run-out ini perlu dilakukan *adjustment* (penggeseran) pemasangan poros sebesar 10.6 mm.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Pada pengukuran roda belakang kita dapat simpulkan bahwa terjadi perubahan hasil defleksi pada pengukuran statis dan dinamis karena adanya faktor dinamis. Faktor dinamis ini meliputi getaran, penambahan kecepatan, penambahan gaya atau beban, beban *impact*, dan beban *cyclic*. Faktor penambahan kecepatan dan *camber angle* akibat jalan menikung menjadi faktor dinamis yang memiliki pengaruh paling besar dalam pengukuran dinamis *roundness* hingga angka defleksi mencapai 2,22 mm. *Rigidity* (kekakuan) dari alat ukur juga berpengaruh pada hasil pengukuran seperti pada base material B yang menyebabkan strain terukur lebih kecil dari seharusnya karena lengan B juga ikut terdefleksi.

Dengan konstruksi *shock* dan pemasangan poros roda depan membuat jalan keadaan menurun, pengereman dan jalan menikung tidak memiliki pengaruh yang besar dalam pengukuran. Faktor dinamis yang berpengaruh hanya penambahan kecepatan. Penambahan kecepatan ini lebih mengakibatkan getaran yang dihasilkan lebih besar.

Dari pengukuran run-out ini bisa dijadikan parameter kenyamanan pengendara dalam menggunakan sepeda motor. Berdasarkan pengukuran *wheel alignment* dapat disimpulkan bahwa pemasangan poros tidak sempurna karena *run-out* mencapai 1,09 mm dan perlu dilakukan *adjustment* pada pemasangan poros sebesar 10,6 mm.

6.2 Saran

Berikut ini adalah saran-saran pengembangan untuk penelitian selanjutnya. Alat ukur ini bekerja dalam keadaan dinamis, untuk itu perlu diperhatikan beberapa hal berikut:

1. Kekuatan dan geometri base material dihitung untuk memperoleh defleksi lebih besar mengingat pengukuran dilakukan pada sepeda motor yang tidak baru dan pengukuran dilakukan dengan penambahan beban dan beberapa kondisi pengukuran yang ekstrim.
2. *Rigidity* (kekakuan) alat ukur baik tiap komponen maupun *assembly* secara keseluruhan harus diperhitungkan. Usahakan agar lengan-lengan alat ukur sekaku mungkin, jika terjadi deformasi akibat ketidakkakuan maka perlu diperhitungkan pada saat kalibrasi.
3. Kekuatan cekam (klem) dari alat ukur pada pegangannya.
4. Pemilihan pegangan pada sepeda motor yang kuat dan tidak menyebabkan *error* pada pengukuran, karena bisa saja terjadi *error* dari alat ukur akibat shock absorber tempat pemasangan alat ukur sudah mengalami kerusakan.
5. Metode dan pelaksanaan pengukuran perlu dikembangkan agar dapat meminimalkan semua gangguan baik yang diakibatkan oleh kondisi pengukuran (kondisi jalan, getaran mesin, cara mengemudi, dan kerusakan pada sepeda motor) atau pun akibat *error* dari alat ukur itu sendiri.

DAFTAR ACUAN

Alciatore, David G., dan Hystand, Michael B. *Introduction to Mechatronics and Measurement Systems*. New York: Mc. Graw Hill.

Dieter, George E. *Engineering Design, A material and Processing Approach*. New York: Mc Graw Hill.

Hamrock, Bernard J. Steven R. Schmid, Bo O Jacobson. [*Fundamentals of Machine Elements*](#). New York: Mc Graw Hill.

Harinaldi. (2005). *Prinsip-prinsip Statistik untuk Teknik dan Sains*, Jakarta: Erlangga

Pacejka, H.B., *Tyre and Vehicle Dynamics*, Oxford: Butterworth Heinemann

Robinson, John. (1994). *Motorcycle Tuning Chassis*, 2nd Edition, Oxford: Butterworth Heinemann.

Rochim, Taufiq. (2001). *Spesifikasi, Metrologi, & Geometrik*, Bandung: ITB.

Schey, John A., *Introduction to Manufacturing Processes*. New York: Mc Graw Hill.

Wong, J.Y. *Theory of Ground Vehicles*, 3rd Edition

KYOWA Electronic Instruments Co.,LTD. *How Strain Gage Works*.

KYOWA Electronic Instruments Co.,LTD. *What's a Strain Gage, Introduction to Strain Gage*.

triatmo.wordpress.com

www.advantagewheelalignment.com

www.astra-honda.com

www.burningart.com

www.dunlopmotorcycle.com

www.freepatentsonline.com

www.goodgarage.com

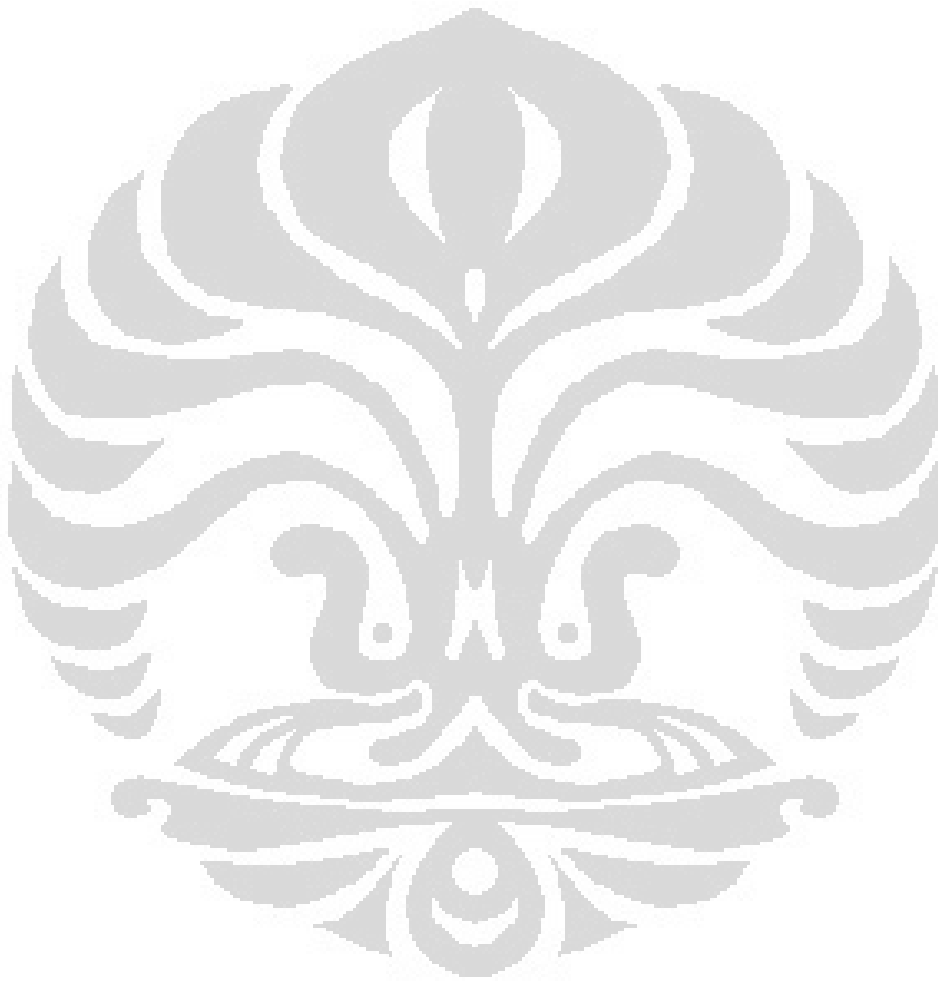
www.saft7.com

www.scudc.scu.edu

www.s-sl.co.jp

www.tonyfoale.com

www.2carpros.com



Universitas Indonesia