



UNIVERSITAS INDONESIA

**DIGITALISASI PEMBACAAN METER MEKANIK
DENGAN BANTUAN KAMERA USB DAN
PENGOLAH CITRA BERBASIS LABVIEW**

TESIS

**Nama : Ariyanto
NPM : 0806469275**

**Fakultas MIPA - Fisika,
Program Studi S-2, Fisika Instrumentasi
JAKARTA
Desember, 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**DIGITALISASI PEMBACAAN METER MEKANIK
DENGAN BANTUAN KAMERA USB DAN
PENGOLAH CITRA BERBASIS LABVIEW**

**Tesis ini ditujukan untuk memenuhi salah satu persyaratan
dalam memperoleh gelar master**

**Nama : Ariyanto
NPM : 0806469275**

**Fakultas MIPA - Fisika,
Program Studi S-2, Fisika Instrumentasi
JAKARTA
Desember, 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi/Tesis/Disertasi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.



Nama : Ariyanto
NPM : **0806469275**

Tanda Tangan :
Tanggal : 30 Desember 2010

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Ariyanto
NPM : 0806469275
Program Studi : Magister Fisika
Departemen : Fisika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Jenis karya : Tesis

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul : **Pendekatan Metode Kalibrasi Flowmeter Gas Bertekanan Dan Analisis Perbandingan Dalam Perhitungan Aliran** beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, 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 : 30 Desember 2010
Yang menyatakan

(Ariyanto)

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh :
Nama : Ariyanto
NPM : **0806469275**
Program Studi : S2 Fisika Instrumentasi
Judul Tesis : Digitalisasi Pembacaan Meter Mekanik Dengan
Bantuan Kamera USB dan Pengolah Citra Berbasis
LebView.

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Fisika pada Program Studi Magister Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing :

Dr. Sastra Kusuma Wijaya

(.....)

Tim penguji :

Dr. Yunus Daud

(Ketua)

(.....)

Dr. Tony Mulia

(Anggota)

(.....)

Dr. Santoso Sukirno

(Anggota)

(.....)

Dr. Prawito

(Anggota)

(.....)

Ditetapkan di : Depok

Tanggal :30.. Desember 2010

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah Subhanahu Wata'ala, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Fisika program Magister Fisika kekhususan Instrumentasi pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Indonesia.

Penulis menyadari bahwa banyak kekurangan dalam tesis ini. Terutama pada bab pembahasan (BAB 4) sebenarnya banyak yang bisa dianalisa misalnya : pengaruh pencahayaan, posisi pencahayaan, kecepatan kamera (frame time), resolusi kamera, kestabilan program terhadap kecepatan perubahan citra, kestabilan program terhadap nois dan lain-lain. Penulis hanya menyampaikan beberapa pembahasan yang berhubungan dengan nois dan kestabilan pembacaan dan uji banding.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tesis ini, sejak masa perkuliahan hingga pada penyusunan tesis ini, terutama kepada :

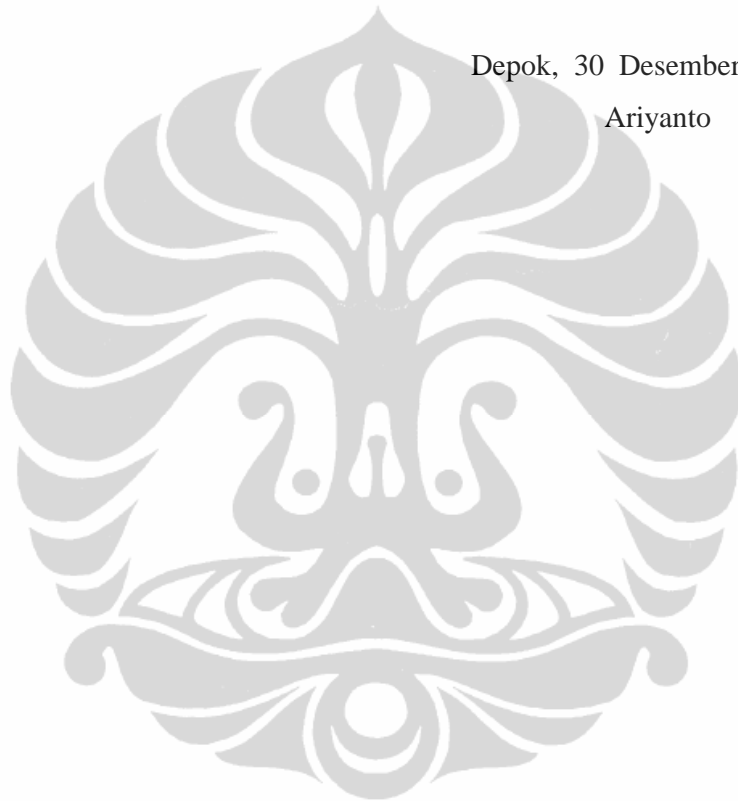
- (1) Dr. Sastra Kusuma Wijaya, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- (2) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi khususnya Balai Termodinamika, Motor dan Propulsi yang telah banyak membantu dalam usaha mendukung dan menguji sistem kalibrasi saya dan memperoleh data yang saya perlukan;
- (3) Keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (4) Sahabat-sahabat yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan karya tulis ini.

Semoga Allah berkenan membalas semua kebaikan mereka. Amiin.

Dalam tesis ini masih banyak yang perlu disempurnakan dan dapat dilanjutkan pada penelitian-penelitian dimasa yang akan datang. Semoga tesis ini bermanfaat dan berguna bagi saya dan semua pembaca.

Depok, 30 Desember 2010

Ariyanto

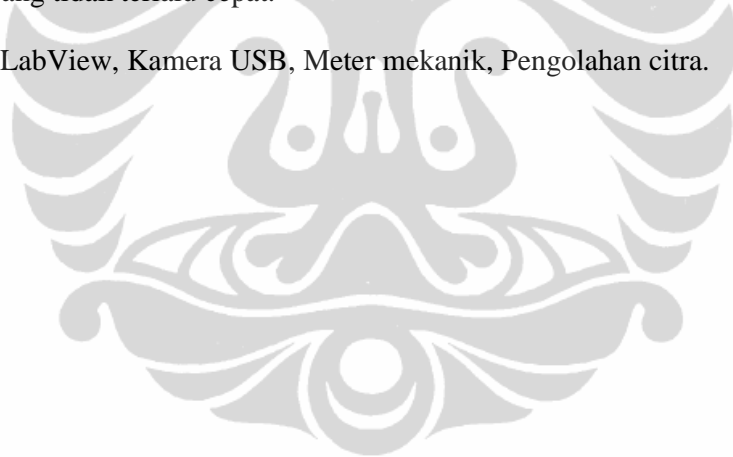


ABSTRAK

Nama : Ariyanto
Program Studi : Fisika Instrumentasi
Judul : Digitalisasi Pembacaan Meter Mekanik Dengan Bantuan Kamera USB dan Pengolah Citra Berbasis LabView.

Pembacaan meter mekanik dilakukan secara manual oleh manusia. Kesalahan pembacaan manual berpengaruh besar pada hasil pembacaan. Kesalahan ini biasanya berupa kesalahan paralaks, terutama untuk pembacaan dinamis pada meter-meter counter atau totalizer. Digitalisasi pembacaan meter mekanik dengan kamera adalah salah satu cara untuk menghilangkan kesalahan akibat pembacaan manual. Labview yang memiliki fasilitas yang memungkinkan untuk melakukan pengolahan citra, sekarang sudah dilengkapi dengan fasilitas-fasilitas baru yang dapat melakukan pengolahan citra dengan kamera USB atau kamera PC. Kamera USB dengan harga yang sangat murah dan tidak memerlukan program yang rumit bisa digunakan untuk keperluan, yang walaupun memiliki kemampuan (resolusi rendah dan kecepatan rendah) tidak seperti yang dimiliki kamera industri, sensing pergerakan yang tidak terlalu cepat.

Kata kunci : LabView, Kamera USB, Meter mekanik, Pengolahan citra.

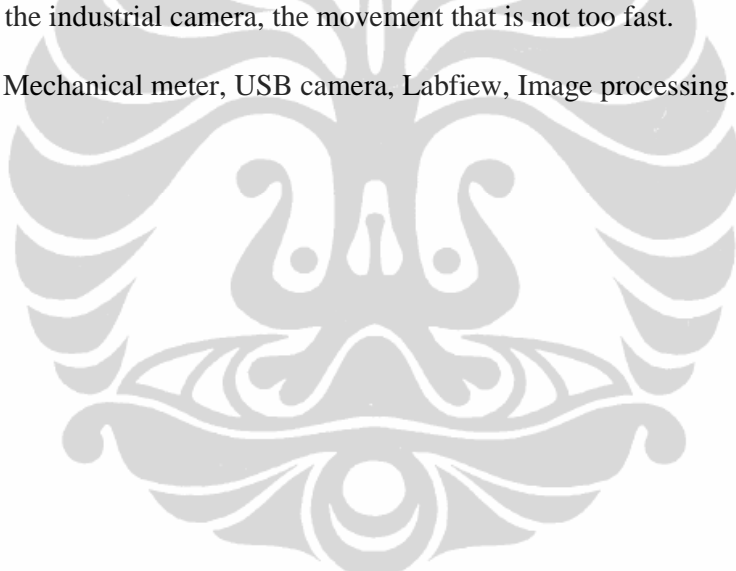


ABSTRACT

Name : Ariyanto
Program of Study : Master of Physics Instrumentation
Title : Digitizing of Mechanical Meter Reading by Means of
USB Camera and LabVIEW Based Image Processing.

Mechanical meter reading is done manually by human. Human error of reading has a big influence on the measurement results. This error is usually a paralax error, especially for dynamic reading of the counter or totalizer meters. LabVIEW that has facilities that allows to perform image processing is now equipped with new facilities that can perform it with a USB or PC camera. USB camera has a very low price and does not require a complex program can be used for sensing purposes, which although the capability (low resolution and low speed) does not like those of the industrial camera, the movement that is not too fast.

Key words : Mechanical meter, USB camera, Labfiew, Image processing.



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Metoda Penelitian dan Rencana Tahapan Penelitian / Kegiatan.....	4
1.7 Dugaan / Hipotesa.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Meter Mekanik.....	6
2.1.1 <i>Dial</i> (Jarum).....	6
2.1.2 Mechanical Counter atau <i>Dial Register</i>	6
2.2 <i>Level Meter</i>	7
2.3 Citra Digital.....	8
2.4 Jumlah <i>Plane</i>	9
2.5 Konversi Analog ke Digital.....	9
2.6 Kamera.....	10
2.7 Software Akusisi Dan Pengolah Data.....	10
2.7.1 LabVIEW.....	10
2.8 Daya Baca dan Resolusi.....	13
BAB 3 PERANCANGAN DAN KERJA ALAT.....	15
3.1 Pembacaan Alat Ukur atau Meter.....	18
3.2 <i>Regions of Interest</i> (ROI) dan Penentuan Titik-Titik Ukur.....	20
3.3 Mengubah Koordinat Pixel Menjadi Koordinat Nyata.....	20
3.4 Pembacaan (Pengukuran).....	20
3.5 Menampilkan dan Menyimpan Hasil.....	20
3.6 Pembacaan atau Pengambilan Data Citra.....	21
3.7 Warna Tunggal (<i>Single Color</i>).....	22
3.8 Pembacaan <i>Glass soap-bubble meter</i> , <i>Rotameter</i> , <i>Level Meter</i> , atau Termometer Cairan Dalam Gelas.....	23
3.9 Pembacaan Alat Ukur Dengan Tampilan <i>Dial</i>	27
3.10 Pembacaan Alat Ukur Dengan Tampilan <i>Dial Register</i>	33
3.11 Akusisi data.....	41

3.12	Resolusi	42
3.13	Tampilan dan Perekaman Data	43
BAB 4 PEMBAHASAN		46
4.1.	Penempatan (<i>Setup</i>) Peralatan.....	46
4.2.	Pembacaan <i>Glass Soap-Bubble Meter</i>	46
4.2.1.	Akurasi Pembacaan Volume pada <i>Glass Soap-Bubble Meter</i>	49
4.2.2.	Uji Banding Pembacaan Laju Aliran pada <i>Glass Soap-Bubble Meter</i>	50
4.3.	Pembacaan tampilan <i>Dial</i> (Jarum).....	53
4.3.1.	Uji kestabilan lintas batas ROI	56
4.3.2.	Akurasi Pembacaan Volume pada WGM dengan Tampilan <i>Dial</i>	57
4.3.3.	Uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan <i>dial</i> (jarum).....	58
4.4.	Pembacaan tampilan <i>Dial Register</i>	60
4.4.1.	Kestabilan akibat <i>noise</i> (jarum yang melintas).....	62
4.4.2.	Uji sensitifitas pembacaan karakter akibat pengaruh kecerahan citra.....	62
4.4.3.	Akurasi Pembacaan Volume pada WGM dengan Tampilan <i>Dial register</i>	64
4.4.4.	Uji banding pembacaan tampilan <i>Dial Register</i>	64
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		66
5.1.	Kesimpulan Khusus.....	66
5.1.1.	Pembacaan penunjukan pada <i>Glass soap-bubble meter</i>	66
5.1.2.	Pembacaan penunjukan pada tampilan <i>Dial</i> (WGM)	66
5.1.3.	Pembacaan penunjukan pada tampilan <i>Dial Register</i> (WGM).....	67
5.2.	Kesimpulan Umum	67
5.3.	Saran.....	67
DAFTAR PUSTAKA		69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Sebuah <i>flowmeter</i> mekanik dengan tampilan <i>dial</i> dan <i>dial register</i>	1
Gambar 2.1	<i>dial register</i>	7
Gambar 2.2	<i>Level Meter</i>	7
Gambar 3.1	Arsitektur NI-IMAQ untuk Kamera USB.	16
Gambar 3.2	Program untuk menggunakan kamera USB	17
Gambar 3.3	Diagram tahapan proses program pembacaan meter	18
Gambar 3.4	Penempatan komputer, kamera USB dan meter	19
Gambar 3.5	Sebuah <i>Stacked Sequence Structure</i> terdiri dari tiga buah <i>frame</i>	21
Gambar 3.6	Program untuk mengolah citra dalam warna tunggal dan <i>threshold</i> untuk memperoleh citra yang kontras antara objek yang diobservasi dan latar belakang.	22
Gambar 3.7	<i>glass soap-bubble meter</i>	23
Gambar 3.8	Program untuk menempatkan bentuk busur sangkar yang menandakan daerah tengah citra dan untuk menentukan ROI rektanguler.	24
Gambar 3.9	Diagram blok <i>IMAQ Rake VI</i>	24
Gambar 3.10	Ilustrasi <i>IMAQ Rake</i>	25
Gambar 3.11	Deteksi batas <i>bubble</i>	26
Gambar 3.12	<i>Dial</i>	27
Gambar 3.13	Sebuah meter dengan tampilan annulus (<i>dial</i> , bentuk busur).	28
Gambar 3.14	Program untuk menggambar ROI annulus sampai dengan 360°, dan untuk memperoleh informasi ROI annulus sebagai input <i>IMAQ Read Meter VI</i>	29
Gambar 3.15	Diagram blok <i>IMAQ Read Meter VI</i>	29
Gambar 3.16	Ilustrasi pembacaan <i>dial</i>	30
Gambar 3.17	Program untuk mendeteksi siklus (lintas batas ROI) dan melakukan reset.	31
Gambar 3.18	Diagram alir deteksi siklus (lintas batas) dan, penambahan atau pengurangan 1 poin.....	32
Gambar 3.19	<i>Dial register</i>	33
Gambar 3.20	<i>IMAQ OCR Read Text 3 VI</i>	34
Gambar 3.21	Lima kondisi posisi karakter.....	35
Gambar 3.22	Diagram alir penentuan lima kondisi deteksi karakter.....	36
Gambar 3.23	Ilustrasi pembacaan karakter oleh <i>IMAQ OCR Read Text VI</i>	37
Gambar 3.24	Ilustrasi pembacaan karakter tanpa skala.	38
Gambar 3.25	Ilustrasi deteksi gerakan maju dan mundur karakter pada pembacaan meter dengan tampilan <i>dial register</i>	39
Gambar 3.26	Program utama untuk pembacaan meter dengan <i>dial register</i>	40
Gambar 3.27	Program untuk menentukan resolusi tampilan digital.....	42

Gambar 3.28	Program untuk menampilkan digit data hasil pembacaan.....	43
Gambar 3.29	Tampilan program pembacaan <i>glass soap-bubble meter</i> pada layar PC.....	44
Gambar 3.30	Program untuk menampilkan tabel dan perekaman data hasil pembacaan.....	45
Gambar 4.1	Garis profile tingkat kecerahan saat pembacaan (penunjukan <i>bubble</i>) pada sebuah <i>glass soap-bubble meter</i>	47
Gambar 4.2	Grafik salah satu data pembacaan volume pada <i>glass soap-bubble meter</i>	48
Gambar 4.3	Citra sebuah <i>dial</i> dengan pencahayaan menggunakan reflektor	54
Gambar 4.4	Penempatan sebuah ROI annulus pada sebuah citra <i>dial</i>	56
Gambar 4.5	Grafik data pembacaan <i>dial</i> yang menunjukkan adanya pengaruh <i>noise</i> atau partikel yang tidak dikehendaki, disekitar nilai 0,32 liter.....	56
Gambar 4.6	Grafik data uji kestabilan lintas batas ROI.....	57
Gambar 4.7	<i>Noise</i> pada citra didaerah sekitar ROI karakter.....	60
Gambar 4.8	Grafik data pembacaan tampilan <i>dial register</i> dengan laju aliran sekitar 5 ml/s, resolusi citra svga. Rentang ukur 0 ~ 250 liter.....	61
Gambar 4.9	Grafik yang sama dengan dari grafik pada Gambar 4.8 untuk rentang ukur 155 ~ 175 liter dengan penyimpangan pada titik 214,158; 171,344.....	61
Gambar 4.10	Grafik hasil pembacaan tampilan <i>dial register</i> dengan kesalahan pembacaan di sekitas nilai 1 dan 6, akibat pergerakan jarum yang melintasi karakter.....	62
Gambar 5.1	Grafik data uji banding pembacaan volume pada WGM dengan tampilan <i>dial</i> pada laju aliran sekitar 1,3 ml/s, resolusi citra vga dan rentang ukur 0 ~ 10 liter	78
Gambar 5.2	Grafik yang sama dengan Gambar 5.1 dengan rentang waktu dari detik 335 ~ 385.....	78
Gambar 5.3	Grafik yang sama dengan Gambar 5.1 dengan rentang waktu dari detik 335 ~ 355.....	79
Gambar 5.4	Grafik salah satu data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan <i>dial</i> dengan laju aliran sekitar 5 ml/s, resolusi citra vga dan rentang ukur 0 ~ 45 liter.....	80
Gambar 5.5	Grafik yang sama dengan Gambar 5.4 dengan rentang waktu dari detik 50 ~ 100 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.....	80
Gambar 5.6	Grafik yang sama dengan Gambar 5.4 dengan rentang waktu dari detik 230 ~ 270 liter yang menunjukkan adanya titik penyimpangan liter.....	81
Gambar 5.7	Grafik yang sama dengan Gambar 5.4 dengan rentang waktu dari detik 120 ~ 150 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.....	81

Gambar 5.8	Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan <i>dial</i> , pada laju aliran sekitar 5 ml/s, resolusi citra svga. Rentang ukur 0 ~ 45 liter.....	82
Gambar 5.9	Grafik yang sama dengan Gambar 5.8 dengan rentang waktu dari detik 240 ~ 260 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.....	82
Gambar 5.10	Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan <i>dial</i> pada laju aliran sekitar 10 ml/s, resolusi citra vga. Rentang ukur 0 ~ 60 liter.....	83
Gambar 5.11	Grafik yang sama dengan Gambar 5.10 dengan rentang waktu dari detik 170 ~ 220 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.....	83
Gambar 5.12	Grafik yang sama dengan Gambar 5.10 dengan rentang waktu dari detik 110 ~ 160 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.....	84
Gambar 5.13	Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan <i>dial</i> pada laju aliran sekitar 10 ml/s, resolusi citra svga. Rentang ukur 0 ~ 60 liter.....	85
Gambar 5.14	Grafik yang sama dengan Gambar 5.13 dengan rentang waktu dari detik 27 ~ 80 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.....	85
Gambar 5.15	Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan <i>dial register</i> pada laju aliran sekitar 1 ml/s, resolusi citra vga. Rentang ukur 0 ~ 100 liter.....	89
Gambar 5.16	Grafik yang sama dengan Gambar 5.15 dengan rentang waktu dari detik 50 ~ 100 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.....	89
Gambar 5.17	Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan <i>dial register</i> pada laju aliran sekitar 5 ml/s, resolusi citra vga. Rentang ukur 0 ~ 250 liter.....	90
Gambar 5.18	Grafik yang sama dengan Gambar 5.17 dengan rentang waktu dari detik 150 ~ 200 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.....	90
Gambar 5.19	Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan <i>dial register</i> pada laju aliran sekitar 5 ml/s, resolusi citra svga. Rentang ukur 0 ~ 250 liter.....	91
Gambar 5.20	Grafik yang sama dengan Gambar 5.19 dengan rentang waktu dari detik 200 ~ 220 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.....	91
Gambar 5.21	Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan <i>dial register</i> pada laju aliran sekitar 10 ml/s, resolusi citra vga. Rentang ukur 0 ~ 100 liter.....	92
Gambar 5.22	Grafik yang sama dengan Gambar 5.21 dengan rentang waktu dari detik 500 ~ 550 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.....	92
Gambar 5.23	Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan <i>dial register</i> pada laju aliran sekitar 10 ml/s, resolusi citra svga. Rentang ukur 0 ~ 50 liter.....	93

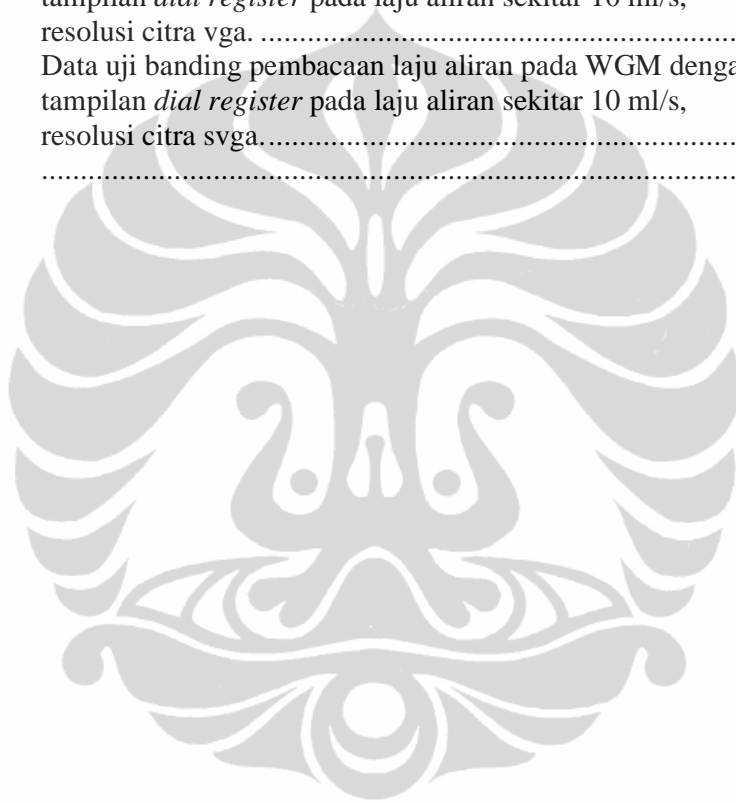
Gambar 5.24	Grafik yang sama dengan Gambar 5.23 dengan rentang waktu dari detik 50 ~ 110 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.....	93
Gambar 5.25	Grafik yang sama dengan Gambar 5.23 dengan rentang waktu dari detik 120 ~ 170 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.....	94



DAFTAR TABEL

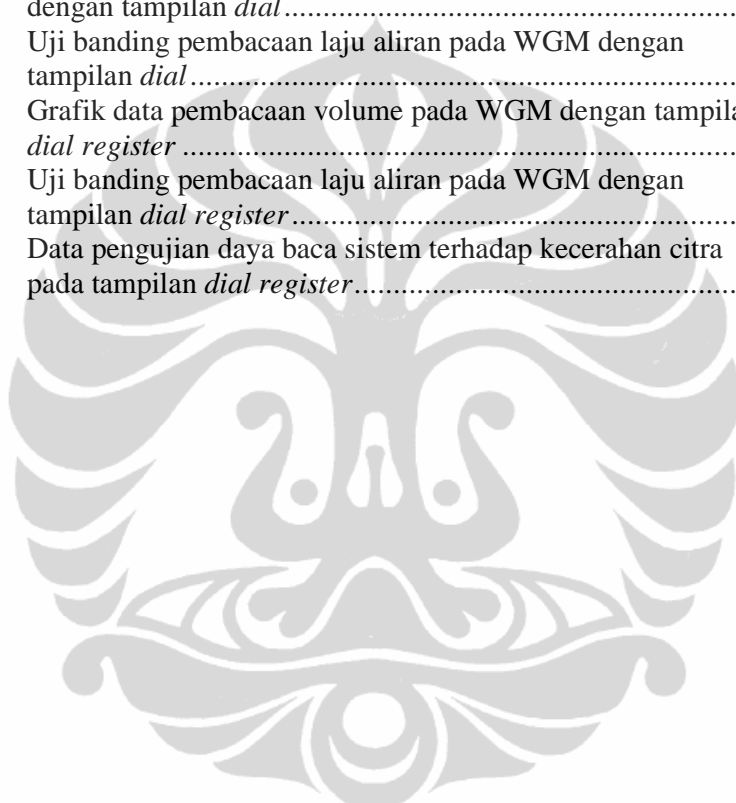
Tabel 4.1	Data uji banding pembacaan laju aliran pada <i>glass soap-bubble meter</i>	52
Tabel 4.2	Data pembacaan volume pada <i>glass soap-bubble meter</i> dengan resolusi citra svga pada laju aliran $Q= 5$ l/m.	53
Tabel 4.3	Data uji banding pembacaan laju aliran pada <i>wet gas meter</i> (WGM) dengan tampilan <i>dial</i>	59
Tabel 4.4	Data pengukuran sensitifitas pembacaan karakter pada suatu kondisi tingkat kecerahan.	63
Tabel 4.5	Data uji banding pembacaan laju aliran pada <i>wet gas meter</i> (WGM) dengan tampilan <i>dial register</i>	65
Tabel 5.1	72
Tabel 5.2	Data uji akurasi pembacaan volume oleh kamera pada <i>glass soap-bubble meter</i> pada penunjukan volume = 7,8 ml.	73
Tabel 5.3	Data uji akurasi pembacaan volume pada <i>wet gas meter</i> (WGM) dengan tampilan <i>dial</i> pada penunjukan volume pada 0,5 liter.	74
Tabel 5.4	Data uji akurasi pembacaan volume pada <i>wet gas meter</i> (WGM) dengan tampilan <i>dial register</i> pada penunjukan volume =0,5 liter.	75
Tabel 5.5	Data uji banding pembacaan laju aliran pada <i>glass soap-bubble meter</i> pada laju alira 0,15 l/m, resolusi kamera vga.	76
Tabel 5.6	Data uji banding pembacaan laju aliran pada <i>glass soap-bubble meter</i> pada laju alira 2 l/m, resolusi kamera vga.	76
Tabel 5.7	Data uji banding pembacaan laju aliran pada <i>glass soap-bubble meter</i> pada laju alira 5 l/m, resolusi kamera svga.	77
Tabel 5.8	Data uji banding pembacaan laju aliran pada <i>glass soap-bubble meter</i> pada laju alira 10 l/m, resolusi kamera vga.	77
Tabel 5.9	Tabel data uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan <i>dial</i> pada laju aliran sekitar 1,3 ml/s, resolusi citra vga.	86
Tabel 5.10	Tabel data uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan <i>dial</i> pada laju aliran sekitar 5 ml/s, resolusi citra vga.	87
Tabel 5.11	Data uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan <i>dial</i> pada laju aliran sekitar 5 ml/s, resolusi citra svga.	87
Tabel 5.12	Data uji banding pembacaan laju aliran WGM dengan tampilan <i>dial</i> pada laju aliran sekitar 10 ml/s, resolusi citra vga.	88
Tabel 5.13	Data uji banding pembacaan laju aliran WGM dengan tampilan <i>dial</i> pada laju aliran sekitar 10 ml/s, resolusi citra svga.	88

Tabel 5.14	Data uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan <i>dial register</i> pada laju aliran sekitar 1 ml/s, resolusi citra vga.	95
Tabel 5.15	Data uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan <i>dial register</i> pada laju aliran sekitar 5 ml/s, resolusi citra vga.	96
Tabel 5.16	Data uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan <i>dial register</i> pada laju aliran sekitar 5 ml/s, resolusi citra svga.....	96
Tabel 5.17	Data uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan <i>dial register</i> pada laju aliran sekitar 10 ml/s, resolusi citra vga.	97
Tabel 5.18	Data uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan <i>dial register</i> pada laju aliran sekitar 10 ml/s, resolusi citra svga.....	97
Tabel 5.19	98



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Spesifikasi webcam Logitech Pro 9000	71
Lampiran 2	Contoh data pembacaan volume oleh kamera pada <i>glass soap-bubble meter</i> dengan laju aliran sekitar 2 ml/s	72
Lampiran 3	Uji akurasi pembacaan volume oleh kamera.....	73
Lampiran 4	Uji banding pembacaan laju aliran pada <i>glass soap-bubble meter</i>	76
Lampiran 5	Grafik data pembacaan volume pada <i>wet gas meter</i> (WGM) dengan tampilan <i>dial</i>	78
Lampiran 6	Uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan <i>dial</i>	86
Lampiran 7	Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan <i>dial register</i>	89
Lampiran 8	Uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan <i>dial register</i>	95
Lampiran 9	Data pengujian daya baca sistem terhadap kecerahan citra pada tampilan <i>dial register</i>	98



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam kegiatan sehari-hari sebagai karyawan yang bertugas melaksanakan kegiatan kalibrasi, khususnya kalibrasi flowmeter, di laboratorium kalibrasi BTMP, penulis sering melakukan kalibrasi meter-meter mekanik. Kebanyakan meter mekanik tidak dilengkapi sistem pengiriman data hasil pembacaan untuk dibaca oleh perangkat lain misalnya komputer, sehingga pencatatan data meter-meter jenis ini dilakukan secara manual.

Gambar 1.1 di bawah ini contoh sebuah flowmeter mekanik untuk fluida cair dengan satuan gallon, memiliki resolusi 0,1 gallon. Penunjuk skala dengan resolusi terkecil dibuat dengan menggunakan jarum. Satu putaran jarum (sama dengan 10 gallon) direkam dengan menggunakan mekanisme *dial register*. *Dial register* dengan digit yang terkecil bekerja secara *analog* (kontinu) sedang dari digit kedua terkecil dan seterusnya bekerja secara digital.



Gambar 1.1
Sebuah *flowmeter* mekanik dengan tampilan *dial* dan *dial register*

Dalam kegiatan kalibrasi, metode kalibrasi yang digunakan harus memadai, salah satunya didukung oleh sistem pembacaan meter yang baik (akurat). Salah satu metode kalibrasi flowmeter adalah kalibrasi dengan

pembacaan meter secara dinamis, yaitu meter dibaca saat aliran berlangsung (kondisi nominal). Metode ini digunakan di Laboratorium Kalibrasi BTMP, yang memiliki fasilitas kalibrasi *flowmeter* fluida cair dan gas dengan metode pembacaan meter secara dinamis. Metoda ini sebenarnya ditujukan untuk meter dengan tampilan laju aliran, tetapi baik juga untuk diaplikasikan terhadap meter dengan tampilan *totalizer* atau *counter*.

Ada beberapa kekurangan pada pencatatan manual terutama dalam melakukan kalibrasi flowmeter yaitu adanya kesalahan pembacaan yang dapat diakibatkan oleh antara lain : Posisi pengamatan yang kurang baik (tidak tegak lurus), kesalahan penentuan resolusi, dan pembacaan dinamis untuk meter counter. Konsistensi pembacaan dan pencatatan sangat tergantung pada kondisi operator.

Sekarang sistem pengamatan dengan menggunakan kamera yang didukung pengolah data elektronik (*software*) telah banyak digunakan di berbagai keperluan, biasanya untuk mendeteksi adanya perubahan intensitas cahaya yang menandakan adanya pergerakan benda, atau untuk mendeteksi adanya perbedaan bentuk dengan bentuk referensi, dan lain-lain. Dengan bantuan kamera pembacaan meter dapat dilakukan dengan lebih akurat.

Dalam tesis ini penulis mencoba membangun sebuah program *software* berbasis LabVIEW, sebagai pengolah data citra elektronik dan mengubahnya menjadi sebuah informasi nilai/angka penunjukan yang relevan dengan gambar yang ditangkap kamera, merekam nilai-nilai tersebut dalam sebuah data elektronik sehingga dapat diolah oleh pengolah data lainnya misalnya Ms-excel.

Dengan kata lain sistem ini, yaitu “Digitalisasi pembacaan meter mekanik dengan bantuan kamera USB dan pengolah citra berbasis LabView”, adalah sebagian upaya untuk meningkatkan daya baca dalam sistem pembacaan (terutama dinamis) meter-meter mekanik.

1.2 Rumusan Masalah

- Membangun program berbasis labview untuk tujuan sebagai berikut:
 - Mengolah gambar agar lebih mudah dimengerti, bila gambar yang diperoleh sebelumnya kurang baik.
 - Membaca meter-meter mekanik berupa *glass soap-bubble meter*, *gauge*, *dial register* dengan kamera PC. Menampilkan data-data hasil pembacaan kedalam bentuk angka digital yang nyaman dilihat dengan resolusi yang memadai, dan merekamnya kedalam file yang bisa dibaca oleh pengolah data lainnya misalnya Ms-excel.
- Men-*set-up* pencahayaan dan penempatan kamera sehingga display meter lebih mudah dibaca oleh kamera, warna atau intensitas warna yang kontras antara penunjuk dan latar harus diusahakan semaksimal mungkin secara fisik.

1.3 Batasan Masalah

Dalam tesis ini penulis membatasi masalah penelitian sebagai berikut.

- Software akuisisi yang digunakan adalah LabView.
- Perangkat ini akan diaplikasikan untuk pembacaan meter mekanik dengan penunjuk :
 - *Dial* (dengan penunjuk Jarum), dalam hal ini adalah WGM;
 - *Bubble*, (*glass soap-bubble meter*);
 - *Dial register* (WGM).
- Ketiga tipe penunjukan mekanik diatas dibaca secara terpisah.
- Kamera yang digunakan adalah kamera pc dengan resolusi 1,3 pixel.

1.4 Tujuan Penelitian

- Membangun sistem pembacaan alat ukur mekanik tahap awal dalam rangka mengganti pembacaan oleh manusia;

- Mengetahui kemampuan kamera pc dengan resolusi rendah dalam penerapannya untuk membaca tampilan alat-alat ukur mekanik;
- Pemanfaatan software LabVIEW dalam mengolah gambar;
- Menyediakan sebuah metode alternatif dalam melakukan pembacaan alat-alat ukur mekanik.

1.5 Manfaat Penelitian

- Meningkatkan atau paling tidak sebagai bahan uji banding dalam rangka peningkatan sistem pengukuran dengan menghilangkan ketergantungan terhadap manusia pada proses pembacaan alat ukur mekanik khususnya.
- Tersedianya suatu sistem akuisisi, yang mampu membaca tampilan peralatan ukur yang tidak memiliki sinyal keluaran, tanpa mempengaruhi peralatan ukur tersebut. Hasil pembacaannya dapat disimpan atau digunakan untuk keperluan suatu pengaturan.
- Dengan menggunakan kamera USB, sistem akuisisi relatif murah, dibandingkan dengan kamera programable lainnya.
- Menjadi salah satu bahan acuan untuk mengembangkan model pembacaan berbasis pengolahan citra.

1.6 Metoda Penelitian dan Rencana Tahapan Penelitian / Kegiatan

- Studi literatur.

Banyak hasil penelitian atau pengembangan yang telah dilakukan terhadap teknologi yang berhubungan dengan pengolahan citra khususnya pengolahan citra yang berkaitan dengan pembacaan peralatan ukur.

National Instrumen memiliki dokumen-dokumen cukup lengkap sebagai bahan panduan dalam membangun program yang memanfaatkan LabView.
- Rancang bangun software program.
 - Inisialisasi kamera USB yang digunakan;

- Merencanakan dan Menentukan logika (algoritma) utama tahapan kerja program;
- Membangun program melalui petunjuk-petunjuk manual yang berkaitan (dokumen National Instrument), dan contoh-contoh VI yang sudah dipublikasi secara bebas melalui media maya;^[1]
- Merencanakan dan Menentukan logika (algoritma) detil tahapan kerja program;
- Melakukan uji coba pada setiap tahapan program.
- Studi banding (uji banding). Sebuah meter mekanik dibaca dengan bantuan kamera dan pada saat yang sama dilakukan pembacaan oleh seorang operator yang sudah ahli. Kedua hasil pembacaan selanjutnya dibandingkan kestabilannya.

1.7 Dugaan / Hipotesa

Dengan penentuan rentang nilai intensitas cahaya yang tepat, dan untuk pergerakan objek (perubahan intensitas cahaya) yang tidak terlalu cepat, kamera USB mampu membedakan pergerakan benda atau cahaya, dalam hal ini adalah pergerakan penunjuk atau pointer, dengan baik.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Meter Mekanik

Meter mekanik adalah peralatan ukur yang melakukan perubahan atau pengolahan sinyal (energi) hasil pembacaan perubahan sifat fisik objek yang dirasakan oleh sensor, sehingga menjadi suatu tampilan nilai, melalui gaya-gaya (proses) mekanik. Gaya-gaya mekanik dapat berupa daya dorong, gaya gravitasi, gaya magnet dan lain-lain. Penulis mengelompokkan meter mekanik dalam tiga bentuk tampilan yaitu *Dial* (jarum), *dial register* dan level.^{[2][3]}

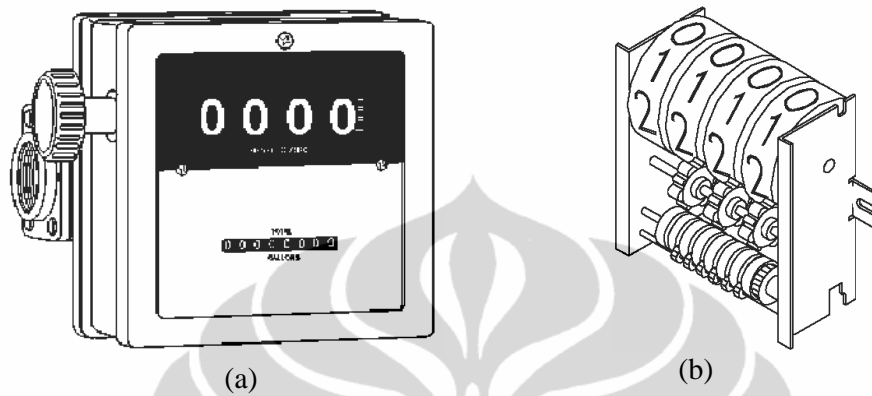
2.1.1 Dial (Jarum)

Dial yang dimaksud pada tesis ini adalah berupa permukaan datar, lingkaran atau empat persegi panjang, dengan angka atau tanda yang serupa di atasnya. Tampilan ini banyak digunakan untuk alat-alat seperti penunjukan posisi knob pada radio dan alat kontrol lainnya, penunjukkan output dari sebuah arloji, jam, jam tangan, atau alat ukur. Gambar 1.1 BAB 1 menunjukkan contoh flowmeter dengan tampilan *dial*.

2.1.2 Mechanical Counter atau Dial Register

Sebelum elektronik digunakan, alat-alat mekanis digunakan untuk menghitung kejadian. Ini biasanya terdiri dari serangkaian disk terpasang pada sebuah gandar, dengan angka 0 sampai 9 ditandai pada sisinya. Disk paling kanan bergerak satu selisih dengan setiap kejadian. Setiap disk kecuali paling kiri memiliki tonjolan yang, setelah menyelesaikan satu revolusi, menggerakkan disk sebelah kiri berikutnya dengan satu kenaikan. counter seperti itu awalnya digunakan untuk mengendalikan proses manufaktur, tetapi kemudian digunakan sebagai odometer untuk sepeda motor, mobil dan dispenser air dan bahan baker.^[4]

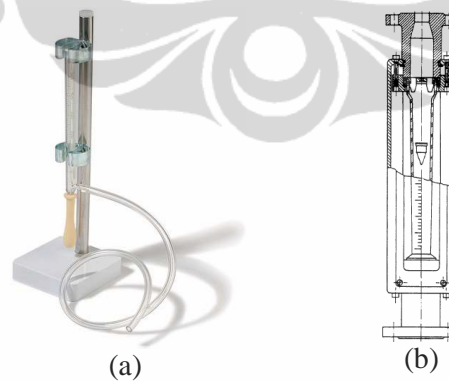
Gambar 2.1 menunjukkan sebuah meter dengan tampilan atau mekanisme *dial register*.



Gambar 2.1 : *dial register*
 (a) sebuah *flowmeter* dengan tampilan *dial register*,
 (b) mekanisme *dial register*.

Dokumen FillRate, gambar telah diolah kembali

2.2 Level Meter



Gambar 2.2 : *Level Meter*
 (a) *Soap-Bubble Flowmeter*, (b) *Rotameter*.

Penulis mengelompokkan ke dalam tipe tampilan level meter untuk meter-meter yang memiliki penunjukan dengan gerakan vertikal. Tampilan tipe ini banyak digunakan pada alat-alat ukur yang: a. Manfaatkan gaya gravitasi dalam prinsip pengukurannya, contoh *rotameter* dan *level meter*^{[3][5]}; b. memanfaatkan prinsip pengukuran perubahan volume, contohnya alat ukur dengan tabung gelas, *soap-bubble flowmeter*, termometer gelas, *level meter* dan lain-lain. Gambar 2.2 menunjukkan contoh alat ukur yang termasuk dalam kelompok ini.

2.3 Citra Digital^[6]

Sebuah citra adalah nilai-nilai dalam *array* dua-dimensi yang mempresentasikan intensitas cahaya. Dalam teknik elektro dan ilmu komputer, pengolahan citra adalah setiap bentuk pengolahan sinyal yang inputannya berupa sebuah gambar, seperti foto atau video; output dari pengolahan citra dapat berupa citra atau satu set karakteristik atau parameter yang berhubungan dengan citra.

Dalam hal pengolahan citra, istilah citra menunjuk pada citra digital. Sebuah citra adalah fungsi intensitas cahaya

$$f(x, y)$$

dengan f adalah tingkat kecerahan titik (x, y) , dan x dan y menunjukkan koordinat spasial elemen citra (pixel). Referensi spasial sebuah pixel dengan koordinat $(0, 0)$ terletak pada sudut atas-kiri. Nilai x membesar seiring semakin kanannya posisi pixel, dan nilai y membesar seiring makin bawahnya posisi pixel.

Pada pengolahan citra sebuah sensor mengkonversi citra menjadi sebuah nilai diskret dari pixel-pixel. Setiap pixel mengandung nilai numerik tentang sebuah lokasi dan sebuah tingkat keabuan atau nilai warna yang menandakan nilai kecerahan atau warna dari pixel.

Sebuah citra digital memiliki tiga properti dasar: resolusi, definisi, dan jumlah *plane*. Resolusi Citra, atau resolution spasial sebuah citra adalah jumlah pixel garis dan kolom. Sebuah citra yang tersusun dari m kolom and n baris memiliki resolusi sama dengan $m \times n$.

Definisi sebuah citra menunjukkan jumlah perbedaan warna yang dapat dilihat pada sebuah citra. bit kedalaman sebuah citra adalah jumlah bit yang

digunakan untuk meng-encode nilai sebuah pixel. Untuk sebuah kedalaman bit sama dengan n , citra memiliki definisi 2^n , yaitu sebuah pixel dapat memiliki 2^n perbedaan nilai. IMAQ Vision dapat mengolah citra dengan *encoding* warna 8-bit, 10-bit, 12-bit, 14-bit, dan 16-bit.^[6]

2.4 Jumlah *Plane* ^[6]

Jumlah *plane* dalam sebuah citra berhubungan dengan jumlah *array* pixel yang menyusun citra. Sebuah citra dengan derajat keabuan tersusun atas satu *plane*, sementara sebuah citra true-color tersusun atas tiga *plane*, satu masing-masing untuk komponen merah biru dan hijau.

Pada citra *true-color*, intensitas komponen warna di-kode-kan (kuantisasi) menjadi tiga nilai yang berbeda. Citra warna diperoleh dari kombinasi tiga arrays dari definisi pixels yang bersesuaian dengan komponen-komponen merah hijau dan biru pada sebuah citra RGB. Citra HSL didefinisikan oleh nilai-nilai hue, saturasi, dan luminance.

2.5 Konversi Analog ke Digital ^{[7][8]}

Sampling dan kuantisasi adalah tahapan yang dilakukan dalam merubah citra domain kontinu menjadi sebuah format digital. *Sampling* dan kuantisasi merupakan konsep dasar dalam proses konversi sinyal analog ke data digital. Berikut *sampling* dan kuantisasi yang citra.

- **Sampling**

Sampling adalah proses yang pembacaan dan pengolahan citra yang berhubungan dengan resolusi spasial (ukuran dalam pixel) suatu citra. Penentuan ukuran citra dari kamera dan penentuan daerah observasi (ROI) adalah contoh proses yang berhubungan dengan *sampling*.

- **Kuantisasi (Kedalaman)**

Kuantisasi adalah proses pembacaan dan pengolahan citra yang berhubungan resolusi tingkat keabuan (kedalaman). IMAQ Vision umumnya bekerja dengan 3 x 8-bits/pixel yang berarti mampu membedakan 3×2^8 kedalaman. Deteksi batas (kontras) adalah contoh proses yang berhubungan dengan kuantisasi.

2.6 Kamera

Kamera adalah sebuah alat perekam citra. Citra ini dapat berupa foto atau citra bergerak (*video*). Biasanya sebuah kamera memiliki susunan lensa yang terletak didepan yang berfungsi untuk cahaya masuk dan mefokuskanya pada permukaan sensor perekam (*recording surface*). Kamera bekerja pada spektrum tampak atau suatu rentang spektrum elektromagnetik lainnya.^[9]

Pada kamera moderen, *recording surface* telah diganti dengan sensor elektronik. Sekarang sudah ada sesuatu yang bernama Wabcam atau PCcam, yaitu suatu perangkat penangkap citra bergerak yang bekerja bersama-sama computer. Wabcam biasanya dihubungkan dengan sebuah port USB ke komputer dan dijalankan dengan bantuan sebuah perangkat lunak *driver*. Citra direkam dalam bentuk suatu file data elektronik di harddisk komputer. Wabcam atau PCcam yang dihubungkan melalui port USB biasa disebut juga kamera USB. Banyak software aplikasi yang bekerja bersama Wabcam untuk melakukan pencitraan, yang salah satunya adalah LabVIEW.

2.7 Software Akusisi Dan Pengolah Data

2.7.1 LabVIEW

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) adalah bahasa pemrograman secara grafis yang digunakan sebagai *software* sistem instrumentasi dan analisa di dunia industri dan pendidikan. LabVIEW dikeluarkan

oleh National Instrument yang berbasis di Austin, Texas, Amerika Serikat. Bahasa pemrograman ini disebut juga Virtual Instruments atau VI (dibaca *vi-ay*) dan bisa disebut juga diagram blok. ^{Error! Reference source not found.}^[10] LabVIEW juga mencakup banyak *tool* untuk akusisi data, analisa and tampilan hasil. *Library* mencakup banyak fungsi dalam *signal generation, signal processing, filtering* dan statistika.^[11] Setiap VI mengandung :

- *Front panel* merupakan *graphical user interface* (GUI) yang memungkinkan pengguna untuk mevariasikan berbagai parameter dalam sebuah program. GUI bagai kontrol pada berbagai instrument dan yang berfungsi sebagai interface yang *user-friendly*. Pada *front panel* bisa ditempatkan tombol putar, tombol tekan, grafik dan banyak lagi kontrol-kontrol (sebagai *input*) and indikator-indikator (sebagai *output*). *Input* dapat dilakukan menggunakan *mouse* atau *keyboard*.
- Diagram blok tersusun secara grafis dan merupakan program sebenarnya. Diagram blok dapat memiliki atau tersusun dari beberapa VI level yang lebih rendah. Blok dapat saling dihubungkan dengan menggunakan kawat-kawat yang menunjukkan aliran data. Objek-objek *front panel* memiliki terminal-terminal yang bersesuaian pada diagram blok agar memungkinkan aliran data dari user ke program atau sebaliknya.
- Sub-VI adalah seperti halnya *subroutine* dalam bahasa-bahasa pemrograman konvensional.

Salah satu kelebihan dari LabVIEW adalah memiliki aplikasi-aplikasi seperti IMAQ Vision untuk pengolahan citra, yang memiliki lebih dari 400 fungsi dan window-window citra interaktif dan utiliti untuk menampilkan dan membangun sistem pencitraan.^[12]

a. *NI-IMAQ for USB Camera*

Dalam menggunakan kamera USB dengan LabVIEW atau Visi Assistant, *NI-IMAQ for USB Camera* telah dirilis sebagai contoh program National

Instruments. *Driver NI-IMAQ for USB Camera* memungkinkan pengguna untuk mengkonfigurasi semua perangkat pencitraan *DirectShow* dan memperoleh gambar ke dalam LabVIEW. Perangkat yang mendukung fitur ini dapat berupa kamera USB, Webcam, mikroskop, pemindai, dan perangkat pencitraan lainnya.^[13]

Dengan *NI-IMAQ for USB Camera*, kita dapat:

- Mengakuisisi gambar dari setiap perangkat pencitraan USB dengan dukungan *DirectShow*;
- Pilih *Satu-Shot* atau gambar secara terus-menerus dalam mode akuisisi;
- Mengkonfigurasi pemrograman kamera, termasuk kemampuan untuk pemrograman pilih *modus video*;
- Mengakuisisi langsung kedalam *Vision Asisten* untuk aplikasi *prototyping* dengan mudah;
- Menggunakan USB Express VI untuk proses akuisisi gambar dengan cepat;

System Requirements.

Untuk keperluan pekerjaan di atas diperlukan perangkat-perangkat berikut:

- Microsoft Windows Vista / Vista x64/XP/2000.
- LabVIEW 7.0 atau lebih kini.
- Vision Development Module 7.1 atau lebih kini.
- NI Vision Acquisition Software 7.1 atau lebih kini, untuk mendukung USB LabVIEW.
- Vision Assistant 7.1 atau lebih kini, untuk mendukung USB Vision Assistant *plug-in module*.
- Vision Assistant 8.0 atau lebih kini, untuk mendukung USB Express VI.

b. Instrument Readers^[14]

Labview menyediakan *Instrument readers* sebagai fungsi-fungsi yang dapat digunakan untuk memudahkan dalam mengembangkan aplikasi-aplikasi yang membutuhkan pembacaan tampilan-tampilan meter-meter, *seven segment*,

dan *barcode*. Informasi atau fungsi ini dapat digunakan untuk membangun aplikasi berbeda seperti pembacaan alat ukur mekanik. Menggunakan fungsi (perintah / VI) untuk menghitung pusat jarum dan batas-batas dari daerah perhatian (ROI) yang menunjukkan posisi nol (awal) dan skala penuh jarum tersebut. Posisi jarum kemudian dapat ditentukan atau dibaca menggunakan VI menggunakan parameter yang dihitung sebelumnya. Software ini dapat digunakan dengan NI Vision Development Module, untuk menganalisis citra dengan bantuan fungsi-fungsi untuk pengolahan citra, termasuk filter, morfologi biner, pencocokan pola, dan inspeksi warna.

c. IMAQ Vision OCR ^[14]

Optical character recognition (OCR) adalah proses untuk information tekstual dari sebuah citra digital. IMAQ Vision OCR software adalah aplikasi vision memanfaatkan IMAQ Vision for LabVIEW yang membutuhkan kemampuan akurasi OCR. IMAQ Vision OCR *software* dapat digunakan dalam aplikasi seperti identifikasi nomor seri, suku cadang automotive, kotak pembungkus elektronik dan lain-lain.

2.8 Daya Baca dan Resolusi

Pada sebuah citra, resolusi berarti juga ukuran dari terkecil objek yang dapat dipastikan (pada layar), dan dinyatakan sebagai garis (atau pixel) ditampilkan per milimeter atau sentimeter. Dalam hal tampilan meter mekanik, daya baca atau kemampuan baca berhubungan erat dengan resolusi atau skala terkecil. Sebuah citra yang baik dalam menampilkan meter untuk keperluan pembacaan adalah citra yang mampu menampilkan skala terkecil meter dengan pixel yang cukup banyak.

Biasanya ketidak-pastian (*uncertainty*) dalam membaca resolusi adalah sama dengan \pm setengah kali resolusi, pada kondisi kita tidak mampu lagi membagi jarak antara skala terkecil dan rasio lebar penunjukan (jarum) terhadap

interval antara dua skala terdekat ^[15]. Bila kita bisa membedakan jarak antar skala terkecil (daya baca) menjadi 2 atau 4 bagian (misalnya memanfaatkan kaca pembesar). maka ketidak-pastian,

$$U = \pm 0,5 \times \frac{1}{\text{dayabaca}} \times \text{resolusi} \quad \text{pers 1}$$

Pembacaan dengan memanfaatkan perangkat pengambilan citra, citra menampilkan garis-garis skala meter pada layar. Sebuah meter aliran udara memiliki skala terkecil 20 mililiter dan sensor pengambil citra merasakan bahwa skala terkecil berjarak 40 pixel. Daya baca terbaik yang dimiliki sistem ini adalah bila sistem ini mampu merasakan pergeseran pointer setiap satu pixel, yang berarti daya baca sistem = $20/40 = 0,5$ mililiter.

Daya baca pembacaan statis hanya bergantung pada resolusi sensor penangkap citra. Semakin baik resolusi, semakin baik sistem dalam membedakan letak objek, sedang pada pembacaan dinamis bergantung pula pada hal-hal berikut:

- *Frame-time* dari penangkap citra. Untuk penangkap citra yang sama, semakin tinggi resolusi citra, semakin buruk *fram-time*;
- Kecepatan pengolahan data citra dan *pixel editor*. Semakin tinggi resolusi citra, semakin lambat pengolahan yang mempengaruhi interval pengambilan citra;
- Kecepatan penunjukan jarum sesungguhnya (*real world*), Semakin cepat perubahan jarum, semakin banyak posisi (citra) yang hilang atau tidak terbaca. Hal ini berhubungan dengan kedua poin sebelumnya.

BAB 3 PERANCANGAN DAN KERJA ALAT

Alat ini atau sistem ini terdiri dari dua perangkat, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras tersusun atas :

- Sebuah komputer atau PC dengan spesifikasi teknik sebagai berikut: dengan prosesor Intel(R) Pentium(R) M 1,70 GHz, RAM 1 GB.
- Sebuah kamera PC (Logitech Webcam Pro 9000) dengan spesifikasi teknis tertulis pada Lampiran 1.

Perangkat lunak yang digunakan untuk menjalankan sistem ini adalah *software driver* untuk menjalankan kamera USB itu sendiri dan sebuah program berbasis LabVIEW untuk melakukan pengolahan citra yang diperoleh dari hasil pengambilan oleh kamera USB.

Kamera USB dengan komunikasi melalui USB *port* bekerja dikendalikan oleh sebuah perangkat lunak yang digunakan khusus untuk itu yang biasa disebut *driver*. Penulis tidak melakukan rekayasa terhadap ini (kamera PC dan *driver software*-nya).

Dalam tesis ini penulis membangun sebuah software program berbasis LabVIEW yang berfungsi untuk memerintahkan PC melakukan komunikasi dengan *driver* kamera USB, membaca atau menerima data citra dari *driver* kamera USB, mengolah data citra sehingga lebih mudah dimengerti oleh subrutin berikutnya. Dari citra ini program merubah (menkonversi) menjadi sebuah nilai berdasarkan citra posisi *pointer* (bisa berupa jarum, karakter, garis).

Pada umumnya terdapat tiga tipe penunjukan untuk peralatan ukur mekanik yaitu tipe jarum (gauge, counter flowmeter), *dial register* (angka bergerak, counter flowmeter), level (level meter, rotameter, termometer gelas). Penulis membangun software berbasis labview untuk membaca ketiga tipe penunjukan meter mekanik tersebut di atas.

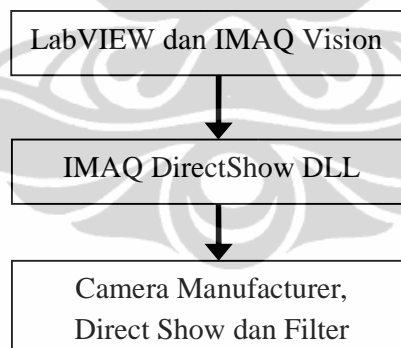
Penulis bekerja dengan Windows XP dalam membangun program. Perangkat lunak yang digunakan sebagai berikut:

- NI-IMAQ for USB Cameras;

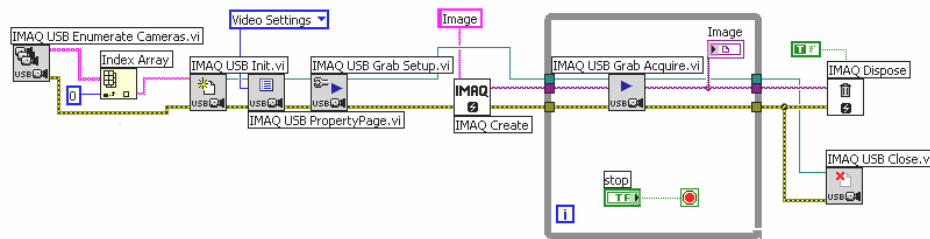
- LabVIEW 8.5 dan IMAQ Vision;
- Driver untuk Kamera USB (Logitech).

NI-IMAQ for USB Cameras Virtual Instrument (VI) Library adalah serangkaian VI pada LabVIEW untuk penggunaan LabVIEW bersama dengan Kamera USB dan termasuk dengan *software 'NI-IMAQ for USB Cameras'*. *IMAQ Vision for LabVIEW* adalah library pengolah dan penganalisa citra yang diperlukan dalam penggunaan library *NI-IMAQ for USB Cameras VI*.

Sistem ini menggunakan kamera USB dengan interface universal serial bus (USB) dan *driver NI-IMAQ for USB Cameras*. *Driver NI-IMAQ for USB Cameras* memungkinkan penggunaan kamera USB yang memiliki *Microsoft DirectShow* bersama-sama dengan fungsi-fungsi LabVIEW dan *IMAQ Vision development*. *Driver NI-IMAQ for USB Cameras* dapat melakukan akuisisi dan mengeset properti akuisisi menggunakan *driver* pabrikan kamera dan fungsi-fungsi *Direct Show*. *IMAQ Vision for LabView* dibaca untuk menggunakan *library* fungsi-fungsi atau virtual instruments (VI) *NI-IMAQ for USB Cameras*. Gambar 3.1 menunjukkan akuisisi kontinyu citra menggunakan *IMAQ USB Grab*.



Gambar 3.1
Arsitektur NI-IMAQ untuk Kamera USB.

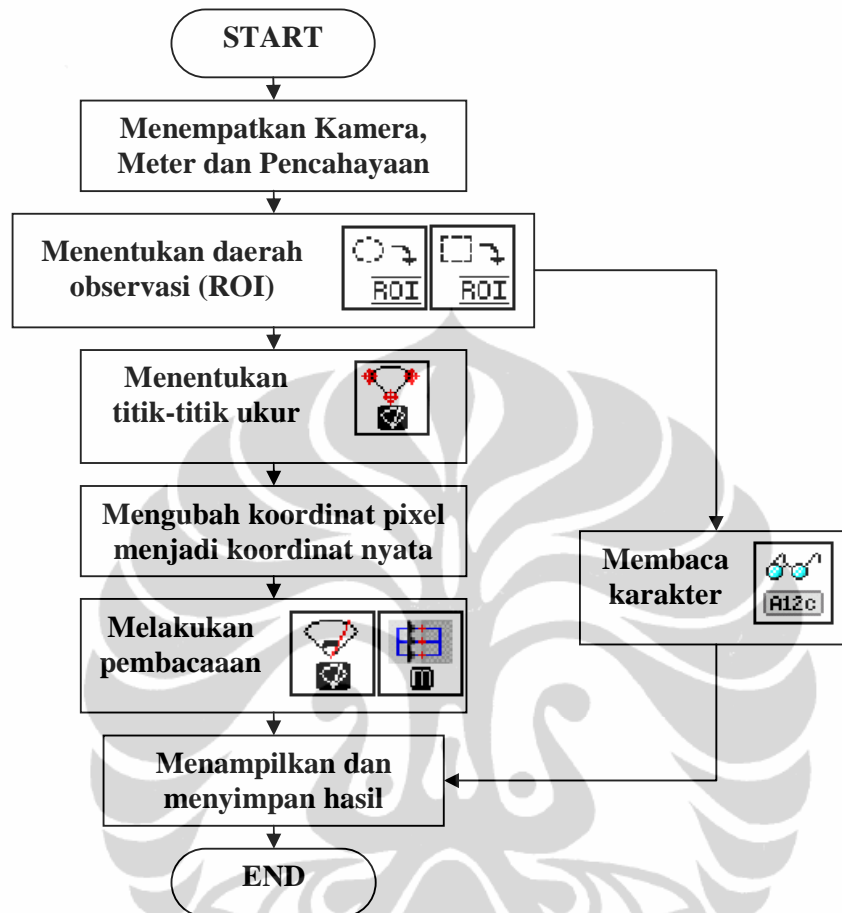


Gambar 3.2
Program untuk menggunakan kamera USB

Grab adalah sebuah akuisisi berulang (loop) dan kontinyu data berkecepatan tinggi yang disimpan pada sebuah buffer tunggal dalam memori host. Data citra dapat diambil dari memori dengan menggunakan keduanya, *IMAQ USB Grab Setup* and *IMAQ USB Grab Acquire*, untuk digunakan di dalam LabVIEW. *IMAQ USB Grab Setup* digunakan sekali untuk menginisialisasi dan memulai pengambilan citra dari *software buffer* internal. Sedang *IMAQ USB Grab Acquire* dapat digunakan berkali-kali (*looping*) untuk mengambil (meng-copy) data citra yang sedang tersimpan pada *buffer* internal dan menyimpannya pada *buffer* citra LabVIEW. Selesai melakukan pengambilan citra, harus dilakukan pemberhentian pengambilan (akuisisi) dengan menggunakan *IMAQ USB Close* satu kali. Gambar 3.2 diatas adalah program penggunaan *IMAQ USB Grab Setup* and *IMAQ USB Grab Acquire*.^[16]

Untuk membaca tiga jenis tampilan seperti yang tersebut diatas penulis menggunakan fungsi atau perintah utama yaitu:

- *IMAQ Read Meter VI*, berfungsi untuk membaca posisi jarum pada lintasan busur atau lingkaran;
- *IMAQ Rake VI*, berfungsi untuk menemukan batas-batas (edge) pada lintasan lurus;
- *IMAQ OCR Read Text VI*, berfungsi untuk membaca teks berdasarkan bentuk-bentuk yang sudah dikenali.



Gambar 3.3
Diagram tahapan proses program pembacaan meter^[14]

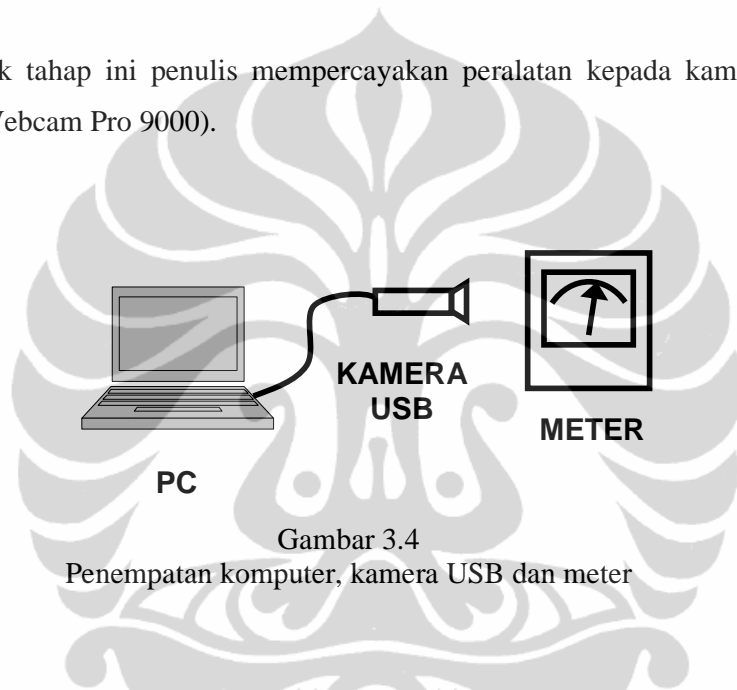
Secara umum pada masing-masing jenis pembacaan memiliki tahapan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3.

3.1 Pembacaan Alat Ukur atau Meter^[17]

Kamera dan meter yang akan dibaca melalui kamera harus ditempatkan sedemikian rupa sehingga citra dibaca dengan baik. Hal yang harus diperhatikan dalam menempatkan meter dan kamera (sistem pencitraan) adalah sebagai berikut:

- Peralatan yang digunakan harus dapat mencakup keseluruhan ukuran objek yang di inspeksi. Hal berikut perlu diperhatikan:
 - Kamera memiliki resolusi minimum yang diperlukan;
 - Kedalaman fokus lensa kamera harus mencukupi, sehingga keseluruhan objek dapat terletak pada fokus;
 - Pencahayaan harus mencukupi dan baik untuk memperoleh kontras yang maksimal antara objek yang diinspeksi dan latar belakang.

Untuk tahap ini penulis mempercayakan peralatan kepada kamera USB (Logitech Webcam Pro 9000).



Gambar 3.4
Penempatan komputer, kamera USB dan meter

- Posisi kamera harus tegak-lurus objek yang diinspeksi. Pada tesis ini penulis meletakkan ketinggian lensa sama dengan ketinggian pusat objek, kemudian pastikan objek terletak di tengah citra serta sisi-sisi objek terletak pada jarak yang proporsional terhadap sisi citra.
- Peralatan akuisisi harus memenuhi kebutuhan. Sistem pencitraan dengan kamera USB mempercayakan akuisisi pada sistem USB yang *bilt-in* pada PC. Dalam menggunakan kamera USB dengan LabVIEW atau *Vision Assistant*, *NI-IMAQ for USB Camera* telah dirilis oleh National Instruments.
- Konfigurasi *driver software* sesuai peralatan akuisisi (kamera USB). *Driver NI-IMAQ for USB Camera* memungkinkan pengguna untuk mengkonfigurasi semua perangkat pencitraan *DirectShow* dan memperoleh citra ke dalam LabVIEW.^[13]

3.2 *Regions of Interest (ROI)* dan Penentuan Titik-Titik Ukur

Sebuah ROI atau daerah perhatian adalah area atau bagian area dari citra yang akan dilakukan analisis citra. Dengan ROI pengolahan citra menjadi lebih fokus sehingga pengolahan dapat dilakukan lebih cepat.

Pada tesis ini digunakan dua tipe ROI, yaitu rektangular atau empat persegi dan *annulus* atau lingkaran (termasuk busur). ROI rektangular digunakan untuk citra dengan perubahan intensitas secara horizontal atau vertikal, sedang *annulus* digunakan untuk citra dengan perubahan intensitas secara melingkar (termasuk membusur). Data ROI ditentukan dengan menggambar ROI pada citra yang tertampil secara interaktif menggunakan *tool palette*. Data ROI ini selanjutnya digunakan untuk penentuan titik-titik ukur dalam koordinat pixel.

3.3 Mengubah Koordinat Pixel Menjadi Koordinat Nyata

Pada tahapan ini program melakukan proses semacam *fitting* yang merubah koordinat pixel menjadi koordinat nyata. Dalam sistem ini nilai titik acuan diberikan dengan menentukan batas minimum dan maksimum pada ROI.

3.4 Pembacaan (Pengukuran)

Pada tahap ini program mengubah posisi jarum dari koordinat pixel menjadi jarak terhadap titik-titik ukur acuan. Titik-titik ukur telah ditentukan pada tahapan sebelumnya (tahapan ROI).

3.5 Menampilkan dan Menyimpan Hasil

Data yang dihasilkan oleh *IMAQ Rake VI* adalah koordinat pixel sedang *IMAQ Read Meter VI* adalah dalam satuan persen jarak antara skala nol dan skala penuh. Manipulasi harus dilakukan sehingga nilai yang ditampilkan sesuai skala

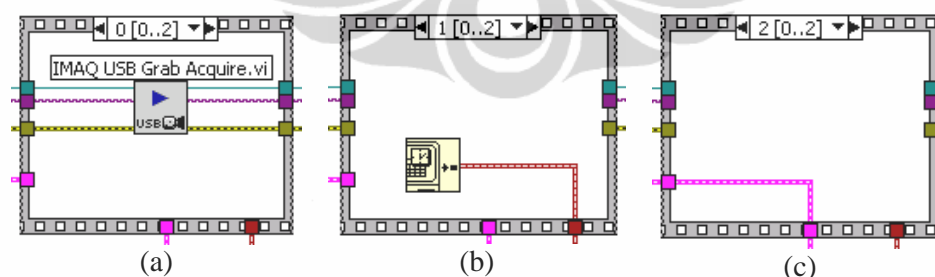
yang kita kehendaki dan memiliki resolusi yang relevan. Hasil bisa disimpan dalam sebuah tabel yang bisa dibaca oleh suatu pengolah data lainnya misalnya Ms-excel.

3.6 Pembacaan atau Pengambilan Data Citra

Kestabilan program dibebankan pada kestabilan pengambilan data citra (*grabbing*) dan data waktu. Kedua data ini harus dilakukan pada saat yang bersamaan, bila dimungkinkan.

Stacked Sequence Structure VI adalah solusi untuk mengeksekusi tahapan program dilakukan secara berurutan. Dengan VI ini tahapan pengambilan data citra dan pengambilan data waktu diletakkan berurutan sedangkan proses lainnya diletakkan pada urutan sebelumnya atau sesudahnya, bukan di antara keduanya.

Pada Gambar 3.5 bawah tampak fungsi pengambilan citra diletakkan secara berurutan dengan fungsi pengambilan data waktu, masing-masing pada frame 0 dan frame 1. Pada frame 2 diletakkan kawat *cluster* data dari berbagai fungsi lainnya sehingga data terpaksa berhenti menuju proses lainnya, menunggu proses pada frame 0 dan frame 1 selesai dijalankan secara berurutan.

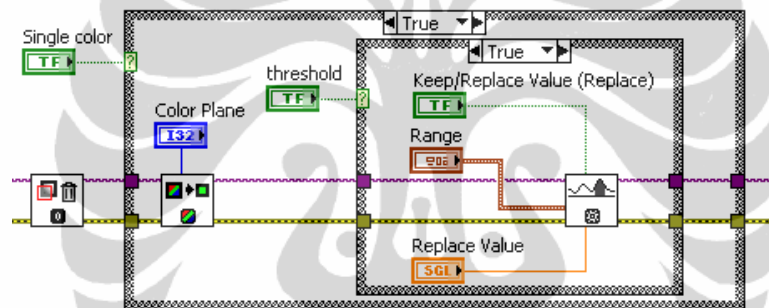


Gambar 3.5

Sebuah *Stacked Sequence Structure* terdiri dari tiga buah *frame* (a) frame 0 memuat fungsi pengambilan data citra (*grabbing*); (b) frame 1 memuat fungsi pengambilan data waktu (c) frame 2 memuat sebuah kawat *cluster* data.

3.7 Warna Tunggal (*Single Color*)

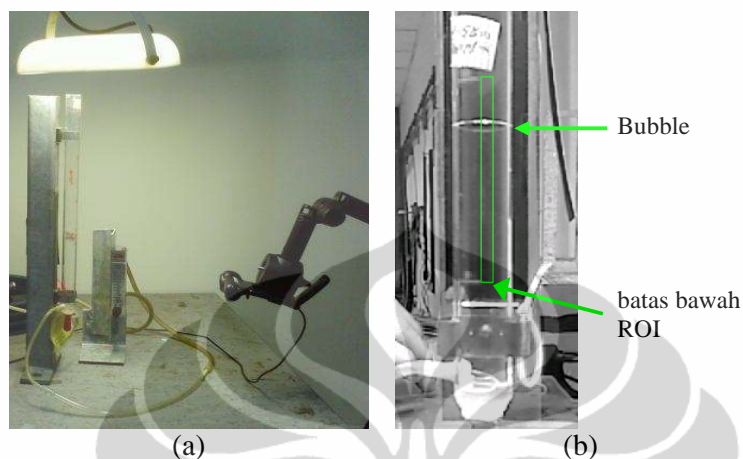
IMAQ for LabVIEW bekerja dalam format RGB-24 bit. Dalam membaca citra ketiga fungsi utama *IMAQ Read Meter VI*, *IMAQ OCR Read Text 3 VI* dan *IMAQ Rake VI*, lebih dapat bekerja dengan warna tunggal atau *single plane*. *Color plane* dapat ditentukan dengan melihat objek yang diobservasi, misalnya warna jarum atau warna karakter. *Color plane* dengan warna merah dapat digunakan dalam mengobservasi jarum atau karakter yang cenderung berwarna merah. *Threshold* digunakan bila seting pencahayaan kurang memadai dan menyebabkan citra masih kurang kontras (antara objek yang diobservasi dan latar belakang).



Gambar 3.6

Program untuk mengolah citra dalam warna tunggal dan *threshold* untuk memperoleh citra yang kontras antara objek yang diobservasi dan latar belakang.

3.8 Pembacaan *Glass soap-bubble meter*, *Rotameter*, *Level Meter*, atau Termometer Cairan Dalam Gelas

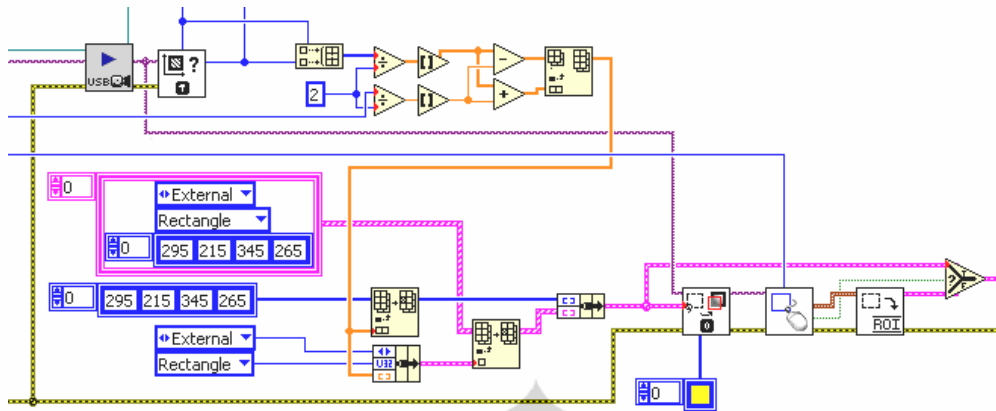


Gambar 3.7
glass soap-bubble meter

- (a) penempatan peralatan (kamera USB dan *glass soap-bubble meter*). Sebuah lampu dipasang tepat di atas *glass soap-bubble meter*.
- (b) *glass soap-bubble meter* dengan sebuah bubble tampak melalui kamera.

Program ini ditujukan untuk mengolah data citra dari alat ukur yang mempunyai pergerakan penunjukan dengan arah vertikal (keatas atau kebawah) seperti *glass soap-bubble meter*, *rotameter*, *level meter*, atau termometer cairan dalam gelas. Selain itu program ini bisa juga untuk pembacaan dengan pergerakan horizontal.

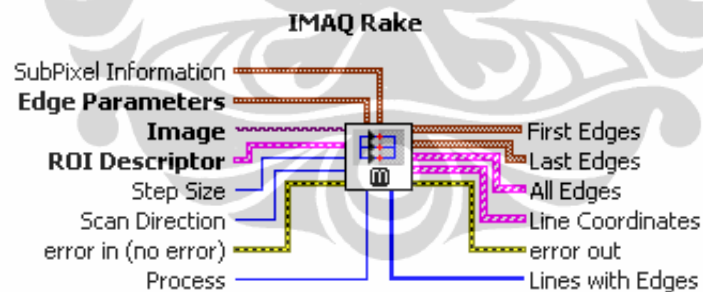
ROI dalam bentuk rektangular atau empat persegi panjang. program (Gambar 3.8) menampilkan ROI ditengah tengah citra (lihat Gambar 3.7 (b)) yang berfungsi sebagai referensi. Pengamatan awal harus dilakukan untuk memastikan daerah observasi (ROI) yang baik, yaitu batas bawah ROI terletak ditengah citra. Data-data ROI merupakan sebagai inputan (*ROI Descriptor*) pada *IMAQ Rake VI*.



Gambar 3.8

Program untuk menempatkan bentuk busur sangkar yang menandakan daerah tengah citra dan untuk menentukan ROI rektangular.

Untuk tujuan pembacaan *glass soap-bubble meter*, batas bawah ROI terletak di tengah citra, atau diatas sedikit, sehingga *bubble* tampak seperti garis lurus (batas depan dan batas belakang berhimpit) pada citra, saat *bubble* terletak di garis bawah ROI.



Gambar 3.9
Diagram blok *IMAQ Rake VI*.

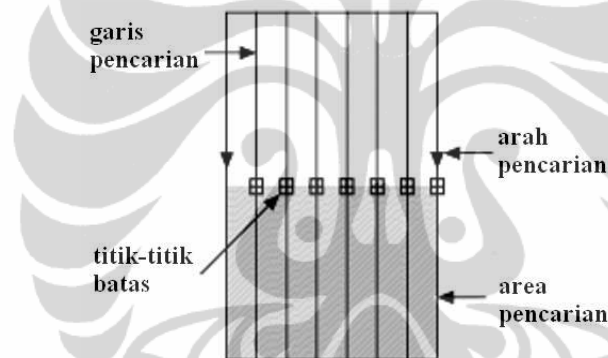
IMAQ Rake VI berfungsi untuk menemukan batas sepanjang satu set garis paralel didefinisikan di dalam wilayah persegi panjang (ROI). Batas-batas ditentukan berdasarkan kontras dan lereng.

Penempatan lampu penerangan diatas seperti yang ditunjukkan Gambar 3.7 (a) dimaksudkan untuk menghindari pantulan lampu penerangan yang tajam oleh

tabung gelas, dan memperoleh pantulan yang baik oleh *bubble*, sehingga diperoleh citra yang kontras antara *bubble* dan tabung gelas.

Pada gambar penempatan peralatan tampak citra dengan sebuah ROI dan sebuah *bubble* yang terletak pada posisi tertentu terhadap ROI. Program mendeteksi posisi *bubble* berupa garis-garis deteksi paralel dengan jumlah dan arah deteksi sesuai dengan diskripsi yang ditentukan lebih awal. Ilustrasi pendeteksian posisi bubble oleh program (*IMAQ Rake VI*) ditunjukkan pada Gambar 3.10.

Dalam pembacaan *glass soap-bubble meter*, *IMAQ Rake VI* mendeteksi (dengan garis-garis deteksi vertikal) garis batas *bubble* dari atas ke bawah.



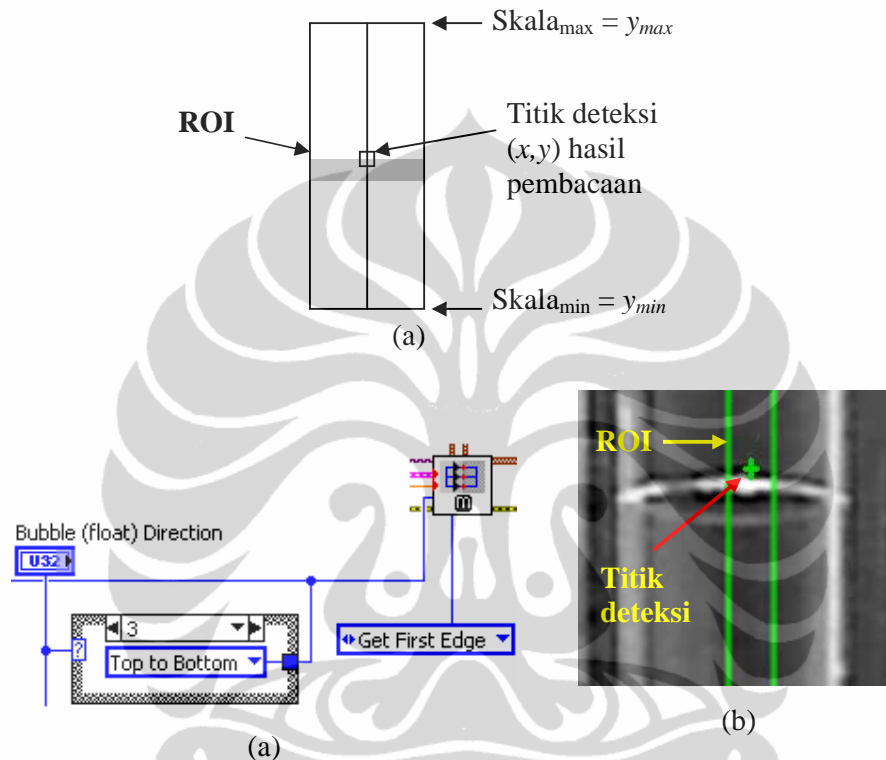
Gambar 3.10
Ilustrasi *IMAQ Rake*

Gambar telah diolah kembali

Garis garis skala ditempatkan di tengah tabung gelas untuk memudahkan penempatan batas ROI dengan tepat. ROI harus ditempatkan ditengah tabung gelas dengan batas-batas (atas dan bawah) tepat di garis skala. Pada proyek ini ditetapkan 9 buah garis deteksi (paralel), kemudian diambil garis yang ke-5 (tengah). Garis deteksi tengah adalah garis yang tepat dalam membaca posisi *bubble*.

Pada saat bubble melalui memasuki ROI, batas *bubble* tampak dalam bentuk garis. Semakin tinggi *bubble*, maka bubble akan tampak mulai berbentuk oval, sehingga pada ROI terjadi dua batas yang terdeteksi. Pembacaan hanya

dilakukan untuk batas yang terbaca pertama atau teratas (*get first edge*) pada pada garis deteksi yang terletak di tengah. Program untuk *setting* deteksi batas ditunjukkan pada Gambar 3.11 (a). Titik deteksi, tanda +, yang terbaca oleh *IMAQ Rake VI* ditunjukkan pada Gambar 3.11 (b)



Gambar 3.11 : Deteksi batas *bubble*

- (a) Ilustrasi deteksi titik (x,y) pada batas pertama (*first edge*);
- (b) Program untuk mendeteksi batas (*bubble*) dengan memanfaatkan *IMAQ Rake VI*;
- (c) Titik deteksi pada citra.

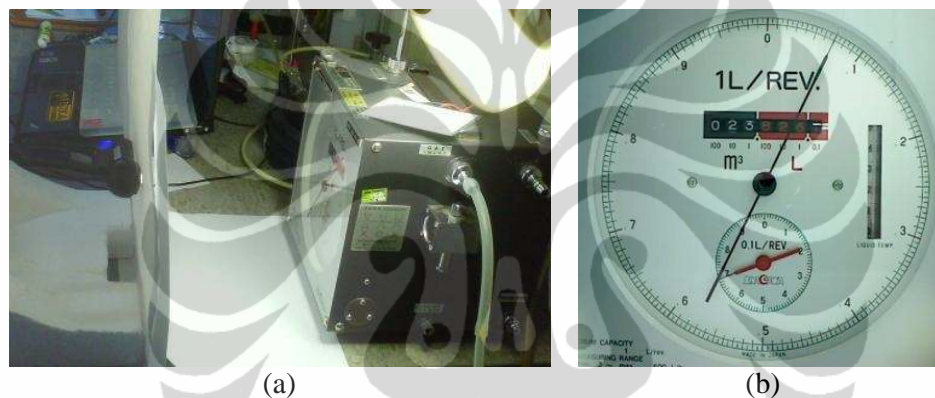
ROI rektanguler ditempatkan pada citra untuk menentukan batas bawah (koordinat pixel, y_{min}), dan batas atas, y_{max} . dikonversi menjadi koordinat nyata (besaran volume) dengan menginput sebuah nilai V_{min} untuk y_{min} dan V_{max} untuk y_{max} pada *front panel*.

Seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.11 (a), *IMAQ Rake VI* dalam fungsinya menginformasikan posisi batas yang terdeteksi dalam koordinat pixel

yaitu (x,y) . Selanjutnya berdasarkan nilai y_{min} dan y_{max} yang telah ditetapkan, maka nilai y dikonversi kedalam besaran volume, yaitu:

$$nilai_{lev} = \frac{y - y_{min}}{y_{max} - y_{min}} (V_{max} - V_{min}) + V_{min} \quad \text{pers 2}$$

3.9 Pembacaan Alat Ukur Dengan Tampilan *Dial*



Gambar 3.12 : *Dial*
 (a) Penempatan kamera USB dan meter dengan tampilan *dial*.
 (b) Jarum tanpa bayangan tampak melalui kamera USB.

Pada pembacaan tampilan *dial* (Gambar 3.12) sebuah lampu dipasang di belakang meter yang diarahkan pada *reflektor* (kertas putih) yang terletak tepat di depan meter. Kamera USB terletak di balik *reflektor*. Sebuah lubang kecil, dengan ketinggian sama dengan ketinggian pusat putaran jarum, dibuat pada kertas *reflektor* untuk mengambil citra meter.

Program ini ditujukan untuk mengolah data citra dari alat ukur yang mempunyai pergerakan penunjukan dengan bentuk lingkaran atau busur. Tampilan ini disebut juga *dial*. Tampilan semacam ini biasanya dimiliki alat ukur seperti meter air mekanik, gauge (misalnya tekanan dan suhu) dan lain-lain.

ROI yang digunakan adalah dalam bentuk *annulus* (lingkaran). Program (Gambar 3.14) untuk menampilkan lingkaran ditengah tengah citra sebagai

referensi yang menunjukkan daerah tengah citra dan untuk menggambar ROI *annulus*. Bila objek pada citra terletak jauh dari tengah citra sebaiknya penempatan objek diperbaiki. Data-data ROI merupakan sebagai inputan (ROI *Descriptor*) pada *IMAQ Read Meter VI*.

ROI ini sebenarnya ditujukan meter-meter dengan tampilan *annulus* (misalnya *dial*, bentuk busur), seperti yang ditunjukkan Gambar 3.13.



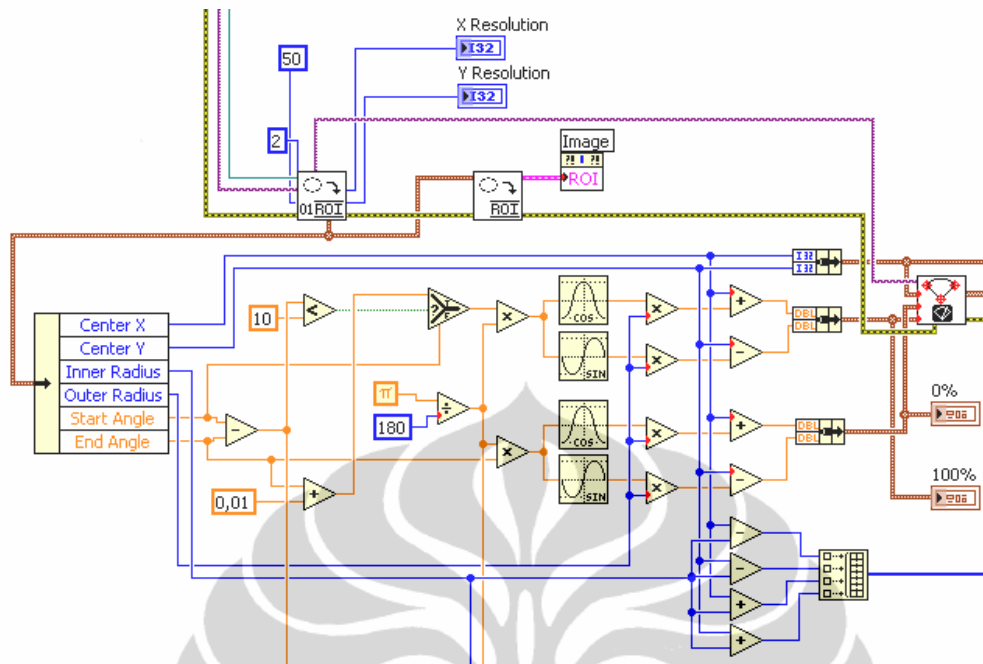
Gambar 3.13

Sebuah meter dengan tampilan annulus (dial, bentuk busur).

<http://bumikupijak.com/article/knowledge/mengenal-avometer.html>

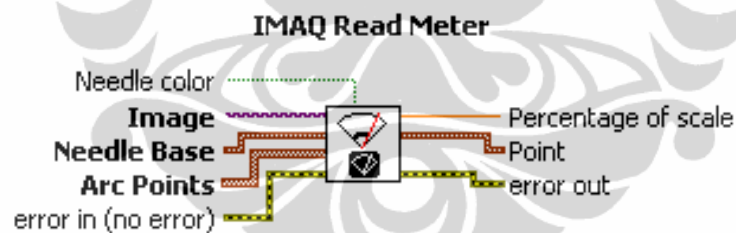
Gambar telah diolah kembali

Dengan ROI *annulus* dapat dibentuk lingkaran sehingga dapat diaplikasikan untuk meter-meter *counter* atau *totalizer*. ROI sulit untuk dibentuk lingkaran 360°, tetapi program dibawah ini akan membaca sudut dari busur yang dibentuk hampir 360° menjadi sebuah informasi ROI annulus dengan sudut 360°.



Gambar 3.14

Program untuk menggambar ROI annulus sampai dengan 360°, dan untuk memperoleh informasi ROI annulus sebagai input *IMAQ Read Meter VI*.



Gambar 3.15

Diagram blok *IMAQ Read Meter VI*.

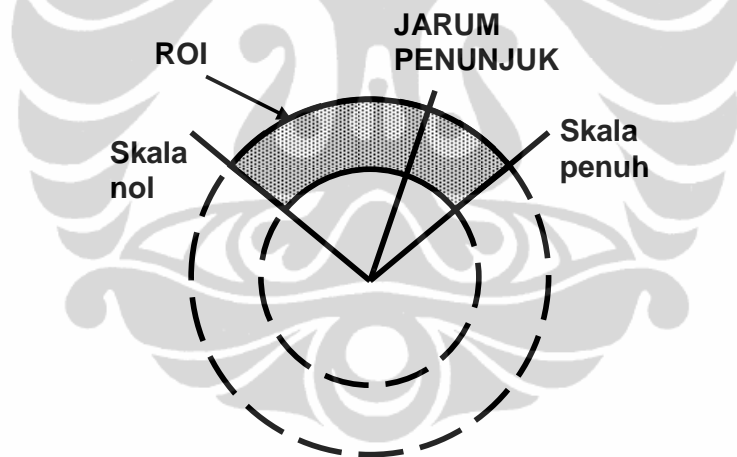
IMAQ Read Meter VI (Gambar 3.15) berfungsi untuk membaca posisi jarum menggunakan pusat jarum dan array dari titik-titik dari busur ditelusuri oleh ujung jarum. Jarum dan latar belakang harus kontras. VI ini menampilkan lokasi ujung jarum sebagai persentase dari skala nol dan skala penuh. Dalam hal pembacaan *counter* atau *totalizer* ROI yang digunakan berbentuk lingkaran

dengan batas minimum, $skala_{nol}$, dan batas maksimum, $skala_{penuh}$, berhimpitan. Sehingga nilai data yang ditunjukkan oleh program ini adalah :

$$nilai_{dial} = \left(\frac{x}{100} + n \right) (skala_{nol} - skala_{penuh}) + skala_{nol} \quad \text{pers 3}$$

dengan

- x = nilai posisi jarum penunjuk dalam satuan persen antara skala nol (0%) dan skala penuh (100%);
- n = bilangan bulat yang menyatakan jumlah putaran penuh yang telah dilalui oleh jarum penunjuk, bernilai positif untuk putaran searah jarum jam dan bernilai negative untuk arah sebaliknya.

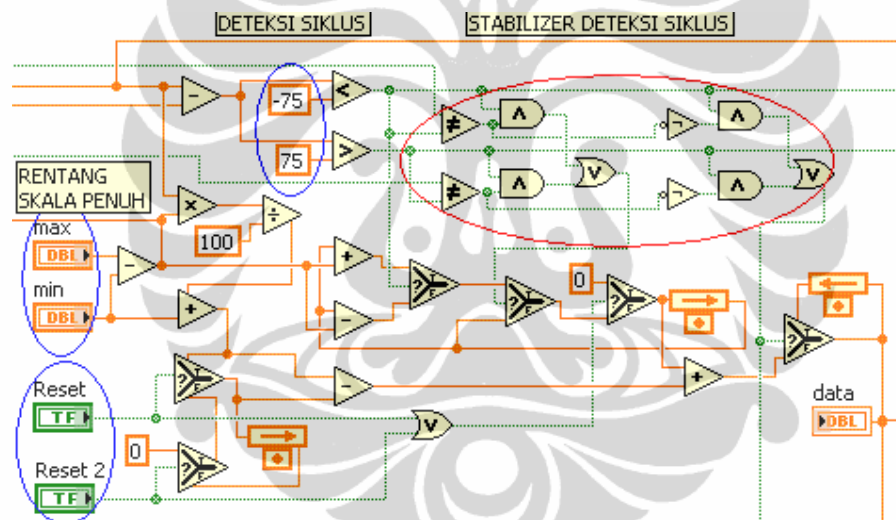


Gambar 3. 16
Ilustrasi pembacaan *dial*

Program untuk mengatasi gerakan jarum yang melintasi batas ROI (100%) ditunjukkan pada blok diagram Gambar 3.17. Pada gerakan maju dan melintasi batas maka nilai akan berubah drastis (perubahannya melebihi 75%) dari hampir 100% menjadi hampir 0%. Pada gerakan mundur dan melintasi batas maka nilai berubah drastis dari hampir 0% menjadi 100%. Bila hal ini terjadi maka program

akan melakukan penambahan nilai 1 poin untuk gerakan maju atau pengurangan 1 poin untuk gerakan mundur. Penambahan atau pengurangan ini dilakukan terhadap digit satu tingkat di atas *the most significant digit* (MSD) penunjukan. MSD penunjukan adalah digit tertinggi yang berubah karena perubahan penunjukan (jarum) tanpa melewati batas ROI.

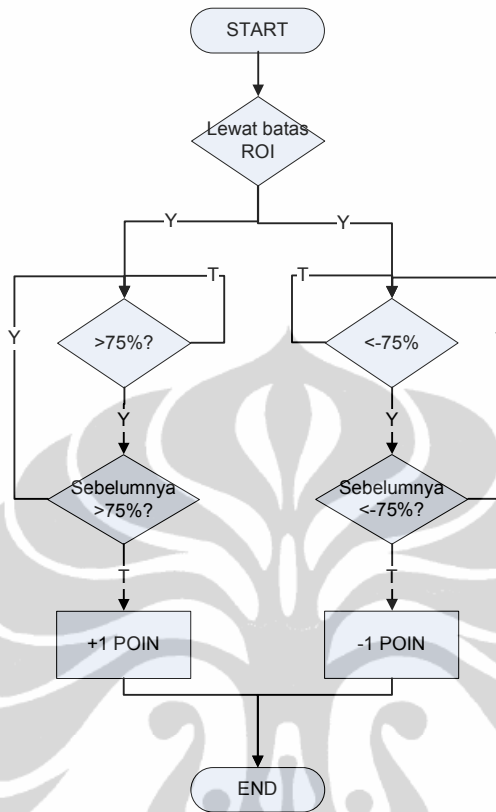
Saat pertama dijalankan program menampilkan nilai inisial, yaitu nilai antara batas minimum dan batas maksimum tanpa penambahan nilai siklus. Untuk memastikan hal ini, dapat dilakukan reset 2. Reset berfungsi untuk merubah nilai menjadi 0 saat tombol ditekan, program merekam nilai saat penekanan dan mengurangkannya dari nilai yang terbaca



Gambar 3.17

Program untuk mendeteksi siklus (lintas batas ROI) dan melakukan reset.

Langkah seperti pada gambar di atas termasuk dalam langkah penampilan hasil. Setiap perubahan langkah akan dibandingkan dengan nilai 75% skala penuh. Perubahan maju dan mundur dengan membandingkan perubahan nilai dengan 75%, ditujukan untuk mengantisipasi gerakan jarum yang cepat yang melewati batas ROI. Diperkirakan perubahan yang paling cepat tidak melebihi 25%. Bila hal ini terjadi maka referensi 75% menjadi tidak berguna, sehingga sistem ini akan mengatakan terjadi perubahan mundur.



Gambar 3.18
Diagram alir deteksi siklus (lintas batas) dan, penambahan atau pengurangan 1 poin.

Program (Gambar 3.17) ini juga mengatasi mencegah terjadinya lebih dari satu kali secara berurutan, langkah maju dengan melewati batas ROI, dan juga mencegah terjadinya lebih dari satu kali secara berurutan, langkah mundur dengan melewati batas ROI. Diagram alir langkah ini ditunjukkan oleh Gambar 3.18.

3.10 Pembacaan Alat Ukur Dengan Tampilan *Dial Register*



Gambar 3.19 : *Dial register*
 (a) penempatan kamera USB dan meter dengan tampilan *dial register*
 (b) citra karakter yang diperoleh kamera

Program ini ditujukan untuk mengolah data citra dari alat ukur yang mempunyai pergerakan penunjukan dengan mekanisme *dial register*. Tampilan ini masih banyak digunakan untuk peralatan ukur pada sistem dispenser air dan bahan bakar.

Penempatan peralatan kamera USB dan meter yang diobservasi harus tegak lurus dan sedekat mungkin (masih dalam fokus kamera, 3 cm) untuk memperoleh ukuran citra karakter yang sebesar mungkin. Pencahayaan dipasang di sudut samping (tidak diatas dan tidak dibawah) untuk memperoleh pencahayaan yang seimbang antara bagian atas dan bawah karakter.

Peletakan lapu di samping ini juga untuk menghindari warna karakter menjadi putih, yang menunjukkan bahwa karakter memperoleh cahaya berlebihan. Bila hal ini terjadi sudut datang cahaya harus diperlebar. Pencahayaan yang berlebihan ini akan menyebabkan citra yang tidak baik saat dilakukan proses dengan *plane* warna tunggal.

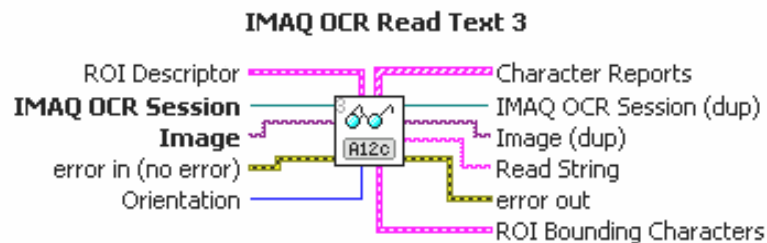
Kamera USB dipasang sedemikian rupa untuk memperoleh citra seperti tampak pada gambar atas (b) sebelah kanan. Karakter akan bergerak dari kiri ke kanan (sebenarnya dari bawah keatas) bila terdapat peningkatan nilai. Penempatan dengan posisi ini dilakukan karena *IMAQ OCR Read Text 3 VI* menganggap objek

lain yang terletak diatas sebuah karakter dianggap sebagai bagian dari karakter itu. Huruf i kecil yang memiliki titik dianggap sebagai satu karakter, tetapi bila huruf i kecil ini dalam posisi tidur akan dibaca sbagai dua karakter.

Dua ROI rektangular diperlukan untuk melakukan tugas dalam pembacaan tampilan *dial register* ini, pertama ROI untuk melakukan pembacaan posisi karakter, kedua ROI yang diperlukan untuk pembacaan posisi skala. Pembacaan posisi skala dilakukan oleh *IMAQ rake VI*, sedang pembacaan karakter oleh *IMAQ OCR Read Text 3 VI*.

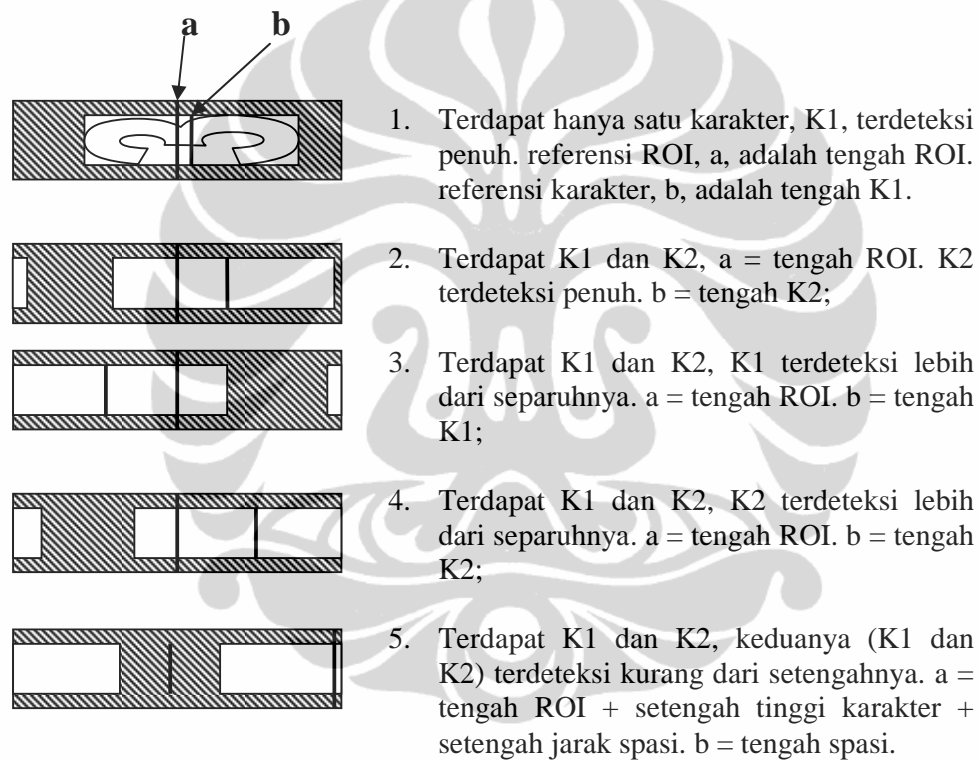
ROI karakter harus meliputi keseluruhan sebuah karakter (pada saat karakter tampak penuh), tetapi tidak meliputi objek-objek lainnya yang bukan karakter. ROI skala harus meliputi skala statis dan skala rotasi seperti tampak pada gambar bawah. *IMAQ Rake VI* mengukur jarak antara skala statis dan skala rotasi.

IMAQ OCR Read Text VI berfungsi untuk membaca teks dalam gambar. VI mengidentifikasi semua objek dalam citra berdasarkan sifat-sifat yang ditetapkan sebelumnya, dan kemudian membandingkan setiap objek dengan setiap karakter dalam file set karakter. Untuk setiap objek, VI memilih dan menginformasikan karakter yang paling mendekati objek. VI menggunakan karakter pengganti untuk setiap objek yang tidak cocok dengan salah satu karakter terlatih (*default* adalah “?”). Untuk menentukan karakter pengganti dapat digunakan properti Substitusi Karakter.



Gambar 3.20
IMAQ OCR Read Text 3 VI

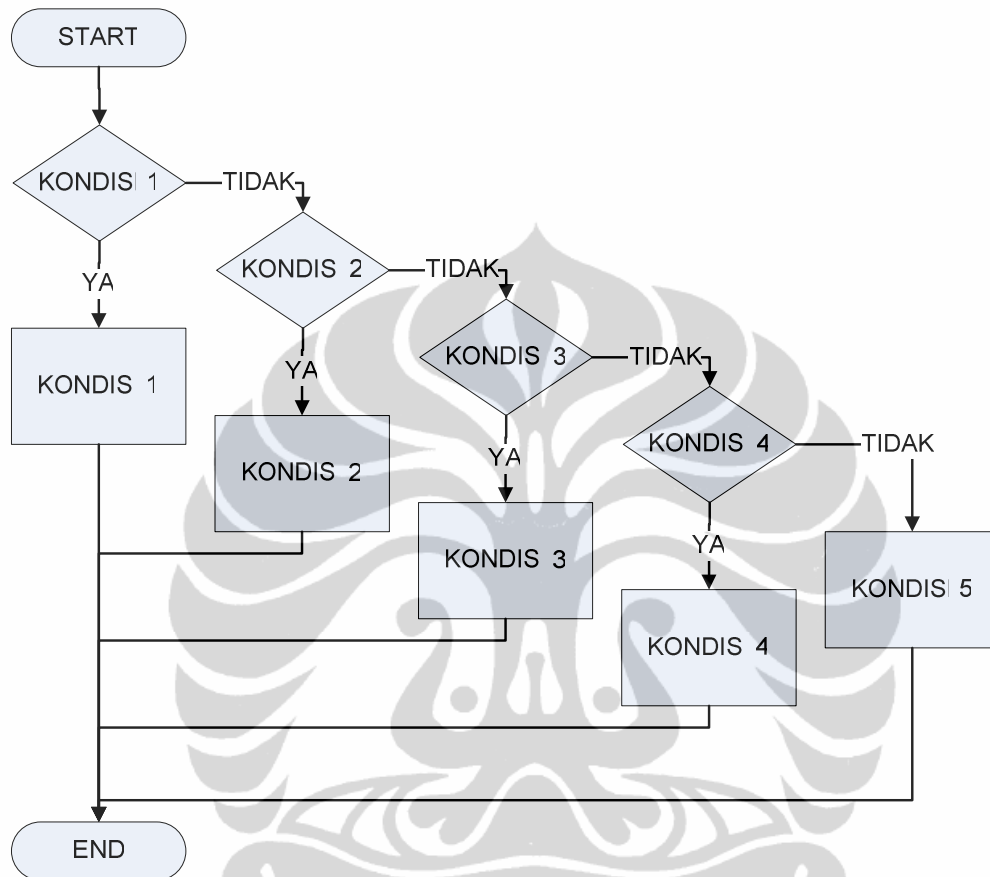
Selain karakter, informasi yang didapat dari VI ini adalah batas-batas rektangular yang tepat melingkupi (tinggi dan lebar karakter) karakter tersebut. Dengan ROI yang sempit dimungkinkan hanya dua karakter maksimal terdeteksi dalam waktu yang sama. Karakter 1, K_1 , terbaca sebelah kiri karakter 2, K_2 , sebelah kanan. Saat hanya satu karakter terbaca, maka itu adalah sebagai karakter 1, K_1 .



Gambar 3.21
Lima kondisi posisi karakter.

Pada saat karakter bergerak (maju atau mundur), terdapat kondisi-kondisi dimana karakter terdeteksi tidak penuh. Pada kondisi itu karakter tidak dikenal atau tidak sesuai kriteria, *IMAQ Read Text 3* VI menginformasikan sebuah karakter pengganti (*default* sama dengan "?"). Dari seluruh kondisi yang mungkin

penulis membaginya dalam lima kondisi, seperti yang diilustrasikan pada Gambar 3.21, sedang diagram alir penentuan kondisi digambarkan oleh Gambar 3.22.



Gambar 3.22

Diagram alir penentuan lima kondisi deteksi karakter.

Karakter yang terbaca penuh akan direkam sebagai referensi berikut tinggi karakternya, *f*. Karakter referensi ini digunakan untuk memanipulasi karakter yang akan muncul berikutnya.

Karakter tidak penuh yang muncul harus ditetapkan, karena karakter yang masih belum penuh akan diinformasikan salah atau tidak dimengerti, "??", oleh *IMAQ OCR Read Text 3 VI*, misalnya karakter 8 akan diinformasikan sebagai nol saat terbaca setengah tingginya.

Penetapan karakter dilakukan berdasarkan informasi karakter yang sudah direkam (saat sebuah karakter terdeteksi penuh). Misalnya program telah

merekam (dalam *buffer* LabVIEW) karakter 8, untuk gerakan maju, maka bila terdapat karakter baru yang terdeteksi, itu berarti,

$$\text{Karakter baru} = \text{karakter terekam} + 1 \quad \text{pers 4}$$

$$8 + 1 = 9 \quad \text{pers 5}$$

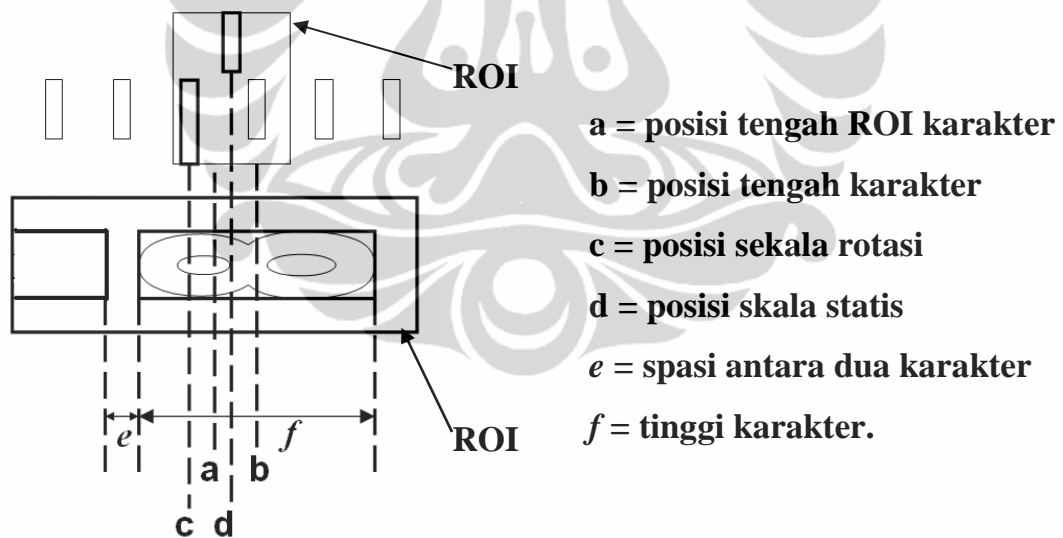
untuk gerakan mundur,

$$\text{karakter baru} = \text{karakter terekam} - 1 \quad \text{pers 6}$$

$$8 - 1 = 7 \quad \text{pers 7}$$

Untuk karakter terekam sama dengan 9 maka, saat gerakan maju karakter berikutnya adalah 0. Untuk karakter terekam sama dengan 0 maka, saat gerakan mundur karakter berikutnya adalah 9.

Jarak spasi antar dua karakter, e juga direkam. Karakter, Tinggi karakter f dan jarak spasi e selalu diperbaharui bila kondisi sempurna karakter dan spasi terdeteksi.



Gambar 3.23

Ilustrasi pembacaan karakter oleh *IMAQ OCR Read Text VI*.

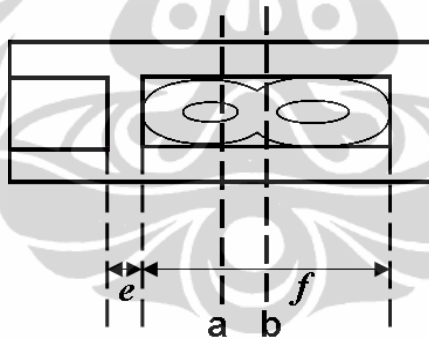
IMAQ OCR Read Text VI juga menginformasikan batas-batas (pixel) karakter-karakter, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.23. Dengan informasi batas-batas karakter ini dapat ditentukan :

f = tinggi karakter;
 e = spasi antara karakter;
 a = setengah tinggi ROI;
 b = setengah tinggi karakter;

sedang *IMAQ Rake VI* menginformasikan batas-batas skala. Dari informasi ini dapat ditentukan:

c = posisi skala rotasi;
 d = posisi skala statis

Pembacaan diawali dari deteksi karakter. Langkah ini dimaksudkan untuk melakukan pembacaan tampilan *dial register* yang tidak memiliki skala seperti yang tampak pada Gambar 3.24. Referensi pembacaan adalah tengah ROI karakter, a , sehingga nilainya adalah $nilai_{ROI}$.



Gambar 3.24
Ilustrasi pembacaan karakter tanpa skala.

dengan,

$$nilai_{ROI} = 8 + (a - b) * respix \quad \text{pers 8}$$

$$respix = \frac{1}{e + f} \quad \text{pers 9}$$

Gambar 3.24 menunjukkan tengah karakter, b , terletak sebelah kanan tengah ROI, a , sehingga $nilai_{ROI}$ kurang dari 8.

Mempertimbangkan posisi skala, tampak pada Gambar 3.23 skala rotasi, c , berada sebelah kiri skala statis, d . Ilustrasi diatas menunjukkan $nilai_{skl}$ lebih besar dari 8, dengan

$$nilai_{skl} = 8 + (d - c) * respix \quad \text{pers 10}$$

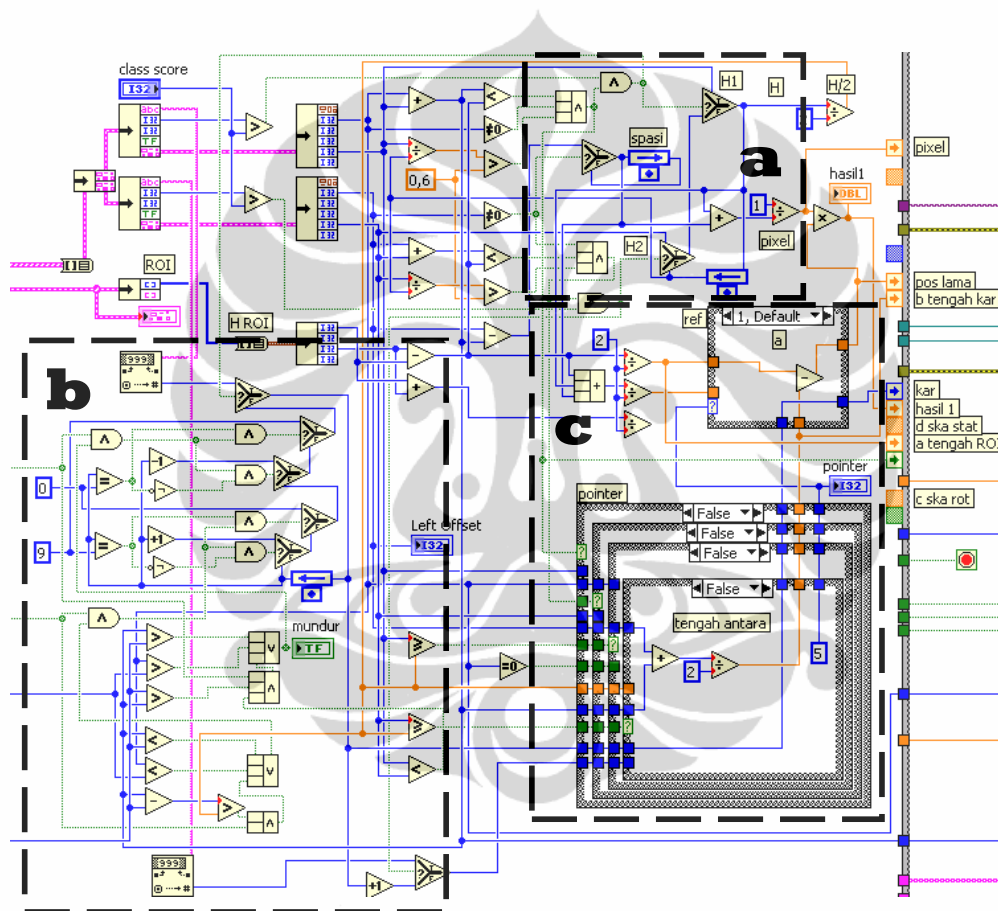
$$nilai_{skl} = nilai_{ROI} + ((b - a) + (d - c)) * respix \quad \text{pers 11}$$

Dalam menetapkan karakter yang muncul kemudian, harus memperhatikan gerakan maju atau mundur, ilustrasinya ditunjukkan pada Gambar 3.25 di bawah ini.

KONDISI	MAJU		MUNDUR	
	K_1	K_2	K_1	K_2
1		3		
		3		
2		3		
		3	4	
3		3	4	
		3	4	
4		3	4	
		3	4	
5		3	4	
		4		

Gambar 3.25
Ilustrasi deteksi gerakan maju dan mundur karakter pada pembacaan meter dengan tampilan *dial register*.

Dua kejadian istimewa terdapat pada peristiwa pembacaan karakter ini yaitu langkah MAJU5 dan langkah MUNDUR2. Pada langkah MAJU5, awalnya terdeteksi dua karakter $K1 = 3$ dan $K2 = 4$, pada kondisi ini referensi karakter, a, terletak di tengah $K2$. Perubahan terjadi sehingga hanya satu karakter terdeteksi, yaitu sekarang $K1 = 4$, sehingga sekarang a terletak ditengah $K1$.



Gambar 3.26

Program utama untuk pembacaan meter dengan *dial register*.

- (a) program perekaman tinggi karakter dan jarak spasi,
- (b) Bagian untuk menetapkan Karakter 1 dan karakter 2,
- (c) bagian dalam pemilihan salah satu dari 5 kondisi pembacaan karakter.

Pada langkah MUNDUR2, awalnya terdeteksi hanya satu karakter $K1 = 3$ dan referensi karakter, a, terletak ditengah $K1$. Perubahan terjadi sehingga terdapat dua karakter terdeteksi, dimana karakter 3 terletak pada $K2$, begitu juga

sekarang referensi karakter, a, terletak di tengah K2. K1 sekarang adalah karakter baru yang harus ditetapkan sebagai 2. Penetapan K1 dan K2 ini diperlukan untuk menangani kondisi dimana K1 dan K2, keduanya, terdeteksi tidak sempurna. Program utama dalam sistem pembacaan tampilan *dial register* ditunjukkan pada Gambar 3.26.

3.11 Akusisi data.

Akusisi data berarti pengambilan data citra yang dilakukan oleh program secara berulang dengan interval waktu tertentu yang bisa ditentukan pada inputan yang disediakan pada *front panel*. Selain interval waktu juga banyaknya baris data yang akan direkam bisa ditentukan.

Data yang dihasilkan oleh program adalah terdiri dari 5 kolom yaitu :

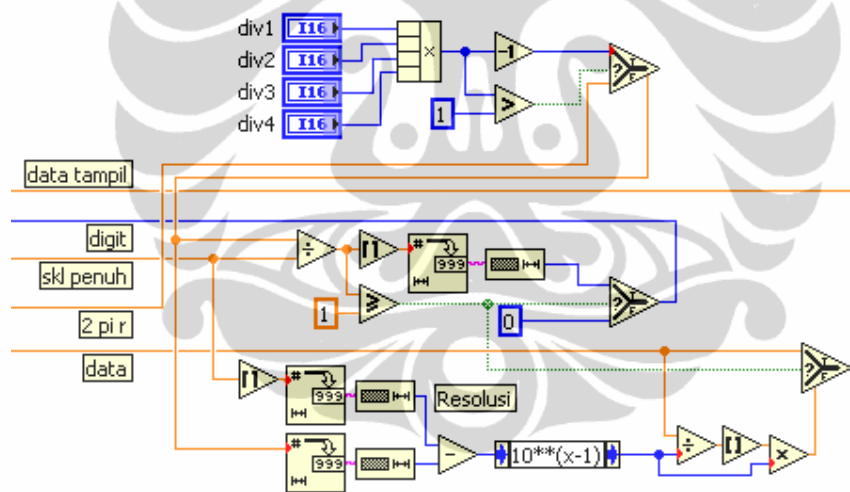
1. Nama, adalah nama yang bisa diisi atau diinput (pada *front panel*) sebelum dilakukan pembacaan. Pada nama ini program akan menambahkan akhiran berupa angka urut yang menunjukkan akusisi ke sekian. Urutan terakhir terletak dibaris paling atas setelah baris judul;
2. Data, adalah nilai suatu besaran (dalam hal WGM dan *glass soap-bubble meter* adalah besaran volume) yang relevan dengan posisi penunjukan;
3. Jam, adalah jam saat dilakukan pengambilan citra;
4. menit, adalah menit saat dilakukan pengambilan citra, dan;
5. detik, adalah detik saat dilakukan pengambilan citra.

Nilai data yang ditunjukkan atau tercantum pada kolom 2 memiliki satuan volume sesuai dengan batas atas dan batas bawah ROI yang diinput melalui front panel. Nilai ini menunjukkan nilai yang relevan terhadap posisi penunjukan (*bubble*, jarum, atau karakter).

3.12 Resolusi

Pada layar akan ditampilkan hasil pembacaan. Data komputer diproses dengan format bilangan riil, misalnya jarak antara skala terkecil adalah tiga pixel, berarti komputer mampu membedakan $\frac{1}{3}$ skala terkecil. Maka komputer menghasilkan angka 0,33333 dan seterusnya, bila ditampilkan demikian terkesan instrumen ini mempunyai tingkat akurasi yang sangat tinggi, yang mampu membaca perbedaan 0,00003. Penyajian yang tepat untuk nilai ini adalah 0,3.

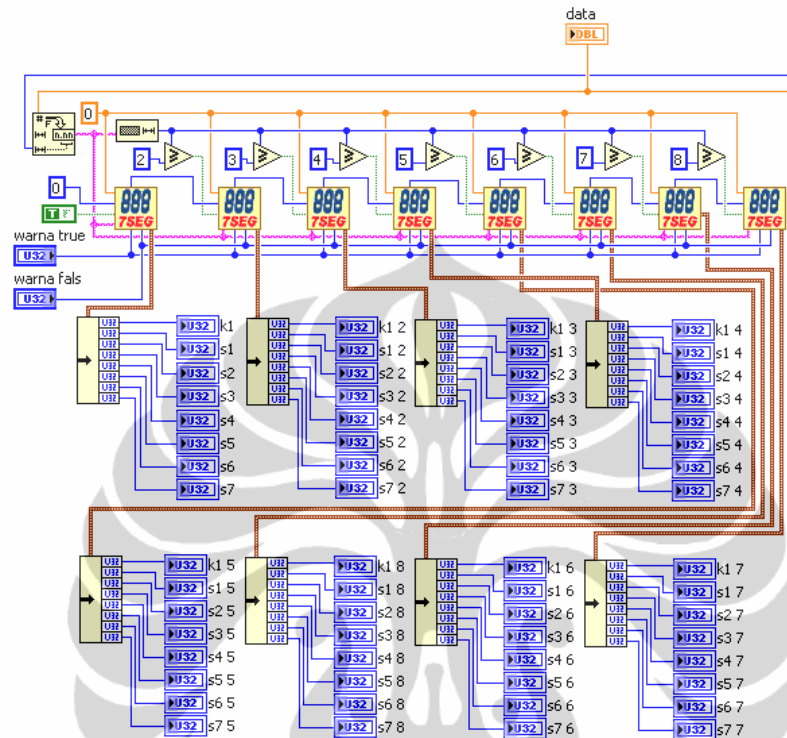
Informasi data yang diperoleh dapat berupa data koordinat titik atau persen. Dengan memanipulasi data yang memperhitungkan jarak skala dan resolusi yang relevan, data yang akan ditampilkan diproses lebih dahulu melalui program seperti Gambar 3.27 di bawah ini.



Gambar 3.27
Program untuk menentukan resolusi tampilan digital.

Program ini menghasilkan sebuah bilangan interger yang menyatakan dan membatasi jumlah digit dibelakang koma dalam menampilkan hasil pembacaan. Pembatasan ini dilakukan secara otomatis yang berhubungan dengan resolusi citra (jumlah pixel antara dua resolusi) atau secara manual dengan memasukkan jumlah devisi antara dua skala.

3.13 Tampilan dan Perekaman Data



Gambar 3.28

Program untuk menampilkan digit data hasil pembacaan.

Sesudah resolusi yang wajar untuk suatu data hasil pembacaan ditentukan, data pembacaan dan data resolusi menjadi inputan bagi program tampilan digital, yang ditunjukkan pada Gambar 3.28 dalam menampilkan data hasil pembacaan. Selain ditampilkan data direkam dalam sebuah tabel. Dalam tabel akan terekam data pembacaan dan data waktu saat pembacaan data citra. Tabel ini disimpan dengan nama yang kita tentukan melalui sebuah *dialog box*.

Program diatas tersusun atas beberapa sub VI (7segment.VI), yang masing masing untuk menampilkan satu digit. Warna tampilan digit dapat ditentukan secara manual. Pada Gambar 3.29 tampak tampilan pada PC saat program dijalankan. Sudut kanan bawah tampak sebuah citra sebuah *glass soap-bubble meter* dengan sebuah *bubble*. Sebuah ROI rektanguler ditempatkan pada sebuah posisi tabung sehingga batas atas ROI terletak pada skala atas dan batas bawah

ROI terletak pada skala bawah. Skala bawah ditentukan sebagai 0 satuan (mililiter), dan skala atas ditentukan sebagai 20 satuan (mililiter). *Bubble* terletak pada posisi 15,9 satuan



Gambar 3.29

Tampilan program pembacaan *glass soap-bubble meter* pada layar PC.

Pada bagian atas tampak digit-digit angka untuk menampilkan posisi penunjukan (*bubble*). Digit dibuat cukup besar dan warnanya dapat diseti sesuai keinginan. Tabel pada bagian kiri dan atas (tabel pembacaan) adalah data hasil pembacaan yang tersimpan pada *buffer* LabVIEW. Tabel pada bagian kiri bawah (tabel direkam) menampilkan tabel data yang akan direkam dengan jumlah baris yang telah ditentukan lebih dulu. Program untuk melakukan perekaman data ditunjukkan pada Gambar 3.30.

BAB 4 PEMBAHASAN

Dalam tesis sebenarnya banyak yang bisa dianalisa misalnya : pengaruh tingkat pencahayaan, posisi pencahayaan, kecepatan kamera (*frame time*), resolusi kamera, kestabilan program terhadap kecepatan perubahan citra, kestabilan program terhadap *noise* dan lain-lain. Dengan keterbatasan yang ada penulis hanya menyampaikan beberapa pembahasan di bawah ini.

4.1. Penempatan (*Setup*) Peralatan

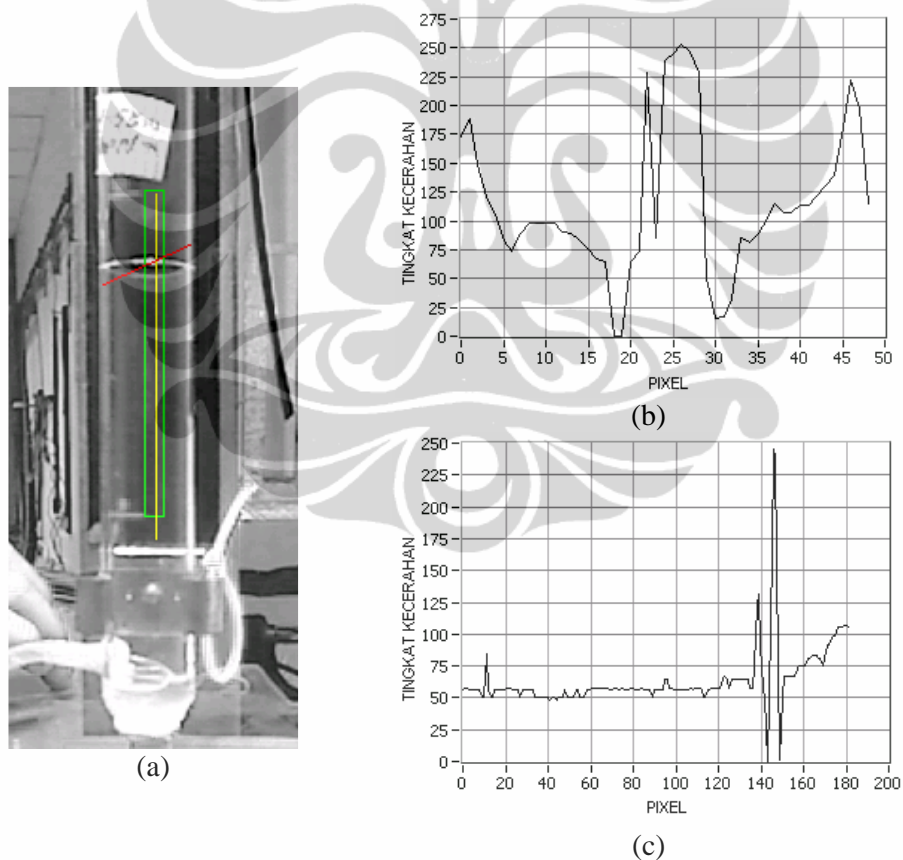
Peralatan, (meter yang dibaca, kamera dan pencahayaan) ditempatkan dengan baik untuk mendapatkan citra yang baik. Penunjuk dan skala harus tampak kontras terhadap latar belakang, citra melingkupi keseluruhan objek yang diperlukan. Kamera dan lampu penerangan masing masing ditempatkan pada suatu kedudukan untuk memperoleh citra yang stabil.

4.2. Pembacaan *Glass Soap-Bubble Meter*

Penempatan *glass soap-bubble meter* ditunjukkan pada Gambar 3.7. meter harus ditempatkan tegak lurus pada citra, hal ini bisa diperiksa dengan menggunakan waterpass. Citra melingkupi dua skala. Kedua skala tersebut berjarak kira-kira 10 cm pada tabung *glass soap-bubble meter*. Skala initial (bawah) ditempatkan di tengah citra. Penempatan ini dimaksudkan untuk mensiasati posisi bubble yang tidak tegak lurus kamera. ROI rektanggular ditempatkan ditengah tabung dengan sisi bawah berhimpitan dengan skala bawah dan sisi atas ROI berhimpitan dengan skala atas. Sisi kanan dan kiri ROI diletakkan sedemikian rupa untuk memastikan tidak ada *noise* cahaya di dalam ROI. Biasanya penulis membuat lebar ROI seperempat sampai sepertiga diameter tabung dalam citra, untuk menghindari pantulan cahaya pada sisi tabung.

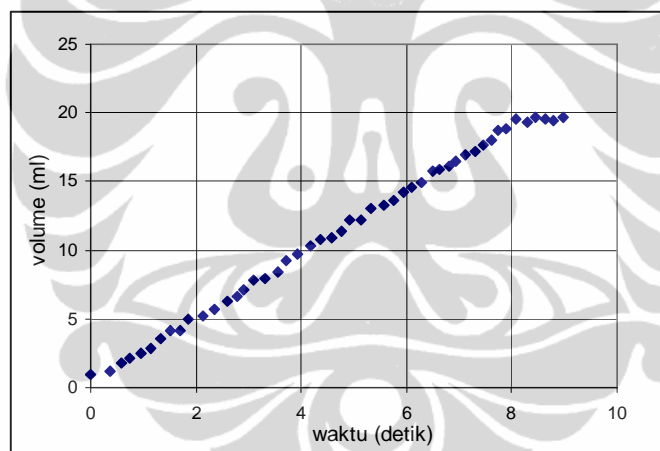
Cahaya ditempatkan pada posisi atas tabung dan sebuah latar belakang hitam diletakkan di belakang tabung. Bahan yang digunakan tidak mengkilat untuk menghindari pantulan cahaya sekeliling. Dengan posisi cahaya di atas, tabung tidak memantulkan cahaya ke arah kamera. Kotoran pada permukaan tabung, dan benda-benda terang disekitar tabung dapat menyumbang *noise* pada tabung. Kotoran biasanya merupakan *reflektor* yang baik.

Dari Gambar 4.1 tampak perubahan warna atau intensitas cahaya secara gradual pada tabung dari batas bawah ROI (tengah citra) sampai bagian atas tabung akibat lampu, dan dari tengah ke samping akibat cahaya sekeliling, kondisi ini menurun nilai kontras pantulan cahaya oleh *bubble*.



Gambar 4.1
Garis profile tingkat kecerahan saat pembacaan (penunjukan *bubble*) pada sebuah *glass soap-bubble meter*
(a) posisi garis profil pada citra, (b) horizontal (merah), (c) vertikal (kuning).

Dengan menggunakan fungsi atau blok diagram *IMAQ Rake VI*, program melakukan deteksi batas (lereng) pertama dari atas dan batas teratas (pertama) ini akan ditampilkan sebagai data pembacaan. *Bubble* bergerak keatas berarti menjauhi pusat citra. Semakin menjauhi pusat citra, garis *bubble* pada belakang tabung semakin tampak sebagai garis kedua. Garis ini akan terbaca saat garis pertama telah melewati batas atas ROI. Gambar 4.2 menunjukkan adanya hasil nilai-nilai yang melandai pada baris-baris data terakhir, yang menunjukkan terbacanya lereng lainnya yang bukan lereng pertama oleh sistem. Pada gambar 4.1 (c) diatas tampak terdapat 5 lereng. Lereng-lereng ini terjadi karena bentuk *bubble* yang menempel pada dinding tabung, yang menyebabkan pantulan cahaya yang hampir minimum dan kemudian hampir maksimum dengan tiba-tiba.



Gambar 4.2

Grafik salah satu data pembacaan volume pada *glass soap-bubble meter*.

Skala bawah (berarti juga sisi bawah ROI) ditempatkan ditengah citra bertujuan untuk menghindari terjadinya garis *bubble* bagian belakang terletak pada posisi atas. Dengan penempatan seperti ini diharapkan garis *bubble* bagian depan selalu terjadi di atas garis bagian belakang pada citra, kecuali saat di tengah citra (garis bagian depan dan belakang berhimpit).

Penulis sejauh ini masih mengasumsikan bahwa dinding tabung *glass soap-bubble meter* sangat tipis sehingga pembiasan cahaya diabaikan. Citra pada

Gambar 4.1 tampak abu-abu karena sistem bekerja dengan satu plane (merah). Dengan menggunakan satu plane, *bubble* pada citra tampak lebih kontras. Bekerja dengan tiga plane adalah dimungkinkan dengan pencahayaan yang baik.

4.2.1. Akurasi Pembacaan Volume pada *Glass Soap-Bubble Meter*

Secara umum tabel hasil pembacaan volume oleh kamera (sistem) adalah seperti yang tercantum pada Lampiran 2. Akurasi adalah nilai kedekatan hasil pembacaan (oleh alat ukur) terhadap nilai sebenarnya. Akurasi alat ukur dapat dipengaruhi oleh tingkat akurasi bagian-bagian alat ukur dari sensor atau transduser, pengiriman sinyal, pengolahan sinyal sampai dengan tampilan alat ukur. Akurasi dapat dinyatakan dengan nilai koreksi dan ketidakpastiannya, nilai hasil pembacaan alat ukur.

Dalam hal pembacaan *glass soap-bubble meter*, terdapat dua penunjukan besaran yang perlu diketahui tingkat akurasinya. Skala-skala yang tertulis pada tabung gelas adalah dalam besaran volume, dengan posisi *bubble* merupakan penunjukan sebuah volume udara yang melewati suatu batas referensi, $skala_{min}$. Untuk mengetahui tingkat akurasi pembacaan penunjukan alat ukur (besaran volume) dengan kamera dan pengolahan citra berbasis komputer, dapat dilakukan dengan menguji kestabilan pembacaan terhadap penunjukan pada posisi stabil atau diam, sehingga nilai akurasi sama dengan simpangan baku (standar deviasi) dari beberapa data hasil pembacaan.

$$STDEV = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (V_i - \bar{V})^2}{n-1}} \quad \text{pers 12}$$

Dengan V = volume.

Tabel 100 data pembacaan volume untuk uji akurasi ditunjukkan pada Tabel 5.2 Lampiran 3. Dari 100 data pembacaan volume tersebut diperoleh nilai akurasi sebesar $\pm STDEV = \pm 0,002$ mililiter pada penunjukan 7,8 mililiter.

4.2.2. Uji Banding Pembacaan Laju Aliran pada *Glass Soap-Bubble Meter*

Untuk penunjukan laju aliran, Q , yang melibatkan pembacaan waktu, tingkat akurasi dapat diketahui dengan melakukan uji banding (atau kalibrasi) dengan pengukuran atau pembacaan dengan metode yang memiliki tingkat kestabilan yang beberapa kali lebih baik.^[20] Karena keterbatasan alat penulis membandingkan pembacaan laju aliran oleh kamera dengan pembacaan oleh operator, dan ini sesuai dengan tujuan tugas akhir ini dibuat.

Dari tabel pembacaan oleh alat kamera diperoleh informasi yaitu : nama baris data (uji_k), nilai volume (kolom data, V_k), waktu jam, ($t_{k,jam}$), waktu menit, ($t_{k,menit}$), dan waktu detik, ($t_{k,detik}$). $T_{k,jam}$, $t_{k,menit}$, dan $t_{k,detik}$ menunjukkan waktu saat akusisi dilakukan. Dan,

$$t_k = t_{k,jam} \times 3600 + t_{k,menit} \times 60 + t_{k,detik} \quad \text{pers 13}$$

dalam satu kali pembacaan (pembacaan ke- i) laju aliran, diperoleh satu seri data yaitu uji_k($j=0,i$) sampai uji_k($j-1,i$), dengan j adalah banyaknya data dalam satu kali pembacaan laju aliran.

Pada saat dilakukannya uji banding, bersamaan dengan pembacaan yang dilakukan oleh kamera, operator akan mengambil data waktu saat *bubble* berada tepat pada skala_{min} ($=V_{man(0,i)} = 0$ ml, bersesuaian dengan $V_{k(j=0,i)}$) saat $t_{man(0,i)}$ dan skala_{max} ($=V_{man(1,i)} = 20$ ml, bersesuaian dengan $V_{k(j-1,i)}$) saat $t_{man(1,i)}$, sehingga nilai laju aliran yang dibaca operator (secara manual) adalah,

$$Q_{man(i)} = \frac{V_{man(1,i)} - V_{man(0,i)}}{t_{man(1,i)} - t_{man(0,i)}} \quad \text{pers 14}$$

Nilai laju aliran yang terbaca oleh alat kamera adalah,

$$Q_{alat(i)} = \frac{V_{alat(1,i)} - V_{alat(0,i)}}{t_{alat(1,i)} - t_{alat(0,i)}} = \frac{V_{k(j-1,i)} - V_{k(j=0,i)}}{t_{k(j-1,i)} - t_{k(j=0,i)}} \quad \text{pers 15}$$

Selisih pembacaan laju aliran antara oleh operator dan oleh alat kamera adalah :

$$E_{Q(i)} = Q_{alat(i)} - Q_{man(i)} \quad \text{pers 16}$$

Dengan

$V_{alat(0,i)} = V_{k(j=0,i)}$, volume_k yang nilainya paling dekat dengan $V_{man(0,i)}$;

$V_{alat(1,i)} = V_{k(j=1,i)}$, volume_k yang nilainya paling dekat dengan $V_{man(1,i)}$, dalam hal *Glass Soap-Bubble Meter* perlu diperhatikan beberapa data (landai) di sekitar 20 ml tidak valid dan harus dihilangkan, perlu dilihat bentuk grafiknya.

$t_{alat(0,i)} = t_{k(j=0,i)}$, bersesuaian volume_k yang nilainya paling dekat dengan $V_{man(0,i)}$;

$t_{alat(1,i)} = t_{k(j=1,i)}$, bersesuaian volume_k yang nilainya paling dekat dengan $V_{man(1,i)}$;

n = jumlah pengulangan atau pembacaan laju aliran.

Dengan n kali pembacaan, kestabilan pembacaan dihitung dengan standar deviasi. Untuk kestabilan pembacaan laju aliran oleh operator adalah :

$$SD_{Q_{man}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{man(i)} - \overline{Q_{man}})^2}{n-1}} \quad \text{pers 17}$$

$$SD_{(Q_{man}\% \text{ read})} = \frac{STDEV_{Q_{man}}}{\overline{Q_{man}}} \times 100\% \quad \text{pers 18}$$

Kestabilan pembacaan laju aliran oleh kamera adalah :

$$SD_{Q_{alat}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{alat(i)} - \overline{Q_{alat}})^2}{n-1}} \quad \text{pers 19}$$

$$SD_{(Q_{alat}\% \text{ read})} = \frac{STDEV_{Q_{alat}}}{\overline{Q_{alat}}} \times 100\% \quad \text{pers 20}$$

Kestabilan selisih pembacaan laju aliran antara oleh operator dan oleh kamera adalah :

$$SD_E = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (E_i - \bar{E})^2}{n-1}} \quad \text{pers 21}$$

$$SD_{(E, \% \text{ read})} = \frac{STDEV_E}{Q_{alat}} \times 100\% \quad \text{pers 22}$$

Tabel 4.1 menunjukkan data hasil uji banding pembacaan *glass soap-bubble meter* dengan pembacaan oleh seorang operator. Nilai kestabilan yang dinyatakan dengan nilai standar deviasi menunjukkan nilai yang hampir sama, yang berarti sistem pembacaan ini menyamai pembacaan operator. Dalam hal ini penulis melakukan 9 kali pengulangan ($n = 9$)

Tabel 4.1
Data uji banding pembacaan laju aliran pada *glass soap-bubble meter*.

Laju aliran nominal Q_n (l/m)	Resolusi citra	laju aliran (l/m)			Kestabilan (9 data) (l/m)	
		Q_{alat}	Q_{man}	selisih	SD_{alat}	SD_{man}
1,5	vga	1,626	1,66	-0,034	0,167	0,017
2	svga	1,887	1,900	-0,014	0,098	0,081
5	vga	5,322	5,333	-0,011	0,242	0,236
10	vga	9,846	9,938	-0,092	0,829	0,849

Tabel 4.2 menunjukkan data mentah salah satu hasil pembacaan, yang belum diolah yang menunjukkan adanya kesalahan data. Pembacaan dilakukan dengan resolusi citra svga (800 x 600 pixel) pada laju aliran $Q= 5$ l/m. Pada saat pembacaan dilakukan, citra yang tampil cukup baik, tetapi dari tabel diatas tampak nilai data yang menunjukan bahwa sistem tidak menanggapi perubahan citra. Beberapa data hasil pembacaan *glass soap-bubble meter* tercantum pada Lampiran 4 dan Lampiran 5.

Tabel 4.2
Data pembacaan volume pada *glass soap-bubble meter* dengan resolusi citra svga pada laju aliran $Q= 5$ l/m.

nama	Volume (ml)	detik
uji_35	0	1,362
uji_34	19,72643	1,302
uji_33	19,72546	1,162
uji_32	19,71813	1,022
uji_31	19,72057	0,902
uji_30	19,72983	0,751
uji_29	19,72762	0,631
uji_28	19,72484	0,521
uji_27	2,422277	0,110
uji_26	19,72618	0,000

4.3. Pembacaan tampilan *Dial* (Jarum)

Penempatan peralatan pembacaan tampilan *dial* ditunjukkan pada Gambar 3.12. Posisi kamera harus sedemikian rupa sehingga citra tampak simetris dan bayangan jarum tidak tampak pada citra. Untuk menciptakan hamburan cahaya yang merata pada permukaan *dial*, digunakan reflektor dari kertas putih yang tidak mengkilat. Reflektor ditempatkan tepat di depan meter. Sebuah lampu penerangan yang cukup lebar ditempatkan di sisi meter mengarah pada reflektor. Sebuah lubang dibuat pada refelektor dengan posisi tepat di tengah meter. Posisi lubang

ini bisa diukur terhadap permukaan meja sama dengan posisi pusat jarum terhadap permukaan meja juga. Lubang ini digunakan untuk penempatan kamera. Meter dalam hal ini WGM ditempatkan dengan posisi tegak, bila diperlukan bisa digunakan *waterpass*.

Untuk melakukan pembidikan kamera, aplikasi apapun yang kompatibel dengan kamera bisa dijalankan. Kamera diarahkan sedemikian rupa sehingga pada citra tampak keseluruhan objek dan simetris (bentuk *dial* pada citra adalah bundar dan tidak oval). Bagian-bagian detil citra bisa diperhatikan untuk memastikan objek benar-benar pada kondisi simetris. Misalnya jarak sisi lingkaran *dial* terhadap keempat sisi batas citra. Fokus manual bisa digunakan untuk mendapatkan fokus citra yang maksimal.



Gambar 4.3

Citra sebuah *dial* dengan pencahayaan menggunakan reflektor

Pada Gambar 4.3 sebuah meter dengan tampilan *dial* menggunakan reflektor kertas putih yang tidak mengkilat. Jarum tampak tidak memiliki bayangan. Pada pusat jarum tampak bayangan hitam. Bayang hitam itu

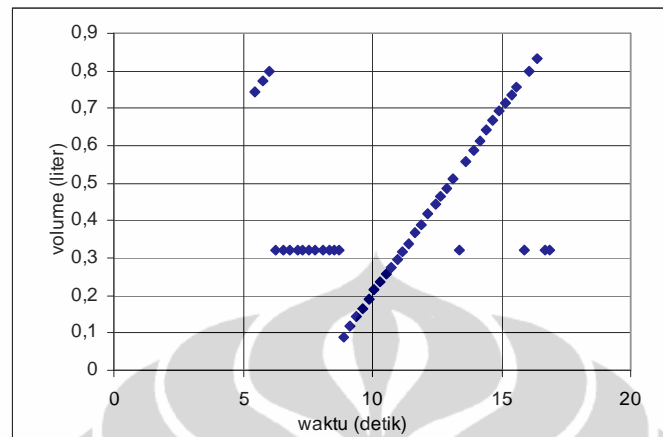
merupakan bayangan kamera yang jatuh tepat di pusat jarum. Gambar ini menunjukkan *dial* terletak cukup senter.

Dalam menempatkan ROI pada citra dipilih pada daerah yang paling bersih. Pada tesis ini penulis belum mengantisipasi adanya *noise* atau partikel yang harus dihindari di dalam ROI. Daerah yang menjadi perhatian adalah daerah diantara dua lingkaran. *Noise* tidak dapat dihindari (berupa tulisan 'LIQUID THEMP') pada citra. *Noise* ini akan terbaca sebagai jarum penunjuk. *Noise* terbaca saat jarum penunjuk pada posisi dari *noise* (Gambar 4.4). Penempatan ROI pada lingkaran garis-garis skala membuat sistem tidak bekerja. Garis-garis skala akan dimengerti sebagai *noise* oleh sistem.

Pada saat eksperimen penulis letakan sebuah objek yang berwarna sama atau hampir sama (kertas putih yang ditempel) untuk menutup *noise* ini. Pada saat jarum penunjuk melewati kertas, jarum hilang pada citra. Pada kondisi ini sistem akan membaca objek lain atau *noise* lain yang memiliki warna paling kontras dari yang ada yang bisa dimengerti sebagai jarum penunjuk pada citra. Pada Gambar 4.5 ditunjukkan data akibat pengaruh *noise* di sekitar 0,32 yaitu berupa tulisan THEMP yang terlukupi oleh ROI.



Gambar 4.4
Penempatan sebuah ROI annulus pada sebuah citra *dial*

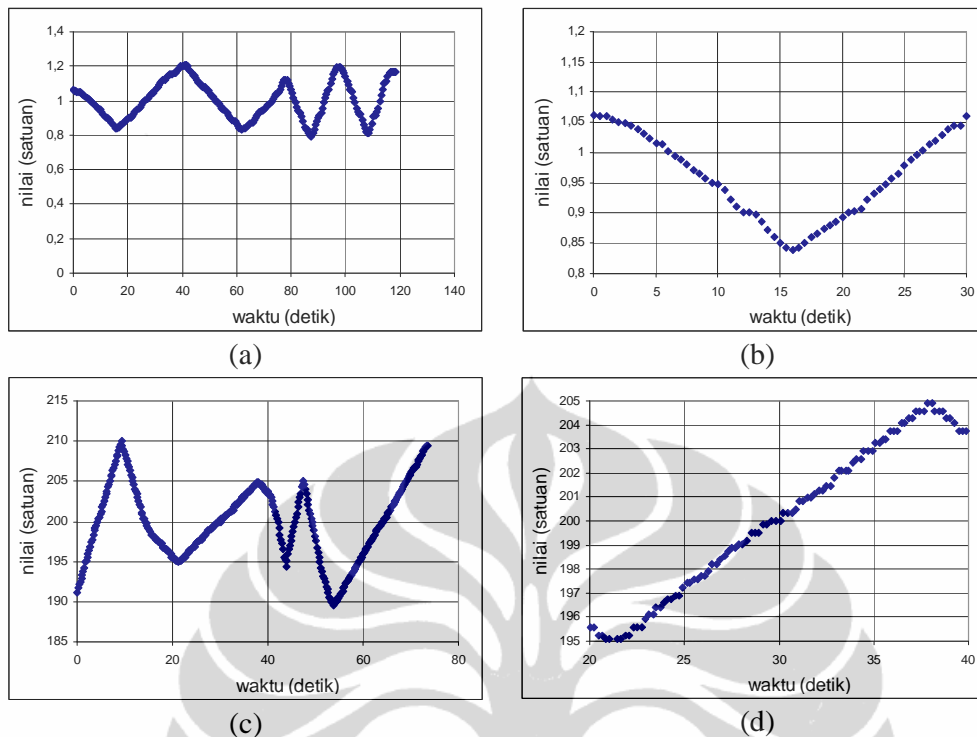


Gambar 4.5
Grafik data pembacaan *dial* yang menunjukkan adanya pengaruh *noise* atau partikel yang tidak dikehendaki, disekitar nilai 0,32 liter.

4.3.1. Uji kestabilan lintas batas ROI

Gambar 4.6(a) dan (b) menunjukkan hasil pengujian Uji kestabilan lintas batas ROI yang dilakukan dengan memanfaatkan jam meja. Latar jam menggunakan kertas putih dan tidak ada gambar apapun. Semua jarum dilepas kecuali jarum penunjuk menit. Jarum menit digunakan karena jarum menit bergerak paling cepat saat knob diputar. Pada saat pengujian jarum digerakkan sekitar batas ROI (batas = 1) dengan perlahan lalu semakin cepat. Grafik (gambar 4 (b)) menunjukkan data cukup halus (tidak ada gangguan).

Gambar 4.6 (c) dan (d) pengujian kestabilan lintas batas ROI dengan menggunakan tampilan simulasi komputer. Batas ROI terletak pada titik 200. Grafik (gambar 4 (d)) menunjukkan data cukup halus (tidak ada gangguan).



Gambar 4.6
Grafik data uji kestabilan lintas batas ROI.

- Pengujian dengan menggunakan *dial*, batas terletak pada nilai 1;
- Grafik (a) yang diperbesar pada detik 0 hingga 30;
- Pengujian dengan tampilan simulasi computer, batas terletak pada nilai 200;
- Grafik (c) yang diperbesar pada detik 20 hingga 40.

4.3.2. Akurasi Pembacaan Volume pada WGM dengan Tampilan *Dial*

Seperti halnya pada uji akurasi pada *glass soap-bubble meter* yang dipaparkan pada sub bab 4.2.1, tabel 100 data pembacaan volume untuk uji akurasi ditunjukkan pada Tabel 5.3 Lampiran 3. Dari 100 data pembacaan volume tersebut diperoleh nilai akurasi sebesar $\pm STDEV = \pm 0,004$ mililiter pada penunjukan 0,5 liter.

4.3.3. Uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan *dial* (jarum)

Sebelum dilakukan uji banding, *noise* yang tidak dapat dihindari ditutup dengan kertas putih (warna yang sama dengan latar belakang). Sebagai pembandig adalah data hasil pembacaan oleh seorang operator. Dalam menentukan waktu operator menggunakan sebuah stopwatch. Dari hasil pembacaan yang dilakukan oleh kamera seperti yang ditunjukkan oleh beberapa grafik (dapat dilihat pada Lampiran 5) masih tampak adanya beberapa penyimpangan.

Pada saat dilakukannya uji banding sistem kamera membaca data volume dan waktu terus menerus dengan interval waktu tertentu. Operator mengambil data waktu (menggunakan stopwatch) pada poin-poin bulat penunjukan volume. Dalam pembacaan ke-*i* diperoleh data sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_{man(0,i)} &= \text{volume awal hasil pembacaan (ke-}i\text{) oleh operator;} \\
 V_{man(1,i)} &= \text{volume akhir hasil pembacaan (ke-}i\text{) oleh operator;} \\
 t_{man(0,i)} &= \text{waktu awal hasil pembacaan (ke-}i\text{) oleh operator;} \\
 t_{man(1,i)} &= \text{waktu akhir hasil pembacaan (ke-}i\text{) oleh operator;} \\
 V_{alat(0,i)} &= V_{k(j=0,i)}, \text{ volume}_k \text{ yang nilainya paling dekat dengan } V_{man(0,i)}; \\
 V_{alat(1,i)} &= V_{k(j=1,i)}, \text{ volume}_k \text{ yang nilainya paling dekat dengan } V_{man(1,i)}; \\
 t_{alat(0,i)} &= t_{k(j=0,i)}, \text{ bersesuaian volume}_k \text{ yang nilainya paling dekat dengan} \\
 &\quad V_{man(0,i)}; \\
 t_{alat(1,i)} &= t_{k(j=1,i)}, \text{ bersesuaian volume}_k \text{ yang nilainya paling dekat dengan} \\
 &\quad V_{man(1,i)}; \\
 n &= \text{jumlah pengulangan atau pembacaan laju aliran.}
 \end{aligned}$$

Dari data yang diperoleh, kestabilan ditentukan dengan menghitung standar deviasi dari beberapa kali pembacaan laju aliran, dengan rumus seperti yang digunakan pada sub bab 4.2.2. Dalam hal pembacaan laju aliran pada tampilan *dial*, standar deviasi dihitung menggunakan 10 data pembacaan.

Tabel 4.3 menunjukkan data hasil uji banding pengukuran laju aliran pembacaan *dial* dengan kamera dan operator. Data nilai kestabilan yang dihitung dengan standar deviasi (stdev) menunjukkan pembacaan oleh kamera (pada $Q= 1$ l/m, stdev = 1,4) lebih kecil dari pada oleh operator (pada $Q= 1$ l/m, stdev = 1,6),

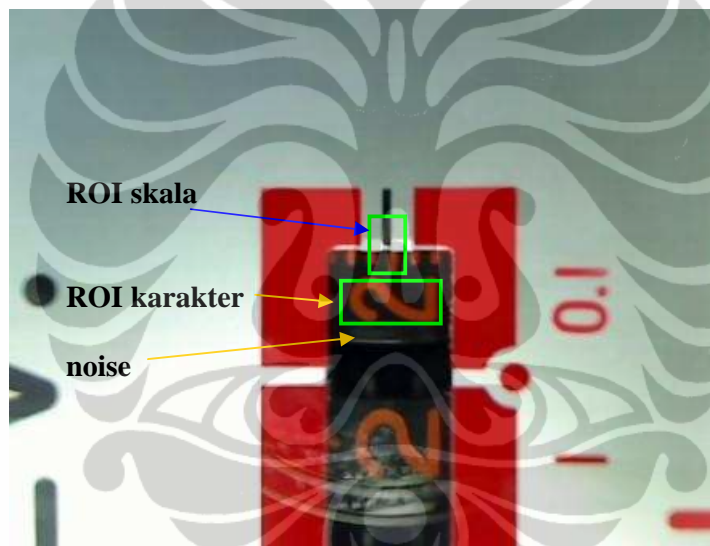
begitu juga untuk laju aliran lainnya. Secara umum menunjukkan kestabilan pembacaan yang dilakukan melalui kamera lebih baik dibanding yang dilakukan oleh operator. Pembacaan dengan SVGA hanya dilakukan dengan laju aliran 5 dan 10 l/m, karena penulis menganggap resolusi citra yang tinggi pada laju aliran yang tinggi, interval waktu akuisisi menjadi hal yang kritis. Beberapa data hasil pembacaan tampilan *dial* tercantum pada Lampiran 6.

Tabel 4.3
Data uji banding pembacaan laju aliran pada *wet gas meter* (WGM) dengan tampilan *dial*.

Laju aliran nominal Q_n (l/m)	Resolusi citra	laju aliran (l/m)			Kestabilan (10 data) (l/m)	
		Q_{alat}	Q_{man}	selisih	SD_{alat}	SD_{man}
1,5	Vga	1,311	1,310	0,001	0,004	0,011
5	vga	5,231	5,232	-0,001	0,038	0,043
5	svga	5,334	5,335	-0,001	0,015	0,019
10	vga	10,754	10,752	0,002	0,025	0,038
10	svga	10,270	10,255	0,015	0,012	0,026

4.4. Pembacaan tampilan *Dial Register*

Penempatan peralatan dilakukan sesuai dengan penjelasan pada bab perancangan *dial register* (poin 3.6) menghasilkan citra seperti yang ditunjukkan gambar di bawah ini. ROI dibuat sekecil mungkin untuk menghindari *noise* yang tampak di sekitar angka 2. ROI skala akan mendeteksi garis skala stasioner (hitam) dan garis skala rotasi utama (panjang). Garis-garis skala pendek (0,02) tidak terdeteksi. Dari hasil uji banding yang dilakukan terakhir penempatan ROI cukup memuaskan yang ditunjukkan oleh tabel dan grafik data pembacaan pada lampiran 5, yang dua diantaranya di tampilkan pada Gambar 4.8 dan Gambar 4.9.

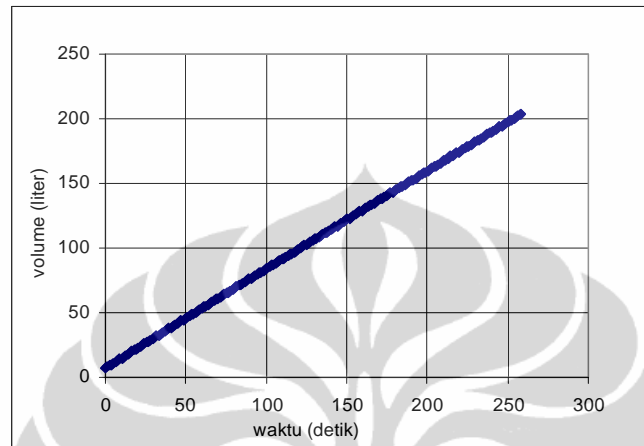


Gambar 4.7

Noise pada citra di daerah sekitar ROI karakter.

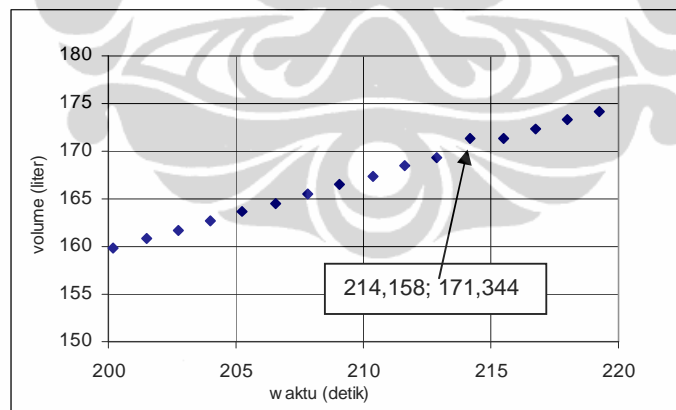
Pada saat uji banding selain *noise* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7, terdapat *noise* yang tidak dapat dihindari. *Noise* ini adalah adanya pergerakan jarum akan melintasi objek pada saat menunjuk karakter 1 dan karakter 6. Pada Gambar 4.9 ditunjukkan grafik data pembacaan *dial register*. Gambar 4.9 adalah yang sama dengan Gambar 4.8 untuk rentang ukur 155 ~ 175 liter untuk memperlihatkan titik penyimpangan nilai pada penunjukan karakter 1 dalam hal ini titik 171 (pada gambar menunjuk titik 214,158; 171,344). Secara umum,

berdasarkan grafik yang ditunjukkan Gambar 4.9 sistem ini bekerja cukup baik pada laju aliran sekitar 5 ml/s dan resolusi citra VGA.



Gambar 4.8

Grafik data pembacaan tampilan *dial register* dengan laju aliran sekitar 5 ml/s, resolusi citra svga. Rentang ukur 0 ~ 250 liter



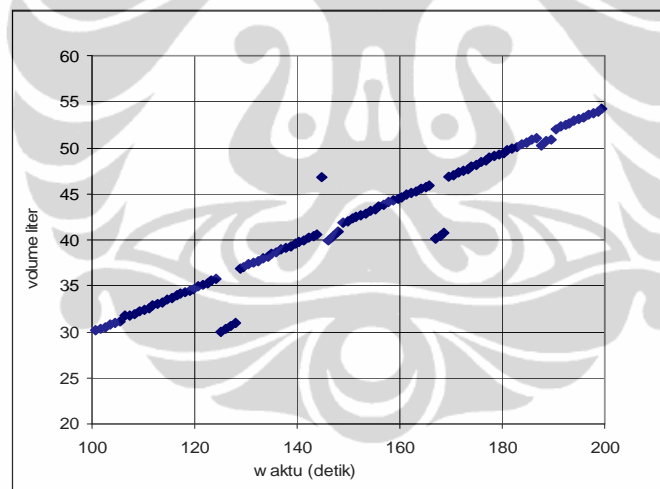
Gambar 4.9

Grafik yang sama dengan dari grafik pada Gambar 4.8 untuk rentang ukur 155 ~ 175 liter dengan penyimpangan pada titik 214,158; 171,344.

4.4.1. Kestabilan akibat *noise* (jarum yang melintas)

Tampilan *dial register* (WGM) terletak di tengah tampilan *dial*, sehingga lintasan jarum tidak dapat dihindari. Lintasan jarum tertangkap kamera pada posisi peninjukan 1 dan 6. Gambar 4.10 Salah satu contoh pembacaan *dial register* dengan penyimpangan pada posisi sekitar 1 dan 6.

Noise ini lebih dirasakan pada laju aliran rendah, karena sistem lebih sering membaca (mengakusisi) *noise*. Sedang pada laju aliran tinggi, *noise* lebih tidak dirasakan. Data hasil pembacaan terlampir pada Lampiran 7 menunjukkan adanya perbedaan hasil pembacaan gangguan *noise* pada laju aliran yang berbeda. Pembacaan dilakukan pada laju aliran sekitar 2, 5 dan 10 l/m. Data pada laju aliran 10 l/m tampak paling baik diantara yang lainnya.



Gambar 4.10

Grafik hasil pembacaan tampilan dial register dengan kesalahan pembacaan di sekitar nilai 1 dan 6, akibat pergerakan jarum yang melintasi karakter.

4.4.2. Uji sensitifitas pembacaan karakter akibat pengaruh kecerahan citra

Uji sensitifitas pembacaan karakter akibat pengaruh kecerahan citra dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam membaca karakter pada

kondisi pencahayaan yang tidak baik. Pengujian dilakukan dengan kamera membaca karakter yang ditampilkan pada layar monitor PC (LCD). Dari jendela kontrol kamera USB (Logitech Pro 9000) tingkat kecerahan dan kontras diatur untuk memperoleh kondisi-kondisi berikut :

1. Kondisi normal (*camera autocontrol*),
2. Kondisi sangat gelap dengan karakter masih terbaca,
3. Kondisi sangat gelap sesaat setelah karakter tidak terbaca,
4. Kondisi sangat cerah dengan karakter masih terbaca,
5. Kondisi sangat cerah sesaat setelah karakter tidak terbaca.

Untuk pengujian ini dilakukan pembacaan lineprofile pada karakter dan latar belakang, untuk mengetahui tinggi lereng grafik profile yang menunjukkan tingkat kontras citra. Hasil uji sensitifitas ditunjukkan pada Tabel 4.4 dan Lampiran 9. Karakter masih terbaca dengan tinggi lereng sama dengan 50, dan tidak terbaca pada tinggi lereng sama dengan 35. Pada kondisi pencahayaan yang buruk (sangat cerah dan sangat gelap), sistem masih mampu terbaca dengan tinggi lereng yang hampir sama yaitu minimum sekitar 50.

Tabel 4.4
Data pengukuran sensitifitas pembacaan karakter pada suatu kondisi tingkat kecerahan.

No.	Kondisi kecerahan	Tinggi lereng
1	normal (<i>camera autocontrol</i>)	225
2	sangat gelap dengan karakter masih terbaca	50
3	sangat gelap sesaat setelah karakter tidak terbaca	35
4	sangat cerah dengan karakter masih terbaca	50
5	sangat cerah sesaat setelah karakter tidak terbaca	25

Penggunaan lineprofile dalam mengukur tingkat kecerahan dan kontras lebih tepat dibandingkan dengan penggunaan histogram. Histogram yang memperhitungkan lusuan citra dalam pembacaannya akan memberikan nilai yang berbeda, untuk karakter yang berbeda karena luasan masing-masing karakter berbeda, pada kondisi kecerahan yang sama. Sehingga nilai yang ditunjukkan untuk suatu karakter, tidak berlaku untuk karakter yang lainnya. Lineprofile hanya

memperhitungkan nilai kecerahan pada garis yang telah ditentukan, sehingga tinggi lereng bisa diketahui. Tinggi lereng ini dapat berlaku untuk karakter lainnya.

4.4.3. Akurasi Pembacaan Volume pada WGM dengan Tampilan *Dial register*

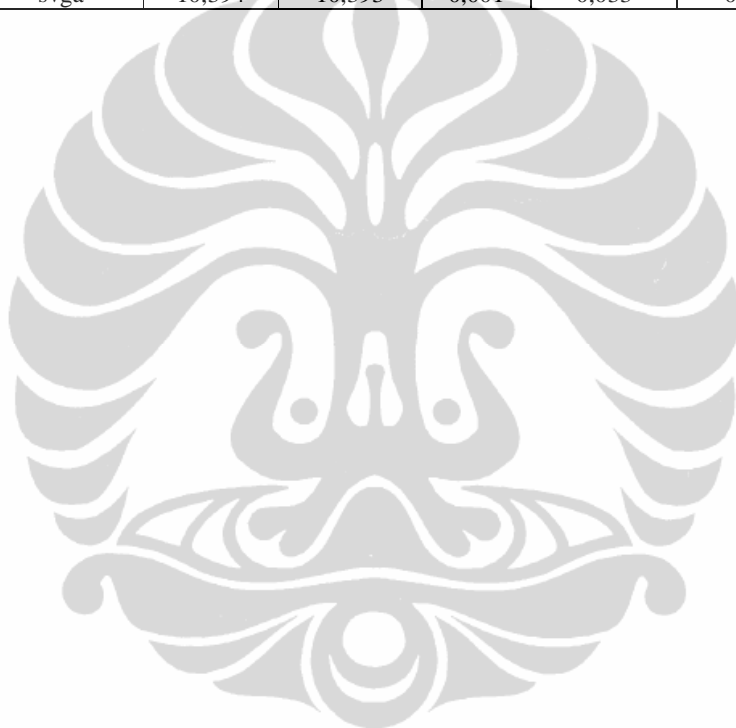
Seperti halnya pada uji akurasi pada *glass soap-bubble meter* yang dipaparkan pada sub bab 4.2.1 dan 4.3.2, tabel 100 data pembacaan volume untuk uji akurasi ditunjukkan pada Tabel 5.4 Lampiran 3. Dari 100 data pembacaan volume tersebut diperoleh nilai akurasi sebesar $\pm STDEV = \pm 0,00$ mililiter pada penunjukan 0,5 liter.

4.4.4. Uji banding pembacaan tampilan *Dial Register*

Tabel 4.5 menunjukkan data hasil uji banding pembacaan (oleh kamera dan oleh operator) laju aliran pada WGM dengan tampilan *dial register*. Data nilai kestabilan yang dihitung dengan standar deviasi (stdev) seperti yang digunakan pada sub bab 4.2.2 dan 4.3.2, menunjukkan pembacaan oleh kamera (pada $Q= 1$ l/m, stdev = 0,5) lebih kecil dari pada oleh operator (pada $Q= 1$ l/m, stdev = 1,0), begitu juga untuk nilai laju aliran lainnya. Secara umum menunjukkan kestabilan pembacaan yang dilakukan melalui kamera lebih baik dibanding yang dilakukan oleh operator. Data uji banding tercantum pada Lampiran 8.

Tabel 4.5
Data uji banding pembacaan laju aliran pada *wet gas meter* (WGM) dengan tampilan *dial register*.

Laju aliran nominal Q_n (l/m)	Resolusi citra	laju aliran (l/m)			Kestabilan (10 data) (l/m)	
		Q_{alat}	Q_{man}	selisih	SD_{alat}	SD_{man}
1,5	vga	1,451	1,452	-0,001	0,007	0,014
5 l/m	vga	5,601	5,600	0,001	0,363	0,358
5 l/m	svga	4,567	4,595	-0,027	0,047	0,028
10 l/m	vga	9,255	9,247	0,009	0,124	0,113
10 l/m	svga	10,394	10,393	0,001	0,033	0,039



BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Dari beberapa data yang diperoleh dan pembahasan yang ditulis penulis menyimpulkan sebagai berikut

5.1. Kesimpulan Khusus

5.1.1. Pembacaan penunjukan pada *Glass soap-bubble meter*

- Daerah yang baik untuk meletakkan ROI adalah ditengah tabung dengan lebar tidak lebih $\frac{1}{3}$ lebar tabung.
- Sistem pembacaan penunjukan pada *glass soap-bubble meter* dapat bekerja sampai dengan laju aliran 10 l/m, dengan resolusi citra VGA.
- Resolusi citra yang optimum adalah vga (640x480 pixel). Dari data pembacaan terhadap alat *glass soap-bubble meter* dengan resolusi svga (800 x 600 pixel) pada laju aliran $Q= 5$ l/m terjadi data yang salah.

5.1.2. Pembacaan penunjukan pada tampilan *Dial (WGM)*

- Pembacaan pada tampilan *dial*, sistem ini dapat menghasilkan data yang stabil saat jarum melintasi batas ROI, dan dapat membaca pergerakan maju dan mundur.
- *Noise* masih timbul, pada tampilan *dial* ditunjukkan dengan nilai yang sama menunjuk nilai 0,32. Sehingga untuk menentukan nilai laju aliran diperlukan analisa pada grafiknya, untuk menghilangkan adanya data-data yang tidak dikehendaki.
- Sistem pembacaan tampilan *dial* dapat bekerja sampai dengan laju aliran 10 l/m, dengan resolusi citra VGA dengan baik.

5.1.3. Pembacaan penunjukan pada tampilan *Dial Register* (WGM)

- Pada pembacaan penunjukan tampilan *dial register*, sistem ini dapat menghasilkan data yang stabil saat jarum melintasi batas ROI, dan dapat membaca pergerakan maju dan mundur.
- *Noise* masih timbul, (berupa lintasan jarum) semakin tidak dirasakan oleh sistem pada laju aliran yang tinggi, dan makin dirasakan pada laju aliran yang rendah.
- Sistem pembacaan tampilan *dial register* dapat bekerja sampai dengan laju aliran 10 l/m, dengan resolusi citra vga.
- Berdasarkan data pengukuran sensitifitas pembacaan karakter pada suatu kondisi tingkat kecerahan, sistem ini masih membaca baik pada perbedaan tingkat kecerahan (kontras) sama dengan 50.

5.2. Kesimpulan Umum

- Sistem pembacaan ini mampu membaca pergerakan mekanik, tetapi harus di kembangkan lebih jauh terutama dalam menangani gangguan atau *noise*.
- Hasil pembacaan yang ditampilkan alat ini cukup baik dibandingkan terhadap pembacaan pembanding, tetapi belum baik secara signifikan.
- Kamera PC dengan port USB cukup memuaskan untuk digunakan dalam sistem ini dalam melakukan pembacaan tampilan meter mekanik.
- Berdasarkan data pengujian sistem ini dapat digunakan untuk pembacaan tampilan (perubahan penunjukan) meter-meter dengan tampilan *level* (*glass soap-bubble meter*), *dial* (WGM) dan *dial register* (WGM), sampai dengan 10 l/m dengan resolusi citra VGA (640x480 pixel) dan *frame rate* sama dengan 30 fps.

5.3. Saran

- Teknik pemasangan atau penempatan peralatan (kamera, meter dan pencahayaan) masih dirasakan sulit dan lebih lambat dibandingkan dengan pembacaan meter secara langsung oleh operator, sehingga perlu dikembangkan lebih lanjut untuk mempermudah pemasangan.

- Diperlukan suatu teknik untuk gangguan atau *noise* untuk meningkatkan keakuratan;
- Sistem pengolahan data lanjutan perlu dikembangkan sehingga data yang dihasilkan lebih mudah dimanfaatkan; dan
- Uji banding sebaiknya dilakukan terhadap objek dengan pergerakan yang stabil untuk menghilangkan pengaruh ketidak stabilan aliran fluida.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] National Instruments, Developer Zone.
<http://zone.ni.com/devzone/cda/epd/p/id/5030>,
<http://decibel.ni.com/content/docs/DOC-3479>
- [2] Zaki D. Husain dan Donald J. Wass, *The measurement instrumentation and sensor handbook : Positive Displacement Flowmeters*. (28.3). CRC Press LLC. 1999;
- [3] Adrian Melling, Herbert Köchner, dan Reinhard Haak, *The measurement instrumentation and sensor handbook : Variable Area Flowmeters*. (28.2). CRC Press LLC. 1999;
- [4] NCR. *Dial Register*. <http://www.ncr.org.uk/page68.html>
- [5] Detlef Brumbi, *The measurement instrumentation and sensor handbook : Level Measurement*. (11). CRC Press LLC. 1999;
- [6] *IMAQ Vision Concepts Manual*, National Instruments Corporation, Part Number 322916B-01. June 2003;
- [7] George C Panayi. *Implementation of Digital Image Processing functions using LabVIEW*. UT-Austin. 1999;
- [8] Adang Suhendra. *Catatan Kuliah Pengantar Pengolahan Citra*;
- [9] Warren dan Lynne. "Camera Obscura". *Encyclopedia of twentieth-century photography*. London: Routledge, 2006;
- [10] *LabVIEW User Manual*, National Instruments Corporation, (320999E-01). April 2003;
- [11] Lisa K. Wells dan Jeffrey Travis, *LabVIEW for Everyone, Graphical Programming made even easier*. Prentice Hall. 1997;
- [12] *BridgeVIEW and LabVIEW IMAQ Vision for G reference manual*. National Instruments, 1996;
- [13] *User Guide : NI-IMAQ for USB Cameras*. National Instruments Corporation. (371492A-01). Jan. 2005;
- [14] *NI Vision for LabVIEW User Manual*. National Instruments Corporation. (371007B-01). Nov. 2005;

- [15] *Calibration of Pressure Gauge*, Guideline DKD-R 6-1, Ed. 01/2003.
- [16] Bojan Gergiè dan Darko Hercog. *Virtual Instruments for Remote Experiments Visualization*. Conference June 2006, Slovenia, Univ. of Maribor, Fac. of Electrical Engineering and Computer Science; 2006;
- [17] F. Corrêa Alegria dan A. Cruz Serra. *Transactions on Instrumentation and Measurement: Automatic Calibration of Analog and Digital Measuring Instruments Using Computer Vision*. IEEE journal, Vol. 49, No. 1, h. 94-99, Feb. 2000;
- [18] Raul G. Longoria, *Basic Vision with LabVIEW: Dynamic Systems and Controls Laboratory*, Austin: Univ. of Texas, Dep. of Mechanical Engineering, Fall 2006;
- [19] *IMAQ Vision for Measurement Studio User Manual*. National Instruments Corporation, (323023A-01). May 2001;
- [20] Preben Howarth dan Fiona Redgrave. *Metrologi: Sebuah Pengantar*. Terj. A. Praba Drijarkara dan Ghuftron Zaid. Puslit KIM-LIPI. Feb. 2008;
- [21] Plamen Tzvetkov, Georgi Petrov dan Panayot Iliev. *Software development environments for image acquisition and processing*. Technical University of Sofia.

Logitech Webcam Pro 9000

- Carl Zeiss® optics with autofocus
- Native 2-MP HD sensor
- High-definition video (up to 1600 X 1200*)
- 720p widescreen mode with recommended system
- Microphone with Logitech® RightSound™ technology
- Up to 30-frames-per-second video
- Hi-Speed USB 2.0
- Logitech® webcam software
- Universal clip fits notebooks, LCD or CRT monitors
- Operating system yang digunakan Windows XP (SP2 or higher):
 - 1 GHz (2.0 GHz recommended)
 - 256 MB RAM (512 MB RAM recommended)

Tabel 5.1: Contoh data pembacaan volume oleh kamera pada *glass soap-bubble meter* dengan laju aliran sekitar 2 ml/s

nama	V_{alat} (ml)	t (detik)	nama	V_{alat} (ml)	t (detik)
uji_74	0	9,174	uji_49	11,35893	4,777
uji_73	19,692	8,993	uji_48	10,86303	4,567
uji_72	19,41793	8,783	uji_47	10,72884	4,357
uji_71	19,50477	8,633	uji_46	10,35883	4,166
uji_70	19,70149	8,463	uji_45	9,763682	3,926
uji_69	19,30348	8,292	uji_44	9,254975	3,716
uji_68	19,5063	8,072	uji_43	8,457712	3,545
uji_67	18,80597	7,902	uji_42	7,895426	3,305
uji_66	18,70691	7,751	uji_41	7,869064	3,095
uji_65	18,02626	7,601	uji_40	7,064676	2,925
uji_64	17,62528	7,461	uji_39	6,586920	2,774
uji_63	17,23287	7,301	uji_38	6,268656	2,604
uji_62	16,92863	7,121	uji_37	5,671642	2,344
uji_61	16,51741	6,950	uji_36	5,174129	2,133
uji_60	16,13531	6,810	uji_35	4,986444	1,873
uji_59	15,8209	6,630	uji_34	4,192709	1,713
uji_58	15,72366	6,500	uji_33	4,092040	1,513
uji_57	14,92537	6,279	uji_32	3,558898	1,322
uji_56	14,54262	6,109	uji_31	2,885572	1,152
uji_55	14,22886	5,949	uji_30	2,511576	0,972
uji_54	13,63184	5,749	uji_29	2,178851	0,751
uji_53	13,23383	5,568	uji_28	1,810172	0,591
uji_52	13,04726	5,328	uji_27	1,134902	0,361
uji_51	12,15503	5,148	uji_26	0,907426	0
uji_50	12,14977	4,937			

Tabel 5.2

Data uji akurasi pembacaan volume oleh kamera pada *glass soap-bubble meter* pada penunjukan volume = 7,8 ml.
 Akurasi (100 data) = $\pm 0,002$ ml.

nama	V_{alat} (ml)	t (detik)	nama	V_{alat} (ml)	t (detik)
Uji_639	7,810014	13,379	Uji_589	7,805306	7,27
Uji_638	7,807703	13,319	Uji_588	7,806743	7,15
Uji_637	7,808444	13,189	Uji_587	7,805687	7,04
Uji_636	7,807707	13,059	Uji_586	7,805269	6,91
Uji_635	7,809572	12,938	Uji_585	7,80636	6,8
Uji_634	7,809751	12,818	Uji_584	7,806841	6,589
Uji_633	7,807989	12,698	Uji_583	7,805424	6,469
Uji_632	7,809604	12,578	Uji_582	7,807239	6,359
Uji_631	7,807665	12,468	Uji_581	7,805179	6,239
Uji_630	7,807707	12,337	Uji_580	7,804993	6,078
Uji_629	7,806954	12,227	Uji_579	7,80651	5,958
Uji_628	7,81	12,097	Uji_578	7,804902	5,728
Uji_627	7,808383	11,987	Uji_577	7,804857	5,588
Uji_626	7,808444	11,837	Uji_576	7,805141	5,397
Uji_625	7,807665	11,707	Uji_575	7,804452	5,277
Uji_624	7,809039	11,586	Uji_574	7,8057	5,037
Uji_623	7,808163	11,466	Uji_573	7,80386	4,917
Uji_622	7,808613	11,346	Uji_572	7,804766	4,707
Uji_621	7,80795	11,236	Uji_571	7,804993	4,596
Uji_620	7,809112	11,106	Uji_570	7,803196	4,436
Uji_619	7,807151	10,996	Uji_569	7,806423	4,166
Uji_618	7,809359	10,875	Uji_568	7,803137	4,036
Uji_617	7,809324	10,755	Uji_567	7,805095	3,875
Uji_616	7,807748	10,635	Uji_566	7,804459	3,685
Uji_615	7,808574	10,515	uji_565	7,80286	3,555
Uji_614	7,808408	10,405	Uji_564	7,803128	3,445
Uji_613	7,809049	10,275	Uji_563	7,804154	3,315
Uji_612	7,807006	10,114	Uji_562	7,803403	3,204
Uji_611	7,806799	9,984	Uji_561	7,803053	3,074
Uji_610	7,807783	9,874	Uji_560	7,803006	2,964
Uji_609	7,806799	9,754	Uji_559	7,803732	2,844
Uji_608	7,807544	9,634	Uji_558	7,803986	2,684
Uji_607	7,806317	9,513	Uji_557	7,802992	2,563
Uji_606	7,809049	9,403	Uji_556	7,802992	2,443
Uji_605	7,807109	9,273	Uji_555	7,803434	2,323
Uji_604	7,807268	9,163	Uji_554	7,804323	2,203
Uji_603	7,806883	9,043	Uji_553	7,803912	2,083
Uji_602	7,807425	8,913	Uji_552	7,804244	1,802
Uji_601	7,808152	8,792	Uji_551	7,803905	1,682
Uji_600	7,808408	8,672	Uji_550	7,804232	1,562
Uji_599	7,807703	8,562	Uji_549	7,802889	1,442
Uji_598	7,808408	8,442	Uji_548	7,804024	1,322
Uji_597	7,808075	8,272	Uji_547	7,803575	1,201
Uji_596	7,806172	8,111	Uji_546	7,804857	1,081
Uji_595	7,805843	7,991	Uji_545	7,803813	0,921
Uji_594	7,807505	7,871	Uji_544	7,804266	0,681
Uji_593	7,807703	7,761	Uji_543	7,804414	0,52
Uji_592	7,807006	7,631	Uji_542	7,804859	0,33
Uji_591	7,807385	7,511	Uji_541	7,804633	0,12
uji_590	7,805976	7,4	Uji_540	7,804767	0

Uji akurasi pembacaan volume oleh kamera (lanjutan)

Tabel 5.3

Data uji akurasi pembacaan volume pada *wet gas meter* (WGM) dengan tampilan *dial* pada penunjukan volume pada 0,5 liter.

Akurasi (100 data) = ± 0 ml.

nama	V_{alat} (liter)	t (detik)	nama	V_{alat} (liter)	t (detik)
uji_328	0,498373	19,859	uji_278	0,498373	9,864
uji_327	0,498373	19,648	uji_277	0,498373	9,674
uji_326	0,498373	19,458	uji_276	0,498373	9,474
uji_325	0,498373	19,248	uji_275	0,498373	9,233
uji_324	0,498373	19,058	uji_274	0,498373	9,013
uji_323	0,498373	18,847	uji_273	0,498373	8,813
uji_322	0,498373	18,657	uji_272	0,498373	8,613
uji_321	0,498373	18,447	uji_271	0,498373	8,392
uji_320	0,498373	18,256	uji_270	0,498373	8,192
uji_319	0,498373	18,046	uji_269	0,498373	7,992
uji_318	0,498373	17,876	uji_268	0,498373	7,791
uji_317	0,498373	17,666	uji_267	0,498373	7,591
uji_316	0,498373	17,455	uji_266	0,498373	7,391
uji_315	0,498373	17,275	uji_265	0,498373	7,19
uji_314	0,498373	17,075	uji_264	0,498373	6,99
uji_313	0,498373	16,864	uji_263	0,498373	6,79
uji_312	0,498373	16,654	uji_262	0,498373	6,59
uji_311	0,498373	16,464	uji_261	0,498373	6,389
uji_310	0,498373	16,254	uji_260	0,498373	6,189
uji_309	0,498373	16,063	uji_259	0,498373	5,989
uji_308	0,498373	15,863	uji_258	0,498373	5,798
uji_307	0,498373	15,663	uji_257	0,498373	5,588
uji_306	0,498373	15,462	uji_256	0,498373	5,398
uji_305	0,498373	15,262	uji_255	0,498373	5,188
uji_304	0,498373	15,062	uji_254	0,498373	4,997
uji_303	0,498373	14,862	uji_253	0,498373	4,787
uji_302	0,498373	14,661	uji_252	0,498373	4,597
uji_301	0,498373	14,461	uji_251	0,498373	4,396
uji_300	0,498373	14,261	uji_250	0,498373	4,196
uji_299	0,498373	14,06	uji_249	0,498373	3,986
uji_298	0,498373	13,86	uji_248	0,498373	3,796
uji_297	0,498373	13,67	uji_247	0,498373	3,585
uji_296	0,498373	13,46	uji_246	0,498373	3,415
uji_295	0,498373	13,269	uji_245	0,498373	3,215
uji_294	0,498373	13,059	uji_244	0,498373	3,004
uji_293	0,498373	12,869	uji_243	0,498373	2,794
uji_292	0,498373	12,658	uji_242	0,498373	2,594
uji_291	0,498373	12,468	uji_241	0,498373	2,394
uji_290	0,498373	12,258	uji_240	0,498373	2,193
uji_289	0,498373	12,067	uji_239	0,498373	1,993
uji_288	0,498373	11,857	uji_238	0,498373	1,793
uji_287	0,498373	11,667	uji_237	0,498373	1,582
uji_286	0,498373	11,457	uji_236	0,498373	1,392
uji_285	0,498373	11,266	uji_235	0,498373	1,202
uji_284	0,498373	11,056	uji_234	0,498373	0,992
uji_283	0,498373	10,866	uji_233	0,498373	0,801
uji_282	0,498373	10,655	uji_232	0,498373	0,611
uji_281	0,498373	10,465	uji_231	0,498373	0,401
uji_280	0,498373	10,275	uji_230	0,498373	0,21
uji_279	0,498373	10,065	uji_229	0,498373	0

Uji akurasi pembacaan volume oleh kamera (lanjutan)

Tabel 5.4

Data uji akurasi pembacaan volume pada *wet gas meter* (WGM) dengan tampilan *dial register* pada penunjukan volume = 0,5 liter.

Akurasi (100 data) = $\pm 0,004$ ml.

nama	V_{alat}	t (detik)	nama	V_{alat} (liter)	t (detik)
uji2_323	5,000000	29,703	uji2_273	5,005319	15,582
uji2_322	5,000000	29,402	uji2_272	5,000000	15,212
uji2_321	5,000000	29,162	uji2_271	5,000000	14,941
uji2_320	5,000000	28,922	uji2_270	4,994792	14,621
uji2_319	5,000000	28,681	uji2_269	5,000000	14,341
uji2_318	4,994737	28,281	uji2_268	5,005208	13,940
uji2_317	5,000000	28,040	uji2_267	5,010417	13,580
uji2_316	5,000000	27,800	uji2_266	5,005319	13,139
uji2_315	5,000000	27,560	uji2_265	5,005319	12,818
uji2_314	5,000000	27,319	uji2_264	5,005319	12,398
uji2_313	5,005263	27,029	uji2_263	5,005208	12,107
uji2_312	5,000000	26,809	uji2_262	5,000000	11,857
uji2_311	5,000000	26,558	uji2_261	5,005208	11,607
uji2_310	5,000000	26,318	uji2_260	5,000000	11,216
uji2_309	5,000000	26,078	uji2_259	4,994792	10,876
uji2_308	5,000000	25,817	uji2_258	5,010417	10,625
uji2_307	5,000000	25,437	uji2_257	4,994792	10,335
uji2_306	5,000000	25,046	uji2_256	5,005208	9,944
uji2_305	5,000000	24,746	uji2_255	5,000000	9,704
uji2_304	5,000000	24,505	uji2_254	5,010526	9,343
uji2_303	5,000000	24,285	uji2_253	5,005208	8,943
uji2_302	5,000000	23,944	uji2_252	5,005319	8,703
uji2_301	5,000000	23,704	uji2_251	5,005319	8,462
uji2_300	5,000000	23,484	uji2_250	5,000000	8,192
uji2_299	5,005263	23,223	uji2_249	5,000000	7,951
uji2_298	5,000000	22,983	uji2_248	5,005208	7,681
uji2_297	5,000000	22,743	uji2_247	5,000000	7,441
uji2_296	5,000000	22,502	uji2_246	5,005319	7,210
uji2_295	5,000000	22,212	uji2_245	5,005319	6,890
uji2_294	5,000000	21,821	uji2_244	5,005208	6,549
uji2_293	5,000000	21,421	uji2_243	5,005208	6,229
uji2_292	5,000000	21,060	uji2_242	5,005319	5,838
uji2_291	5,000000	20,820	uji2_241	5,005319	5,558
uji2_290	5,000000	20,550	uji2_240	4,994681	5,248
uji2_289	5,000000	20,289	uji2_239	5,000000	4,997
uji2_288	5,000000	19,969	uji2_238	5,000000	4,677
uji2_287	5,000000	19,648	uji2_237	5,005319	4,306
uji2_286	5,000000	19,408	uji2_236	5,000000	4,006
uji2_285	5,005263	19,067	uji2_235	5,010638	3,725
uji2_284	5,005263	18,787	uji2_234	5,010638	3,405
uji2_283	5,000000	18,547	uji2_233	5,010638	3,024
uji2_282	5,005319	18,286	uji2_232	5,000000	2,724
uji2_281	4,994681	17,986	uji2_231	5,000000	2,353
uji2_280	5,000000	17,625	uji2_230	5,000000	2,083
uji2_279	5,000000	17,345	uji2_229	5,010638	1,642
uji2_278	5,005319	17,065	uji2_228	5,010638	1,282
uji2_277	5,010638	16,724	uji2_227	4,994681	0,911
uji2_276	5,005319	16,424	uji2_226	5,005319	0,641
uji2_275	5,000000	16,143	uji2_225	5,005319	0,361
uji2_274	5,005319	15,853	uji2_224	4,994792	0,000

Uji banding pembacaan laju aliran pada *glass soap-bubble meter*

Tabel 5.5

Data uji banding pembacaan laju aliran pada *glass soap-bubble meter* pada laju aliran 0,15 l/m, resolusi kamera vga.

No.	a	b	c	d
			a-b	100*c/a
	Q_{Alat}	Q_{man}	Selisih	
	l/m	l/m	l/m	% read
1	0,180	0,181	-0,0009	-0,5
2	0,162	0,165	-0,0024	-1,5
3	0,138	0,143	-0,0044	-3,2
4	0,171	0,175	-0,0041	-2,4
5	0,158	0,159	-0,0017	-1,1
6	0,165	0,168	-0,0030	-1,8
7	0,151	0,154	-0,0037	-2,4
8	0,147	0,149	-0,0022	-1,5
9	0,192	0,198	-0,0054	-2,8
rata-rata	0,163	0,166	-0,003	
kestabilan (stdev)	0,0167	0,0170	0,0014	l/m
	10,3	10,2	9,3	% read

Tabel 5.6

Data uji banding pembacaan laju aliran pada *glass soap-bubble meter* pada laju aliran 2 l/m, resolusi kamera vga.

No.	a	b	c	d
			a-b	100*c/a
	Q_{Alat}	Q_{man}	Selisih	
	l/m	l/m	l/m	% read
1	1,79	1,88	-0,08	-4,7
2	1,92	1,95	-0,04	-1,9
3	1,87	1,93	-0,06	-3,2
4	1,83	1,84	-0,01	-0,7
5	2,05	2,04	0,01	0,3
6	1,96	1,96	0,00	0,2
7	1,98	1,90	0,08	4,1
8	1,85	1,84	0,01	0,4
9	1,73	1,76	-0,03	-1,9
rata-rata	1,89	1,90	-0,01	
kestabilan (stdev)	0,098	0,081	0,048	l/m
	5,2	4,2	2,5	% read

Uji banding pembacaan laju aliran pada *glass soap-bubble meter*
(lanjutan)

Tabel 5.7

Data uji banding pembacaan laju aliran pada *glass soap-bubble meter* pada laju aliran 5 l/m, resolusi kamera svga.

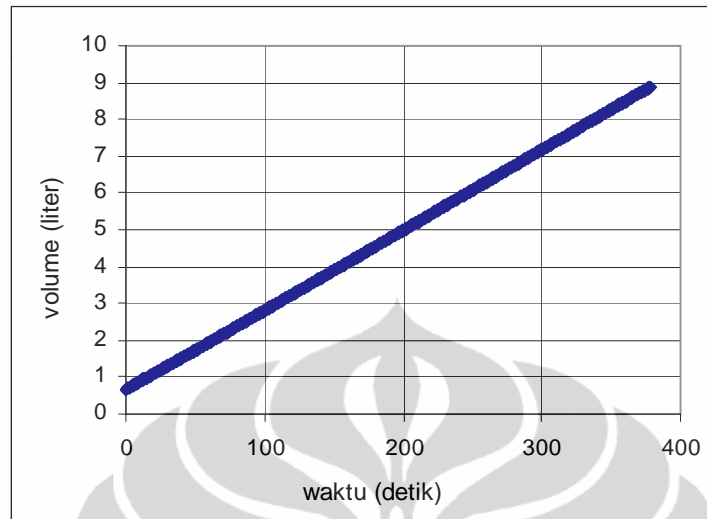
No.	a	b	c	d
			a-b	100*c/a
	Q_{Alat}	Q_{man}	Selisih	
	l/m	l/m	l/m	% read
1	5,36	5,42	-0,06	-1,1
2	5,20	5,22	-0,02	-0,4
3	5,12	5,07	0,05	0,9
4	5,83	5,81	0,03	0,4
5	4,97	5,01	-0,04	-0,7
6	5,27	5,34	-0,07	-1,3
7	5,34	5,34	0,00	0,1
8	5,48	5,49	-0,01	-0,1
9	5,31	5,30	0,01	0,1
rata-rata	5,32	5,33	-0,01	
kestabilan (stdev)	0,242	0,236	0,038	l/m
	4,55	4,42	0,71	% read

Tabel 5.8

Data uji banding pembacaan laju aliran pada *glass soap-bubble meter* pada laju aliran 10 l/m, resolusi kamera vga.

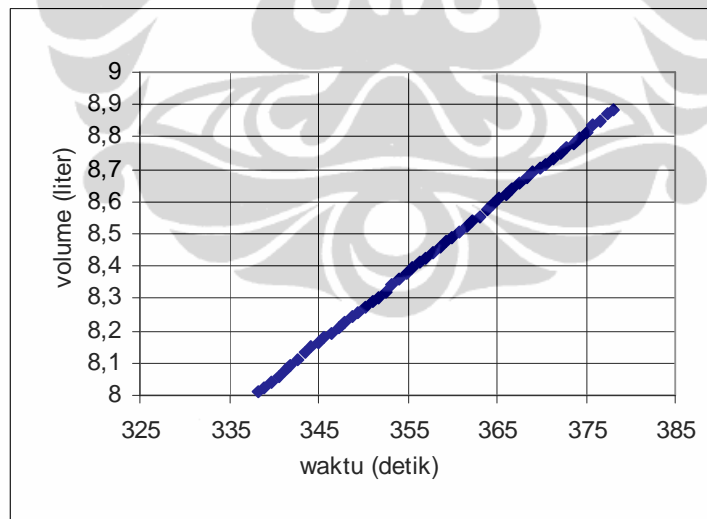
No.	a	b	c	d
			a-b	100*c/a
	Q_{Alat}	Q_{man}	Selisih	
	l/m	l/m	l/m	% read
1	11,13	11,14	-0,01	-0,1
2	10,67	10,85	-0,18	-1,7
3	10,32	10,59	-0,27	-2,6
4	9,80	9,87	-0,07	-0,7
5	9,49	9,63	-0,14	-1,5
6	10,08	9,90	0,18	1,8
7	9,42	9,78	-0,36	-3,8
8	9,40	9,35	0,05	0,6
9	8,30	8,33	-0,02	-0,3
rata-rata	9,85	9,94	-0,09	
kestabilan (stdev)	0,829	0,849	0,166	l/m
	8,4	8,5	1,7	% read

Grafik data pembacaan volume pada *wet gas meter* (WGM) dengan tampilan *dial*



Gambar 5.1

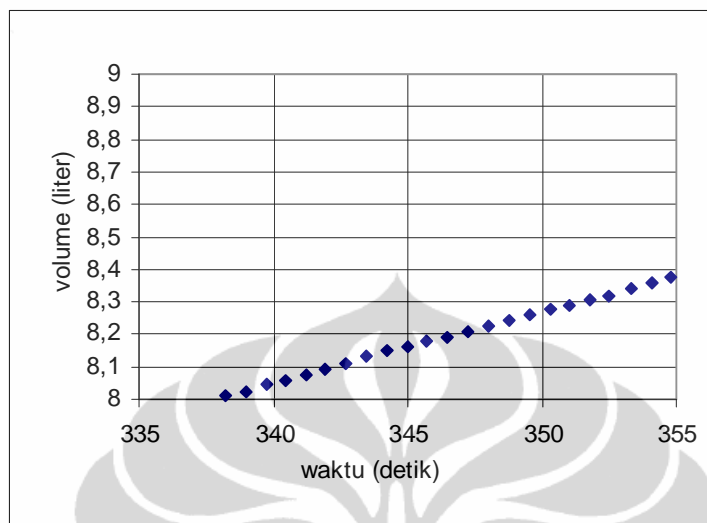
Grafik data uji banding pembacaan volume pada WGM dengan tampilan *dial* pada laju aliran sekitar 1,3 ml/s, resolusi citra vga dan rentang ukur 0 ~ 10 liter



Gambar 5.2

Grafik yang sama dengan Gambar 5.1 dengan rentang waktu dari detik 335 ~ 385.

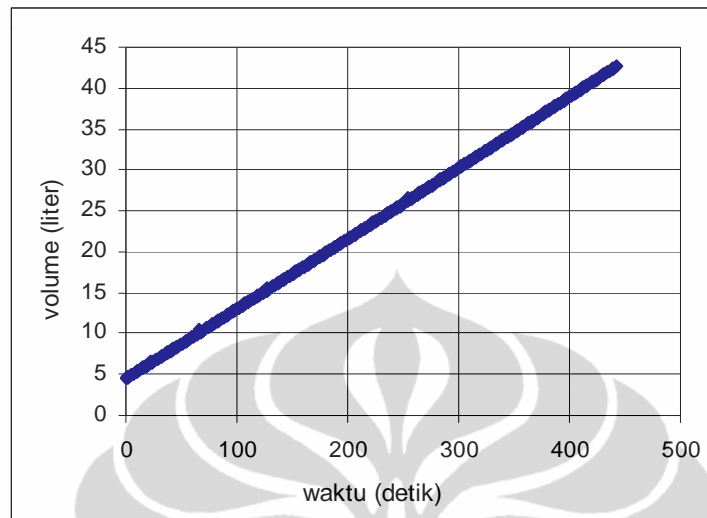
Grafik data pembacaan volume pada *wet gas meter* (WGM) dengan tampilan *dial* (lanjutan)



Gambar 5.3

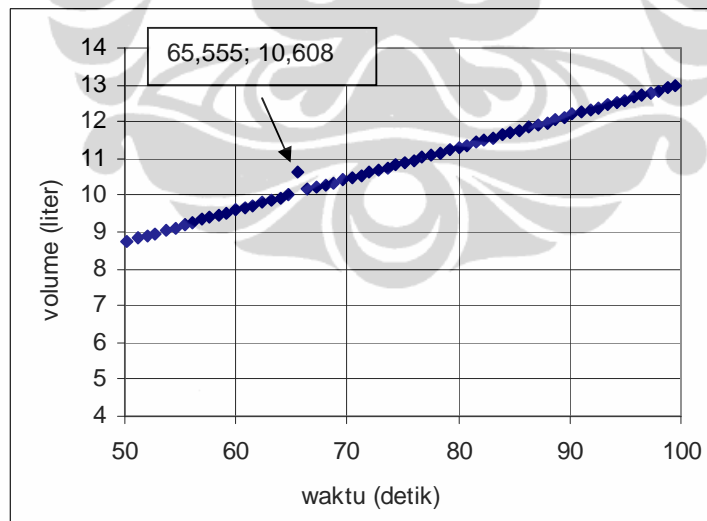
Grafik yang sama dengan Gambar 5.1 dengan rentang waktu dari detik 335 ~ 355.

Grafik data pembacaan volume pada *wet gas meter* (WGM) dengan tampilan *dial* (lanjutan)



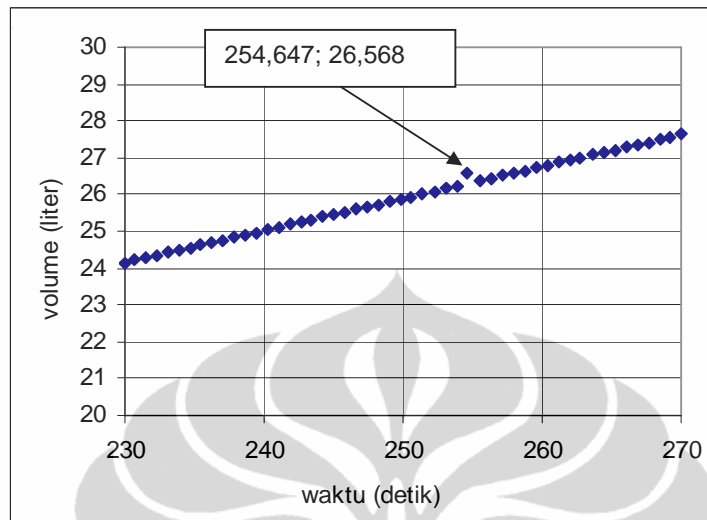
Gambar 5.4

Grafik salah satu data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan *dial* dengan laju aliran sekitar 5 ml/s, resolusi citra vga dan rentang ukur 0 ~ 45 liter.



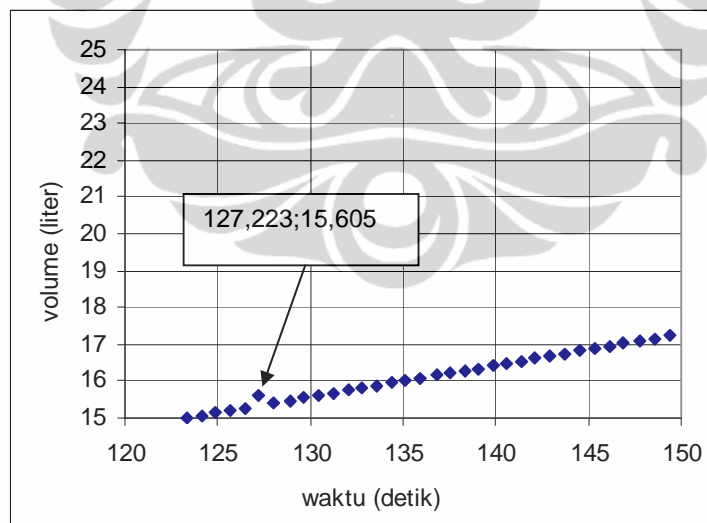
Gambar 5.5

Grafik yang sama dengan Gambar 5.4 dengan rentang waktu dari detik 50 ~ 100 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.



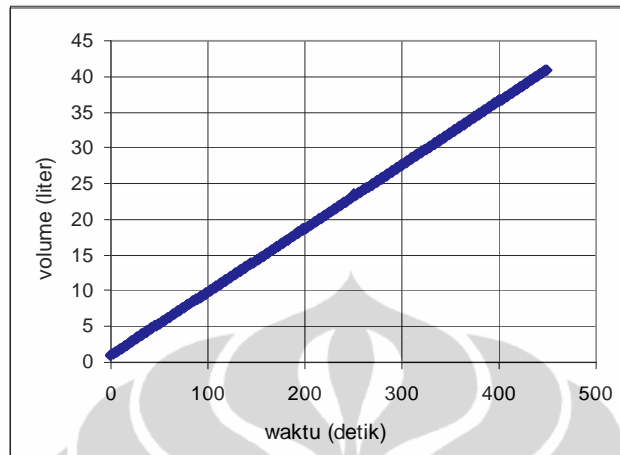
Gambar 5.6

Grafik yang sama dengan Gambar 5.4 dengan rentang waktu dari detik 230 ~ 270 liter yang menunjukkan adanya titik penyimpangan liter.

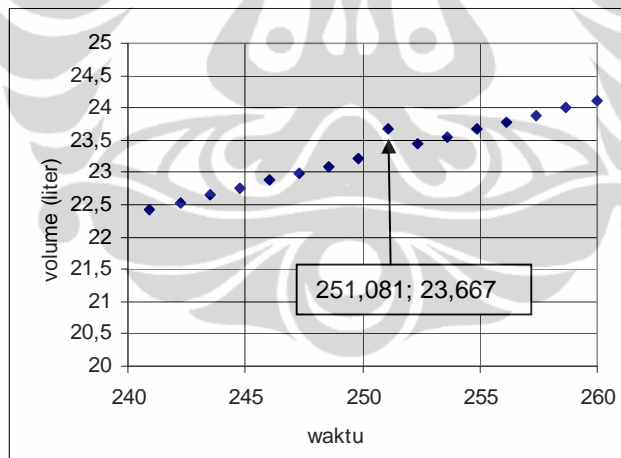


Gambar 5.7

Grafik yang sama dengan Gambar 5.4 dengan rentang waktu dari detik 120 ~ 150 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.

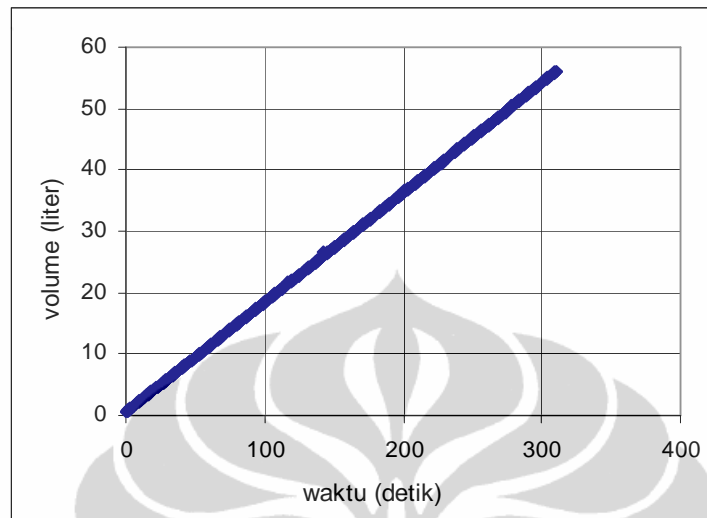


Gambar 5.8
Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan *dial*, pada laju aliran sekitar 5 ml/s, resolusi citra svga. Rentang ukur 0 ~ 45 liter.



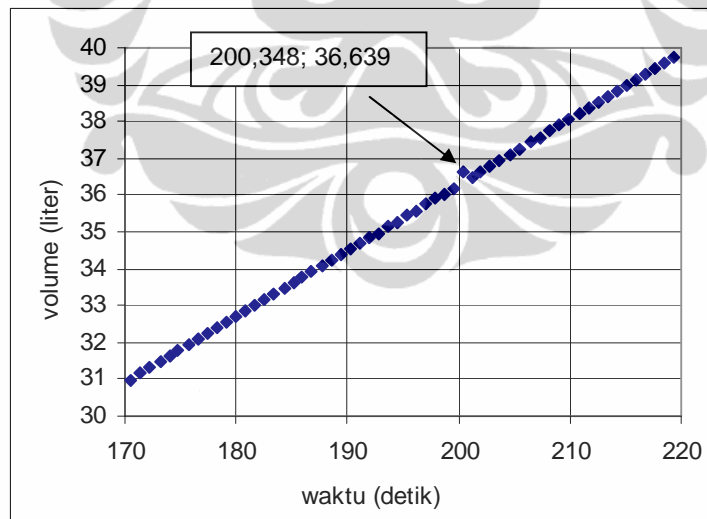
Gambar 5.9
Grafik yang sama dengan Gambar 5.8 dengan rentang waktu dari detik 240 ~ 260 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.

Grafik data pembacaan volume pada *wet gas meter* (WGM) dengan tampilan *dial* (lanjutan)



Gambar 5.10

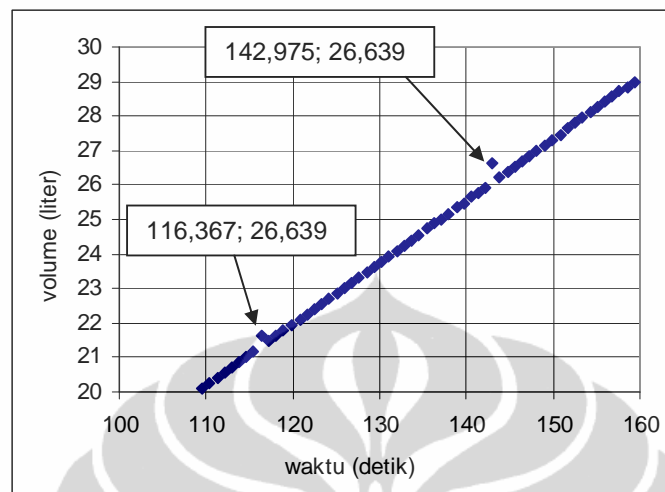
Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan *dial* pada laju aliran sekitar 10 ml/s, resolusi citra vga. Rentang ukur 0 ~ 60 liter.



Gambar 5.11

Grafik yang sama dengan Gambar 5.10 dengan rentang waktu dari detik 170 ~ 220 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.

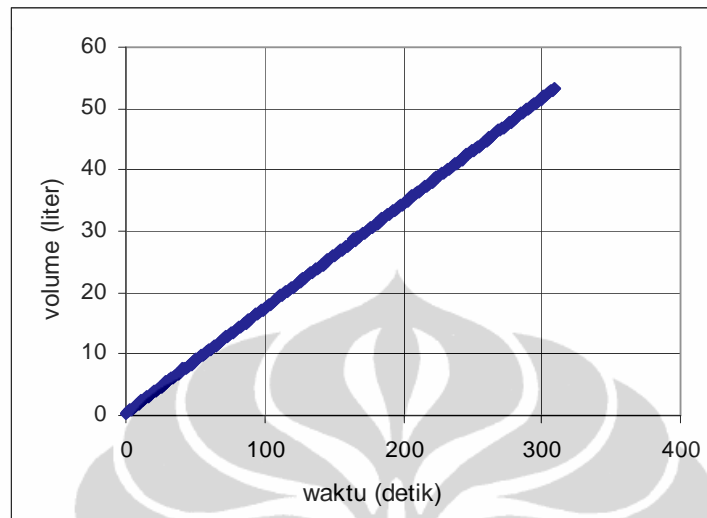
Grafik data pembacaan volume pada *wet gas meter* (WGM) dengan tampilan *dial* (lanjutan)



Gambar 5.12

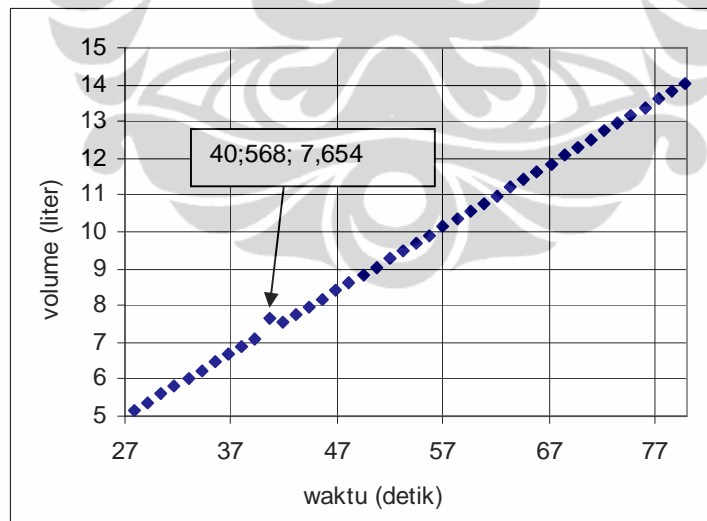
Grafik yang sama dengan Gambar 5.10 dengan rentang waktu dari detik 110 ~ 160 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.

Grafik data pembacaan volume pada *wet gas meter* (WGM) dengan tampilan *dial* (lanjutan)



Gambar 5.13

Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan *dial* pada laju aliran sekitar 10 ml/s, resolusi citra svga. Rentang ukur 0 ~ 60 liter



Gambar 5.14

Grafik yang sama dengan Gambar 5.13 dengan rentang waktu dari detik 27 ~ 80 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.

Uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan *dial*

Tabel 5.9

Tabel data uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan *dial* pada laju aliran sekitar 1,3 ml/s, resolusi citra vga.

No.	a	b	c	d
			a-b	100*c/a
	Q_{Alat}	Q_{man}	Selisih	
	l/m	l/m	l/m	% read
1	1,31	1,30	0,01	0,86
2	1,31	1,32	-0,01	-0,98
3	1,31	1,31	0,01	0,47
4	1,31	1,31	0,00	0,31
5	1,31	1,31	-0,01	-0,49
6	1,32	1,31	0,01	0,46
7	1,30	1,32	-0,02	-1,52
8	1,32	1,29	0,02	1,61
9	1,31	1,33	-0,02	-1,35
10	1,31	1,30	0,01	0,80
rata-rata	1,31	1,31	0,00	
kestabilan stdev	0,004	0,011	0,014	l/m
	0,32	0,86	1,04	% read

Uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan *dial*
(lanjutan)

Tabel 5.10

Tabel data uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan *dial*
pada laju aliran sekitar 5 ml/s, resolusi citra vga.

No.	a	b	c	d
			a-b	100*c/a
	Q_{alat}	Q_{man}	Selisih	
	l/m	l/m	l/m	% read
1	5,295	5,294	0,001	0,02
2	5,272	5,271	0,001	0,01
3	5,272	5,289	-0,017	-0,33
4	5,229	5,228	0,001	0,02
5	5,176	5,172	0,004	0,08
6	5,229	5,230	-0,001	-0,02
7	5,229	5,218	0,010	0,20
8	5,212	5,237	-0,025	-0,48
9	5,199	5,181	0,018	0,34
10	5,198	5,196	0,002	0,04
rata-rata	5,23	5,23	0,00	
kestabilan stdev	0,038	0,043	0,012	l/m
	0,72	0,81	0,24	% read

Tabel 5.11

Data uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan *dial* pada
laju aliran sekitar 5 ml/s, resolusi citra svga.

No.	a	b	c	d
			a-b	100*c/a
	Q_{alat}	Q_{man}	Selisih	
	l/m	l/m	l/m	% read
1	5,345	5,369	-0,024	-0,44
2	5,361	5,363	-0,002	-0,04
3	5,345	5,313	0,032	0,60
4	5,335	5,338	-0,002	-0,05
5	5,326	5,344	-0,018	-0,34
6	5,344	5,318	0,026	0,48
7	5,318	5,328	-0,011	-0,20
8	5,334	5,334	0,001	0,01
9	5,324	5,329	-0,004	-0,08
10	5,313	5,313	-0,001	-0,02
rata-rata	5,33	5,33	0,00	
kestabilan stdev	0,015	0,019	0,017	l/m
	0,28	0,36	0,32	% read

Uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan *dial*
(lanjutan)

Tabel 5.12

Data uji banding pembacaan laju aliran WGM dengan tampilan *dial* pada laju aliran sekitar 10 ml/s, resolusi citra vga.

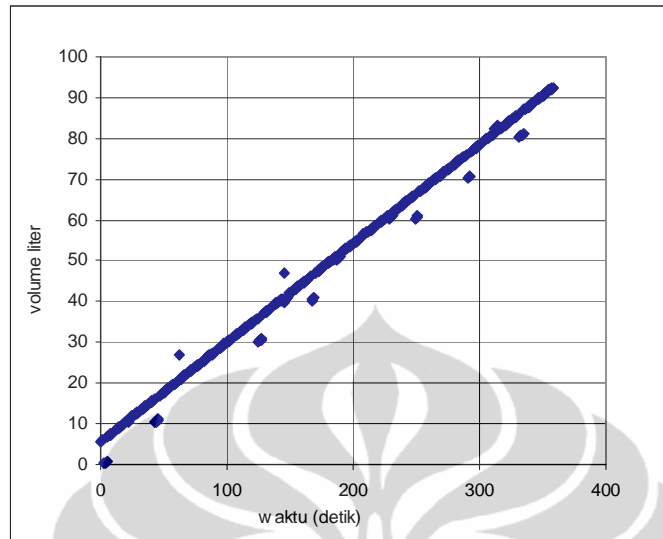
No.	a	b	c	d
			a-b	100*c/a
	Q_{alat}	Q_{man}	Selisih	
	l/m	l/m	l/m	% read
1	10,77	10,77	0,00	0,01
2	10,78	10,82	-0,04	-0,34
3	10,80	10,81	-0,01	-0,07
4	10,75	10,73	0,03	0,24
5	10,76	10,77	-0,01	-0,06
6	10,75	10,74	0,01	0,14
7	10,74	10,72	0,02	0,21
8	10,73	10,75	-0,02	-0,18
9	10,73	10,73	0,00	0,00
10	10,72	10,69	0,02	0,23
rata-rata	10,75	10,75	0,00	
kestabilan stdev	0,025	0,038	0,021	l/m
	0,23	0,36	0,19	% read

Tabel 5.13

Data uji banding pembacaan laju aliran WGM dengan tampilan *dial* pada laju aliran sekitar 10 ml/s, resolusi citra svga.

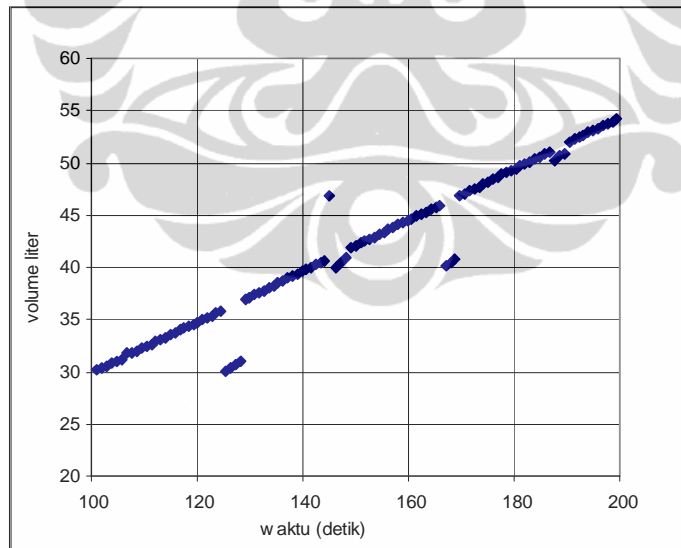
No.	a	b	c	d
			a-b	100*c/a
	Q_{alat}	Q_{man}	Selisih	
	l/m	l/m	l/m	% read
1	10,27	10,28	-0,01	-0,09
2	10,29	10,25	0,04	0,37
3	10,28	10,29	-0,01	-0,05
4	10,28	10,27	0,01	0,10
5	10,26	10,28	-0,02	-0,20
6	10,26	10,23	0,03	0,32
7	10,27	10,26	0,01	0,11
8	10,25	10,23	0,02	0,19
9	10,26	10,23	0,04	0,38
10	10,27	10,23	0,03	0,32
rata-rata	10,27	10,26	0,01	
kestabilan stdev	0,012	0,026	0,021	l/m
	0,12	0,35	0,21	% read

Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan *dial register*



Gambar 5.15

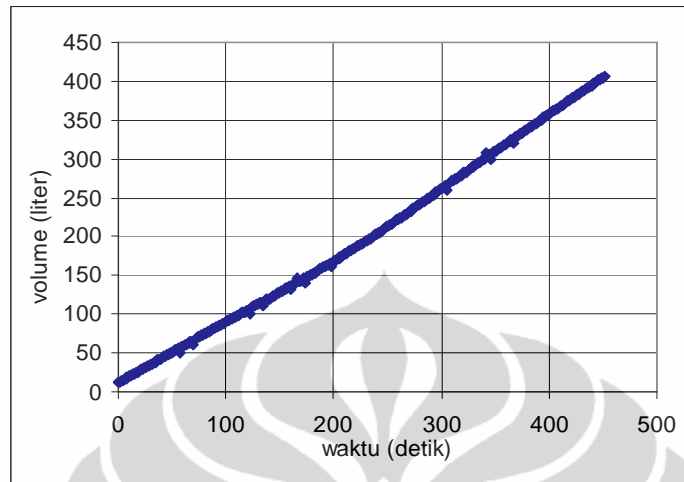
Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan *dial register* pada laju aliran sekitar 1 ml/s, resolusi citra vga. Rentang ukur 0 ~ 100 liter



Gambar 5.16

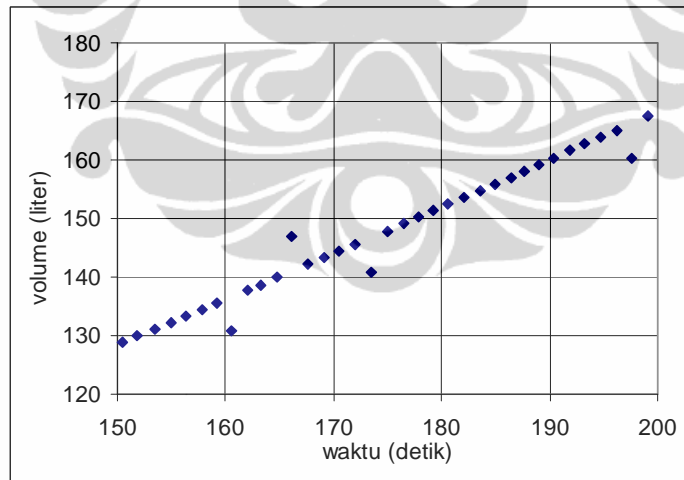
Grafik yang sama dengan Gambar 5.15 dengan rentang waktu dari detik 50 ~ 100 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.

Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan *dial register*
(lanjutan)



Gambar 5.17

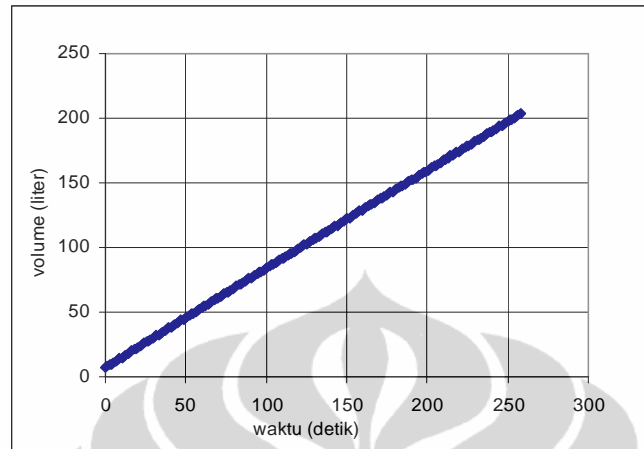
Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan *dial register* pada laju aliran sekitar 5 ml/s, resolusi citra vga. Rentang ukur 0 ~ 250 liter



Gambar 5.18

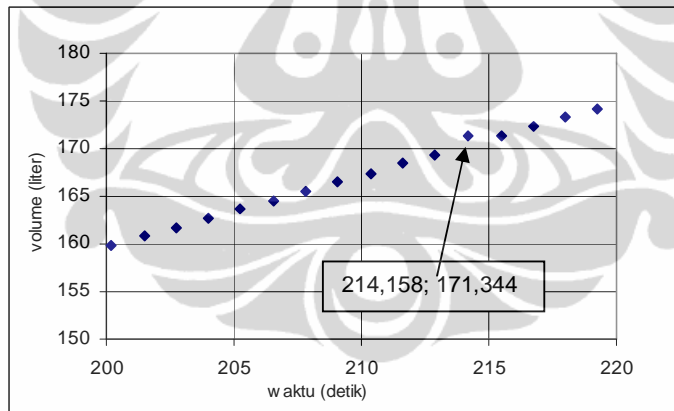
Grafik yang sama dengan Gambar 5.17 dengan rentang waktu dari detik 150 ~ 200 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.

Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan *dial register*
(lanjutan)



Gambar 5.19

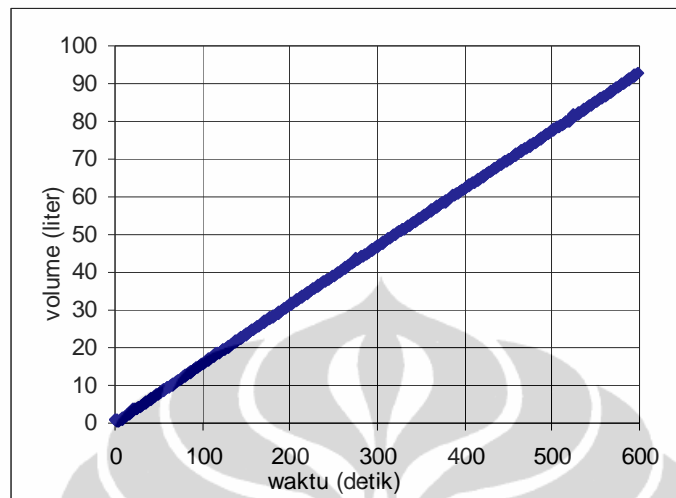
Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan *dial register* pada laju aliran sekitar 5 ml/s, resolusi citra svga. Rentang ukur 0 ~ 250 liter



Gambar 5.20

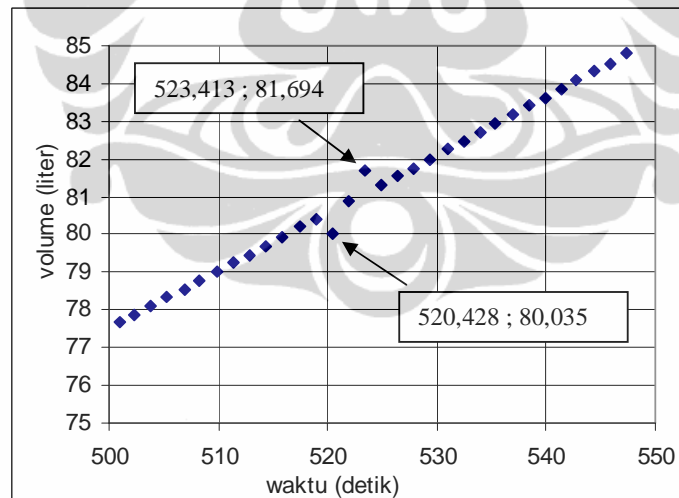
Grafik yang sama dengan Gambar 5.19 dengan rentang waktu dari detik 200 ~ 220 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.

Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan *dial register*
(lanjutan)



Gambar 5.21

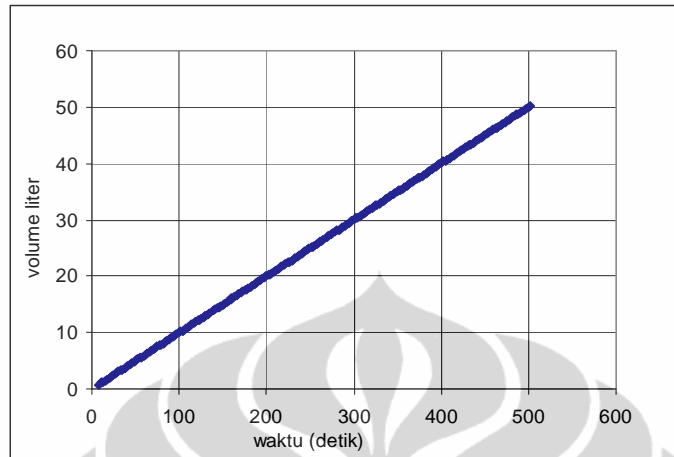
Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan *dial register* pada laju aliran sekitar 10 ml/s, resolusi citra vga. Rentang ukur 0 ~ 100 liter



Gambar 5.22

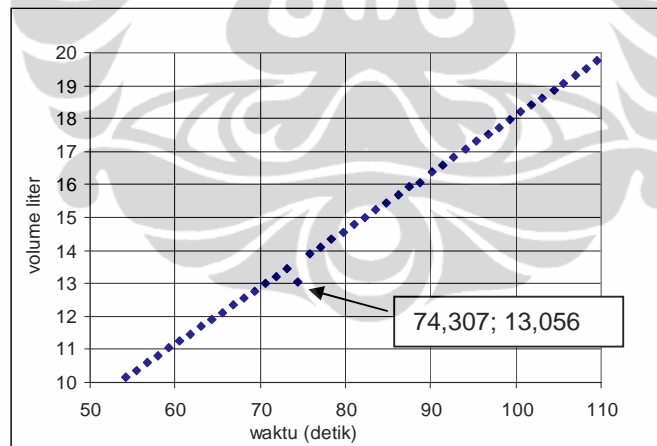
Grafik yang sama dengan Gambar 5.21 dengan rentang waktu dari detik 500 ~ 550 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.

Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan *dial register*
(lanjutan)



Gambar 5.23

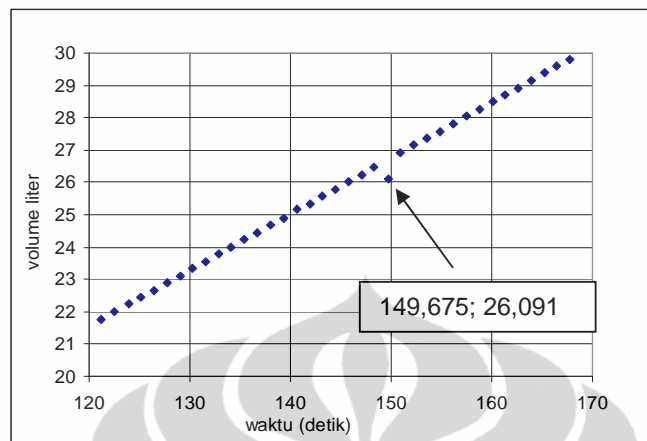
Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan *dial register* pada laju aliran sekitar 10 ml/s, resolusi citra svga. Rentang ukur 0 ~ 50 liter



Gambar 5.24

Grafik yang sama dengan Gambar 5.23 dengan rentang waktu dari detik 50 ~ 110 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.

Grafik data pembacaan volume pada WGM dengan tampilan *dial register*
(lanjutan)



Gambar 5.25

Grafik yang sama dengan Gambar 5.23 dengan rentang waktu dari detik 120 ~ 170 yang menunjukkan adanya titik penyimpangan.

Uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan *dial register*

Tabel 5.14

Data uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan *dial register* pada laju aliran sekitar 1 ml/s, resolusi citra vga.

No.	a	b	c	d
			a-b	100*c/a
	Q_{alat}	Q_{man}	Selisih	
	l/m	l/m	l/m	% read
1	1,44	1,43	0,01	0,40
2	1,45	1,47	-0,02	-1,27
3	1,44	1,44	0,01	0,42
4	1,45	1,46	0,00	-0,27
5	1,45	1,44	0,01	0,41
6	1,45	1,46	-0,01	-0,72
7	1,45	1,44	0,01	0,65
8	1,46	1,46	-0,01	-0,49
9	1,45	1,44	0,01	0,84
10	1,47	1,48	-0,01	-0,71
rata-rata	1,45	1,45	0,00	
kestabilan stdev	0,007	0,014	0,010	l/m
	0,47	0,95	0,71	% read

Uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan *dial register*
(lanjutan)

Tabel 5.15

Data uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan *dial register*
pada laju aliran sekitar 5 ml/s, resolusi citra vga.

No.	a	b	c	d
			a-b	100*c/a
	Q_{alat}	Q_{man}	Selisih	
	l/m	l/m	l/m	% read
1	5,61	5,58	0,03	0,53
2	5,64	5,68	-0,04	-0,64
3	5,69	5,69	0,00	0,07
4	5,73	5,73	0,00	-0,06
5	5,78	5,78	0,00	0,02
6	5,85	5,82	0,03	0,48
7	5,88	5,90	-0,02	-0,32
8	5,92	5,89	0,02	0,37
9	5,10	5,10	0,00	-0,02
10	4,81	4,82	-0,01	-0,22
rata-rata	5,601	5,600	0,001	
kestabilan stdev	0,363	0,358	0,021	l/m
	6,48	6,4	0,37	% read

Tabel 5.16

Data uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan *dial register*
pada laju aliran sekitar 5 ml/s, resolusi citra svga.

No.	a	b	c	d
			a-b	100*c/a
	Q_{alat}	Q_{man}	Selisih	
	l/m	l/m	l/m	% read
1	4,49	4,55	-0,07	-1,50
2	4,55	4,59	-0,03	-0,71
3	4,60	4,56	0,04	0,91
4	4,52	4,61	-0,08	-1,86
5	4,60	4,61	-0,01	-0,16
6	4,53	4,56	-0,03	-0,65
7	4,54	4,62	-0,08	-1,68
8	4,60	4,61	-0,01	-0,22
9	4,64	4,62	0,02	0,52
10	4,60	4,63	-0,03	-0,73
rata-rata	4,567	4,595	-0,027	
kestabilan stdev	0,047	0,028	0,041	l/m
	1,03	0,62	0,91	% read

Uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan *dial register*
(lanjutan)

Tabel 5.17

Data uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan *dial register*
pada laju aliran sekitar 10 ml/s, resolusi citra vga.


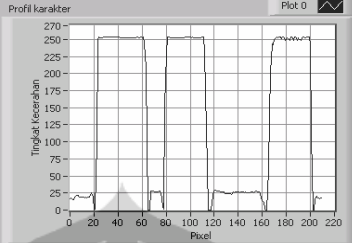
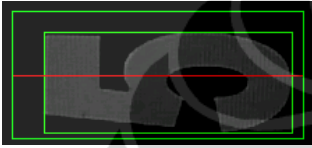
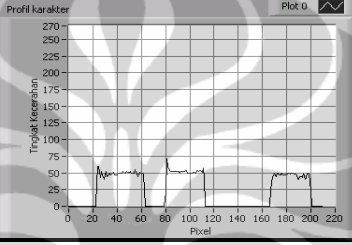
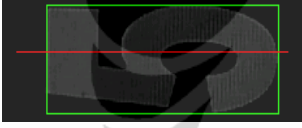
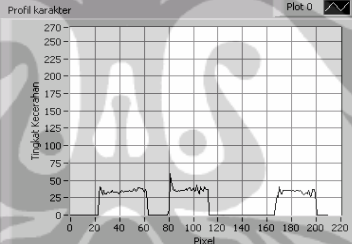
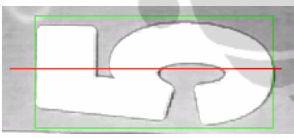
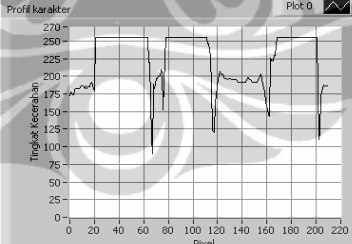
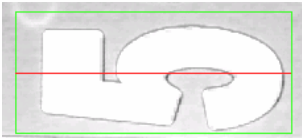
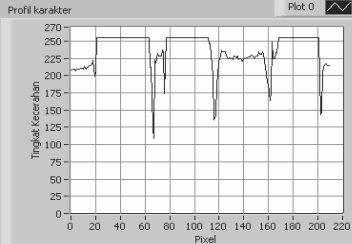
No.	a	b	c	d
			a-b	100*c/a
	Q_{alat}	Q_{man}	Selisih	
	l/m	l/m	l/m	% read
1	9,53	9,52	0,02	0,17
2	9,29	9,28	0,01	0,08
3	9,12	9,12	0,00	0,01
4	9,12	9,13	-0,02	-0,18
5	9,18	9,18	0,00	0,01
6	9,19	9,19	0,00	0,00
7	9,24	9,21	0,02	0,27
8	9,23	9,26	-0,03	-0,35
9	9,29	9,27	0,03	0,29
10	9,37	9,31	0,06	0,59
rata-rata	9,255	9,247	0,001	
kestabilan stdev	0,124	0,113	0,024	l/m
	1,34	1,23	0,26	% read

Tabel 5.18

Data uji banding pembacaan laju aliran pada WGM dengan tampilan *dial register*
pada laju aliran sekitar 10 ml/s, resolusi citra svga.

No.	a	b	c	d
			a-b	100*c/a
	Q_{alat}	Q_{man}	Selisih	
	l/m	l/m	l/m	% read
1	10,44	10,41	0,03	0,28
2	10,41	10,44	-0,03	-0,29
3	10,40	10,40	-0,01	-0,06
4	10,44	10,41	0,03	0,25
5	10,37	10,43	-0,06	-0,59
6	10,39	10,31	0,08	0,81
7	10,41	10,39	0,02	0,18
8	10,34	10,39	-0,06	-0,54
9	10,37	10,37	0,00	-0,04
10	10,37	10,36	0,01	0,12
rata-rata	10,394	10,393	0,001	
kestabilan stdev	0,033	0,039	0,043	l/m
	0,32	0,37	0,42	% read

Tabel 5.19 : Data pengujian daya baca sistem terhadap kecerahan citra pada tampilan *dial register*

No.	Tampak citra	Grafik profil	Tinggi lereng	Ket.
1			225	Karakter terbaca
2			50	Karakter terbaca
3			35	Karakter tidak terbaca
4			50	Karakter terbaca
5			25	Karakter tidak terbaca