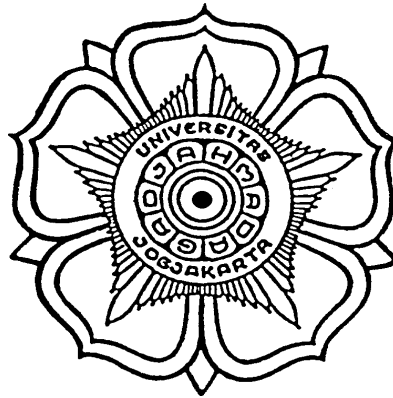


SKRIPSI

**PENGEMBANGAN PENGUKURAN ANTROPOMETRI KELILING  
DENGAN MEMANFAATKAN CITRA DUA DIMENSI**

**No. Soal: TKI 45985/II-2010/2011/Her./93/25.01/2011**



**Disusun Oleh :**

**Pandu Wira Aji Pramandita**  
**06/193121/TK/31454**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNIK UNIVERSITAS GADJAH MADA  
YOGYAKARTA**

**2011**

## **PENGESAHAN**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
Guna memperoleh gelar sarjana  
Di Program Studi Teknik Industri  
Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik  
Universitas Gadjah Mada  
Yogyakarta

Disusun Oleh:

Nama : Pandu Wira Aji Pramandita

NIM : 06/193121/TK/31454

Disetujui untuk diuji,

Dosen Pembimbing



Dr. Eng. Herianto, S.T., M.Eng.

NIP : 197807242005011002

## **SURAT PERNYATAAN**

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi ini adalah hasil karya saya dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya dalam naskah dan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 24 Juni 2011



METERAI  
TEMPEL  
PALEMBANGAN BANGSA  
TOL  
FD896AAF734286655  
ENAM RIBU RUPIAH  
6000 DJP

Pandu Wira Aji Pramandita

**UNIVERSITAS GADJAH MADA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**JURUSAN TEKNIK MESIN DAN INDUSTRI**

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN DAN PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI

**NASKAH SOAL TUGAS AKHIR**

Mata Kuliah : Ergonomi  
Nama Mahasiswa : Pandu Wira Aji Pramandita  
Nomor Mahasiswa : 06/193121/TK/31454  
Nomor Persoalan : TKI 45985/II-2010/2011/Her./93/25.01/2011  
Program Studi : Teknik Industri

**PENGEMBANGAN PENGUKURAN KELILING ANTROPOMETRI  
DENGAN MEMANFAATKAN CITRA DUA DIMENSI**

Yogyakarta, 25 November 2010

Dosen Pembimbing



Dr. Eng. Herianto, S.T., M.Eng.

NIP : 197807242005011002

## HALAMAN PERSEMBAHAN



*Dengan tidak mengurangi rasa syukur atas kehadiri Allah SWT, yang telah menciptakan dan melindungi setiap langkahku dan junjunganku Nabi Muhammad SAW, sebagai suri tauladan bagi kita semua, dengan segala kerendahan hati, penulis mempersembahkan skripsi ini kepada:*

- *Papa dan almarhum Mama ku tercinta, Papa Wimbadi S dan Mama Ratih Eny P, yang telah mengajariku banyak hal tentang kehidupan dan tiada henti - hentinya selalu memberikan dukungan kepadaku, baik moril maupun materil, selalu membimbingku dan memberikan kasih sayang serta doa.*
- *Adikku, Praba Kurnia Dini Kalinda yang aku sayangi.*
- *My best friend, Kukuh, Toynbee, Eny, Reza dan teman-teman lainnya yang tidak bisa aku sebutkan satu persatu, terima kasih atas semangat dan dukungannya. Teman-teman TI06, kalian semua adalah teman-teman seperjuangan dan sumber motivasiku. Semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu atas bantuan dalam penyusunan skripsi ini.*

*Saya ucapkan trimakasih untuk dukungan kalian semua, mungkin tanpa dukungan kalian aku bukanlah apa-apa.*

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan naskah Tugas Akhir ini dengan baik. Sungguh besar nikmat yang Allah berikan sehingga Tugas Akhir ini bisa selesai tepat waktu.

Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan yang wajib dilaksanakan oleh setiap mahasiswa di Program Studi Teknik Industri Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Penulis menyadari bahwa penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu dengan segenap ketulusan hati, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. Muhammad Waziz Wildan, M.Sc.,Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
2. Bapak Muhammad K. Herliansyah, S.T., M.T., P.h.D., selaku Ketua Program Studi Teknik Industri, Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
3. Bapak Dr. Eng. Priyo Tri Iswanto.,S.T.,M.Eng., selaku dosen pembimbing akademik atas bimbingan, nasehat, dan arahan yang diberikan.
4. Bapak Dr. Eng. Herianto S.T.,M.Eng., selaku dosen pembimbing tugas akhir atas bimbingan, nasehat, arahan, dan kemudahan yang diberikan.
5. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Mesin dan Industri Universitas Gadjah Mada atas semua bantuan yang diberikan kepada penulis selama kuliah.
6. Kedua orang tuaku, saudaraku yang selalu memberi dukungan dan doa tiada henti.
7. Saudara-saudara ku di lampung, Praba, Ely, mas Taufik, Kiki, mbak Rumi dan mbak Devi, terima kasih atas dukungannya.

8. Keluarga besarku, mbah Kakung, mbah Utie, bulik Utiek, bulik Nin, om heri, om hardi, bude Sunar dan sepupu-sepupu aku, makasih atas dukungan baik moral dan materi.
9. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Industri angkatan 2006 yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas seluruh dukungan dan kerja samanya selama ini. Semoga kompak selalu.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang selama ini telah memberi bantuan dan dukungan kepada penulis.

Akhir kata, peneliti mohon maaf atas kesalahan, kekurangan dan keterbatasan kemampuan penulisan dan mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas segala perhatian dan dukungannya. Semoga penelitian tugas akhir ini bermanfaat buat kita semua.

Yogyakarta, 24 Juni 2011

**Penulis**

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	ii
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b>	iii
<b>NASKAH SOAL TUGAS AKHIR</b>	iv
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b>	v
<b>KATA PENGANTAR</b>	vi
<b>DAFTAR ISI</b>	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	xi
<b>DAFTAR TABEL</b>	xii
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	xiii
<b>DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN</b>	xiv
<b>INTISARI</b>	xv
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Asumsi dan Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Perancangan	3
1.5. Manfaat Perancangan	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	4
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b>	8
3.1. Sistem Pengukuran	8
3.1.1. Definisi sistem pengukuran	8
3.1.2. Kesalahan ( <i>error</i> ) dalam pengukuran	9
3.2. Antropometri	9

3.2.1. Definisi antropometri	9
3.2.2. Variabel antropometri	10
3.2.3. Pengukuran antropometri	10
3.3. Citra	12
3.4. Pengolahan Citra	13
3.4.1. Definisi pengolahan citra	13
3.4.2. Operasi pengolahan citra	14
3.4.3. Pengolahan citra di dunia industri	16
3.5. MATLAB	18
3.5.1. Definisi MATLAB	18
3.5.2. Pengolahan citra dengan MATLAB	19
3.5.3. GUI Pada MATLAB	20
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>	<b>22</b>
4.1. Alat dan Bahan Perancangan	22
4.2. Diagram Alir Perancangan	23
4.3. Perancangan Perangkat Lunak	23
4.3.1. Perancangan Algoritma	23
4.3.2. Perancangan Kode Pemrograman	23
4.3.3. Perancangan Tampilan/GUI	23
4.4. Pengambilan Data	23
4.4.1. Subjek yang Diukur	23
4.4.2. Pengkondisian Tempat Pengambilan Citra	24
4.4.3. Penentuan Persamaan Regresi Linier	25
4.5. Perintah Program	25
4.6. Pengujian	26
<b>BAB V HASIL PERANCANGAN DAN PEMBAHASAN</b>	<b>27</b>
5.1. Hasil Perancangan	27
5.1.1. Perangkat Lunak	27
5.1.1.1. Nama Perangkat Lunak	27

5.1.1.2.Spesifikasi Perangkat Lunak	27
5.1.1.3.Algoritma Perangkat Lunak	27
5.1.1.4.Algoritma proses perhitungan kurva	29
5.1.1.5.Kode Pemrograman	29
5.1.1.6.Tampilan Perangkat Lunak	30
5.1.1.6.Pengoperasian Perangkat Lunak	36
5.1.2. Konsep Pengukuran Pada Manusia	39
5.1.3. Hasil Pengujian Perangkat Lunak	39
5.2. Pembahasan	46
<b>BAB VI PENUTUP</b>	47
6.1. Kesimpulan	47
6.2. Saran	47
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	49
<b>LAMPIRAN</b>	52

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 4.1.	Diagram alir perancangan	23
Gambar 4.2.	Rencana pengambilan citra	25
Gambar 5.1.	Diagram alir algoritma perangkat lunak yang dirancang	28
Gambar 5.2.	Diagram alir algoritma perhitungan kurva	29
Gambar 5.3.	Tampilan GUI	30
Gambar 5.4.	Tombol pencarian gambar	30
Gambar 5.5.	Tombol pemilihan area yang akan dianalisa	31
Gambar 5.6.	Tombol pemilihan model obyek	32
Gambar 5.7.	Kolom pemasukan nilai kalibrasi	32
Gambar 5.8.	Tombol “Proses”	33
Gambar 5.9.	Kolom hasil <i>pixel</i> kalibrasi	34
Gambar 5.10.	Kolom hasil <i>pixel</i> gambar	34
Gambar 5.11.	Kolom panjang kurva	35
Gambar 5.12.	Tombol “Keluar”	35
Gambar 5.13.	Penggunaan tombol “Masukan Gambar”	36
Gambar 5.14.	Tampilan hasil pemilihan gambar	36
Gambar 5.15.	Tampilan penggunaan tombol “Pilih Area”	37
Gambar 5.16.	Tampilan hasil pemilihan “Model”	37
Gambar 5.17.	Tampilan gambar hasil “Proses”	38
Gambar 5.18.	Alur pengoperasian program	38
Gambar 5.19.	Grafik perbandingan hasil pengukuran tabung lingkaran	41
Gambar 5.20.	Grafik perbandingan hasil pengukuran elips	43
Gambar 5.21.	Grafik perbandingan hasil pengukuran lengkung	45

## DAFTAR TABEL

Tabel 5.1. Hasil performa pengujian pengukuran tabung lingkaran	40
Tabel 5.2. Hasil performa pengujian pengukuran tabung elips	41
Tabel 5.3. Hasil performa pengujian pengukuran lengkung tak beraturan	43
Tabel 5.4. Hasil performa pengujian keseluruhan	45

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Tampilan Perangkat Lunak	52
-	Tampilan perangkat lunak/GUI	52
-	Tampilan proses pengukuran	53
-	Tampilan hasil pengukuran	54
Lmpiran 2.	Hasil Uji Regresi	55
1.	Output Regresi Tabung Lingkaran	55
2.	Output Regresi Elips	56
3.	Output Regresi Lengkung Tak Beraturan	58
Lampiran 3.	Rekapitulasi Hasil Pengukuran Langsung	60
1.	Keliling Tabung Lingkaran	60
2.	Keliling Tabung Elips	61
3.	Keliling Tabung Lengkung Tak Beraturan	62
Lampiran 4.	Rekapitulasi Pengukuran Digital	63
1.	Tabung Lingkaran	63
2.	Elips	64
3.	Lengkung Tak Beraturan	65
Lampiran 5.	Gambar alat dan bahan	66

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

MATLAB	= Matrik Laboratory
GUI	= <i>Graphical User Interface</i>
SPSS 12.0	= Program pengolahan data statistik dengan seri kode produksi 12.0.
GB	= <i>Giga Byte</i>
MAD	= <i>Mean Absolute Deviation</i>
MSE	= <i>Mean Square Error</i>
MPE	= <i>Mean Percentage Error</i>
MAPE	= <i>Mean Absolute Percentage Error</i>
<i>R-squared</i>	= Perbandingan antara <i>error</i> dan hasil analisa data
SSE	= <i>Sum Squared Error</i>
SST	= <i>Sum Squared Treatment</i>
$\Sigma$	= Sigma
$n$	= Jumlah data
$Y_j$	= Besar nilai acuan
$Y'_j$	= Besar nilai pembanding

## INTISARI

Antropometri adalah pengetahuan mengenai dimensi tubuh manusia serta aplikasi yang berkaitan dengan geometri fisik, massa dan kekuatan tubuh manusia. Antropometri keliling merupakan salah satu bagian pada antropometri yang sehubungan dengan lingkaran fisik, dalam artian adalah pengetahuan tentang dimensi tubuh manusia yang berkaitan dengan ukuran fisik yang berhubungan dengan lingkaran tubuh. Citra dua dimensi adalah gambar pada bidang dua dimensi, ditinjau dari sudut pandang matematis, citra merupakan fungsi menerus dari intensitas cahaya pada bidang dua dimensi. Sumber cahaya menerangi objek, objek memantulkan kembali sebagian dari berkas cahaya tersebut. Pantulan cahaya ini ditangkap oleh alat-alat optik, misalnya mata pada manusia, kamera, pemindai, dan sebagainya, sehingga bayangan objek yang disebut citra tersebut terekam. Pemanfaatan citra dua dimensi untuk mengukur antropometri keliling menjadi satu alternatif pengukuran pada bidang antropometri.

Pada penelitian ini dikembangkan pengukuran antropometri keliling dengan pemanfaatan citra dua dimensi. Proses pengembangan dilakukan dengan perangkat lunak MATLAB untuk mengetahui hasil akhir dari pengukuran antropometri keliling. Proses penelitian dimulai dari pengambilan citra dua dimensi pada antropometri keliling sebagai data awal dari penelitian, selanjutnya citra dua dimensi dimasukkan pada perangkat lunak MATLAB yang telah tersaji dalam bentuk GUI, citra yang telah masuk pada perangkat lunak matlab kemudian di analisa dengan memasukan kalibrasi dan diproses hingga dihasilkan pengukuran antropometri keliling. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian pengukuran langsung dan pengujian dengan perangkat lunak yang dikembangkan.

Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa citra dua dimensi dapat dikembangkan dan dimanfaatkan untuk sistem pengukuran antropometri keliling. Pemanfaatan citra dua dimensi dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB menghasilkan perangkat lunak dengan nama *SOFIE CURVELO*. Hasil pengujian secara keseluruhan perangkat lunak yang dikembangkan memiliki nilai kesalahan yang kecil. Hal tersebut dibuktikan dengan rendahnya nilai MAD, MSE, MPE, MAPE, dan nilai *R-squared* yang mendekati satu.

Kata Kunci: Pengukuran, Antropometri Keliling, citra dua dimensi,

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Perkembangan teknologi dewasa ini dirasakan berkembang dengan pesat, hal ini terbukti dengan berbagai macam penemuan baru diberbagai bidang terutama mengenai masalah yang berhubungan dengan teknologi. Perkembangan tersebut bukan muncul secara tiba-tiba namun lebih pada kebutuhan akan penyederhanaan suatu aktifitas manusia, tidak terkecuali pada bidang pengukuran juga mengalami perkembangan dari waktu ke waktu.

Pengukuran dapat didefinisikan sebagai perbandingan suatu besaran dengan besaran acuan/pembanding/referensi. Proses pengukuran akan menghasilkan angka yang diikuti dengan nama besaran acuan ini. Adanya suatu besaran timbul karena pembanding yang sudah diakui oleh sekelompok atau seluruh manusia di dunia yang kemudian menjadi sebuah standarisasi pengukuran. Adapun teknik pengukuran mengalami beberapa tahapan perkembangan yang kemudian menjadi suatu disiplin ilmu tersendiri dikalangan akademik.

Teknik pengukuran mengalami fase-fase perkembangan dari analog hingga kini telah menggunakan digital yang memiliki tingkat ketelitian tinggi. Perkembangan tersebut tidak berlaku surut selama akal manusia terus berkembang, hal tersebut untuk memudahkan dan mengefisiensikan suatu proses pengukuran dengan tetap mengacu pada keakuratan sebuah proses pengukuran (Kroemer, 2006).

Antropometri adalah pengetahuan mengenai *dimensi* tubuh manusia serta aplikasi yang berkaitan dengan geometri fisik, massa dan kekuatan tubuh manusia. Munculnya teknik antropometri didasarkan pada berbagai macam kebutuhan dari mulai fashion, pengobatan hingga pengukuran untuk kebutuhan kerja. Ilmu-ilmu antropometri ini akan memberikan modal dasar untuk mengatasi masalah postur dan pergerakan manusia ditempat dan ruang kerjanya (Bridger, 1995).

Citra (*image*) adalah gambar pada bidang dua *dimensi*. Ditinjau dari sudut pandang matematis, citra merupakan fungsi menerus (*continue*) dari intensitas cahaya pada bidang dwimatra. Sumber cahaya menerangi objek, objek memantulkan kembali sebagian dari berkas cahaya tersebut. Pantulan cahaya ini ditangkap oleh alat-alat optik, misalnya mata pada manusia, kamera, pemindai (*scanner*), dan sebagainya, sehingga bayangan objek yang disebut citra tersebut terekam (Rinaldi, 2008).

Dari perkembangan ilmu ukur dan hubungannya dengan antropometri maka perlu suatu bentuk inovasi yang dapat dikembangkan dengan tujuan untuk efisiensi waktu, tenaga dan akhirnya akan mengefisiensikan biaya. Gagasan yang muncul dari paparan tersebut adalah perancangan suatu teknik pengukuran antropometri keliling memanfaatkan citra dua *dimensi*. Teknik yang akan dilakukan adalah dengan memanfaatkan citra (gambar) dua *dimensi* sebagai pengukuran antropometri keliling objek dengan bantuan alat rekam gambar (kamera) serta menggunakan suatu perangkat lunak MATLAB dalam menentukan hasil akhir pengukuran.

## 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian tentang perkembangan teknik pengukuran antropometri maka dapat diketahui permasalahan yang muncul dengan dirumuskan sebagai berikut:

“bagaimana pengukuran antropometri keliling yang dikembangkan dengan memanfaatkan citra dua *dimensi*”

## 1.3. Asumsi dan Batasan Masalah

Agar masalah ini lebih terfokus, efektif dan efisien maka diperlukan batasan masalah yang diteliti, batasan-batasan itu antara lain:

1. Penelitian ini tidak diujikan pada manusia namun, diujikan pada objek berbentuk tabung sebagai pendekatan antropometri keliling.

2. Spesifikasi objek ukur yang di gunakan adalah benda berbentuk tabung dengan keliling berbentuk lingkaran, elips dan lengkung tak beraturan.
3. Penulisan kode pemrograman menggunakan program MATLAB 7.8 (R2009a) dengan tampilan GUI (*Graphical User Interface*).

#### **1.4. Tujuan Perancangan**

Tujuan dari perancangan ini adalah:

1. Merancang sistem pengukuran antropometri keliling dengan memanfaatkan citra dua *dimensi*.
2. Melakukan pengujian terhadap hasil sistem yang dirancang.

#### **1.5. Manfaat Perancangan**

Adapun manfaat dari perancangan ini adalah:

1. Manfaat bagi penulis adalah meningkatkan pemahaman penulis akan analisis tentang pengukuran antropometri keliling dan perancangan teknik pengukuran dengan memanfaatkan citra dua *dimensi*.
2. Bagi ilmu pengetahuan, menghasilkan suatu perangkat lunak yang dapat digunakan untuk membantu analisis teknik pengukuran antropometri keliling sehingga dapat menjadi instrumen penelitian lanjut mengenai antropometri.
3. Manfaat bagi bidang perancangan dan pengembangan produk terutama produk yang diproduksi massal, menghasilkan alat ukur untuk pengembangan produk sesuai dengan kebutuhan dari sisi antropometri keliling.
4. Manfaat bagi bidang ilmu komputer, memberikan pemahaman serta pengetahuan mengenai aplikasi perancangan perangkat lunak.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Penelitian terdahulu mengenai pengukuran antropometri dengan memanfaatkan citra dua dimensi berkembang pesat di dunia termasuk di Indonesia. Diawali dengan menggunakan *hardware* berupa kamera manual kemudian berkembang menggunakan kamera digital. Peneliti di Indonesia yang mengembangkan metode pemanfaatan ataupun pengolahan citra dengan menggunakan kamera digital yang dilakukan oleh Probandari, (2010) dengan judul “*Pengembangan Perangkat Lunak Dengan MATLAB Untuk Perancangan Sistem Pengukuran Antropometri Circumference Secara Digital*” menerangkan bahwa sistem yang terdiri dari algoritma dan *graphical user interface* untuk mengukur antropometri *circumference*, pemilihan variabel antropometri *circumference* statis (total 11 variabel), dan penggunaan *hardware* kamera digital, papan kalibrasi, dan komputer. Dari pengujian validitas dan reliabilitas terhadap 30 subjek ukur diperoleh hasil pengukuran yang *valid*, presisi (kecuali 2 variabel antropometri) dan *reliable* untuk semua variabel antropometri.

Di internasional, perancangan-perancangan yang terkait meliputi:

1. *Computer Vision System for Human Anthropometric Parameters Estimation*

Jurnal ini dibuat oleh Stancic, dkk (2000), penyederhanaan suatu pengukuran akan menjadi menarik saat sudut pandang dilihat dari sisi efektif dan efisien. Memunculkan suatu pola pengukuran secara estimasi komputer akan menjadi alternatif yang dapat membantu pengukuran bidang antropometri. Pendekatan yang digunakan adalah dengan pengembangan algoritma yang datanya dari pengukuran secara *contactless* (tanpa menyentuh) dalam hal ini input data digunakan foto kamera yang kemudian dianalisa menggunakan algoritma program matlab.

2. *Performance of a 2D Image-Based Anthropometric Measurement and Clothing Sizing System*

Perancangan otomasi pengukuran antropometri dilakukan oleh Meunier dan Yin (2000), dalam perancangan hanya menyangkut 5 variabel antropometri. Mayoritas merupakan dimensi antropometri keliling. Fokus dalam perancangan ini adalah aplikasi pengukuran antropometri guna menentukan rata-rata ukuran pakaian.

3. *Anthropometric Measurements from Photographic Images*

Penelitian ini dilakukan oleh Hung, dkk (2004), dalam penelitian ini variabel yang digunakan adalah 20 objek laki-laki dan 20 objek wanita untuk mendapatkan ukuran standard sepatu. Metode yang digunakan adalah dengan sistem citra gambar fotografi. Hasil dari pengukuran gambar terdapat tingkat selisih yang tipis dengan pengukuran langsung, dengan menggunakan masing-masing 20 sample maka dapat dikatakan metode ini valid dengan perbedaan ukur 5 % dengan perhitungan langsung. Keuntungan dari metode ini dapat digunakan untuk menentukan standar ukuran sepatu yang lebih besar atau lebih kecil dengan merubah persentase dari data yang sudah masuk.

4. *Validity and Reliability of Craniofacial Anthropometric Measurement of 3D Digital Photogrammetric Images*

Penelitian ini dilakukan oleh Wong, dkk (2004) , penelitian ini juga hanya berupa pengujian validitas dan reliabilitas dari sebuah sistem pengukuran yang sudah ada dengan menganalisis variabel antropometri pada wajah.

5. *Statistical Estimation Of Human Anthropometry From A Single Uncalibrated Image*

Penelitian ini dilakukan oleh Chiraz dan Yacoob (2004), dalam penelitian ini digunakan metode gambar tanpa kalibrasi yang artinya kalibrasi dilakukan langsung pada program. Metode ini merupakan pengembangan dari metode pengukuran dengan citra gambar yang menggunakan bantuan tanda kalibrasi. Kesulitan muncul saat terjadi kasus gambar yang akan diukur adalah gambar bebas tanpa adanya tanda kalibrasi atau dikatakan gambar tunggal. Maka dengan adanya metode ini gambar yang bukan merupakan objek ukur guna penelitian,

akan dapat diukur dengan menggunakan program rancangan. Kalibrasi yang dimasukkan pada program merupakan hasil dari beberapa sampel yang kemudian dirata-rata dan perhitungan menggunakan pendekatan regresi linier.

#### 6. *Validation of an Image-Based Body Measurement System for Sitting Posture*

Penelitian ini hanya berupa pengujian validitas dari sebuah sistem pengukuran yang sudah ada. Penelitian yang dilakukan oleh Meunier dan Mertens (1995) ini hanya menganalisis pengukuran 5 variabel antropometri dalam posisi duduk. Kesimpulan dari penelitian ini adalah validasi data yang digunakan dalam penelitian sehingga secara keseluruhan data di nyatakan valid.

#### 7. *An Image-Based Approach To Obtaining Anthropometric Measurements For Athlete-Specific Inertia Modelling*

Penelitian ini dilakukan oleh Gittoes, dkk (2008), dimensi yang diukur tidak hanya geometri fisik tetapi juga sampai ke massa tubuh dan menggunakan parameter dimensi tubuh yang jarang digunakan yakni *Yeadon's inertia model* (95 variabel antropometri) dan ditujukan untuk atlet, selain itu pengukuran hanya dilakukan pada posisi berdiri, namun hasilnya tidak begitu akurat.

Dari penjelasan di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa ada beberapa hal yang menjadi perhatian utama dalam penelitian tentang pengolahan atau pemanfaatan citra dua dimensi untuk pengukuran antropometri, yakni meliputi:

1. Tipe antropometri yang dipakai, apakah antropometri statis atau dinamis.
2. Objek yang dipakai bersifat keliling antropometri.
3. Standar atau jumlah variabel antropometri yang diukur.
4. Penulisan atau kode pemrograman apa yang digunakan.
5. Teknologi citra yang dipakai apakah dua dimensi atau tiga dimensi.
6. Maksud dilakukannya perancangan atau penelitian tersebut, apakah akan diterapkan langsung atau tidak.
7. Karakteristik proses pengukuran yang menjadi acuan dalam identifikasi data seperti pencahayaan, jarak dan jumlah pixel atau tidak.
8. Penggunaan program, apakah langsung dengan satu program atau membutuhkan program bantuan.

9. *Hardware* dan alat yang dipakai.
10. Metode pengujian yang dilakukan.

Dari tinjauan pustaka yang telah disebutkan di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa pengembangan terhadap sebuah sistem pengukuran antropometri dengan menerapkan teknik pemanfaatan maupun pengolahan citra dua dimensi masih terus dapat dilakukan, baik pengembangan dari segi jumlah variabel antropometri yang dapat diukur, algoritma yang dipakai, metode pengujian yang dipakai dan sebagainya dengan tetap memperhatikan tujuan awal yaitu mempermudah proses pengukuran antropometri dan tetap mengutamakan validitas dan reliabilitas program.

## BAB III

### LANDASAN TEORI

#### 3.1. Sistem Pengukuran

##### 3.1.1. Definisi sistem pengukuran

Pengukuran adalah serangkaian kegiatan yang bertujuan untuk menentukan nilai suatu besaran dalam bentuk angka (kuantitatif). Jadi pengukuran adalah suatu proses mengaitkan angka secara empirik dan objektif pada sifat-sifat objek atau kejadian nyata sehingga angka yang diperoleh tersebut dapat memberikan gambaran yang jelas mengenai objek atau kejadian yang diukur (Morris, 2001).

Sistem pengukuran adalah sekumpulan aktivitas, prosedur, alat ukur, *software* dan orang yang bertujuan mendapatkan data pengukuran terhadap karakteristik yang sedang diukur.

Beberapa definisi yang perlu diketahui dalam pengukuran adalah (Meunier dan Mertens, 1995):

1. Akurasi (*accuracy*) dan presisi (*precision*).

Akurasi adalah kemampuan dari alat ukur untuk memberikan indikasi pendekatan terhadap harga sebenarnya dari objek yang diukur. Sedangkan presisi adalah kedekatan nilai-nilai pengukuran individual yang didistribusikan sekitar nilai rata-ratanya atau penyebaran nilai pengukuran individual dari nilai rata-ratanya.

2. Validitas (*validity*) dan reliabilitas (*reliability*).

Dalam bidang statistik dan pengukuran, validitas adalah seberapa baik suatu alat ukur dapat mengukur apa yang seharusnya diukur. Sedangkan reliabilitas adalah konsistensi pengukuran. Validitas sering dianalogikan dengan akurasi dan reliabilitas sering dianalogikan dengan presisi.

3. Kesalahan (*error*).

Kesalahan adalah selisih antara nilai ukuran yang terbaca dengan nilai sebenarnya dari objek yang diukur.

### 3.1.2. Kesalahan (*error*) dalam pengukuran

Setiap pengukuran mengandung kesalahan. Berdasarkan hal-hal yang menyebabkan terjadinya kesalahan, kesalahan yang terjadi pada pengukuran dapat diklasifikasikan sebagai kesalahan karena objek yang diukur (*sample*), kesalahan karena pengukur (*inspector*), kesalahan karena metode pengukuran (*methods*), kesalahan karena alat ukur (*instrument*), dan kesalahan karena lingkungan atau alam (Meunier dan Mertens, 1995).

## 3.2. Antropometri

### 3.2.1. Definisi antropometri

Antropometri berasal dari bahasa Yunani yakni kata *anthropos* yang berarti manusia dan *metron* yang berarti mengukur. Jadi, antropometri secara literal adalah pengukuran manusia. Antropometri adalah pengetahuan mengenai dimensi tubuh manusia serta aplikasi yang berkaitan dengan geometri fisik, massa dan kekuatan tubuh manusia. Variasi dimensi tubuh manusia sering kali menjadi faktor utama untuk menghasilkan rancangan sistem/alat yang sesuai untuk pengguna (Bridger, 1995).

Antropometri dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu (Kroemer, 1993):

1. Antropometri statis (dimensi struktur tubuh)

Pengukuran manusia pada posisi diam pada permukaan tubuh.

2. Antropometri dinamis (dimensi fungsional tubuh)

Pengukuran keadaan dan ciri-ciri fisik manusia dalam keadaan bergerak atau memperhatikan gerakan-gerakan yang mungkin terjadi saat melakukan pekerjaan atau kegiatan.

Data antropometri yang berhasil diperoleh akan diaplikasikan secara luas antara lain dalam hal pengamatan kesehatan dan pertumbuhan manusia, perancangan area kerja (*work station*), perancangan peralatan kerja, perancangan produk-produk konsumtif, dan perancangan lingkungan kerja fisik.

### 3.2.2. Variabel antropometri

Variabel antropometri adalah karakteristik pada tubuh manusia yang dapat diukur, didefinisikan, dan distandarisasikan dalam satuan ukur. Jumlah variable antropometri yang sudah ditemukan berjumlah sekitar 2.200 variabel (*Stellman*). Karena jumlahnya yang sangat banyak maka pemilihan variabel antropometri disesuaikan dengan tujuan dari pemakaian data antropometri tersebut (Bridger, 1995).

Pada umumnya, variabel antropometri dibagi menjadi beberapa jenis variabel meliputi:

1. *Linear* (variabel tinggi dan panjang), merupakan variabel paling banyak.
2. Diameter.
3. Lengkungan (*arc*).
4. *Girth/circumference* atau keliling bagian tubuh.
5. Massa.
6. Volume.

Ketentuan atau standar variabel tubuh yang diukur dalam antropometri sangat beragam tergantung tujuan dan pemakaiannya. Standar tersebut antara lain:

1. Standar yang ditetapkan oleh Eko Nurmianto.
2. Standar ILO.
3. Standar ISO meliputi ISO/DP 7250 1980 dan ISO 15534-3.
4. Standar *HumanGrowth*.
5. Standar yang ditetapkan *U.S Naval/Army*.
6. Standar WHO (untuk gizi dan pertumbuhan anak).
7. Standar-standar lainnya yang dibuat oleh perancang-perancang atau peneliti-peneliti antropometri yang disesuaikan dengan kebutuhan.

### 3.2.3. Pengukuran antropometri

1. Jenis pengukuran antropometri

Ada dua jenis pengukuran antropometri yakni pengukuran secara konvensional dan digital. Pengukuran secara konvensional atau pengukuran langsung membutuhkan beberapa instrumen atau alat seperti kursi antropometri,

meteran, timbangan badan, pengukur tinggi tubuh, jangka sorong, dan sebagainya tergantung kebutuhan. Sedangkan pengukuran secara digital menggunakan teknologi pengolahan citra digital. Kelebihan pengukuran secara langsung adalah alat lebih mudah ditemui dan murah sehingga untuk memulainya tidak memerlukan biaya yang besar serta mudah diterapkan. Kelemahan pengukuran secara langsung adalah membutuhkan waktu yang lama, lebih membutuhkan banyak tenaga, dan sulit untuk melakukan pengukuran antropometri dalam jumlah besar. Sedangkan pengukuran digital secara umum tidak banyak memakan waktu dan tenaga, cocok untuk melakukan pengukuran antropometri dalam jumlah besar, mengeliminasi kontak langsung dengan subjek ukur sehingga dislokasi dan deformasi jaringan yang lunak pada tubuh dapat dihindari. Namun untuk memulai pengukuran digital memerlukan biaya yang cukup besar karena melibatkan teknologi *hardware* dan *software* komputer, serta memerlukan pelatihan khusus.

## 2. Prinsip pengukuran antropometri statis

Berdasarkan ISO/TC 159 (ISO 15534 & ISO 9241) (Soebroto, 2004), pengambilan data ukuran tubuh manusia (antropometri) yang dilakukan dengan metode pengukuran statis idealnya memenuhi kondisi-kondisi sebagai berikut:

- a. Subjek yang diukur dalam kondisi telanjang (*nude person*).
- b. Pengukuran dilakukan dengan tidak memperhatikan (mengabaikan) gerakan tubuh, pakaian yang dikenakan, peralatan yang dipakai/dibawa, kondisi pengoperasian mesin atau fasilitas kerja dan kondisi lingkungan kerja.

## 3. Pengukuran antropometri keliling

Menurut Meunier (2000), pengukuran antropometri keliling atau lingkaran tubuh dengan memanfaatkan citra digital dapat dilakukan dengan mengambil gambar subjek dari dua arah, yaitu arah depan dan arah samping. Subjek diambil gambar menggunakan dua kamera yang diletakkan dari arah depan subjek dan arah samping subjek ukur. Dengan mendapatkan dua buah data ukur, yakni dari arah depan dan samping, dituliskan beberapa notasi untuk memudahkan dilakukannya perhitungan. Perhitungan keliling atau lingkaran dilakukan dengan

menambahkan rumus-rumus yang telah ditemukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Bagian tubuh yang diukur disesuaikan dengan kebutuhan dan penelitian yang dilakukan.

Penggunaan sistem pengukuran antropometri keliling secara digital memudahkan dilakukannya pengukuran pada manusia. Selain itu, pengukuran secara digital dapat mengurangi lamanya waktu pengukuran. Dalam lingkungan industri, pengukuran antropometri keliling secara digital banyak digunakan pada industri pakaian, sepatu, helm, tekstil, dan lain-lain (Patrick-Hung dkk, 2004). Di lingkungan kesehatan, pengukuran antropometri lingkaran tubuh adalah salah satu dari langkah-langkah manajemen dalam tatalaksana penanganan penyimpangan tumbuh-kembang anak dan remaja yang perlu dipahami oleh para petugas kesehatan (Narendra, 2006).

### 3.3. Citra

Citra (*image*) adalah gambar pada bidang dwimatra (dua dimensi). Ditinjau dari sudut pandang matematis, citra merupakan fungsi menerus (*continue*) dari intensitas cahaya pada bidang dwimatra. Sumber cahaya menerangi objek, objek memantulkan kembali sebagian dari berkas cahaya tersebut. Pantulan cahaya ini ditangkap oleh alat-alat optik, misalnya mata pada manusia, kamera, pemindai (*scanner*), dan sebagainya, sehingga bayangan objek yang disebut citra tersebut terekam (Priyono, 2007).

Untuk mendapatkan sebuah citra dapat menggunakan kamera konvensional (manual) dan digital. Kedua kamera ini sama-sama melakukan pemrosesan citra, perbedaannya pada kamera digital penyimpanan gambar dapat dilakukan oleh *memory*. Citra digital terdiri atas *pixel-pixel* yang memiliki suatu nilai. Nilai tersebut diasosiasikan ke dalam suatu warna. Proses asosiasi tersebut memiliki pengaruh paling besar terhadap persepsi orang terhadap citra digital yang ditampilkan, cara komputer membaca dan menyimpan citra tersebut, seperti citra RGB yang menyatakan intensitas warna merah, hijau, dan biru.

Citra sebagai keluaran dari suatu sistem perekaman data dapat bersifat:

- a. Optik berupa foto,

- b. Analog berupa sinyal video seperti gambar pada monitor televisi,
- c. Digital yang dapat langsung disimpan pada suatu pita magnetik.

Citra yang dimaksudkan di dalam keseluruhan isi perancangan ini adalah citra diam (*still images*). Citra diam adalah citra tunggal yang tidak bergerak. Untuk selanjutnya, citra diam disebut citra saja.

Citra bergerak (*moving images*) adalah rangkaian citra diam yang ditampilkan secara beruntun (sekuensial) sehingga memberi kesan pada mata sebagai gambar yang bergerak. Setiap citra di dalam rangkaian itu disebut *frame*. Gambar-gambar yang tampak pada film layar lebar atau televisi pada hakikatnya terdiri atas ratusan sampai ribuan *frame*.

### 3.4. Pengolahan Citra

#### 3.4.1 Definisi pengolahan citra

Pengolahan citra atau *image processing* adalah sebuah bentuk pemrosesan sinyal input berupa gambar seperti hasil foto atau berupa *frame-frame* video. Output dari pengolahan citra dapat berupa suatu bentuk gambar lainnya atau kumpulan dari karakteristik atau parameter yang berhubungan dengan gambar. Mayoritas teknik pengolahan citra memperlakukan gambar sebagai sinyal dua dimensi dan menerapkan standar pemrosesan sinyal tersebut (Priyono, 2007).

Pengolahan citra mempunyai hubungan dengan banyak ilmu lainnya. Ilmu-ilmu tersebut misalnya *artificial intelligence* (kecerdasan buatan), *signal processing*, *machine learning*, *physics*, *mathematic*, *neurobiology* maupun *imagin*. Pengolahan citra merupakan proses pengolahan dan analisis citra yang banyak melibatkan persepsi visual. Proses ini mempunyai ciri data masukan dan informasi keluaran yang berbentuk citra. Istilah pengolahan citra digital secara umum didefinisikan sebagai pemrosesan citra dua dimensi dengan komputer. Dalam definisi yang lebih luas, pengolahan citra digital juga mencakup semua data dua dimensi. Citra digital adalah barisan bilangan nyata maupun kompleks yang diwakili oleh bit-bit tertentu.

Umumnya citra digital berbentuk persegi panjang atau bujur sangkar (pada beberapa sistem pencitraan ada pula yang berbentuk segi enam) yang memiliki

lebar dan tinggi tertentu. Ukuran ini biasanya dinyatakan dalam banyaknya titik atau piksel sehingga ukuran citra selalu bernilai bulat. Setiap titik memiliki koordinat sesuai posisinya dalam citra. Koordinat ini biasanya dinyatakan dalam bilangan bulat positif, yang dapat dimulai dari 0 atau 1 tergantung pada sistem yang digunakan. Setiap titik juga memiliki nilai berupa angka digital yang merepresentasikan informasi yang diwakili oleh titik tersebut.

Format data citra digital berhubungan erat dengan warna. Pada kebanyakan kasus, terutama untuk keperluan penampilan secara visual, nilai data digital merepresentasikan warna dari citra yang diolah. Format citra digital yang banyak dipakai adalah Citra Biner (*monokrom*), Citra Skala Keabuan (*gray scale*), Citra Warna (*true color*), dan Citra Warna Berindeks.

Terdapat beberapa definisi pengolahan citra (*Image Processing*), yaitu:

- a. *Image Processing* merupakan salah satu aplikasi yang dapat mengubah gambar menjadi suatu informasi (Priyono, 2007).
- b. *Image Processing* merupakan suatu pengolahan data yang masukannya berupa gambar seperti hasil foto atau *frame-frame video*.
- c. *Image processing* adalah memproses suatu citra sehingga menghasilkan citra yang sesuai dengan keinginan kita atau kualitasnya menjadi lebih baik (Basuki, 2007).

### 3.4.2 Operasi pengolahan citra

Umumnya, operasi-operasi pengolahan citra diterapkan pada citra bila (Priyono, 2007):

- a. Perbaikan atau modifikasi citra perlu dilakukan untuk meningkatkan kualitas penampakan atau untuk menonjolkan beberapa aspek informasi yang terkandung di dalam citra.
- b. Elemen dari citra perlu dikelompokkan, dicocokkan, atau diukur.
- c. Sebagian dari citra perlu digabung dengan bagian citra yang lain.

Operasi-operasi yang dilakukan di dalam pengolahan citra banyak ragamnya. Namun, secara umum, operasi pengolahan citra dapat diklasifikasikan dalam beberapa jenis sebagai berikut:

1. Perbaikan kualitas citra (*image enhancement*).

Jenis operasi ini bertujuan untuk memperbaiki kualitas citra dengan cara memanipulasi parameter-parameter citra. Dengan operasi ini, ciri-ciri khusus yang terdapat di dalam citra lebih ditonjolkan. Contoh-contoh operasi perbaikan citra:

- a. Perbaikan kontras gelap/terang.
- b. Perbaikan tepian objek (*edge enhancement*).
- c. Penajaman (*sharpening*).
- d. Pemberian warna semu (*pseudocoloring*).
- e. Penapisan derau (*noise filtering*).

2. Pemugaran citra (*image restoration*).

Operasi ini bertujuan menghilangkan/meminimumkan cacat pada citra. Tujuan pemugaran citra hampir sama dengan operasi perbaikan citra namun pada pemugaran citra penyebab degradasi gambar diketahui. Contoh-contoh operasi pemugaran citra:

- a. Penghilangan kesamaran (*deblurring*).
- b. Penghilangan derau (*noise*).

3. Pemampatan citra (*image compression*).

Jenis operasi ini dilakukan agar citra dapat direpresentasikan dalam bentuk yang lebih kompak sehingga memerlukan memori yang lebih sedikit. Hal penting yang harus diperhatikan dalam pemampatan adalah citra yang telah dimampatkan harus tetap mempunyai kualitas gambar yang bagus.

4. Segmentasi citra (*image segmentation*).

Jenis operasi ini bertujuan untuk memecah suatu citra ke dalam beberapa segmen dengan suatu kriteria tertentu. Jenis operasi ini berkaitan erat dengan pengenalan pola.

5. Pengorakan citra (*image analysis*).

Jenis operasi ini bertujuan menghitung besaran kuantitatif dari citra untuk menghasilkan deskripsinya. Teknik pengorakan citra mengekstraksi ciri-ciri tertentu yang membantu dalam identifikasi objek. Proses segmentasi kadangkala

diperlukan untuk melokalisasi objek yang diinginkan dari sekelilingnya. Contoh-contoh operasi pengorakan citra:

- a. Pendeteksian tepi objek (*edge detection*).
- b. Ekstraksi batas (*boundary*).
- c. Representasi daerah (*region*).

6. Rekonstruksi citra (*image reconstruction*).

Jenis operasi ini bertujuan untuk membentuk ulang objek dari beberapa citra hasil proyeksi.

### 3.4.2 Pengolahan citra di dunia industri

Penggunaan pengolahan citra sangat luas dan terus berkembang salah satunya di dunia industri. Pada bidang industri, perkembangan pengolahan citra sangat cepat dibandingkan dengan bidang-bidang yang lain. Selain dilihat dari semakin banyaknya industri-industri yang bermunculan dan juga tuntutan untuk menghasilkan berbagai keluaran berkualitas tinggi pada produk-produk yang dihasilkan oleh tiap industri (Priyono, 2007).

Di dunia industri, pengolahan citra banyak digunakan dan dikembangkan dalam bidang *quality inspection*. Saat ini pengolahan citra banyak ditemui dan dikembangkan terutama pada industri makanan (untuk melakukan tes kualitas secara bentuk fisik suatu makanan seperti buah maupun sayuran). Di industri, selain di bidang *quality inspection*, pengolahan citra juga dapat dipakai dalam bidang *surveillance* dan pengukuran untuk desain produk seperti pengukuran antropometri yang sangat erat kaitannya dengan desain produk dan ergonomi.

Penerapan pengolahan citra di Teknik Industri dibagi menjadi empat yakni penerapan di bidang riset operasi, teknik produksi, proses dan sistem manufaktur, dan ergonomic

1. Penerapan di bidang riset operasi

Penerapan pengolahan citra di bidang riset operasi masih sangat terbatas. Salah satu yang memungkinkan adalah untuk membantu sampling data simulasi (misal *arrival* atau antrian).

2. Penerapan di bidang teknik produksi

Penerapan pengolahan citra di bidang teknik produksi paling banyak jenisnya, meliputi:

- a. Inspeksi cacat (*visual quality control*)
- b. Pembacaan kode barang (*supply chain management*)
- c. Penghitungan kepadatan jalur (*supply chain management*)
- d. Pendeteksian kerusakan mesin (sistem manajemen perawatan)
- e. Manajemen *inventory*
- f. Otomasi proses *assembly*
- g. Material *handling*
- h. Manajemen *energy*

3. Penerapan di bidang proses dan sistem manufaktur

Penerapan pengolahan citra di bidang proses dan sistem manufaktur meliputi:

- a. Pemilihan bahan teknik
- b. Otomasi proses manufaktur

4. Penerapan di bidang ergonomi.

Penerapan pengolahan citra di bidang ergonomi meliputi:

- a. Pengukuran antropometri (bersama bidang inspeksi cacat, merupakan riset yang paling banyak dilakukan)
- b. *Safety operator*

### 3.5. MATLAB

#### 3.5.1. Definisi MATLAB

MATLAB adalah sebuah bahasa dengan kinerja tinggi (*high-performance*) untuk komputasi masalah teknik. MATLAB mengintegrasikan komputasi, visualisasi, dan pemrograman dalam suatu model yang sangat mudah untuk dipakai di mana masalah-masalah dan penyelesaiannya diekspresikan dalam notasi matematika yang familiar (Peranginangin, 2006).

MATLAB merupakan suatu sistem interaktif yang memiliki elemen data dalam suatu *array* sehingga tidak lagi dipusingkan dengan masalah dimensi. Hal ini memungkinkan untuk memecahkan banyak masalah teknis yang terkait dengan komputasi, khususnya yang berhubungan dengan *matrix* dan formulasi *vektor*, dimana masalah tersebut merupakan momok apabila kita harus menyelesaikannya dengan menggunakan bahasa level rendah seperti Pascall, C, dan Basic.

Dalam lingkungan perguruan tinggi teknik, MATLAB merupakan perangkat standar untuk memperkenalkan dan mengembangkan penyajian materi matematika, rekayasa, dan keilmuan. MATLAB juga menyediakan pendekatan visual untuk menyelesaikan problem-problem tertentu. Dalam industri, MATLAB merupakan perangkat pilihan untuk penelitian dengan produktivitas yang tinggi, pengembangan, dan analisisnya (Peranginangin, 2006).

Penggunaan MATLAB meliputi bidang-bidang:

- a. Matematika dan komputasi.
- b. Pembentukan algoritma.
- c. Akuisisi data.
- d. Pemodelan, simulasi, dan pembuatan prototipe.
- e. Analisa data, explorasi, dan visualisasi.
- f. Grafik keilmuan dan bidang Rekayasa.

MATLAB merupakan singkatan dari *matrix laboratory*. MATLAB pada awalnya ditulis untuk memudahkan akses perangkat lunak matrik yang telah dibentuk oleh LINPACK dan EISPACK. Saat ini perangkat MATLAB telah bergabung dengan LAPACK dan BLAS *library*, yang merupakan satu kesatuan tersendiri dalam perangkat lunak untuk komputasi matrix.

Fitur-fitur MATLAB sudah banyak dikembangkan, dan lebih dikenal dengan nama *toolbox*. *Toolbox-toolbox* ini merupakan kumpulan dari fungsifungsi MATLAB (*m-files*) yang telah dikembangkan ke suatu lingkungan kerja MATLAB untuk memecahkan masalah dalam kelas *particular*. Area-area yang sudah bisa dipecahkan dengan *toolbox* saat ini meliputi pengolahan sinyal, *system control*, *neural networks*, *fuzzy logic*, *wavelets*, dan lain-lain, termasuk pengolahan citra.

### 3.5.2. Pengolahan citra dengan MATLAB

Dalam pengolahan citra, MATLAB sering kali dijadikan salah satu pilihan *tools*. Karena dengan menggunakan MATLAB, kerumitan-kerumitan yang harus dilakukan dalam bahasa pemrograman dapat dihindarkan (Priyono, 2007).

MATLAB merupakan bahasa komputasi yang memiliki banyak sekali fungsi *built-in* berkaitan dengan matrik dan persamaan-persamaan yang biasa digunakan pada bidang tertentu sehingga sangat memudahkan pengguna untuk melakukan pemrograman sehingga pengguna tidak terlalu dipusingkan dengan logika pemrograman dan lebih fokus terhadap logika penyelesaian masalah yang dihadapi. Seperti diketahui bahwa citra merupakan representasi spasial dari suatu objek yang sebenarnya dalam bidang 2 dimensi yang biasanya ditulis dalam koordinat kartesian x-y. Karena merupakan sistem koordinat yang memiliki nilai maka biasanya citra (*image*) dianggap sebagai sebuah matrik x-y yang berisi nilai piksel, di dalam MATLAB, representasi ini dapat ditulis menjadi:

$$F = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,N) \\ f(2,1) & f(2,2) & \dots & f(2,N) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f(M,1) & f(M,2) & \dots & f(M,N) \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

Yang perlu diperhatikan adalah bahwa *indeks matriks* pada MATLAB selalu dimulai dengan angka 1 sehingga untuk  $f(0,0)$  akan sama dengan  $f(1,1)$

pada MATLAB. Bentuk matriks ini kemudian diolah menurut teori-teori tertentu yang bertujuan untuk memecahkan masalah tertentu, bentuk matriks adalah perwujudan dari bentuk sinyal digital sehingga proses pemecahan dan pengolahan matriks dari gambar ini biasanya disebut dengan *digital image processing*.

Fitur MATLAB yang digunakan dalam perancangan ini adalah *image processing toolbox*. Tiga fungsi dasar pada *image processing toolbox* MATLAB yang cukup penting meliputi:

1. Membaca *file* citra

Untuk membaca *file* citra, kita dapat menggunakan perintah *imread* yang berarti *image read*. Output dari *imread* ini berupa matriks citra. Matriks citra ini bisa berupa matriks tiga dimensi untuk citra berwarna, ataupun matriks dua dimensi untuk citra monokrom.

2. Menampilkan data citra

Langkah selanjutnya ketika kita sudah mempunyai data citra adalah menampilkan data citra. Salah satu perintah untuk menampilkan data citra adalah *imshow*. Selain dengan perintah *imshow*, untuk menampilkan suatu data citra juga bisa menggunakan perintah *imagesc*, *plot*, dan sebagainya tergantung pemakaian dan kebutuhan. Disini MATLAB mempunyai keunggulan karena MATLAB sudah menyediakan GUI tempat di mana citra ditampilkan.

3. Memodifikasi data citra

Pengubahan data citra sangat lazim dilakukan. Proses ini adalah inti dari pengolahan citra. Segala macam algoritma dapat dijalankan pada langkah ini misalnya menghilangkan *noise*, *threshold*, deteksi tepi, *scaling*, perhitungan berkaitan dengan *pixel* dan sebagainya.

### 3.5.3. GUI pada MATLAB

*Graphical User Interface* (GUI) atau antarmuka pengguna grafis adalah metode interaksi secara grafis antara pengguna dan komputer. Aplikasi yang

menggunakan GUI lebih mudah dipelajari dan digunakan karena *user* tidak perlu mengetahui algoritma atau perintah yang ada dan bagaimana algoritma atau perintah bekerja. GUI MATLAB merupakan pemrograman berorientasi visual. GUI MATLAB memiliki banyak keunggulan dibandingkan dengan pemrograman lain yang juga berorientasi visual seperti visual basic, Delphi, visual C dan sebagainya. Keunggulan tersebut meliputi (Erick, 2007):

1. GUI MATLAB banyak digunakan dan cocok untuk aplikasi-aplikasi berorientasi sains, sehingga banyak peneliti yang menggunakan GUI MATLAB untuk menyelesaikan risetnya.
2. MATLAB memiliki fungsi *built in* yang siap digunakan dan *user* tidak perlu repot membuatnya sendiri.
3. Ukuran *file*, baik *FIG-file* maupun *m-file* yang dihasilkan relatif kecil.
4. Kemampuan grafisnya cukup handal dan tidak kalah dibandingkan dengan bahasa pemrograman lainnya.

## **BAB IV**

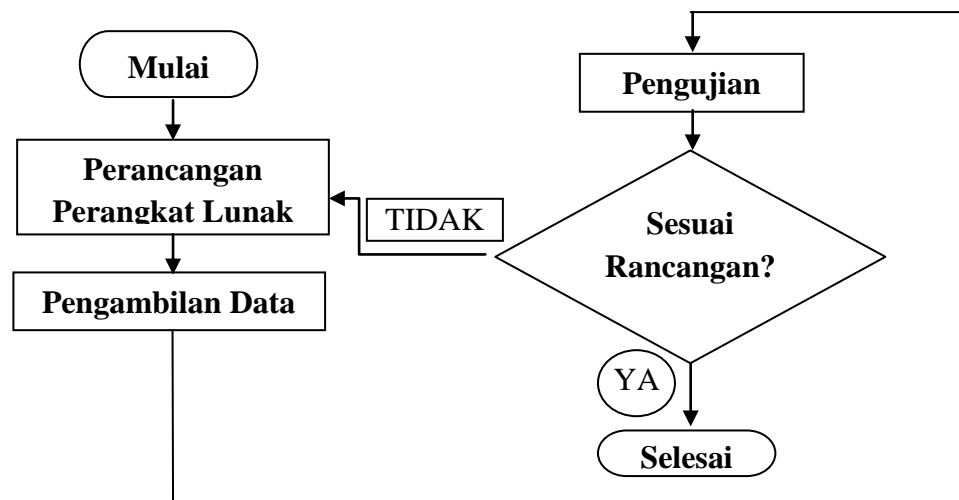
### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1. Alat dan Bahan Perancangan**

Alat dan bahan yang diperlukan dalam perancangan ini antara lain:

1. Kamera digital 6.0 Mega Pixel merk Casio Exilim Z60.
2. Perangkat keras komputer P4 2.8 GB, Memory 1 GB, HD 160 GB, DVD RW.
3. *Operating system* berupa Microsoft Windows XP Professional, Versi 5.1 Service Pack 3 Build 2600.
4. Perangkat lunak Microsoft Office 2007 (Word dan Excel)
5. Perangkat lunak MATLAB 7.8 (R2009a).
6. Perangkat lunak SPSS 12.0.
7. Alat tulis seperti kertas, pensil, dan bolpoin.
8. Alat pengukur konvensional berupa mistar dan meteran.
9. Pipa ukuran 0,5 inch, 0,75 inch, 1 inch, 1,5 inch, 2 inch.
10. Kertas karton 5 lembar A2.
11. Trigonal clips (penjepit kertas)

#### **4.2 Diagram Alir Perancangan**



Gambar 4.1. Diagram alir perancangan

### 4.3 Perancangan Perangkat Lunak

#### 4.3.1. Perancangan Algoritma

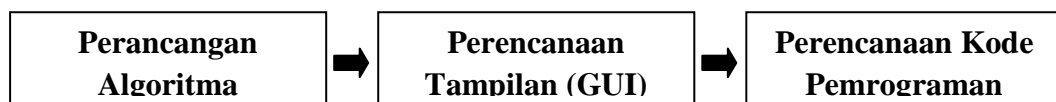
Pada tahap ini berisikan pembuatan algoritma untuk mengukur setengah keliling atau panjang kurva. Pada akhir tahap ini akan didapat suatu algoritma yang dapat digunakan untuk melakukan pengukuran setengah keliling atau panjang kurva.

#### 4.3.2. Perancangan Tampilan/GUI

Pada tahap ini akan menjadi acuan dalam penulisan kode pemrograman.

#### 4.3.3. Perancangan Kode Pemrograman

Pada tahap ini, desain atau perintah yang sudah dibuat ditulis dalam bentuk kode pemrograman.



Gambar 4.2. Alur perencanaan perangkat lunak

### 4.4 Pengambilan Data

#### 4.4.1. Subjek yang Diukur

Subjek yang dapat diukur merupakan objek yang termasuk dalam antropometri keliling. Pengujian dilakukan dengan menggunakan tabung berbentuk lingkaran, elips dan lengkungan tak beraturan, jumlah masing-masing objek adalah 30 sampel. Setiap objek harus mengambil input berupa citra/gambar dari sudut  $45^{\circ}$  dengan jarak pengambilan 1 meter.

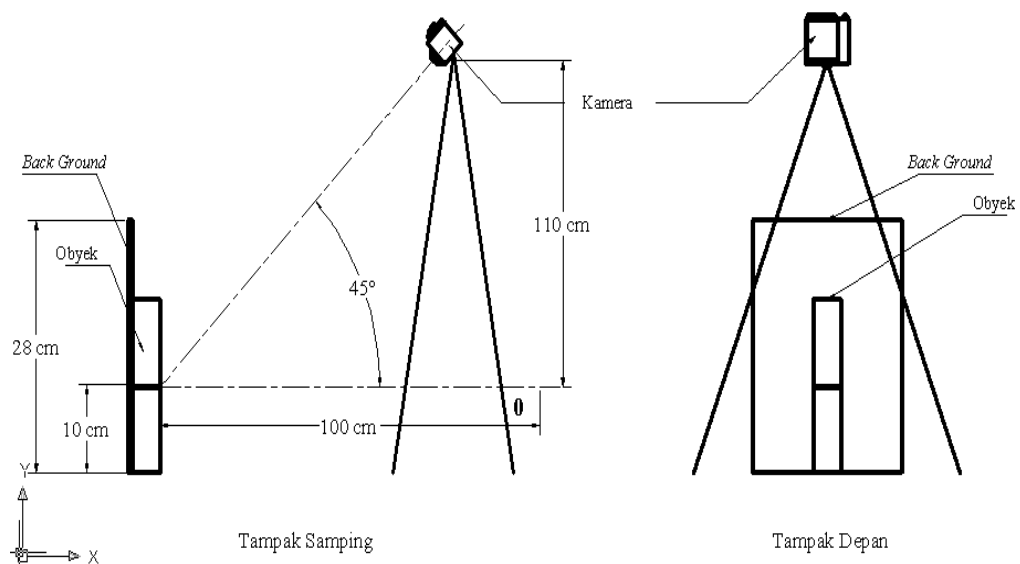
Dalam perancangan sistem pengukuran antropometri keliling ini akan menggunakan 3 pendekatan rumus (regresi), dimana akan dicari perbandingan dari perhitungan perangkat lunak (digital) dengan pengukuran langsung.

#### 4.4.2. Pengkondisian Tempat Pengambilan Citra

Sistem pengukuran ini dirancang untuk bisa dipakai di tempat manapun namun tetap membutuhkan beberapa pengkondisian agar citra yang dihasilkan dapat dipakai dan selanjutnya dapat dilakukan pengukuran secara optimal. Pengkondisian tersebut meliputi:

1. Mempersiapkan bahan dan peralatan yang digunakan.
2. *Background* dipasang (dapat menempel dinding).
3. Objek yang akan di ukur dipasang tegak lurus dengan kamera.
4. Kamera dipasang pada jarak 1 meter dari sumbu tabung dengan derajat kemiringan  $45^\circ$  lurus pada objek.
5. Tinggi pemasangan kamera 1,10 meter.
6. Langkah selanjutnya adalah pengambilan gambar dengan kamera. Proses pengambilan gambar minimal hingga 3 kali untuk memilih gambar yang benar-benar bagus.

Rencana pengambilan citra seperti pada gambar berikut ini:



Gambar 4.3. Rencana pengambilan citra

#### 4.4.4. Penentuan Persamaan Regresi Linier

Persamaan regresi dihasilkan dari perbandingan hasil pengambilan citra gambar  $45^\circ$  (digital) dengan pengukuran langsung setengah keliling objek dan panjang kurva. data yang dihasilkan masih dalam ukuran gambar. Perbandingan tersebut akan menjadi acuan, untuk mendapatkan hasil yang akurat maka digunakan pendekatan regresi linier dengan mengkalkulasikan 30 sampel dari

masing-masing objek yang kemudian diolah dengan menggunakan program SPSS.

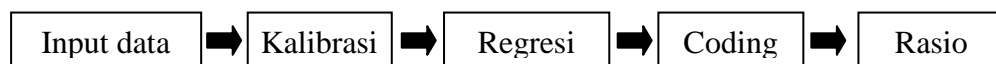
Tujuan digunakannya regresi adalah untuk mendapatkan hasil dengan keliling benda yang menjadi objek ukur secara langsung, hal tersebut berdasar pada sudut pandang  $90^\circ$  atau tegak lurus benda, sehingga dengan sudut pandang  $90^\circ$  benda akan terlihat utuh dari atas. Dalam pengambilan sampel, posisi sudut  $90^\circ$  tidak dapat dilakukan untuk sampel yang panjang atau sampel dengan dimensi yang berbeda sehingga dibutuhkan regresi untuk mendapatkan hasil dari pengambilan gambar  $45^\circ$  ke sudut  $90^\circ$ .

Sistem regresi linier akan menghasilkan suatu pendekatan yang linier dari setiap data yang masuk, dalam hal ini adalah data citra gambar dengan pengambilan  $45^\circ$  dengan hasil pengukuran langsung dengan masing-masing objek maka akan membentuk kurva setengah keliling.

#### 4.5 Perintah Program

Perintah yang digunakan agar mampu menghasilkan algoritma untuk mengukur antropometri keliling berdasarkan citra dua dimensi meliputi:

1. Membaca *file* citra dan menampilkan data citra (Input data).
2. Membuat garis kalibrasi pada citra menggunakan pipa (Kalibrasi).
3. Membuat persamaan regresi dengan SPSS (Regresi).
4. Memasukan rumus regresi linier kedalam algoritma perangkat lunak (Coding).
5. Menghitung perkalian hasil ukur dengan data kalibrasi (Rasio).



Gambar 4.3. Diagram alir desain/perintah program.

#### 4.6 Pengujian

Hasil dari pengukuran langsung dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan menggunakan perangkat lunak (digital) yang dirancang. Untuk melihat

performa dari perangkat lunak yang dirancang. Beberapa metode yang digunakan untuk mengukur galat dari keduanya adalah (Hanke dan Wichern, 2005),

1. *Mean Absolute Deviation* (MAD)

$$MAD = \frac{\sum_{i=1}^n |Y_j - Y'_j|}{n} \quad (4.1)$$

2. *Mean Square Error* (MSE)

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_j - Y'_j)^2}{n} \quad (4.2)$$

3. *Mean Percentage Error* (MPE)

$$MPE = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_j - Y'_j)}{Y_j} \times 100 \quad (4.3)$$

4. *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE)

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{(Y_j - Y'_j)}{Y_j}}{n} \times 100 \quad (4.4)$$

5. *R-squared*

$$SSE = \sum_{i=1}^n (Y_j - Y'_j)^2 \quad (4.5)$$

$$SST = \sum_{i=1}^n (Y_j^2) - \frac{(\sum_{i=1}^n Y_j)^2}{n} \quad (4.6)$$

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (4.7)$$

Dimana,

$n$	= Jumlah data	$SSE$	= <i>Sum Squared Error</i>
$Y_j$	= Besar nilai acuan	$SST$	= <i>Sum Squared Treatment</i>
$Y'_j$	= besar nilai pembanding		

## BAB V

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 5.1. Hasil

##### 5.1.1. Perangkat Lunak

###### 5.1.1.1. Nama Perangkat Lunak

Hasil pemanfaatan citra dua dimensi diwujudkan dalam suatu perangkat lunak yang dirancang diberi nama *SOFIE CURVELO*. *SOFIE* merupakan akronim dari *Software for Industrial Engineer*. Sedangkan *CURVELO* bermakna *objek* yang di analisis merupakan panjang kurva.

###### 5.1.1.2. Spesifikasi Perangkat Lunak

###### 1. Fungsi Perangkat Lunak

*SOFIE CURVELO* memiliki beberapa fungsi diantaranya,

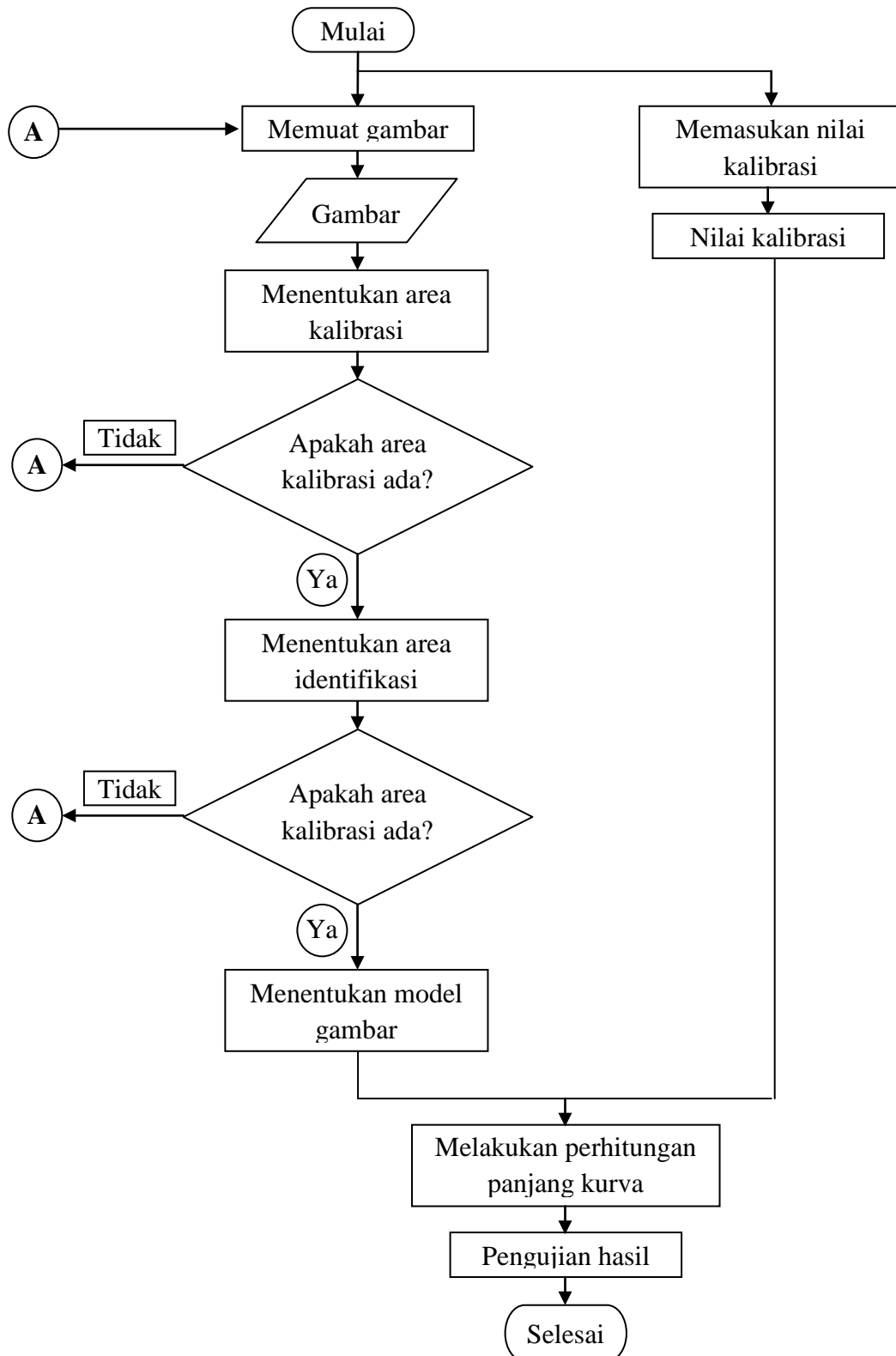
- a. Menentukan panjang kurva dari *objek* antropometri keliling yang berbentuk tabung lingkaran, elips dan lengkung tak beraturan dari masukan foto (citra dua dimensi).
- b. Mengolah masukan citra gambar dua dimensi menjadi beberapa informasi seperti, panjang kurva dan jumlah pixel kurva.
- c. Melakukan perhitungan panjang setengah antropometri keliling.

###### 2. Batasan Perangkat Lunak

Batasan dari perangkat lunak *SOFIE CURVELO* adalah menghitung panjang kurva yang bersifat antropometri keliling.

###### 5.1.1.3. Algoritma Perangkat Lunak

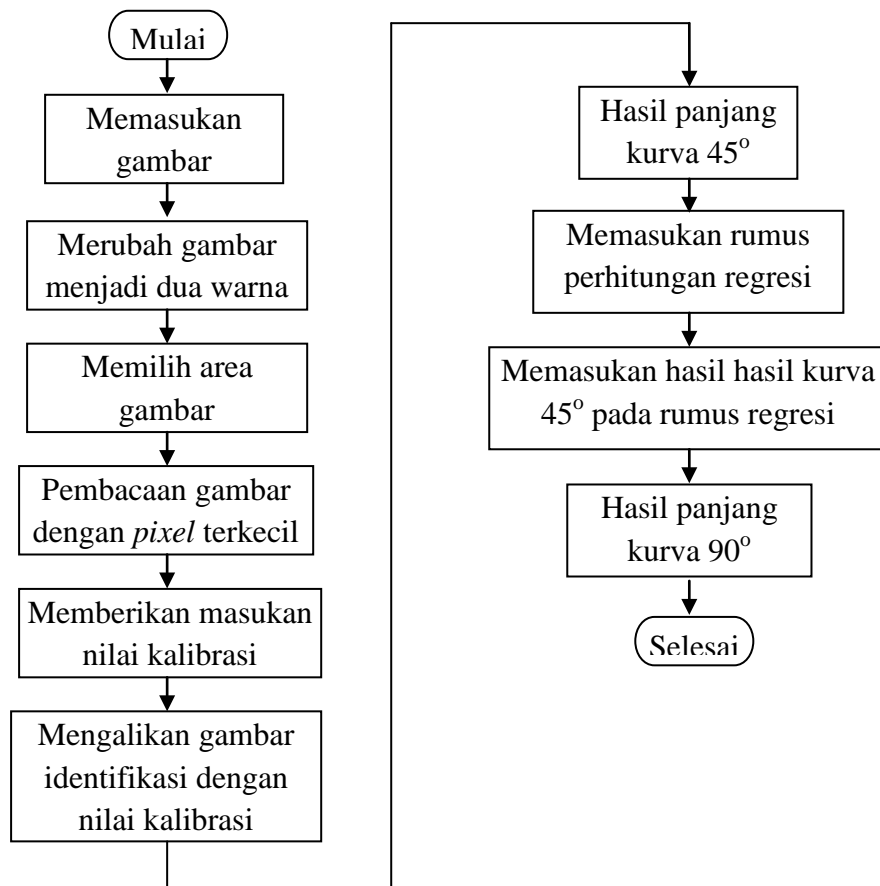
Algoritma pemrograman adalah bahasa dalam pemrograman, pada penelitian dan perencanaan ini algoritma pemrograman dapat dimulai dalam bentuk diagram alir berikut ini:



Gambar 5.1. Diagram alir algoritma perangkat lunak yang dirancang

#### 5.1.1.4. Algoritma proses perhitungan kurva

Algoritma perhitungan kurva adalah proses perhitungan kurva dari pembacaan gambar yang akan diolah hingga mendapatkan hasil berupa panjang kurva. Algoritma perhitungan kurva pada penelitian ini dapat dilihat pada diagram alir berikut ini:



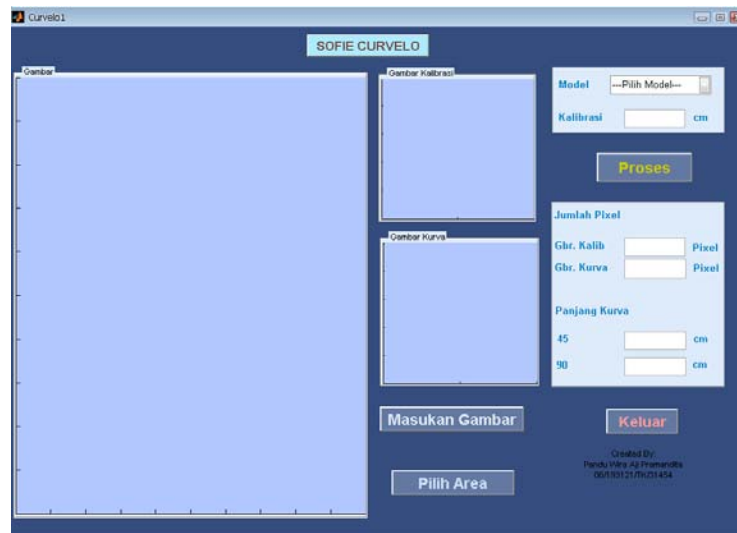
Gambar 5.2. Diagram alir algoritma perhitungan kurva

#### 5.1.1.5. Kode Pemrograman

Kode pemrograman MATLAB dalam bentuk *m-file*, dimulai dengan algoritma pembacaan gambar yang kemudian menjadikan gambar pada pembacaan pixel terkecil. Penamaan GUI (kelanjutan dari penulisan algoritma), dalam hal ini file diberi nama *curva*.

#### 5.1.1.6. Tampilan Perangkat Lunak

Hasil desain tampilan perangkat lunak aplikasi atau GUI tersimpan dalam *file* *curva.fig*. Tampilan GUI dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut ini (untuk gambar tampilan keseluruhan yang lebih besar dapat dilihat pada lembar lampiran)

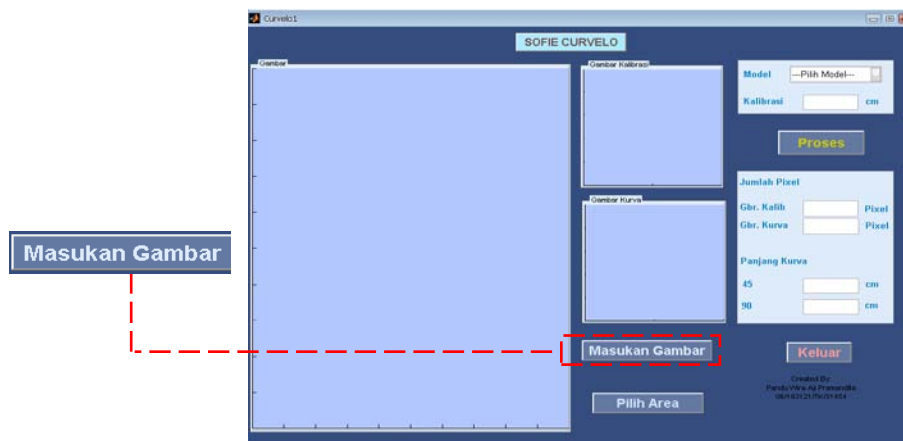


Gambar 5.2. Tampilan GUI

Tampilan perangkat lunak dibagi menjadi 4 bagian yaitu:

##### 1. Tombol “Masukan Gambar”

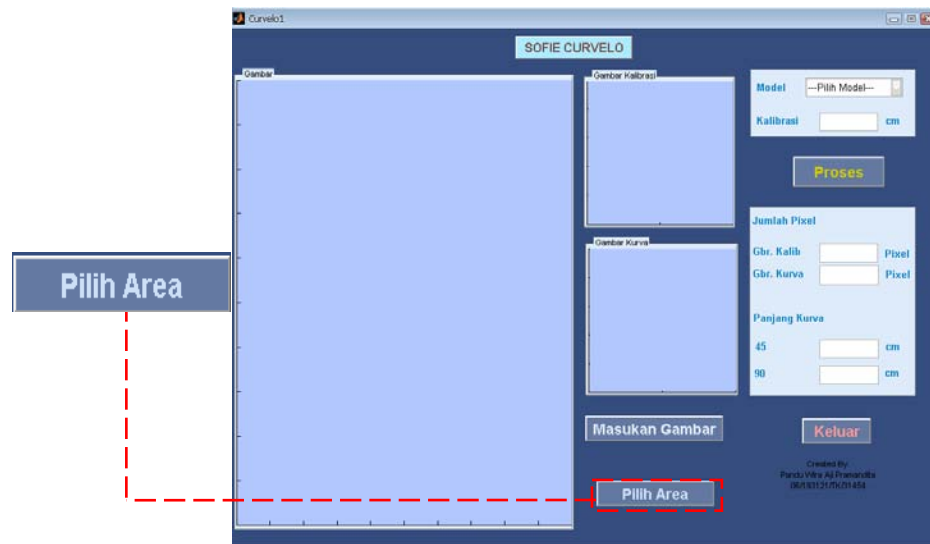
Tombol ini akan memerintahkan perangkat lunak untuk memasukan gambar dalam bentuk “jpg” dalam *folder* yang ada diperangkat komputer.



Gambar 5.3. Tombol pencarian gambar

## 2. Tombol “Pilih Area”

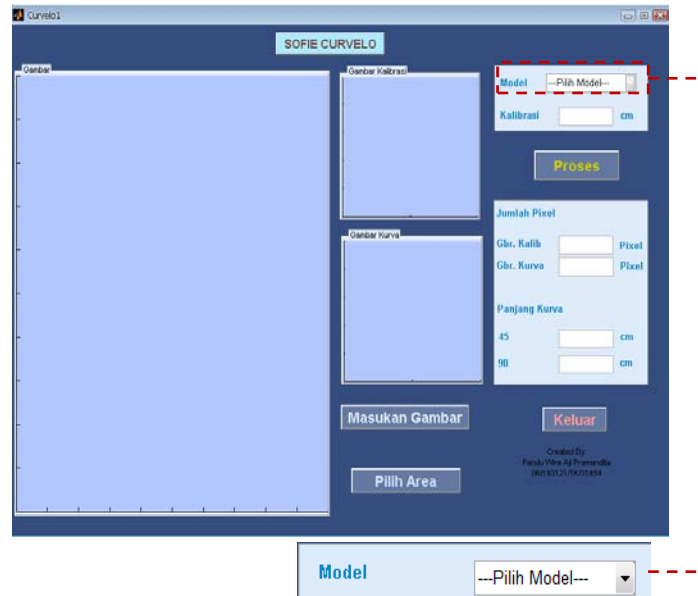
Tombol ini berfungsi untuk memilih area *objek* yang akan diteliti serta sebagai data input perbandingan kalibrasi.



Gambar 5.4. Tombol pemilihan area yang akan dianalisa

## 3. Tombol “Pilih Model”

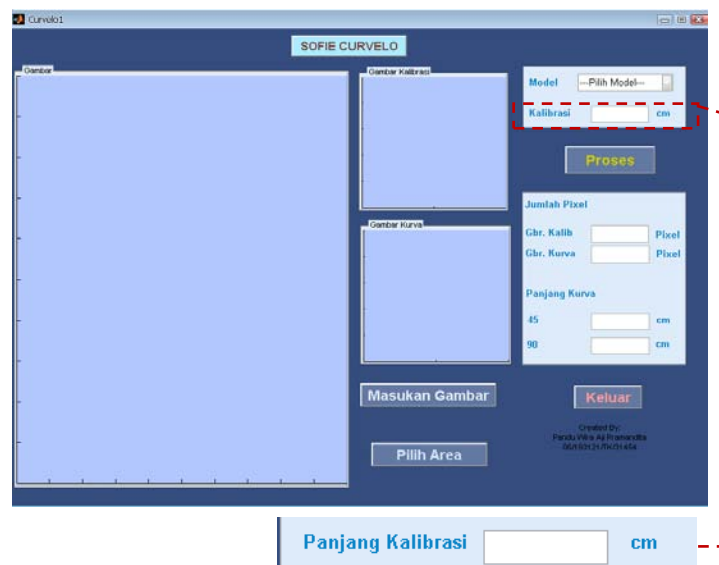
Tombol ini akan memerintahkan perangkat lunak agar dapat memilih model gambar yang akan dibaca untuk diolah pada hasil pengukuran. Tombol ini memiliki 3 pilihan yaitu lingkaran, elips dan lengkung tak beraturan. Perbedaan model tersebut akan mendefinisikan kalibrasi masing-masing sehingga akan dihasilkan transformasi pixel ke dalam bentuk ukuran *centimeter*. Hasil dari operasi pemilihan model ini adalah ukuran gambar pada pengambilan 45° dan ukuran kurva 90° secara nyata.



Gambar 5.5. Tombol pemilihan model *objek*

#### 4. Kolom “Panjang Kalibrasi”

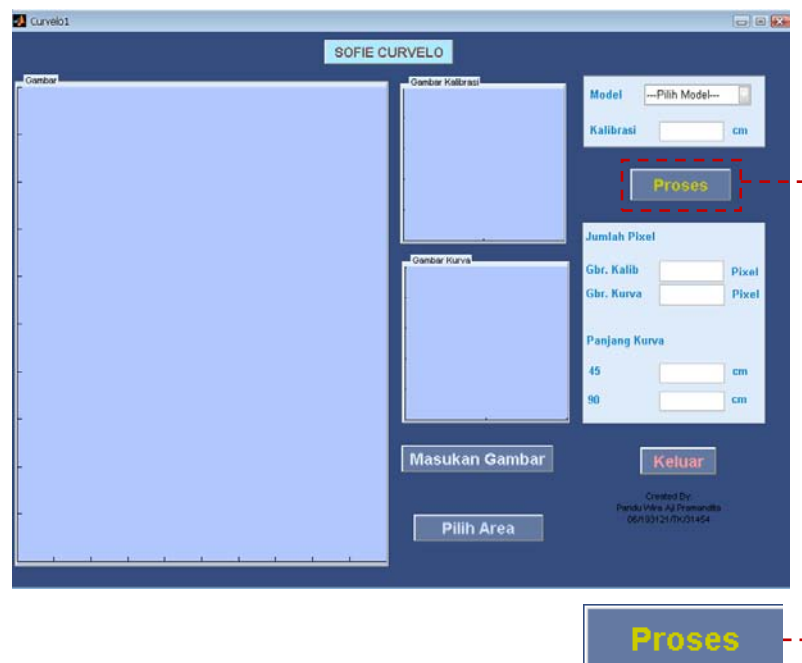
Kolom ini digunakan untuk memasukkan panjang kalibrasi yang digunakan pada gambar. Dari kolom ini perangkat lunak akan membaca kalibrasi gambar yang digunakan sehingga dapat menentukan jumlah pixel setiap satu *centimeter*.



Gambar 5.6. Kolom pemasukan nilai kalibrasi

## 5. Tombol “Proses”

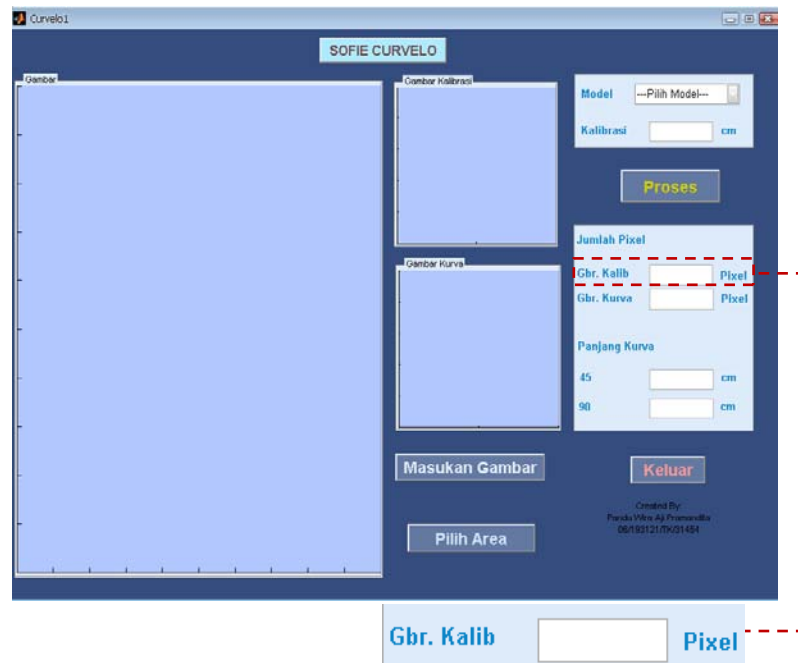
Tombol ini akan memerintah perangkat lunak untuk mendeteksi jumlah pixel pada gambar yang sudah dimasukkan. kolom “Nilai 1” Bagian kiri mendefinisikan jumlah pixel selain garis sedangkan kolom “Nilai 1” Bagian kiri mendefinisikan jumlah pixel garis. Jika tombol proses di “klik” maka akan memunculkan jumlah pixel masing-masing. Kemudian secara langsung akan menjalankan rumus yang ada pada perangkat lunak dan menghitungnya sehingga dihasilkan panjang kurva dari pengambilan gambar  $45^\circ$  dan panjang kurva  $90^\circ$ .



Gambar 5.7. Tombol “Proses”

## 6. Kolom “Gbr. Kalib”

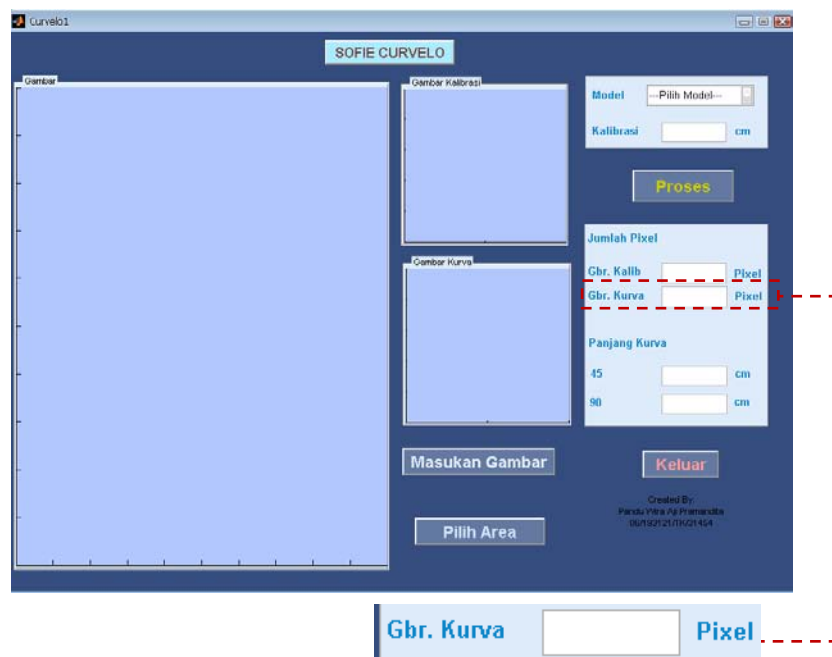
Kolom ini digunakan untuk menampilkan hasil dari banyaknya pixel pada garis kalibrasi.



Gambar 5.8. Kolom hasil pixel kalibrasi

#### 7. Kolom “Gbr. Kurva”

Kolom ini digunakan untuk menampilkan hasil dari banyaknya pixel pada garis gambar hasil pengambilan dari kamera dengan sudut kemiringan  $45^\circ$ .



Gambar 5.9. Kolom hasil pixel gambar

### 8. Kolom “Panjang Kurva”

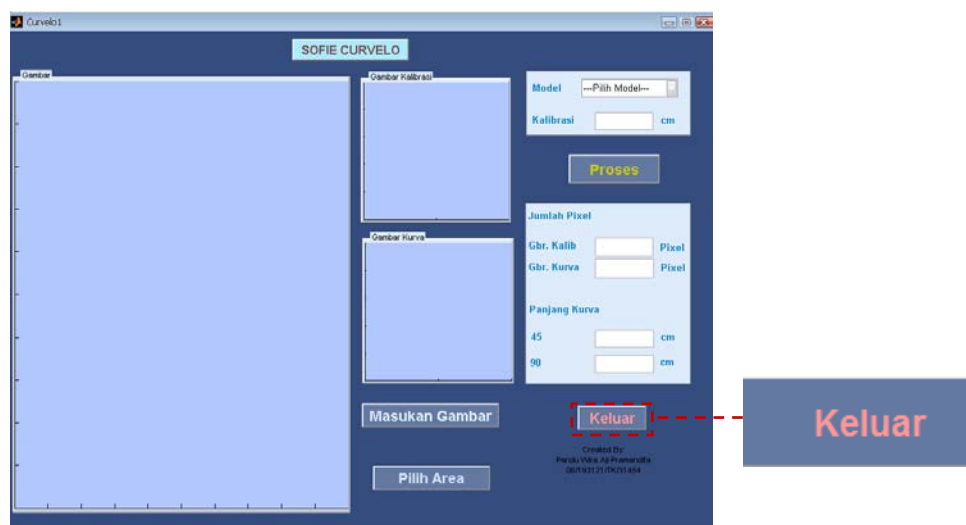
Kolom ini menampilkan hasil perhitungan panjang kurva sebagai hasil akhir dari perangkat lunak yang dibuat. Hasil tersebut berupa nominal panjang dengan satuan *centimeter*.



Gambar 5.10. Kolom panjang kurva

### 9. Tombol “Keluar”

Tombol keluar adalah tombol yang berfungsi untuk menutup perangkat lunak. Tombol ini akan memerintah perangkat lunak untuk menghentikan semua proses dan menutup perangkat lunak.



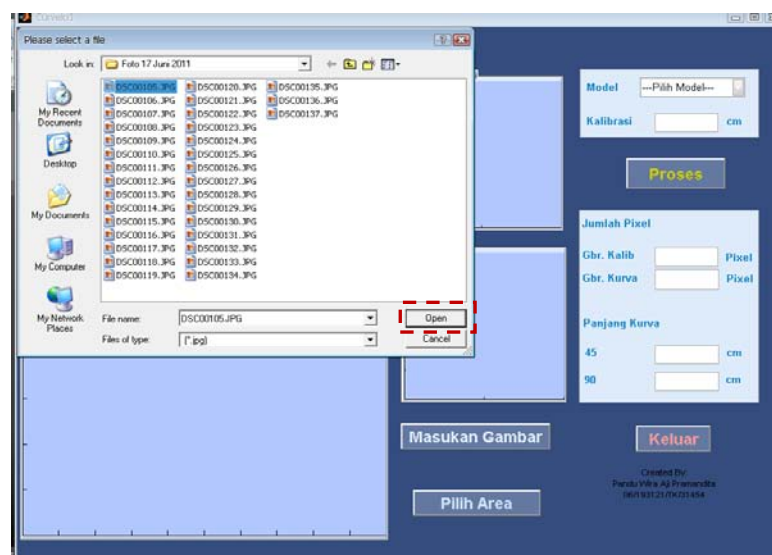
Gambar 5.11. Tombol “Keluar”

### 5.1.1.6. Pengoperasian Perangkat Lunak

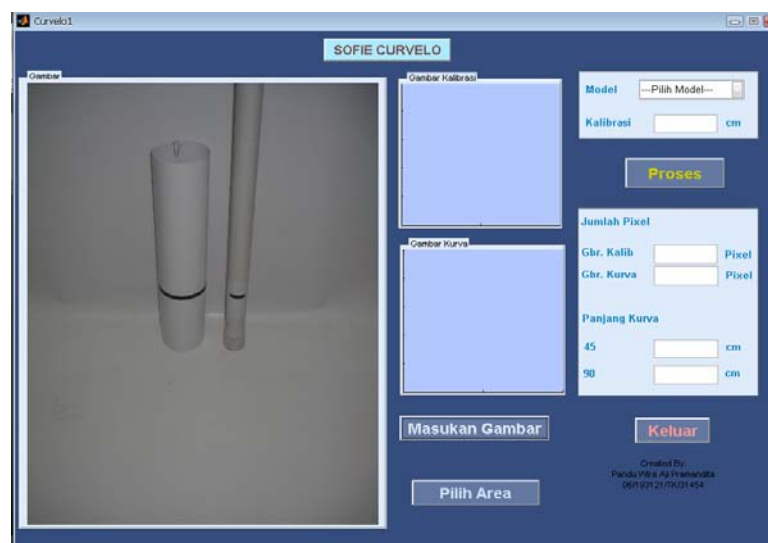
Cara pengoperasian perangkat lunak dibagi menjadi 5 tahap, yaitu:

1. Memulai menggunakan perangkat lunak dengan cara menekan tombol

**Masukan Gambar** untuk mencari gambar yang akan diproses. Setelah diklik maka akan muncul partisi komputer, selanjutnya pilihlah folder gambar yang berisi gambar yang akan diproses dan klik open untuk gambar yang akan diproses. Contoh tampilan jika tombol **Masukan Gambar** ditekan:



Gambar 5.12. Penggunaan tombol “Masukan Gambar”



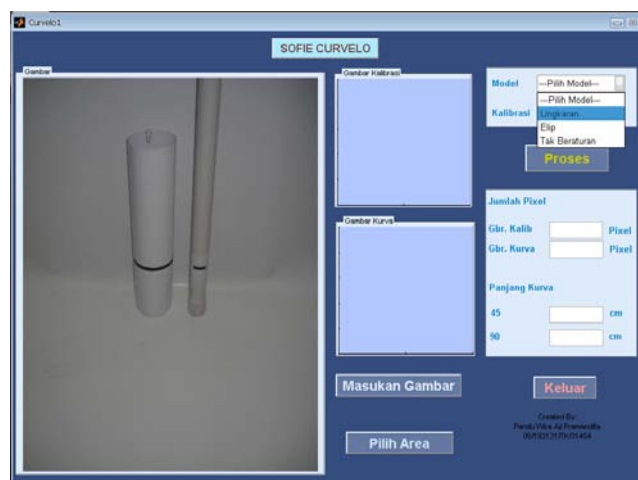
Gambar 5.13. Tampilan hasil pemilihan gambar

2. Tombol **Pilih Area** digunakan untuk memilih area gambar yang akan diolah. Pilih area yang akan diolah kemudian ditarik hingga memenuhi
3. Area dan “klik” mouse dua kali, area sudah dipulih. Kemudian lakukan sekali lagi pada area yang lain sebagai perbandingan untuk mendapatkan kalibrasi. Tampilan gambar **Pilih Area** sebagai berikut:



Gambar 5.14. Tampilan penggunaan tombol “Pilih Area”

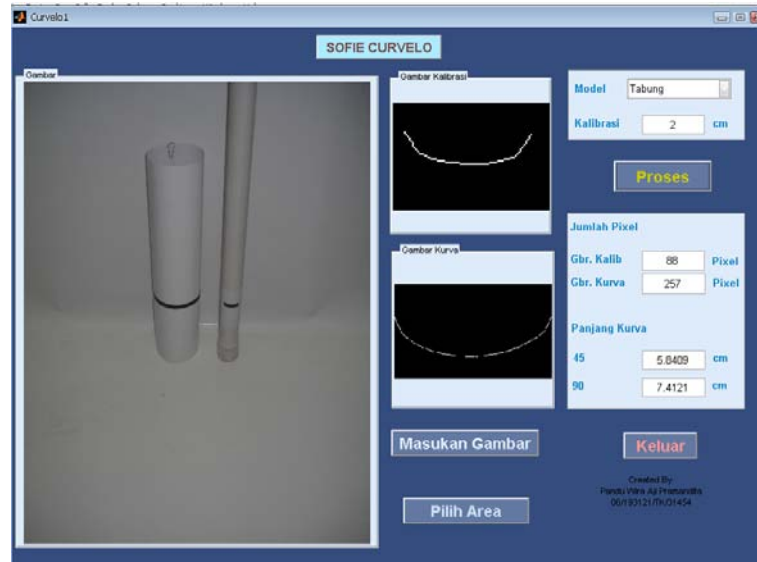
4. Tombol **Model**  digunakan untuk memilih bentuk yang akan diproses, sebagai contoh yang akan diproses tabung lingkaran maka, pada tombol tersebut dipilih “Lingkaran” dan hasilnya adalah sebagai berikut:



Gambar 5.15. Tampilan hasil pemilihan “Model”

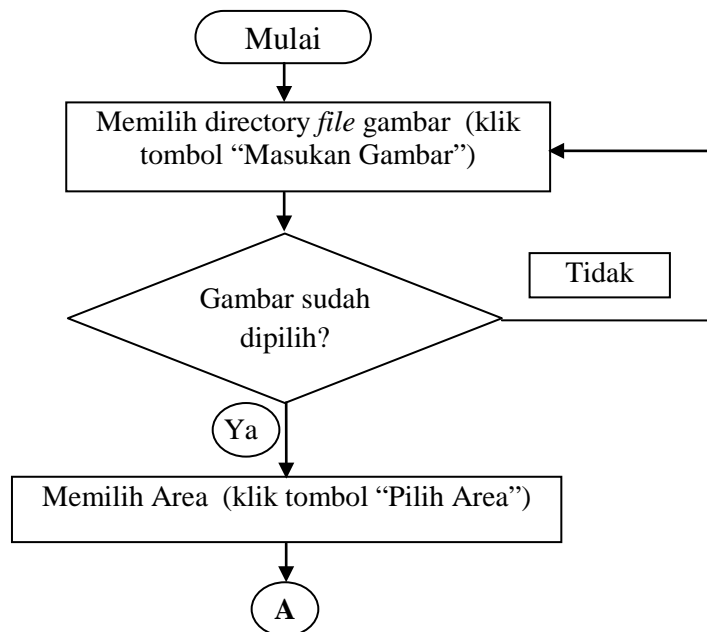
5. Setelah tampilan gambar yang akan diolah muncul, maka tekan tombol

**Proses** untuk membaca dan memberikan nilai pixel. Hasil dari penekanan tombol **Proses** adalah sebagai berikut:

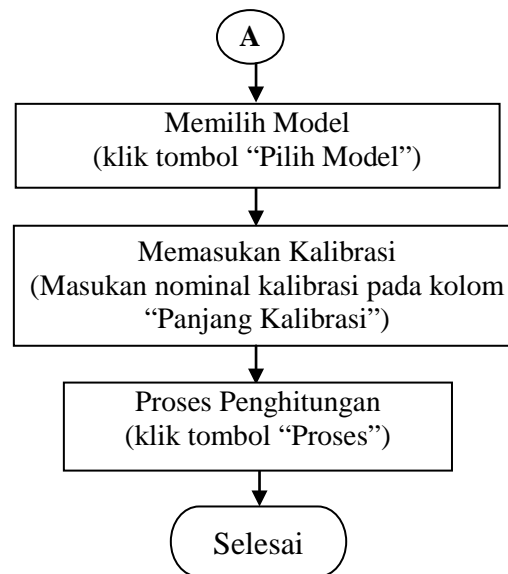


Gambar 5.16. Tampilan gambar hasil “Proses”

Pengoperasian perangkat lunak pengukuran antropometri keliling ini secara ringkas dapat dilihat dalam Gambar 5.16 berikut.



Gambar 5.17. Alur pengoperasian perangkat lunak.



Gambar 5.17. Alur pengoperasian perangkat lunak (lanjutan).

### 5.1.2. Konsep pengukuran pada manusia

*Objek* ukur pada manusia dilakukan dengan cara menggunakan alat bantu proyektor yang dihubungkan dengan perangkat lunak komputer dengan cara menampilkan garis bantu (dapat menggunakan program grafis, sebagai contoh menggunakan program *paint*) yang akan tampil di *screen* proyektor. Untuk mendapatkan hasil yang gambar yang bagus dalam pengolahan citra, digunakan *background* warna putih. *Objek* ukur (manusia) berdiri di depan *background* sehingga terkena garis bantu, kemudian dilakukan proses pengambilan gambar.

### 5.1.3. Hasil Pengujian Perangkat Lunak

Pengujian sistem pengukuran berupa pengujian *Mean Absolute Deviation* (MAD), *Mean Square Error* (MSQ), *Mean Percentage Error* (MPE) dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) yang dilakukan dengan menggunakan data 30 sampel dari masing-masing *objek* yang diukur. Hasil pengukuran berupa rekapitulasi data perhitungan keliling dengan menggunakan regresi yang paling optimal dapat dilihat pada lembar lampiran.

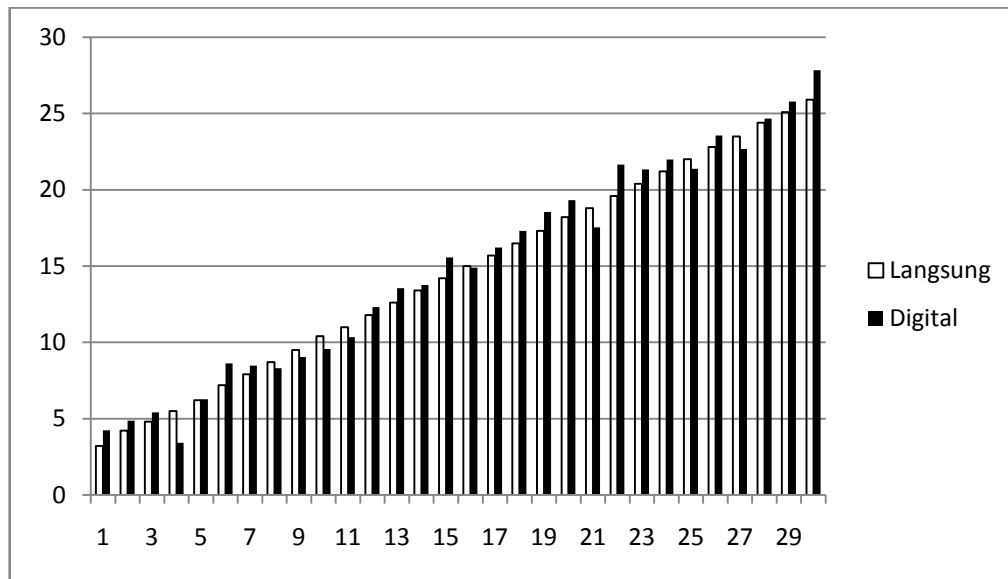
Pengujian untuk setiap *objek* antropometri keliling yang diukur dapat dilihat pada penyajian berikut ini:

#### 5.1.3.1. Hasil pengujian pengukuran tabung lingkaran

Pengukuran tabung lingkaran dilakukan dengan dua metode yaitu pengukuran langsung yang dilakukan sebelum pengambilan gambar dan pengukuran dari hasil perhitungan perangkat lunak (digital). Data hasil pengujian pengukuran tabung lingkaran sebagai berikut:

Tabel 5.1. Hasil pengujian pengukuran tabung lingkaran

No	Panjang Kurva (cm)		Selisih(cm)
	Langsung	Digital	
1	3.2	4.231	1.031
2	4.21	4.872	0.662
3	4.8	5.423	0.623
4	5.5	3.423	2.077
5	6.2	6.264	0.064
6	7.2	8.631	1.431
7	7.9	8.482	0.582
8	8.7	8.302	0.398
9	9.5	9.034	0.466
10	10.4	9.567	0.833
11	11	10.342	0.658
12	11.8	12.312	0.512
13	12.6	13.543	0.943
14	13.4	13.764	0.364
15	14.2	15.573	1.373
16	15	14.899	0.101
17	15.7	16.213	0.513
18	16.5	17.31	0.81
19	17.3	18.543	1.243
20	18.2	19.32	1.12
21	18.8	17.537	1.263
22	19.6	21.65	2.05
23	20.4	21.342	0.942
24	21.2	21.982	0.782
25	22	21.387	0.613
26	22.8	23.561	0.761
27	23.5	22.675	0.825
28	24.4	24.675	0.275
29	25.1	25.784	0.684
30	25.9	27.831	1.931
<b>MAD(cm)</b>			<b>0.864</b>
<b>MSE(cm)</b>			<b>1.007</b>
<b>MPE(%)</b>			<b>-2.623</b>
<b>MAPE(%)</b>			<b>0.199</b>
<b>R<sup>2</sup></b>			<b>0.99816</b>



Gambar 5.18. Grafik perbandingan hasil pengukuran tabung lingkaran

Dari hasil pengujian pengukuran tabung lingkaran yang tersaji dalam bentuk tabel dan diagram terlihat bahwa perbedaan pengukuran langsung dan pengukuran dengan menggunakan perangkat lunak (digital) memiliki selisih yang sangat kecil sehingga dapat dikatakan bahwa perangkat lunak memiliki tingkat kesalahan (error) yang kecil.

#### 5.1.3.2. Hasil pengujian pengukuran tabung elips

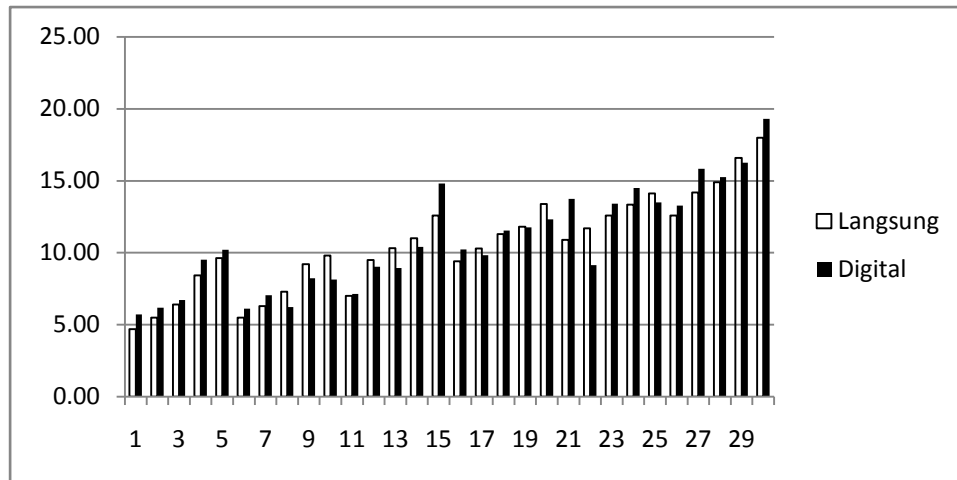
Pengukuran tabung elips dilakukan dengan dua metode yaitu pengukuran langsung yang dilakukan sebelum pengambilan gambar dan pengukuran dari hasil perhitungan perangkat lunak (digital). Data hasil pengujian pengukuran tabung elips adalah sebagai berikut:

Tabel 5.2. Hasil pengujian pengukuran tabung elips.

No	Panjang Kurva		Selisih(cm)
	Langsung	Digital	
1	4.70	5,72	1.027
2	5.50	6.182	0.687
3	6.40	6.723	0.323
4	8.43	9.513	1.083
5	9.64	10.210	0.570
6	5.50	6.121	0.621

Tabel 5.2. Hasil pengujian pengukuran tabung elips (lanjutan).

No	Panjang Kurva		Selisih(cm)
	Langsung	Digital	
7	6.30	7.056	0.756
8	7,30	6.230	1.070
9	9.20	8.222	0.978
10	9.80	8.141	1.659
11	7.00	7.141	0.141
12	9.50	9.020	0.480
13	10.32	8.941	1.379
14	11.00	10.400	0.600
15	12.60	14.810	2.210
16	9.40	10.230	0.830
17	10.30	9.842	0.458
18	11.30	11.540	0.240
19	11.80	11.766	0.034
20	13.40	12.312	1.088
21	10.90	13.753	2.853
22	11.70	9.132	2.568
23	12.60	13.410	0.810
24	13.35	14.510	1.165
25	14.13	13.512	0.618
26	12.60	13.287	0.687
27	14.20	15.831	1.631
28	14.90	15.265	0.365
29	16.60	16.252	0.348
30	18.00	19.312	1.312
<b>MAD (cm)</b>			<b>0.953</b>
<b>MSE (cm)</b>			<b>1.357</b>
<b>MPE(%)</b>			<b>-1.894</b>
<b>MAPE(%)</b>			<b>0.299</b>
<b>R2</b>			<b>0.98897</b>



Gambar 5.19. Grafik perbandingan hasil pengukuran tabung elips

Dari hasil pengujian pengukuran tabung elips yang tersaji dalam bentuk tabel dan diagram terlihat bahwa perbedaan pengukuran langsung dan pengukuran dengan menggunakan perangkat lunak (digital) memiliki selisih yang sangat kecil sehingga dapat dikatakan bahwa perangkat lunak (digital) memiliki tingkat kesalahan (error) kecil.

#### 5.1.3.3. Hasil pengujian pengukuran lengkung tak beraturan

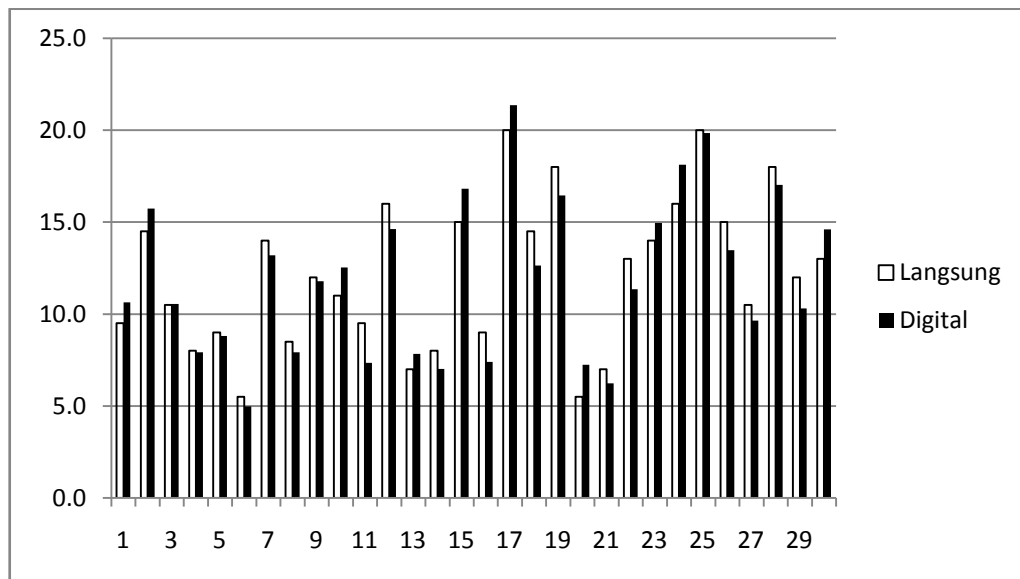
Pengukuran lengkung tak beraturan dilakukan dengan dua metode yaitu pengukuran langsung yang dilakukan sebelum pengambilan gambar dan pengukuran dari hasil perhitungan perangkat lunak (digital). Data hasil pengujian pengukuran lengkung tak beraturan adalah sebagai berikut:

Tabel 5.3. Hasil pengujian pengukuran lengkung tak beraturan.

No	Panjang Kurva		Selisih(cm)
	Langsung	Digital	
1	9.5	10.631	1.131
2	14.5	15.732	1.232
3	10.5	10.550	0.050
4	8.0	7.927	0.073
5	9.0	8.802	0.198
6	5.5	4.982	0.518

Tabel 5.3. Hasil pengujian pengukuran lengkung tak beraturan (lanjutan).

No	Panjang Kurva		Selisih(cm)
	Langsung	Digital	
7	14.0	13.200	0.800
8	8.5	7.923	0.577
9	12.0	11.781	0.219
10	11.0	12.534	1.534
11	9.5	7.342	2.158
12	16.0	14.623	1.377
13	7.0	7.834	0.834
14	8.0	7.012	0.988
15	15.0	16.820	1.820
16	9.0	7.403	1.597
17	20.0	21.361	1.361
18	14.5	12.643	1.857
19	18.0	16.452	1.548
20	5.5	7.241	1.741
21	7.0	6.231	0.769
22	13.0	11.346	1.654
23	14.0	14.953	0.953
24	16.0	18.120	2.120
25	20.0	19.842	0.158
26	15.0	13.482	1.518
27	10.5	9.652	0.848
28	18.0	17.030	0.970
29	12.0	10.312	1.688
30	13.0	14.612	1.612
<b>MAD (cm)</b>			<b>1.13</b>
<b>MSE (cm)</b>			<b>1.649</b>
<b>MPE (%)</b>			<b>1.41</b>
<b>MAPE (%)</b>			<b>0.311</b>
<b>R2</b>			<b>0.99039</b>



Gambar 5.20. Grafik perbandingan hasil pengukuran tabung lengkung tak beraturan.

Dari hasil pengujian pengukuran lengkung tak beraturan yang tersaji dalam bentuk tabel dan diagram terlihat bahwa perbedaan pengukuran langsung dan pengukuran dengan menggunakan perangkat lunak (digital) memiliki selisih yang sangat kecil sehingga dapat dikatakan bahwa perangkat lunak memiliki hasil dengan tingkat kesalahan (error) yang kecil.

#### 5.1.3.4. Hasil pengujian pengukuran keseluruhan

Dari keseluruhan hasil pengukuran langsung dan dengan menggunakan perangkat lunak dapat dikalkulasikan dalam penyajian berikut ini:

Tabel 5.4. Hasil pengujian keseluruhan.

<i>Objek</i>	<b>MAD(cm)</b>	<b>MSE(cm)</b>	<b>MPE(%)</b>	<b>MAPE(%)</b>	<b>R<sup>2</sup></b>
Lingkar	0.864	1.007	-2.623	0.198	0.996
Elips	0.953	1.357	-1.894	0.299	0.989
Tak beraturan	1.130	1.649	1.410	0.311	0.990
Rata-rata	0.982	1.338	-1.036	0.269	0.992
Standard Deviasi	0.110	0.263	1.755	0.051	0.003

Secara keseluruhan dapat dikatakan perangkat lunak memiliki tingkat kesalahan (error) yang kecil dari hasil perhitungan langsung dan perhitungan dengan menggunakan perangkat lunak (digital) terpaut selisih yang sangat kecil.

## 5.2. Pembahasan

Perancangan pengukuran antropometri keliling dengan memanfaatkan citra dua dimensi ini menghasilkan perangkat lunak *SOFIE CURVELO* yang memiliki kemampuan untuk mengolah masukan citra gambar dua dimensi dari hasil rekam kamera untuk dianalisa panjang kurva dari *objek* yang terekam.

Dalam *SOFIE CURVELO* fungsi tombol proses akan menganalisa tanda gambar dengan membaca jumlah pixel yang kemudian ditransformasikan pada ukuran dan selanjutnya akan dikalibrasikan dengan ukuran sesungguhnya sehingga akan muncul hasil pengukuran langsung dari perangkat lunak (digital) yang dirancang.

Dari hasil pengujian yang dilakukan, untuk pengujian kesalahan pengukuran secara umum nilai MAD, MSE, MPE, MAPE cukup rendah. Cenderung menghasilkan pengukuran yang mendekati pengukuran secara langsung.

Selanjutnya hasil pengujian pengukuran antropometri keliling secara rata-rata nilai MAD, MSE, MPE, MAPE cukup rendah dengan nilai *R-squared* yang mendekati satu. Hal ini menunjukkan bahwa pengukuran antropometri keliling dengan *SOFIE CURVELO* memiliki tingkat kesalahan (error) yang kecil.

## **BAB VI**

### **PENUTUP**

#### **6.1. Kesimpulan**

Setelah melalui tahap perancangan dan pengujian yang dilakukan terhadap sistem pengukuran antropometri keliling dengan memanfaatkan citra dua dimensi, maka dapat diambil kesimpulan:

1. Perancangan sistem pengukuran antropometri keliling dengan memanfaatkan citra dua dimensi menghasilkan sistem yang terdiri dari:
  - a. Kode pemrograman dan GUI MATLAB untuk melakukan pengukuran objek yang bersifat antropometri keliling.
  - b. Menghasilkan perangkat lunak analisis antropometri keliling dengan nama *SOFIE CURVELO* dapat digunakan untuk mengolah masukan gambar citra dua dimensi untuk dianalisa panjang kurva atau penanda yang ada pada objek gambar.
  - c. Analisa yang digunakan dengan pendekatan perbandingan hasil pengukuran *SOFIE CURVELO* dengan ukuran sebenarnya.
2. Secara keseluruhan perangkat lunak yang dirancang memiliki tingkat kesalahan yang kecil. Hal tersebut dibuktikan dengan rendahnya nilai MAD, MSE, MPE, MAPE, dan nilai *R-squared* yang mendekati satu.

#### **6.2. Saran**

Dari keseluruhan proses perancangan sistem pengukuran antropometri keliling dengan memanfaatkan citra dua dimensi yang telah dilakukan, maka penyusun memberikan saran sebagai berikut:

1. Pengambilan citra sebagai masukan data dilakukan dengan menggunakan kamera yang memiliki resolusi tinggi.
2. Pemberian jarak yang tepat dengan menggunakan mistar gulung untuk menempatkan posisi kamera serta menggunakan penyangga kamera untuk menghasilkan posisi kamera yang benar-benar presisi.

3. Perangkat lunak perlu diuji validitas untuk mengukur manusia.
4. Perangkat lunak dapat di kembangkan untuk masukan citra tiga dimensi.
5. Untuk perancangan atau penelitian selanjutnya dapat diteruskan dengan pembuatan kode pemrograman sistem pengukuran antropometri yang bukan hanya memanfaatkan citra dua dimensi, namun juga mampu menerapkan teknologi pengolahan citra dua dimensi yang melibatkan variabel-variabel yang lebih luas dan beragam.

## DAFTAR PUSTAKA

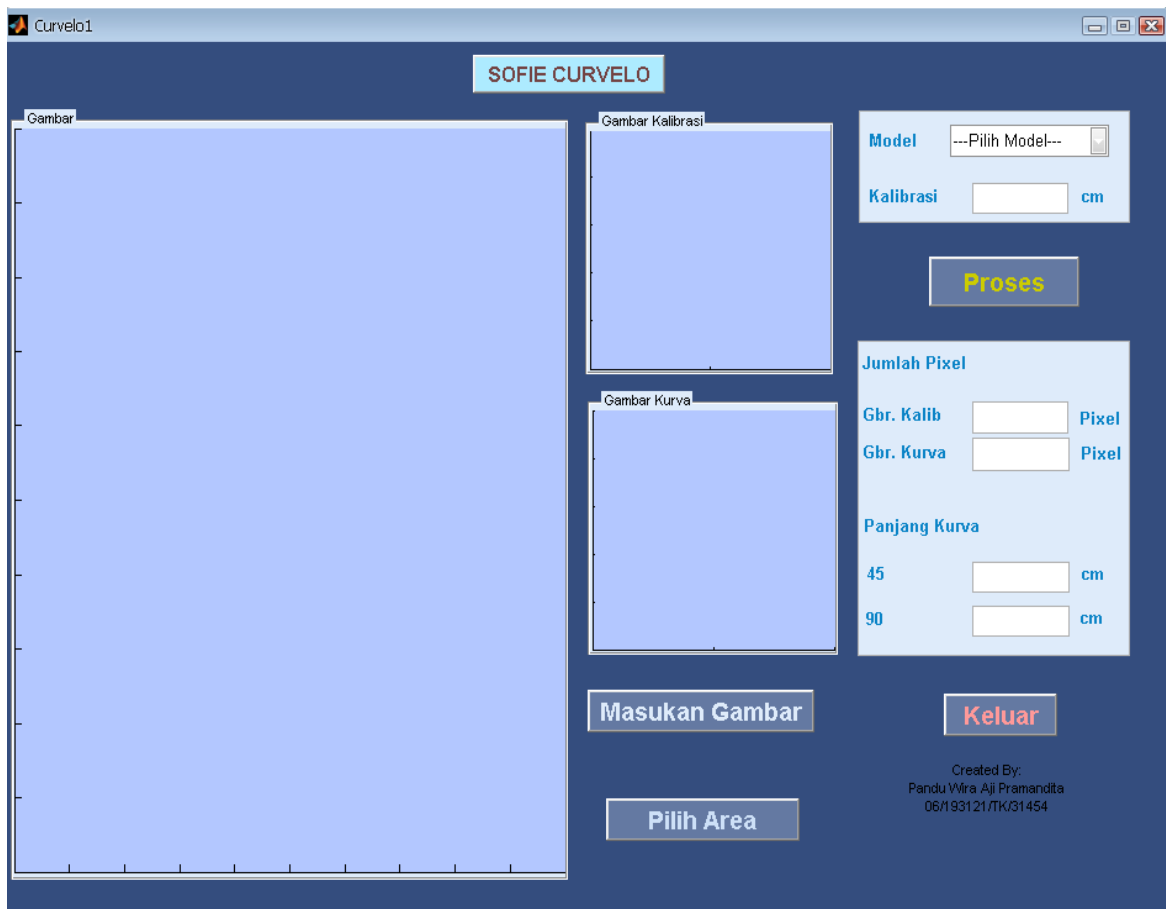
- Ariff, M. F. M., Majid, Z., Chong, A. K., dan Setan, H., 2009, *Photogrammetric-Based Security System*, Geoinformation Science Journal
- Barr´on, Carlos dan Kakadiaris, I. A., 2000, *Estimating Anthropometry and Pose from a Single Uncalibrated Image*, Department of Computer Science, University of Houston, Houston.
- Bridger, 1995, *Introduction to Ergonomics*, McGraw-Hill, Inc., Singapura.
- Basuki, A., 2007, *Pengantar Pengolahan Citra*, PENS ITS, Surabaya.
- Chiraz dan Yacoob, 2004, *Statistical Estimation Of Human Anthropometry From A Single Uncalibrated Image*, New York Institute of Technology, Abu Dhabi Campus, Abu Dhabi, UAE.
- Gary F., Mulliken, M. D., John B., dan Deutsch, Ph. D., Curtis K., *Validity and Reliability of Craniofacial Anthropometric Measurement of 3D Digital Photogrammetric Images*.
- Gittoes dan Wilson C, 2008, *An Image-Based Approach To Obtaining Anthropometric Measurements For Athlete-Specific Inertia Modelling*, Cardiff School of Sport, University of Wales Institute, Cardiff, United Kingdom.
- Kogler, J. J. E., Camargo, P. F. F. d., Trigo, J. T. W., & Coelho, E., 2007, *Fiducial Markers Detection in Anthropometric Images*, Proceedings of the 8th International Symposium on Mathematical Morphology, Rio de Janeiro.
- Kroemer Elbert, K.E., Kroemer, K.H.E., Kroemer, H.B., 2006, *Ergonomics How to Design For Ease an efficiency*, New Jersey: Prentice Hall.
- Meunier, P., dan Mertens, R., 1995, *Validation of an Image-Based Body Measurement System for Sitting Posture*, Defence R&D Canada, Toronto.
- Meunier, P., dan Yin, S., 2000, *Performance of a 2D Image-Based Anthropometric Measurement and Clothing Sizing System*, Toronto.
- Morris, S. A., 2001, *Measurement and Instrumentation Principles 3<sup>rd</sup> Edition*, England.

- Muhidin, A. S., dan Abdurohman, M., 2007, *Analisa Korelasi, Regresi, dan Jalur*, Penerbit pustaka Setia Bandung.
- Nurmianto, E., 1996, *Ergonomi Konsep Dasar dan Aplikasinya Edisi Pertama*, Jurusan Teknik Industri ITS, PT. Candimas Metropole, Jakarta.
- Narendra, M. B., 2006, *Pengukuran Antropometri pada Penyimpangan Tumbuh Kembang Anak*, Fakultas Kedokteran Universitas Airlangga, Surabaya.
- Prijono, A., dan Wijaya, 2007, *Pengolahan Citra Digital Menggunakan Matlab*, Penerbit Informatika. Bandung.
- Probandini, S., 2010, *Pengembangan Perangkat Lunak Dengan MATLAB Untuk Perancangan Sistem Pengukuran Antropometri Circumference Secara Digital*, Jurusan Teknik Mesin dan Industri UGM, Yogyakarta.
- Peranginangin K, 2006, *Pengenalan MATLAB*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Rinaladi, 2007. *GUI Matlab disertai Studi Kasus*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Sheng-Fuu Lin., 2011, *Create a Virtual Mannequin Through the 2-D Image-based Anthropometric Measurement and Radius Distance Free Form Deformation*, Institute of Electrical Control Engineering, National Chiao Tung University, Hsinchu, Taiwan.
- Sotoodeh, Gruen, T. Hanusch, 2004, *Integration Of Structured Light And Digital Camera Image Data For The 3d Reconstruction Of An Ancient Globe*, Institute of Geodesy and Photogrammetry, ETH Zurich, Switzerland.
- Stancic, I., Tamara S dan Mojmil C, 2000, *Computer Vision System for Human Anthropometric Parameters Estimation*, Laboratory for Biomechanics and Automatic Control Faculty of Electrical Engineering, Mechanical Engineering and Naval Architecture, University of Split Rudjera Boskovica, Croatia.
- Soebroto, S.W., 2004, *Prinsip-Prinsip Perancangan Berbasiskan Dimensi Tubuh (Antropometri) dan Perancangan Stasiun Kerja*. Laboratorium Ergonomi dan Perancangan Sistem Kerja Jurusan Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Stjepan J dan Nenad D., 2003, *The Assessment Of Structured Light And Laser Scanning Methods In 3d Shape Measurements*, International Congress of Croatian Society of Mechanics, Bizovac, Croatia.

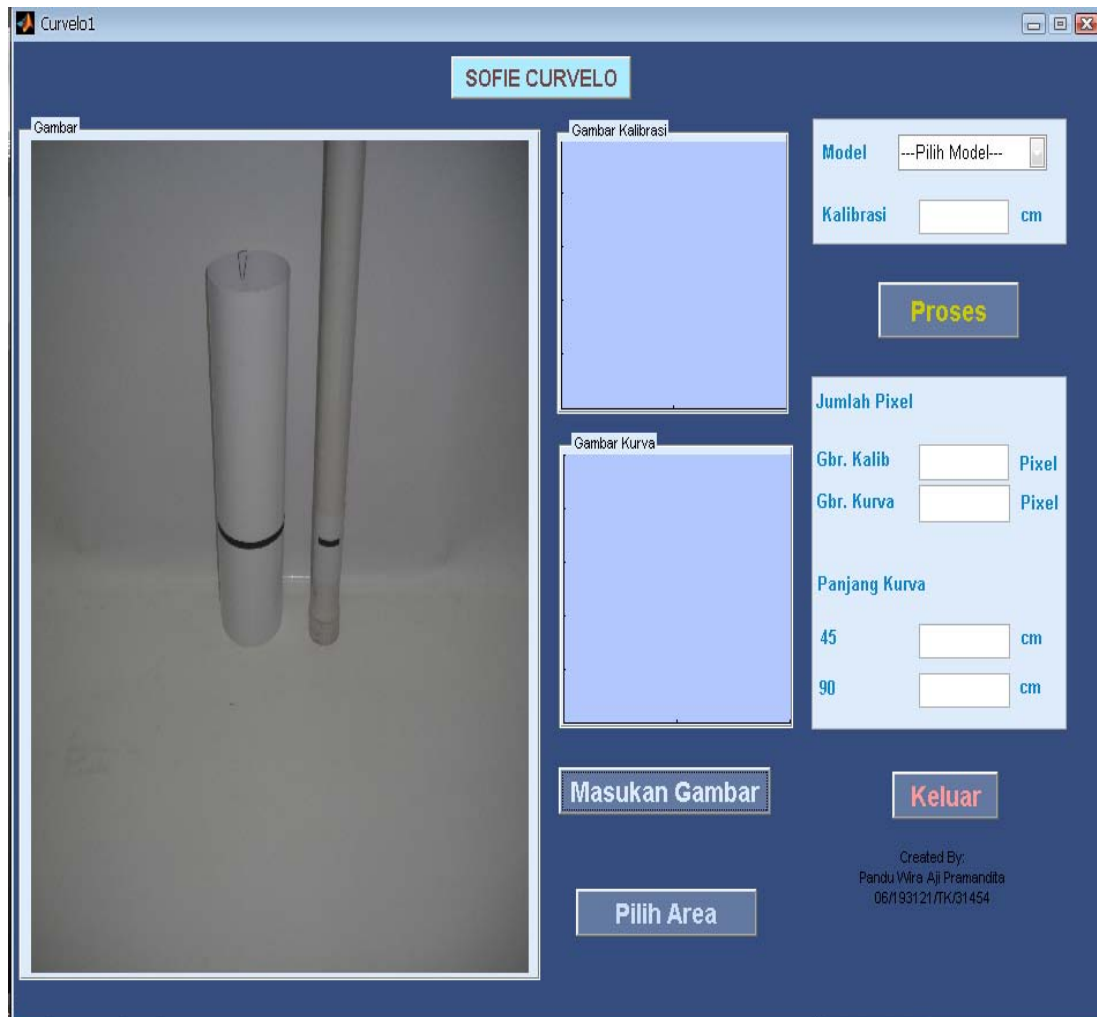
Yuen H., Witana, C. P., dan Goonetilleke, R. S., 2004, *Anthropometric Measurements from Photographic Images*, Human Performance Laboratory, Department of Industrial Engineering and Engineering Management, Hong Kong University of Science and Technology, Clear Water Bay, Hong Kong.

## LAMPIRAN

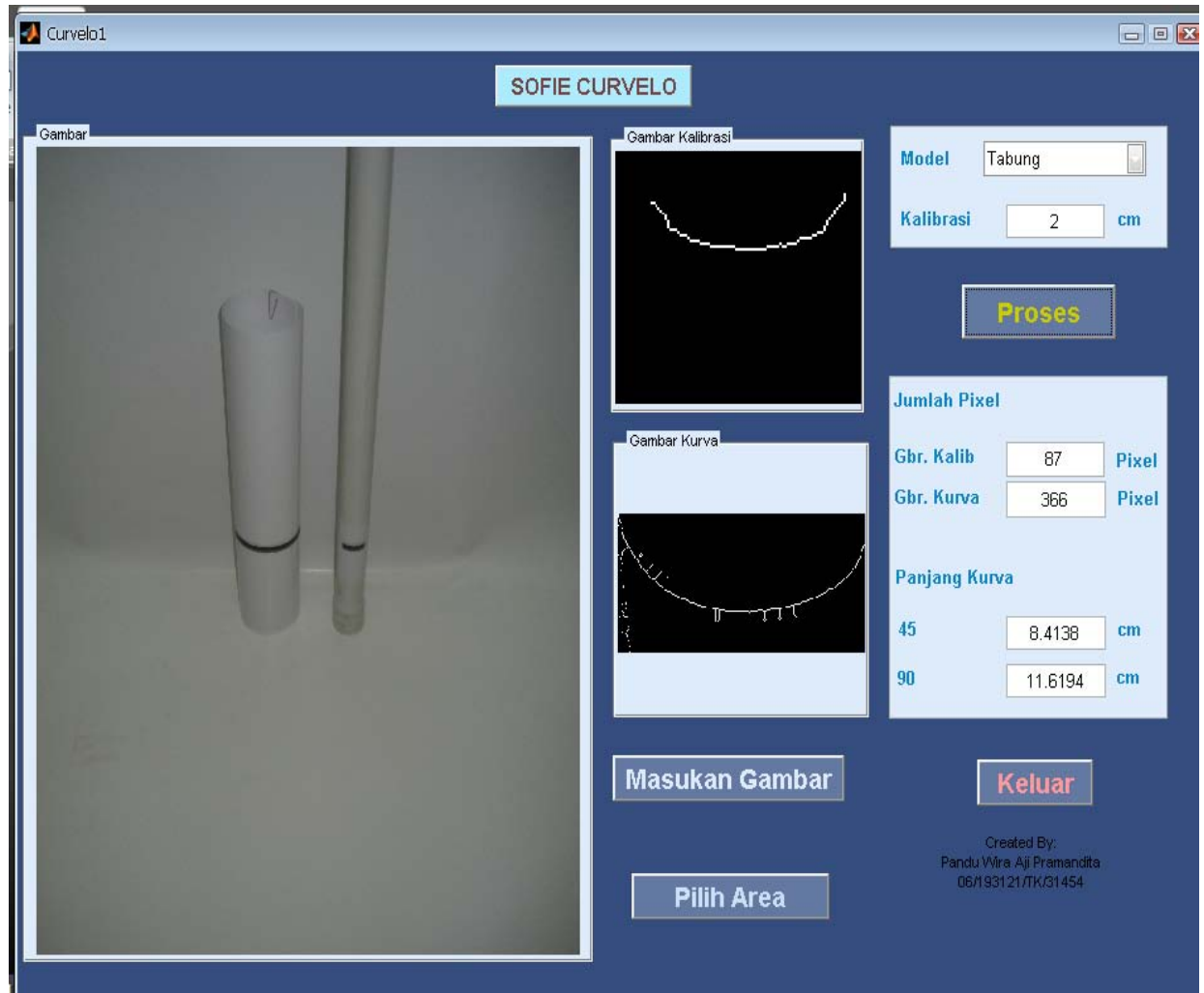
### Lampiran 1. Tampilan Perangkat Lunak



Tampilan perangkat lunak / GUI



**Tampilan proses pengukuran**



**Tampilan Hasil Pengukuran**

## Lampiran 2. Output Data Regresi SPSS

### 1. Output Regresi Tabung Lingkaran

#### Regression

##### Variables Entered/Removed(b)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	empatlima(a)	.	Enter

a All requested variables entered.

b Dependent Variable: sembilanpuluh

##### Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.998(a)	.995	.995	.1711690

a Predictors: (Constant), empatlima

##### ANOVA(b)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	175.670	1	175.670	5995.814	.000(a)
	Residual	.820	28	.029		
	Total	176.491	29			

a Predictors: (Constant), empatlima

b Dependent Variable: sembilanpuluh

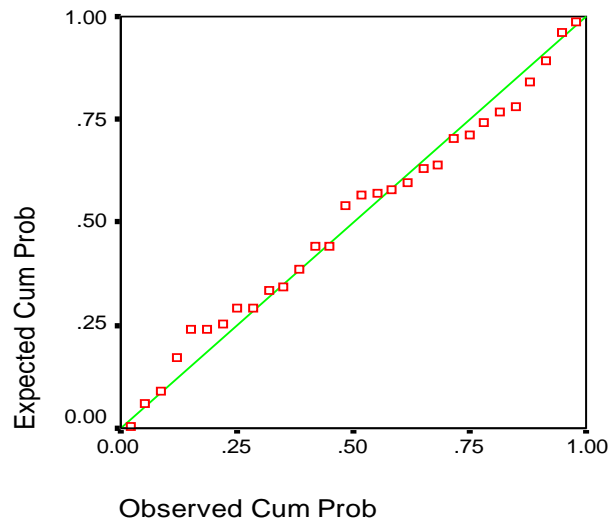
##### Coefficients(a)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.297	.279		1.064	.297
	empatlima	.972	.017	.996	56.470	.000

a Dependent Variable: sembilanpuluh

## Normal P-P Plot of Regression Stand

Dependent Variable: NYATA



## 2. Output Regresi Elips

### Regression

#### Variables Entered/Removed(b)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	empatlima(a)	.	Enter

a All requested variables entered.

b Dependent Variable: sembilanpuluh

#### Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.953(a)	.907	.904	.3703831

a Predictors: (Constant), empatlima

**ANOVA(b)**

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	37.656	1	37.656	274.492	.000(a)
	Residual	3.841	28	.137		
	Total	41.497	29			

a Predictors: (Constant), empatlima

b Dependent Variable: sembilanpuluh

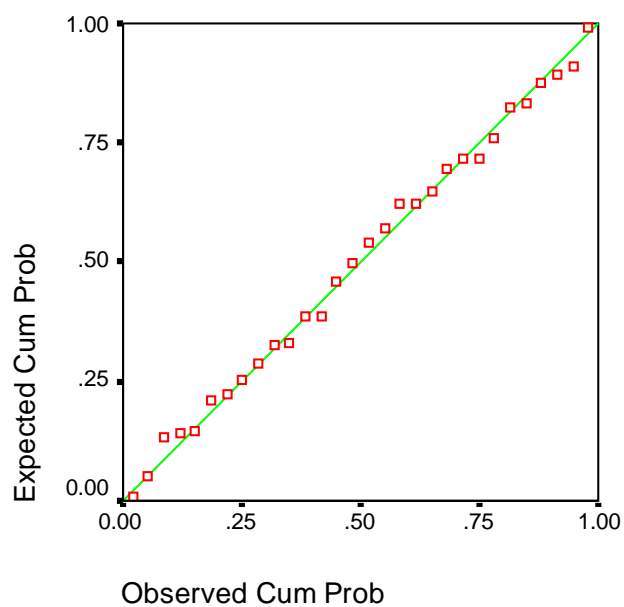
**Coefficients(a)**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.174	.608		1.931	.064
	empatlima	.887	.088	.953	16.348	.000

a Dependent Variable: sembilanpuluh

**Normal P-P Plot of Regression Stand**

**Dependent Variable: NYATAELI**



### 3. Output Regresi Lengkung Tak Beraturan

#### Regression

##### Variables Entered/Removed(b)

Model	Variables Entered	Variables Removed	Method
1	empatlima(a)	.	Enter

a All requested variables entered.

b Dependent Variable: sembilanpuluh

##### Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.983(a)	.967	.966	.0947073

a Predictors: (Constant), empatlima

##### ANOVA(b)

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	7.416	1	7.416	826.833	.000(a)
	Residual	.251	28	.009		
	Total	7.667	29			

a Predictors: (Constant), empatlima

b Dependent Variable: sembilanpuluh

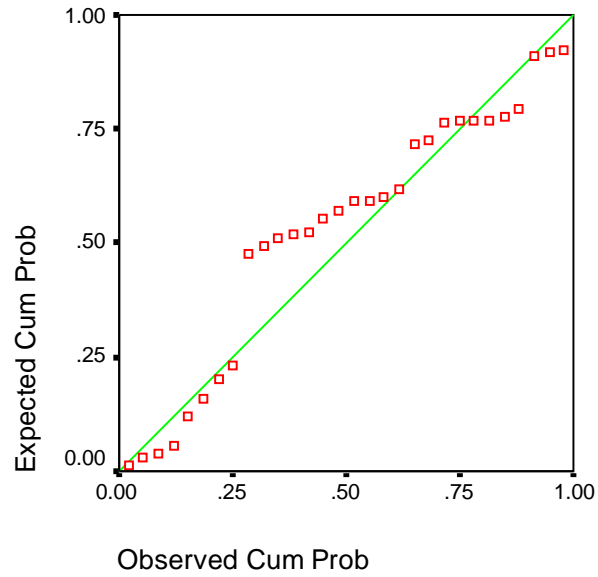
##### Coefficients(a)

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	.691	.363		1.907	.067
	empatlima	.926	.028	.983	33.360	.000

a Dependent Variable: sembilanpuluh

## Normal P-P Plot of Regression Stand

Dependent Variable: NYATALGK



### Lampiran 3. Rekapitulasi Hasil Pengukuran Langsung

#### 1. Tabung lingkaran

No	Diameter	Ukuran (cm)
1	2.00	3.2
2	2.50	4.21
3	3.00	4.8
4	3.50	5.5
5	4.00	6.2
6	4.50	7.2
7	5.00	7.9
8	5.50	8.7
9	6.00	9.5
10	6.50	10.4
11	7.00	11
12	7.50	11.8
13	8.00	12.6
14	8.50	13.4
15	9.00	14.2
16	9.50	15
17	10.00	15.7
18	10.50	16.5
19	11.00	17.3
20	11.50	18.2
21	12.00	18.8
22	12.50	19.6
23	13.00	20.4
24	13.50	21.2
25	14.00	22
26	14.50	22.8
27	15.00	23.5
28	15.50	24.4
29	16.00	25.1
30	16.50	25.9

## 2. Elip

No	Panjang Diameter		Ukuran (cm)
	a	b	
1	2.00	4.00	4.70
2	2.00	5.00	5.50
3	2.00	6.00	6.40
4	2.00	8.00	8.43
5	2.00	10.00	9.64
6	3.00	4.00	5.50
7	3.00	5.00	6.30
8	3.00	6.00	7.30
9	3.00	8.00	9.20
10	3.00	10.00	9.80
11	4.00	5.00	7.00
12	4.00	8.00	9.50
13	4.00	9.00	10.32
14	4.00	10.00	11.00
15	4.00	12.00	12.60
16	5.00	7.00	9.40
17	5.00	8.00	10.30
18	5.00	9.00	11.30
19	5.00	10.00	11.80
20	5.00	12.00	13.40
21	6.00	8.00	10.90
22	6.00	9.00	11.70
23	6.00	10.00	12.60
24	6.00	11.00	13.35
25	6.00	12.00	14.13
26	7.00	9.00	12.60
27	7.00	11.00	14.20
28	7.00	12.00	14.90
29	7.00	14.00	16.60
30	7.00	16.00	18.00

### 3. Lengkung Tak Beraturan

No	Kode	Ukuran (cm)
1	Lk-1	9.5
2	Lk-2	14.5
3	Lk-3	10.5
4	Lk-4	8.0
5	Lk-5	9.0
6	Lk-6	5.5
7	Lk-7	14.0
8	Lk-8	8.5
9	Lk-9	12.0
10	Lk-10	11.0
11	Lk-11	9.5
12	Lk-12	16.0
13	Lk-13	7.0
14	Lk-14	8.0
15	Lk-15	15.0
16	Lk-16	9.0
17	Lk-17	20.0
18	Lk-18	14.5
19	Lk-19	18.0
20	Lk-20	5.5
21	Lk-21	7.0
22	Lk-22	13.0
23	Lk-23	14.0
24	Lk-24	16.0
25	Lk-25	20.0
26	Lk-26	15.0
27	Lk-27	10.5
28	Lk-28	18.0
29	Lk-29	12.0
30	Lk-30	13.0

## Lampiran 4. Rekapitulasi Pengukuran Digital

### 1. Tabung Lingkaran

No	Diameter	Digital
1	2.00	4.231
2	2.50	4.872
3	3.00	5.423
4	3.50	3.423
5	4.00	6.264
6	4.50	8.631
7	5.00	8.482
8	5.50	8.302
9	6.00	9.034
10	6.50	9.567
11	7.00	10.342
12	7.50	12.312
13	8.00	13.543
14	8.50	13.764
15	9.00	15.573
16	9.50	14.899
17	10.00	16.213
18	10.50	17.31
19	11.00	18.543
20	11.50	19.32
21	12.00	17.537
22	12.50	21.65
23	13.00	21.342
24	13.50	21.982
25	14.00	21.387
26	14.50	23.561
27	15.00	22.675
28	15.50	24.675
29	16.00	25.784
30	16.50	27.831

## 2. Elips

No	Panjang Diameter		Digital
	a	b	
1	2,00	4,00	4,879
2	2,00	5,00	6,182
3	2,00	6,00	6,412
4	2,00	8,00	8,191
5	2,00	10,00	10,210
6	3,00	4,00	6,121
7	3,00	5,00	7,056
8	3,00	6,00	6,230
9	3,00	8,00	8,222
10	3,00	10,00	8,141
11	4,00	5,00	6,909
12	4,00	8,00	9,020
13	4,00	9,00	8,941
14	4,00	10,00	10,400
15	4,00	12,00	14,810
16	5,00	7,00	10,230
17	5,00	8,00	9,842
18	5,00	9,00	11,540
19	5,00	10,00	11,766
20	5,00	12,00	12,312
21	6,00	8,00	13,753
22	6,00	9,00	9,132
23	6,00	10,00	13,410
24	6,00	11,00	14,510
25	6,00	12,00	13,512
26	7,00	9,00	12,287
27	7,00	11,00	14,564
28	7,00	12,00	15,102
29	7,00	14,00	16,252
30	7,00	16,00	19,312

### 3. Lengkung Tak Beraturan

No	Kode	Digital
1	Lk-1	10.631
2	Lk-2	15.732
3	Lk-3	10.550
4	Lk-4	7.927
5	Lk-5	8.802
6	Lk-6	4.982
7	Lk-7	13.200
8	Lk-8	7.923
9	Lk-9	11.781
10	Lk-10	12.534
11	Lk-11	7.342
12	Lk-12	14.623
13	Lk-13	7.834
14	Lk-14	7.012
15	Lk-15	16.820
16	Lk-16	7.403
17	Lk-17	21.361
18	Lk-18	12.643
19	Lk-19	16.452
20	Lk-20	7.241
21	Lk-21	6.231
22	Lk-22	11.346
23	Lk-23	14.953
24	Lk-24	18.120
25	Lk-25	19.842
26	Lk-26	13.482
27	Lk-27	9.652
28	Lk-28	17.030
29	Lk-29	10.312
30	Lk-30	14.612

## Lampiran 5. Gambar alat dan bahan

### 1. Tabung lingkaran



## 2. Lengkung tak beraturan



### 3. Elips



#### 4. Alat dan Bahan.

