

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT LAYER  
DEPOSITION MANUFACTURING MANUAL**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin



oleh :

Nama : Yusron

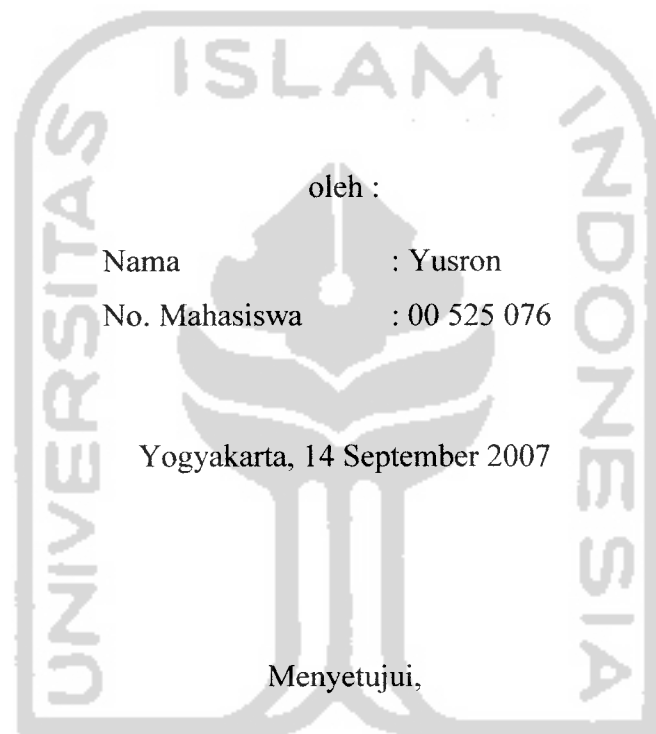
No. Mahasiswa : 00 525 076

**JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2007**

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**  
**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT LAYER**  
**DEPOSITION MANUFACTURING MANUAL**

**TUGAS AKHIR**



oleh :

Nama : Yusron

No. Mahasiswa : 00 525 076

Yogyakarta, 14 September 2007

Menyetujui,

Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Ridlwan', is written over a horizontal line.

( M. Ridlwan, ST., MT )

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI**  
**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT LAYER DEPOSITION**  
**MANUFACTURING MANUAL**

Oleh :

Nama : Yusron

No. Mahasiswa : 00 525 076

Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji sebagai Salah Satu Syarat  
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 14 September 2007

**Tim Penguji**

**M. Ridwan, ST., MT**

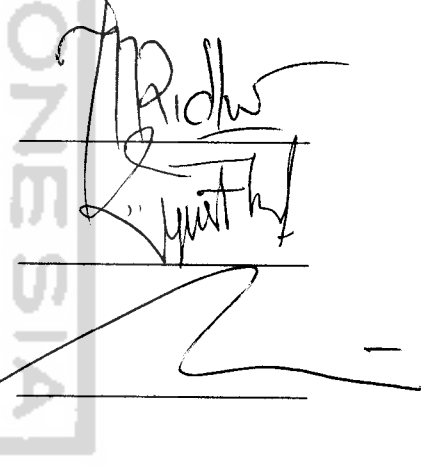
**Ketua**

**Yustiasih Purwaningrum, ST., MT**

**Anggota I**

**Risdiyono, ST., MEng**

**Anggota II**



Mengetahui,  
Ketua Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia



  
Ridwan, ST., MT

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Allah SWT, Tuhan ku Yang Maha Esa Maha Pengasih Dan Penyayang, Nabi Muhammad SAW Rahmatan Semesta Alam.*

*Abah dan Ibu tercinta, atas segala pengorbanan, kasih sayang, kesabaran, ketulusan, serta do'a yang slalu menyertai setiap langkahku dalam menggapai cita-cita. Dengan apa aku akan membalas atas semua yang telah engkau berikan pada ku .....*

*Teh Mun dan Aa Yayat, Teh Aam dan Aa Mumu, Ka Map dan adik-adiku Eeng dan hasuri, Ade terima kasih atas doa dan dorongan semangatnya.....Love u all... dan tidak ketinggalan keponakanku yang lucu-lucu Eka, May, Aulia terima kasih karena berkat kelucuan dan kepolosan kalian, Mamang jadi semangat untuk terus maju*

*Terima kasih buat calon istri ku Nia Kurniasih, ST yang telah banyak membantu dalam segala hal, tak ada kata-kata yang mampu Maz ucapkan karena takkan ada kata-kata yang mampu menjelaskan segalanya*

*Terima kasih buat semua keluarga lampung, keluarga kampus Mang Yan & Teh Sun sekeluarga, Mang Romli & keluarga, Mang yasin & Keluarga, Bi Mun & keluarga, Kang Mahidi & keluarga dan keluarga kuningan Ema, bapak, Ema neng, A'Asep & istri, A'Dedeng & istri, Ceu Edah & Suami, A'Ndang & istri, Ceu Dede & Suami, Ceu Yuyu & Suami, A'Toto & Istri, dan semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu*

*Terimah kasih buat mamah papinya Nazwah Deni & Titah yang telah banyak membantu, makasih juga buat Ibu & Bapak koz atas semua nasehat-nasehatnya, Intan dan Tiara jgn lupa belajar yang rajin*

*Sahabat-sahabatku semua, Teknik Mesin VII all for one, one for all. Thanks Bro... buat semua yang telah kalian berikan yang membantu dalam sebagian perjalanan kehidupan yang merubah sikap pola pikir yang telah mendewasakan yang menemani dalam setiap kehampaan dan kesenangan*

## HALAMAN MOTTO

*"...niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang dianugerahi ilmu pengetahuan dengan beberapa derajat"*

*(Qs. Al-Mujaadalah: 11)*

*"Dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya tiada berputus asa dari rahmat Allah, melainkan kaum yang kafir"*

*(Qs. Yusuf: 87)*

*... "Cukuplah ALLAH menjadi penolong kami dan ALLAH adalah sebaik-baik pelindung"*

*(Qs. Al 'imron : 179)*

*"Sungguh, bersama kesukaran itu pasti ada kemudahan"*

*(Qs. Ash-Syarah : 5)*

*"Dan, barangsiapa yang bertakwa kepada Allah niscaya Allah akan menjadikan baginya jalan kemudahan dalam urusannya."*

*(Qs. Ath-Thalâq: 5)*

*"Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan) kerjakanlah dengan sungguh-sungguh urusan yang lain. Dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap."*

*(Qs. Al-Insyirah: 6-8)*

## KATA PENGANTAR



*Assalaamu'alaikum Wr.Wb.*

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam semoga tercurah kepada Rosulullah Muhammad SAW beserta para keluarganya , sahabat dan para pengikutnya hingga akhir zaman.

Tugas Akhir berjudul ***“Perancangan dan Pembuatan Alat Layer Deposition Manufacturing Manual”*** ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Jurusan Teknik Mesin , Fakultas Teknologi Industri , Universitas Islam Indonesia.

Tentunya penulisan tugas akhir tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa bantuan baik moral maupun spiritual dari berbagai pihak. Atas segala bantuan yang diberikan kepada penulis, baik berupa bimbingan, dorongan, kerjasama, fasilitas dan kemudahan lainnya maka pada kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Fathul Wahid, ST., Msc, selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta
2. Bapak Muhammad Ridlwan, ST.,MT selaku pembimbing Tugas Akhir dan ketua jurusan Teknik Mesin yang telah meluangkan waktunya sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
3. Bapak dan Ibu Dosen serta karyawan FTI UII yang telah membimbing dan membantu baik kegiatan akademis maupun administratif.
4. Keluargaku tercinta, Abah, Ibu, serta kakak-kakak dan adik-adikku atas doa dan dorongan yang telah diberikan selama ini kepada penulis.

5. Saudara seperjuanganku di Teknik Mesin UII khususnya angkatan 2000, tetap berjuang untuk cita-cita kita.

Dan lain-lain pihak yang tidak bisa kami sebutkan satu persatu yang telah membantu. Semoga segala bantuan, bimbingan, dan pengarahan yang telah diberikan kepada kami mendapat imbalan dari Allah SWT. Penulis menyadari bahwa dalam laporan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari para pembaca demi kemajuan penulis dimasa mendatang

*Wassalaamu'alaikum Wr.Wb.*

Yogyakarta, 12 September 2007

Penulis



# PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT LAYER DEPOSITION MANUFAKTURING MANUAL

## *Abstraksi :*

*Layer Deposition Manufacturing merupakan metoda baru dalam teknologi rapid prototyping yang membuat objek 3 dimensi dengan pencetakan layer per layer. Tidak semua bahan bisa digunakan dengan metode rapid prototyping ini. Dalam penelitian ini dijelaskan tentang bagaimana pembuatan alat Layer deposition Manufacturing manual yang dapat membuat lapisan lilin dengan ketebalan 1 mm, sehingga alat ini dapat membuat produk yang komplek.*

*Perancangan dan pembuatan alat Layer deposition Manufacturing manual ini menggunakan bahan diantaranya yaitu, kotak kaca yang berbentuk persegi dengan luas A4 (210 x 297 mm), meja yang terbuat dari kayu, dongkrak roda gigi yang berfungsi untuk menurunkan Platform, papan sebagai platform, poros besi pejal, tabung stainless, bola bantalan dan triplek yang dilapisi dengan fiber untuk kedataran.*

*Pembuatan alat Layer deposition Manufacturing manual ini berfungsi untuk membuat lapisan lilin dengan ketebalan 1 mm sehingga dapat membuat produk yang komplek. Pada percobaan alat ini produk yang dihasilkan berupa membran motor RX king yang terbuat dari campuran resin dan katalis, pembuatan produk ini menggunakan lilin sebagai suport materialnya. Untuk menghasilkan produk yang rapih dibutuhkan ketelitian dan kesabaran, selain itu faktor keterampilan dalam penggunaan alat LDM manual juga sangat berpengaruh. Pembuatan produk menggunakan alat LDM manual ini membutuhkan alat bantu berupa bor listrik (Elektrik Drill) dengan merk CADIK 1901 (input 220v/50Hz P.Max: 40W) yang berfungsi untuk membuat pola pada permukaan lilin.*

**Kata kunci:** LDM, ketebalan layer, pola



## DAFTAR ISI

Halaman judul .....	i
Lembar Pengesahan Pembimbing .....	ii
Lembar Pengesahan Penguji .....	iii
Halaman Persembahan .....	iv
Halaman Motto.....	v
Kata Pengantar .....	vi
Abstraksi.....	viii
Daftar Isi.....	ix
Daftar Gambar.....	xii
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	1
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat.....	2
1.6. Sistematika Penulisan.....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>4</b>
2.1. Rapid Prototyping .....	4
2.2. Stereolithography .....	5
2.3. Laminated Object Manufacturing .....	5
2.4. Sintering Laser Selectife .....	7
2.5. Fused Deposition Manufacturing.....	7
2.6. Solid Ground Curing.....	7
2.7. 3-D Ink Jet Printing.....	9
2.8. Shape Deposition Manufacturing.....	10
2.9. Layer Deposition Manufacturing Manual .....	11
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>14</b>
3.1. Flowchart Penelitian Alat.....	14
3.2. Desain Alat.....	15

3.3.	Persiapan Bahan-bahan Alat .....	15
3.4.	Perancangan Alat.....	16
3.4.1	Kerangka Meja .....	16
3.4.2	Kaca.....	16
3.4.3	Poros Pejal dan Tabung Stanless .....	17
3.4.4	Meja dan Platform.....	18
3.4.5	Dongkrak Roda Gigi .....	18
3.5.	Pengujian Alat .....	18
3.6.	Flowchart Penelitian Produk .....	19
3.7.	Desain Produk .....	20
3.8.	Persiapan Bahan .....	20
3.9.	Penuangan Lilin.....	21
3.10.	Perataan Permukaan Lilin .....	21
3.11.	Pengecekan Ketebalan.....	21
3.12.	Kerapian Pembuatan Pola .....	21
3.13.	Pembuatan Produk .....	23
3.14.	Proses Finising .....	24
<b>BAB IV PROSES PEMBUATAN ALAT LDM MANUAL</b>		
	<b>DAN PRODUK.....</b>	<b>25</b>
4.1.	Proses Pembuatan Alat.....	25
4.1.1	Pembuatan Desain Alat LDM Manual .....	25
4.1.2	Pembuatan Kotak Kaca Persegi .....	26
4.1.3	Pembuatan Platform .....	27
4.1.4	Pembuatan Base .....	27
4.1.5	Pembuatan Krangka Meja .....	28
4.1.6	Pembuatan Poros Besi Pejal .....	31
4.1.7	Pembuatan Tabung Stanless.....	32
4.1.8	Dongkrak Roda Gigi .....	33
4.2.	Proses Pembuatan Produk .....	33
4.2.1	Pembuatan Desain Produk .....	33
4.2.2	Tahapan Pembuatan Produk.....	35

4.2.2.1	Persiapan Bahan .....	37
4.2.2.2	Pembuatan Suport Material .....	37
4.2.2.3	Pembuatan Pola dan Produk .....	39
4.2.2.4	Hasil Analisa Produk .....	47
BAB V PENUTUP.....		49
5.1.	Kesimpulan.....	49
5.2.	Saran.....	49
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2	Metoda <i>Stereolithography</i> .....	5
Gambar 2.3	Metoda LOM.....	6
Gambar 2.4	Metoda SLS.....	7
Gambar 2.5	Metoda FDM.....	7
Gambar 2.6	Metoda SGC.....	8
Gambar 2.7	Metoda 3-D Ink Jet Printing.....	9
Gambar 2.8a	Metoda SDM.....	10
Gambar 2.8b	Metoda SDM.....	10
Gambar 2.8c	Tahapan deposition dan shaping .....	11
Gambar 2.8d	Struktur multi material dengan menyisipkan komponen.....	11
Gambar 2.9	Metode LDM.....	12
Gambar 3.1	Flowchart Penelitian Alat.....	14
Gambar 3.2	Desain Alat.....	15
Gambar 3.4.1	Krangka Meja.....	16
Gambar 3.4.2	Kotak Kaca.....	17
Gambar 3.4.3	Poros Pejal dan Tabung Stanless.....	17
Gambar 3.4.4	Meja dan Platform.....	18
Gambar 3.6	Flowchart Penelitian Produk .....	19
Gambar 3.7	Desain Produk .....	20
Gambar 3.12a	Pola 1 dan 7.....	22
Gambar 3.12b	Pola 2 dan 6.....	22
Gambar 3.12c	Pola 3 dan 5.....	22
Gambar 3.12d	Pola 4.....	22
Gambar 4.1	Alat LDM Manual.....	25
Gambar 4.2	Kotak Kaca Persegi.....	26
Gambar 4.3	Dudukan Baut Kotak Kaca Persegi.....	26
Gambar 4.4	Platform.....	27

Gambar 4.5	Base .....	28
Gambar 4.6	Kerangka meja .....	29
Gambar 4.7	Tampak Samping Kerangka Meja.....	29
Gambar 4.8	Tampak Atas Kerangka Meja.....	30
Gambar 4.9	Tampak Bawah Kerangka Meja.....	30
Gambar 4.10	Tampak Atas Kerangka Meja.....	30
Gambar 4.11	Tampak Atas Kerangka Meja.....	31
Gambar 4.12	Lubang a, b, c, d, f, g.....	31
Gambar 4.13	Poros Besi Pejal.....	32
Gambar 4.14	Bola Bantalan.....	32
Gambar 4.15	Tabung Stanless .....	33
Gambar 4.16	Desain Produk .....	34
Gambar 4.17	Desain Produk Bagian Atas .....	34
Gambar 4.18	Desain Produk Bagian Bawah.....	34
Gambar 4.19	Desain Produk Bagian Depan .....	35
Gambar 4.20	Desain Produk Bagian Samping.....	35
Gambar 4.21	Alat LDM Manual yang tidak dapat membuat lapisan dengan tipis .....	36
Gambar 4.22	Alat LDM Manual yang dapat membuat lapisan dengan tipis .....	36
Gambar 4.23	Resin dan Katalis.....	37
Gambar 4.24	Platform pada saat diturunkan.....	38
Gambar 4.25	Support Material yang telah rata .....	39
Gambar 4.26	Pola Lapisan Pertama dan Terakhir .....	40
Gambar 4.27	Pola Lapisan Kedua dan Keenam .....	40
Gambar 4.28	Pola Lapisan Ketiga dan Kelima.....	41
Gambar 4.29	Pola Lapisan Keempat.....	41
Gambar 4.30	Hasil Pembuatan Produk 1 .....	43
Gambar 4.31	Hasil Pembuatan Produk 1 Tampak Samping.....	44
Gambar 4.32	Hasil Pembuatan Produk 1 Tampak Bawah.....	44
Gambar 4.33	Hasil Pembuatan Produk 1 Tampak Atas.....	44

Gambar 4.34	Hasil Pembuatan Produk 2 .....	45
Gambar 4.35	Hasil Pembuatan Produk 3 .....	45
Gambar 4.36	Hasil Pembuatan Produk 1, 2 dan 3 .....	45
Gambar 4.37	Hasil Pembuatan Produk 1, 2 dan 3 Tampak Depan.....	46
Gambar 4.38	Hasil Pembuatan Produk 1, 2 dan 3 Tampak Samping...	46
Gambar 4.39	Hasil Pembuatan Produk 1, 2 dan 3 Tampak Atas.....	46
Gambar 4.40	Hasil Pembuatan Produk 1, 2 dan 3 Tampak Bawah.....	47
Gambar 4.41	Ukuran Produk Keseluruhan.....	47
Gambar 4.42	Ukuran Produk Pada Setiap Layer .....	48



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi saat ini semakin pesat, semua teknologi berlomba untuk menciptakan inovasi yang baru. Teknologi-teknologi yang berkembang saat ini adalah teknologi manufaktur, diantaranya adalah *Rapid Prototyping (RP)*. Teknologi ini konsep dasarnya adalah penambahan material produk dari kecil menjadi besar sehingga menjadi sebuah produk, salah satu teknologi manufaktur *Rapid Prototyping (RP)* adalah *Layer Deposition Manufacturing (LDM)*. *Layer Deposition Manufacturing (LDM)* ini dalam membuat produknya dengan cara lapis demi lapis. Untuk itu dalam penelitian ini dibuat alat *Layer Deposition Manufacturing (LDM)* secara manual, karena alat ini mampu membuat ketebalan lapisan yang tipis, sehingga mampu membuat produk yang kompleks.

Pada *Layer Deposition Manufacturing (LDM)* secara manual yang menggunakan lembaran lilin sebagai material support tidak mampu membuat lapisan yang tipis karena jika membuat lapisan yang tipis maka lilin yang sebagai material pendukung akan patah jika lilin dilepas, akan tetapi pada alat ini mempunyai keuntungan dan kerugian tersendiri, keuntungan dari alat ini adalah mampu membuat beberapa lapisan lilin dalam sekali proses, sedangkan kerugiannya adalah tidak mampu membuat lapisan lilin yang tipis, keuntungan membuat lapisan lilin yang tipis adalah dapat membuat bentuk produk yang kompleks, maka dari itu perlu dibuat alat *Layer Deposition Manufacturing (LDM)* secara manual yang dapat digunakan untuk membuat lapisan yang tipis.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana membuat peralatan untuk *Layer Deposition Manufacturing (LDM)* secara manual dengan tipis.

## 1.3 Batasan Masalah

Pembatasan masalah dalam penelitian ini agar ruang lingkup pembahasan menjadi jelas dan tidak meluas ke hal-hal yang tidak diinginkan. Pembahasan masalah dalam penelitian ini meliputi hal-hal sebagai berikut :

- a. Pembuatan alat manual disertai dengan cara penurunan dan penuangannya.
- b. Pembuatan lapisan lilin yang tipis dengan ketebalan 1mm.
- c. Pembuatan contoh produk sederhana dengan lapisan yang tipis.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian adalah membuat peralatan *Layer Deposition Manufacturing (LDM)* secara manual dengan membuat lapisan pendukung yang tipis.

## 1.5 Manfaat Penelitian

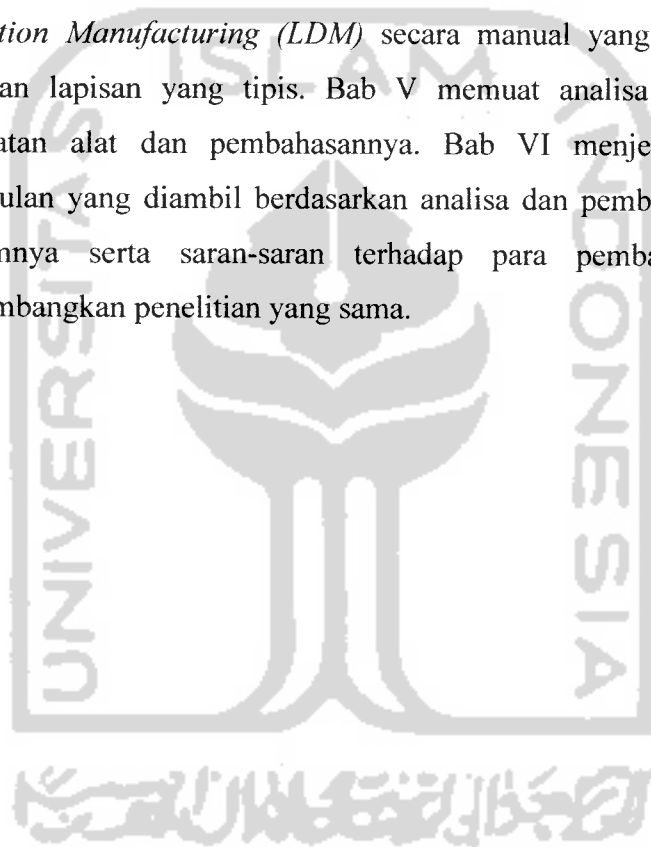
Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian adalah dengan *Layer Deposition Manufacturing (LDM)* secara manual dapat memberikan kemampuan membuat ketebalan lapisan yang tipis maka dapat dibuat produk-produk yang mempunyai bentuk-bentuk yang rumit yang lebih kompleks.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mendapatkan gambaran yang jelas dan sistematis, maka dalam penyusunan laporan tugas akhir ini dibagi menjadi enam bab, yaitu :



Bab I berisi mengenai latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, sistematika penulisan laporan tugas akhir. Bab II terdiri dari teori mengenai rapid prototyping kemampuan *Layer Deposition Manufacturing (LDM)* secara manual yang dapat membuat ketebalan lapisan yang tipis. Bab III menjelaskan tentang kemampuan *Layer Deposition Manufacturing (LDM)* secara manual yang dapat membuat ketebalan lapisan yang tipis. Bab IV menjelaskan proses pembuatan alat dari awal sampai akhir, yaitu pembuatan alat *Layer Deposition Manufacturing (LDM)* secara manual yang dapat membuat ketebalan lapisan yang tipis. Bab V memuat analisa mengenai hasil pembuatan alat dan pembahasannya. Bab VI menjelaskan beberapa kesimpulan yang diambil berdasarkan analisa dan pembahasan pada bab sebelumnya serta saran-saran terhadap para pembaca yang akan mengembangkan penelitian yang sama.



## BAB II

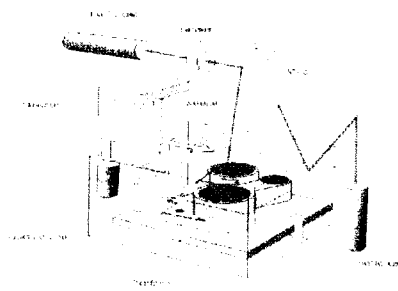
### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Rapid prototyping

Teknologi *Rapid Prototyping* adalah teknologi yang masih relatif baru dalam pembuatan produk atau *prototype*. Karakteristik utama dari teknologi ini adalah konsolidasi material yang berupa cair, padat, atau lembaran. Pada teknologi pemesinan, proses pembentukan produk dilakukan dengan mengurangi material awal dengan cara pemotongan, atau sering disebut juga dengan proses subtraktif. Beberapa contoh proses yang termasuk dalam proses subtraktif seperti *milling*, *turning*, *drilling*, *sawing*, *grinding*, dan sebagainya. Pada teknologi *Rapid Prototyping*, proses pembentukan produk atau model produk dilakukan dengan cara menambahkan material sedikit demi sedikit secara terkontrol untuk membentuk produk atau model produk. Teknologi ini sering juga disebut dengan istilah-istilah lain seperti *layer manufacturing*, *solid free-form fabrication* (SFF), *material addition manufacturing*, dan *3D-printing*.

Ciri utama teknologi ini adalah *material consolidation* dengan bentuk material awal dapat berupa serbuk, cair, padat, dan lembaran. Teknologi ini masih relatif asing bagi industri manufaktur dan industri kerajinan di Indonesia. Teknologi ini baru dikembangkan pada pertengahan tahun 1985. Beberapa metoda yang telah dikenal dalam teknologi rapid prototyping saat ini seperti *Stereolithography (SLA)*, *Laminated Object Manufacturing (LOM)*, *Sintering Laser Selective (SLS)*, *Fused Deposition Modelling (FDM)*, *Solid Ground Curing (SGC)*, *3-D Ink Jet Printing*.

## 2.2 Stereolithography



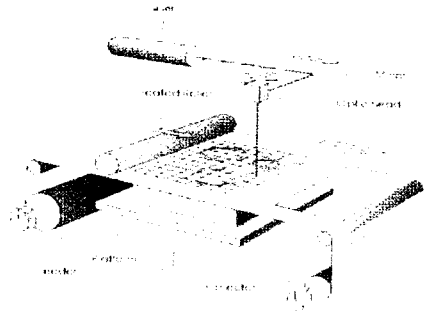
Gambar 2.2 Metode stereolithography

(Sumber : )

Teknik ini membangun model tiga dimensi dari cairan polimer fotosensitif yang memadat ketika diberi cahaya ultraviolet. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.2. Model dibangun diatas sebuah *platform* yang ditempatkan tepat dibawah permukaan dalam sebuah *vat* dari *epoxy* cair atau *acrylate resin*. Sinar laser UV bertenaga rendah difokuskan ke *layer* pertama, memadatkan *polimer* cair pada *layer* pertama sesuai disain produk yang akan di bentuk.

Kemudian sebuah *elevator* secara bertahap menurunkan *platform* kedalam *polimer* cair. Sebuah pemangkas atau seperti penyapu melapisi ulang lapisan yang telah memadat dengan cairan, dan sinar laser menuju ke *layer* kedua. Proses ini diulangi sampai *layer* terakhir hingga prototipe selesai. Setelah itu, bagian padatan dipindahkan dari *vat* dan dibersihkan dari sisa cairan yang lebih. Penyokong dilepas dan model kemudian ditempatkan pada *oven* ultraviolet untuk *finishing* sehingga material produk dapat diambil.

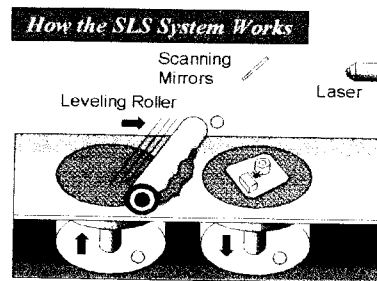
### 2.3 Laminated Object Manufacturing



Gambar 2.3 Metode laminated object manufacturing  
(Sumber : <http://www.researchgate.net/publication/221211112>)

Produk dari bahan *adhesive-coated* diikat bersama untuk membentuk sebuah *prototype*. Untuk materi asalnya terdiri dari kertas yang dilapisi dengan lem panas dan digulung pada sebuah *spool*. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.3, mekanisme *feeder/collector* menaikkan *sheet* di atas *platform*, dimana sebuah landasan telah disusun dari kertas dan pita busa dua-sisi. Kemudian, penggulung yang terpanaskan tadi memberikan tekanan untuk mengikat kertas ke landasan. Sinar laser memotong sesuai disain dari *layer* pertama ke kertas kemudian meng-*crosshatch area* yang lebih (ruang negatif dalam prototipe). *Cross hatching* menguraikan material yang lebih sehingga memudahkan pemindahan selama pasca pemrosesan. Selama pembuatan, material berlebih tadi untuk *support* bagian lapisan luar dan *overhang*. Setelah lapisan pertama terpotong, *platform* turun dan material baru dinaikkan. Dan *platform* naik lagi hingga sedikit di bawah ketinggian sebelumnya, penggulung mengikat lapisan kedua terlebih dahulu, dan laser memotong *layer* itu dan proses ini diulang sampai pada *layer* terakhir.

## 2.4 Sintering Laser Selective

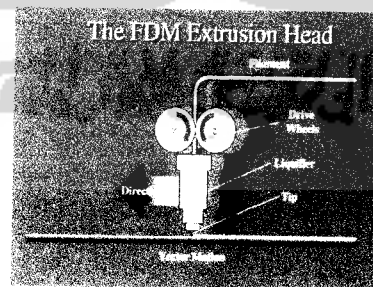


Gambar 2.4 Metode sintering laser selective

(Sumber : <http://www.3dprinting.com.au/2013/03/01/3d-printing-technology-2/>)

Teknik pada gambar 2.4 menggunakan sinar laser untuk secara selektif melebur materi serbuk, nilon, elastomer, dan logam, menjadi objek padat. *Layer* pertama dibuat diatas *platform* yang berada tepat di bawah permukaan landasan. Sinar laser menyinari pola dari *layer* pertama, dan men-sinternya atau menyapunya bersamaan. *Platform* kemudian diturunkan di ketinggian lapisan berikutnya dan bubuk diberikan lagi. Proses ini berlanjut sampai *layer* terakhir hingga selesai. Serbuk yang tidak terkena laser di setiap lapisan sebagai *support material* selama proses pembuatan.

## 2.5 Fused Deposition Modeling



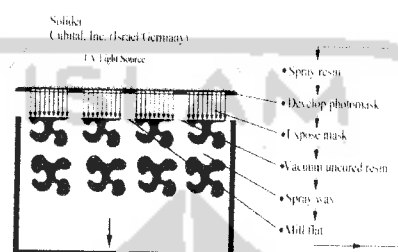
Gambar 2.5 Metode fused deposition modelling

(Sumber : <http://www.3dprinting.com.au/2013/03/01/3d-printing-technology-2/>)

Teknik pada gambar 2.5, filamen dari termoplastik yang dipanaskan didorong dari ujung yang bergerak di sumbu x-y. *head ekstrusi* yang

terkendali menyimpan *layer* tipis material kedalam *platform* untuk membentuk lapisan pertama dan *platform* dipertahankan pada temperatur yang rendah, sehingga termoplastik akan cepat mengeras. Setelah *platform* diturunkan, *head ekstrusi* menempatkan *layer* kedua di atas lapisan pertama, dan *support material* secara otomatis timbul saat proses ini.

## 2.6 Solid Ground Curing



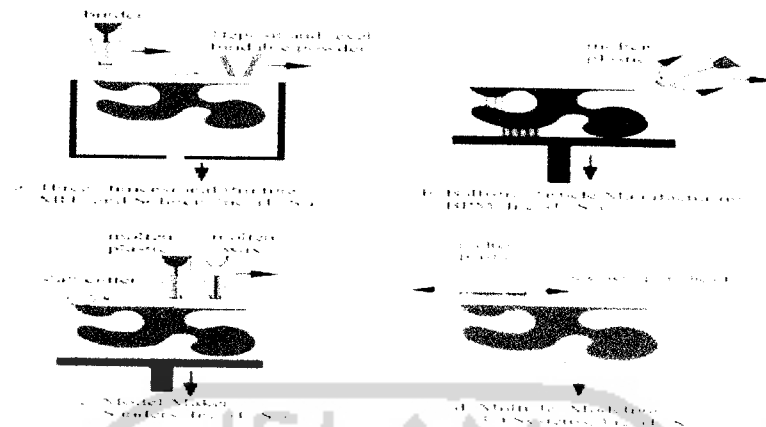
Gambar 2.6 Metode solid ground curing

(Sumber : <http://www.3dprinting.com>)

Gambar 2.6 menunjukkan bagaimana proses *solid ground curing* yang dikenal juga sebagai proses *solider*. Pertama resin fotosensitif disemprotkan pada *platform*. Kemudian mesin menyusun suatu *fotomask* / pola dari *layer* yang akan dibuat. *Fotomask* ini dicetak pada plat kaca diatas *platform* menggunakan proses elektrostatis sama dengan pada fotokopi. *Mask* ini kemudian diberi cahaya UV, yang hanya melewati sisi transparan dari *mask* guna mengeraskan bentukan lapisan yang tengah diproses.

Setelah *layer* di-*curing*, mesin mengosongkan resin cairan yang lebih dan menyemprotkan *wax* di tempat itu untuk menyokong model selama proses pembuatan. Permukaan atas didatarkan dan kemudian prosesnya diulang untuk lapisan berikutnya. Ketika *layer* pertama sudah selesai, maka harus diberi *wax* lagi dengan mencelupkannya dalam wadah pelarut dan proses ini berulang hingga pada *layer* terakhir. Mesin ini cukup besar dan dapat menghasilkan model yang besar.

## 2.7 Ink Jet Printing



Gambar 2.7 Metode ink jet printing

(Sumber : <http://www.researchgate.net/publication/261111113> )

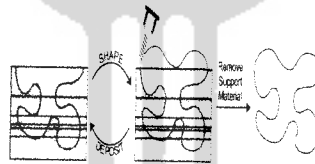
Ink Jet Printing merujuk pada seluruh kelas mesin yang menggunakan teknologi ink-jet. Yang pertama adalah 3D printing merupakan contoh dari teknologi ini. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7a, part dibangun di atas platform yang ditempatkan pada sebuah bin atau nozzel yang sarat dengan materi bubuk. Sebuah head printing ink-jet secara selektif mencetak binder fluid untuk melebur bubuk bersamaan di area yang diinginkan. Bubuk yang tidak terikat tertinggal/tersisa sebagai *support material*. Platform diturunkan, kemudian ditambahkan lebih banyak bubuk dan di angkat, dan proses itu diulang-ulang sampai layer terakhir. Sementara bubuk lebihannya atau yang tidak terikat dikeluarkan. Part yang sudah selesai dapat diinfiltrasikan dengan wax, lem CA, atau sealant lain untuk memperbaiki ketahanan dan penyelesaian permukaan. Ketebalannya adalah 0.1mm dan proses ini sangat cepat.

Manufaktur partikel balistik, seperti ditunjukkan dalam gambar 2.7b, satu melepaskan termoplastik *low-melt* untuk membuat model, sementara yang lain mencetak wax untuk membentuk *support material*. Setelah setiap *layer*, pemangkas menggiling permukaan atas untuk menyeragamkan ketinggian. Ini akan menghasilkan keakuratan yang baik.

Gambar 2.7c menggunakan teknik ink-jet yang berbeda dalam aliran konsep modeler yakni Model Maker. Mesinnya menggunakan dua ink-jet yaitu satu melepaskan termoplastik *low-melt* untuk membuat model, sementara yang lain mencetak wax untuk membentuk penopang. Setelah setiap *layer*, pemangkas menggiling permukaan atas untuk menyeragamkan ketinggian. Ini akan menghasilkan keakuratan yang baik, dan memungkinkan mesin untuk digunakan di industri perhiasan.

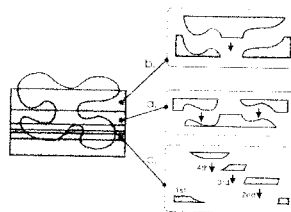
Gambar 2.7d adalah *versi 3D system* dari sistem berbasis ink-jet disebut dengan Thermo-Jet atau Multi-Jet Printer. Dengan menggunakan larik linera dari *print head* untuk menghasilkan model thermoplastic secara cepat. Jika part cukup sempit, *print head* dapat menempatkan seluruh lapisan dalam satu waktu atau sebaliknya, *print head* perlu melakukan beberapa tahap.

## 2.8 Shape Deposition Manufacturing (SDM)



Gambar 2.8 (a) SDM [ <http://www.cs.cmu.edu/~sdm/opener.htm> ]

Metoda *shape deposition manufacturing* (SDM) pada dasarnya sama dengan metoda lainnya dalam *rapid prototyping*. Metoda SDM merupakan gabungan dari proses *additive* (menggabungkan material lapis demi lapis ) dan proses *subtractive* ( pengurangan material) seperti pada gambar 2.8a.



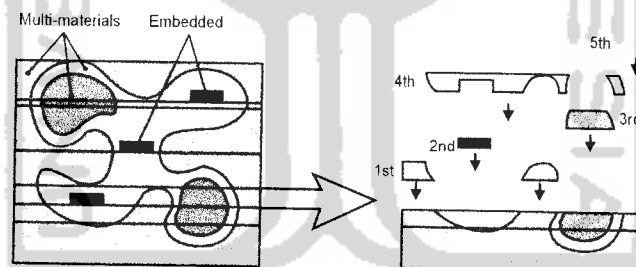
Gambar 2.8 (b) SDM [ <http://www.cs.cmu.edu/~sdm/opener.htm> ]



Pada mulanya dituang *support material*, kemudian *dimilling* dengan CNC untuk membentuk rongga cetak. Rongga cetak yang sudah terbentuk di tuang *product material* hingga penuh. Lihat gambar 2.8a. Permukaan *layer* diratakan dengan proses CNC. Setelah terbentuk *layer* pertama, dituang lagi *support material* dan *dimilling* untuk membentuk rongga cetak dalam membuat *layer* kedua. Lihat gambar 2.8b. Proses ini terus berulang hingga model yang diinginkan jadi. Untuk mempermudah dalam memahami proses ini dapat dilihat pada gambar 2.8c. Pada gambar 2.8d ditunjukkan proses pembuatan model dengan menggunakan *multi material* (material lebih dari satu jenis).



Gambar 2.8 (c) Tahapan *deposition* dan *shaping* [ <http://www.cs.cmu.edu/~sdm/opener.htm> ]



Gambar 2.8 (d) Struktur *multi material* dengan menyisipkan komponen [ <http://www.cs.cmu.edu/~sdm/opener.htm> ]

## 2.9 Layer Deposition Manufacturing Manual

*Layer Deposition manufacturing manual* merupakan metode yang prosesnya membuat membuat ketebalan material pendukung dengan tipis, metode yang sudah ada, di antaranya *Layer Object Manufacturing*, *casting* dan *machining*. Dalam membangun sebuah produk dibuat lapis demi lapis dengan pola yang berbeda-beda sesuai dengan bentuk benda yang akan di buat.

Ada dua macam bahan yang diperlukan, yaitu: *product material* dan *support material*. *Product material* merupakan bahan utama untuk pembuatan produk, sedangkan *support material* merupakan material pendukung (bukan bahan untuk membuat produk).

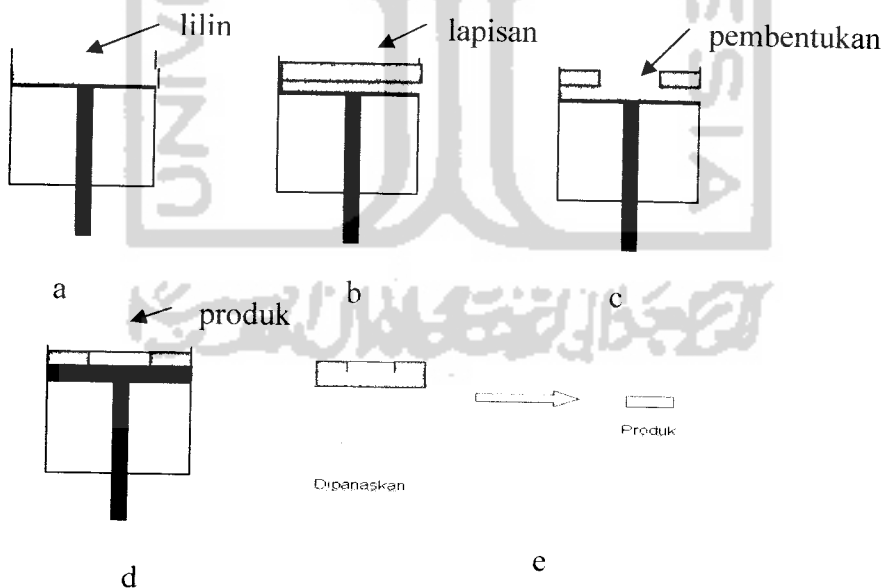
Tidak semua bahan bisa dijadikan sebagai *support material* ataupun *product material*, akan tetapi bahan tersebut harus memenuhi persyaratan sebagai berikut:

Persyaratan bahan *product material* :

1. Cair pada saat dituang tapi dapat membeku dengan cepat tanpa ada proses pemanasan.
2. Titik didih lebih tinggi dari pada *support material*.
3. Mempunyai kekuatan yang cukup mempertahankan bentuknya.
4. Memiliki ikatan antar lapisan yang kuat .

Sedangkan persyaratan bahan dapat dijadikan *support material* .

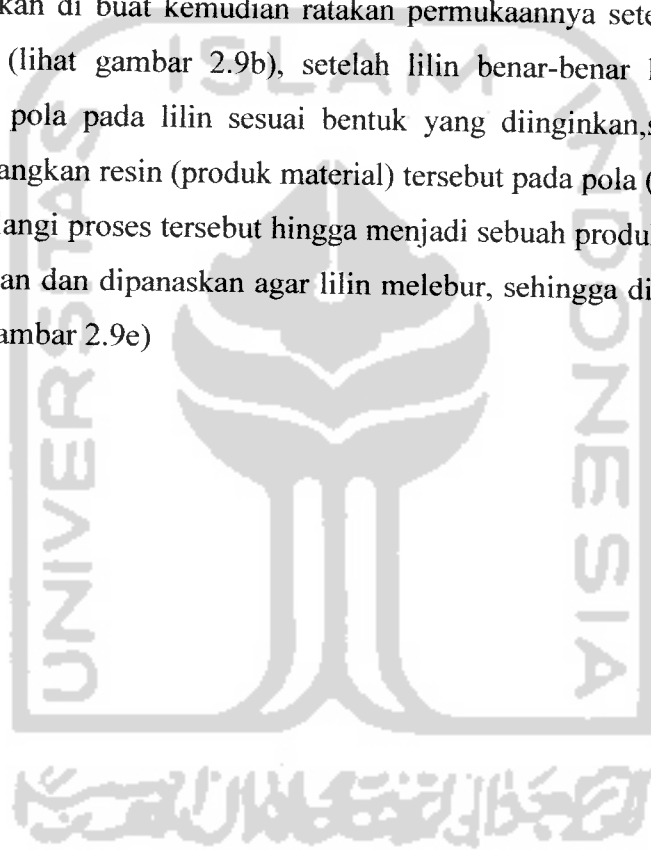
1. Dapat membeku dengan cepat tanpa melalui proses pendinginan.
2. Mempunyai titik lebur yang rendah dari pada *product materialnya*.
3. Tidak rapuh dan mempunyai kemampuan mesin yang bagus.



Gambar 2.9 Metoda LDM (a) penuangan lilin (b) peletakan model/pola (c) penuangan lilin setinggi model (d) pengisian material produk (e) pemanasan

Bahan yang sering dipakai sebagai *support material* adalah lilin, karena memenuhi persyaratan seperti yang tersebut di atas, terutama titik lebur sangat rendah dan cepat membeku setelah dileburkan. Dibandingkan dengan bahan lain, lilin yang paling bagus untuk dijadikan sebagai *support material*.

Pada mulanya, tuang lilin cair pada mesin LDM manual (lihat gambar 2.9a) sampai penuh atau luber. Tunggu sampai kering. Setelah kering ratakan permukaan lilin, kemudian tuang lilin kembali sesuai tebal produk yang akan di buat kemudian ratakan permukaannya setelah lilin tersebut kering (lihat gambar 2.9b), setelah lilin benar-benar kering kemudian bentuk pola pada lilin sesuai bentuk yang diinginkan, setelah terbentuk baru tuangkan resin (produk material) tersebut pada pola (lihat Gambar 2.9 c,d). Ulangi proses tersebut hingga menjadi sebuah produk. Setelah selesai keluarkan dan dipanaskan agar lilin melebur, sehingga didapatkan produk (lihat gambar 2.9e)

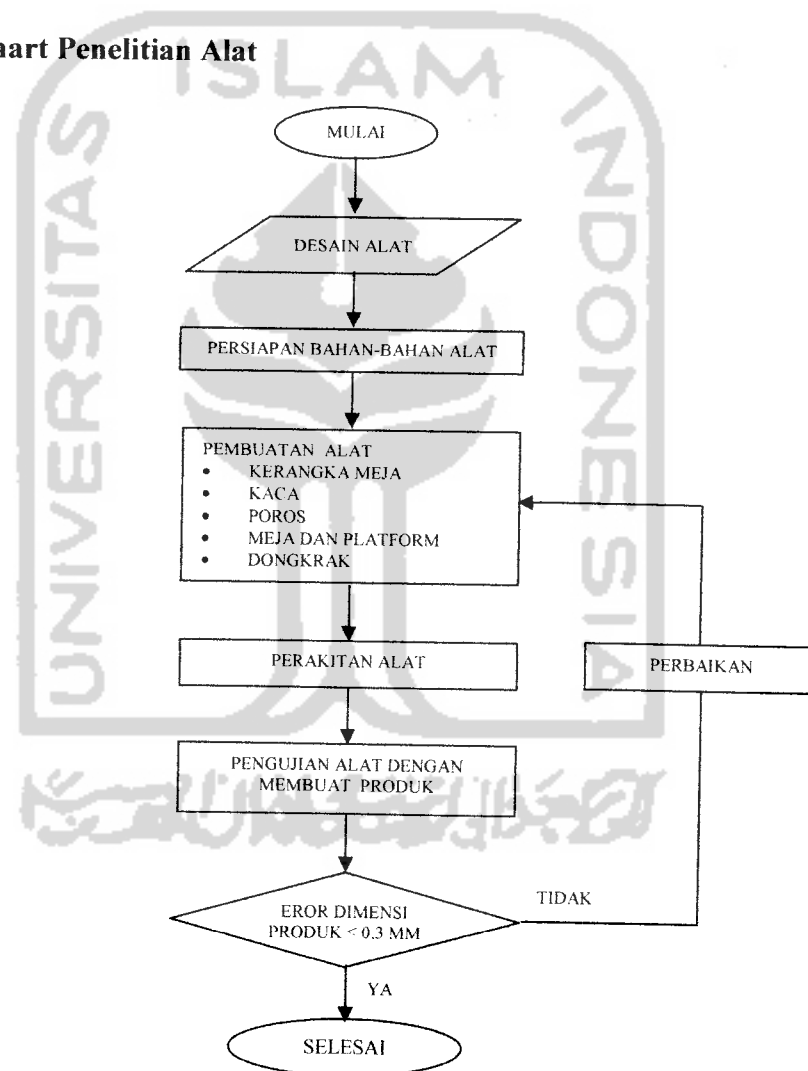


### BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

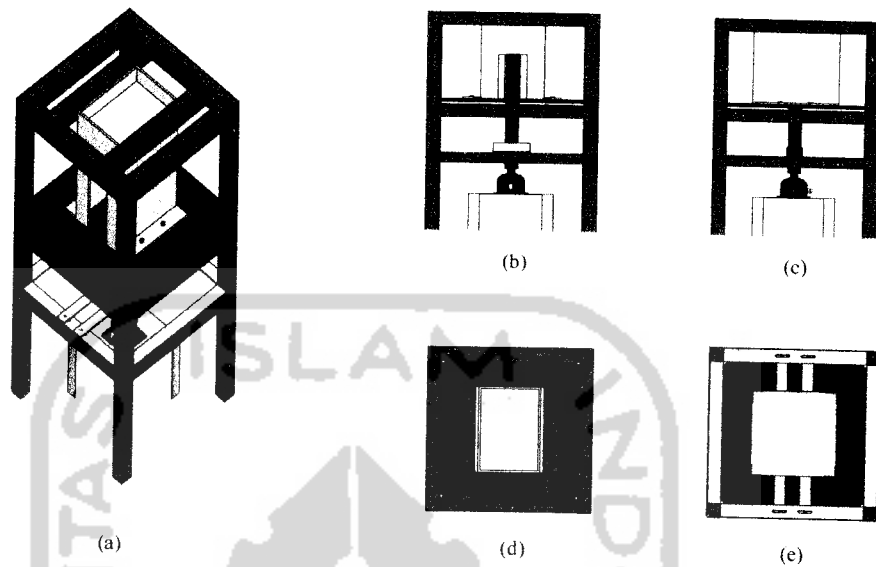
Metoda alternatif menggunakan metode *Layer Deposition Manufacturing (LDM)* manual. Proses ini membuat lapisan lilin (*support material*) dengan tipis, sehingga dapat membuat bentuk produk yang kompleks.

#### 3.1. Flowchart Penelitian Alat



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian Alat

### 3.2. Desain Alat



Gambar 3.2 Gambar (a) gambar alat, gambar (b) tampak depan, gambar (c) tampak samping, gambar (d) tampak atas, dan gambar (e) tampak bawah

Dalam pembuatan alat terlebih dahulu dibuat desain, pembuatan desain berfungsi untuk mempermudah dalam merancang sebuah alat agar alat yang dibuat tidak menyimpang dari alat yang akan dibuat. Gambar desain alat seperti pada gambar 3.2.

### 3.3. Persiapan Bahan-bahan Alat

Persiapan bahan yang akan dipakai untuk pembuatan alat *Layer Deposition Manufacturing Manual* antara lain:

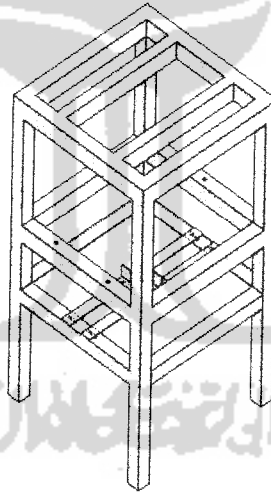
- a) Kaca
- b) Lem kaca
- c) Papan
- d) Silinder stainless

- e) Besi silinder pejal
- f) Dongkrak roda gigi
- g) Triplek
- h) Besi plat
- i) Penggaris siku
- j) Meteran
- k) Paku, dan lain-lain

### 3.4 Perancangan Alat

#### 3.4.1 Kerangka Meja

Pada bagian ini mempunyai fungsi sebagai penopang atau dudukan dari alat pembuat lapisan lilin. Kerangka dibuat dan harus mampu menopang beban, untuk itu kerangka harus kuat dan kokoh. Berikut ini gambar dari kerangka mesin.

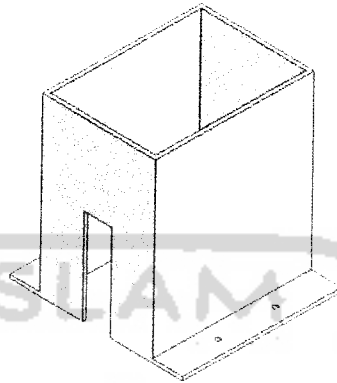


Gambar 3.4.1 Kerangka meja

#### 3.4.2 Kaca

Kaca ini berfungsi untuk tempat penuangan lilin. Penuangan lilin dilakukan secara pelan-pelan dan sedikit demi sedikit karena jika penuangannya sekaligus maka kaca tidak kuat menahan panas lilin dan kaca

akan pecah, tetapi sebelumnya kaca harus dibentuk persegi dengan ukuran A4 seperti gambar dibawah dibawah ini.



Gambar 3.4.2 Kotak Kaca

### 3.4.3 Poros Besi Pejal dan Tabung Stanless

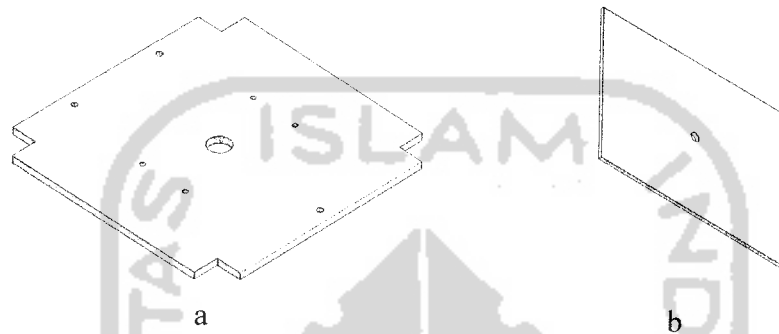
Dalam kasus ini poros berfungsi sebagai tempat dudukan *platform* dan penghubung dongkrak roda gigi, sedangkan tabung stanless berfungsi sebagai penahan poros pejal agar poros tersebut tidak goyang dan tidak berputar. Berikut gambar dari poros besi pejal dan tabung stanless ini.



Gambar 3.4.3 Poros Pejal dan tabung stanless

### 3.4.4 Base dan Platform

Meja ini berfungsi sebagai penyangga kaca dan alat kedataran sedangkan *platform* berfungsi sebagai penyangga *support material* yang dihubungkan pada dongkrak roda gigi menggunakan poros pejal. Berikut ini gambar dari *base* dan *platform*



Gambar 3.4.4 Gambar a (Base) Gambar b (Platform)

### 3.4.5 Dongkrak Roda Gigi

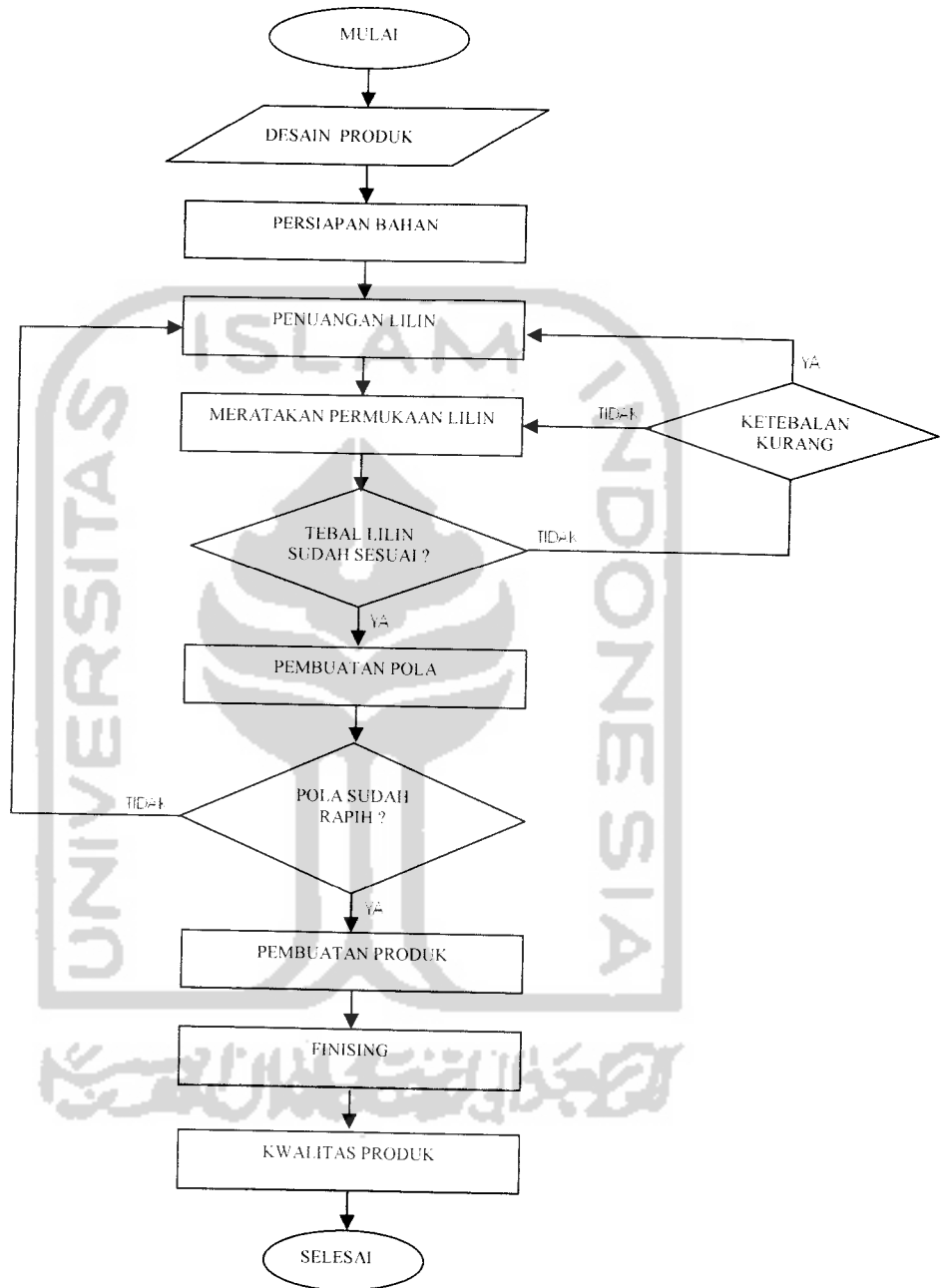
Dongkrak ini berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan *platform* secara manual. Fungsi dari dongkrak ini sangat dibutuhkan pada alat ini, selain dari ketelitian pengguna alat, ketelitian dalam menaikkan dan menurunkan *platform* yang baik dapat menghasilkan produk yang baik juga.

### 3.5 Pengujian Alat

Pengujian alat ini dilakukan untuk mengetahui berfungsi dan tidaknya alat LDM manual. Pada pengujian alat LDM ini *support material* yang digunakan adalah lilin yang telah di panaskan, sedangkan material dari produknya menggunakan resin. Alat LDM manual ini dikatakan telah berfungsi jika mampu membuat suatu produk.

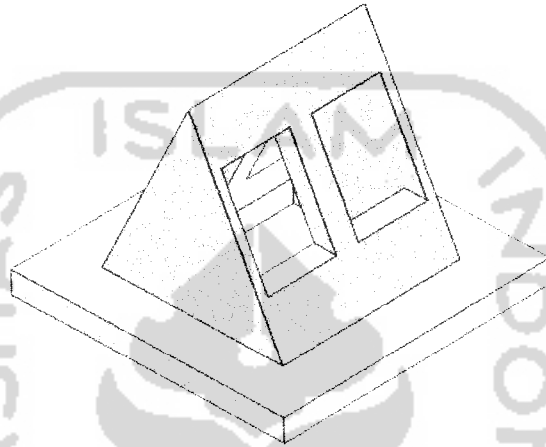


### 3.6 Flowchart Penelitian Produk



### 3.7 Desain Produk

Desain ini dimaksudkan untuk mengetahui bentuk produk yang akan dibuat dan juga berfungsi untuk membuat pola pada permukaan lilin agar produk yang dibuat sesuai dengan yang diinginkan. Berikut ini gambar dari desain produk.



Gambar 3.7 Desain Produk

### 3.8 Persiapan Bahan

#### A. Lilin

Bahan yang digunakan berupa lilin merek RRT secukupnya. Lilin ini digunakan sebagai *support material* (material pendukung). Pemilihan lilin sebagai *support material* karena lilin memiliki sifat cepat mengeras dan melebur (titik lebur rendah).

#### B. Resin

Bahan yang digunakan adalah berupa resin sebagai *product material* (untuk membuat produk). Penggunaan pembuatan produk menggunakan bahan resin karena resin mempunyai sifat cair dan cepat padat jika di campur dengan campuran katalis. Disamping itu resin tidak meleleh jika dipanaskan dengan suhu panas lilin meleleh.

### 3.9 Penuangan Lilin

Dalam penuangan lapisan lilin dibutuhkan kesabaran untuk menghasilkan permukaan lilin yang rata, sehingga ketelitian dalam penuangannya harus diperhatikan. Untuk penuangan lilin agar dapat menghasilkan permukaan lilin yang rata dan sesuai dengan ketebelan lapisan lilin yang akan dibuat, lilin harus dalam keadaan cair dan penuangannya harus pelan-pelan, karena jika terburu-buru maka lilin yang menempel pada tabung kaca akan ikut mencair dan akan mengalami kebocoran pada saat penuangannya, dan perlu diingat lilin mempunyai sifat menyusut, untuk menghindari itu maka dalam penurunan *platform* dilebihi 0,1 mm setiap penurunan 1 mm untuk perataan permukaan lilinnya.

### 3.10 Peratakan Permukaan Lilin

Proses meratakan lilin ini dilakukan ketika lilin dalam keadaan kering, meratakannya menggunakan penggaris baja. Proses ini sangat penting sekali dilakukan, selain karena lilin mempunyai sifat menyusut ketika kering permukaan lilin tidak rata juga dapat menghasilkan produk yang kurang sempurna.

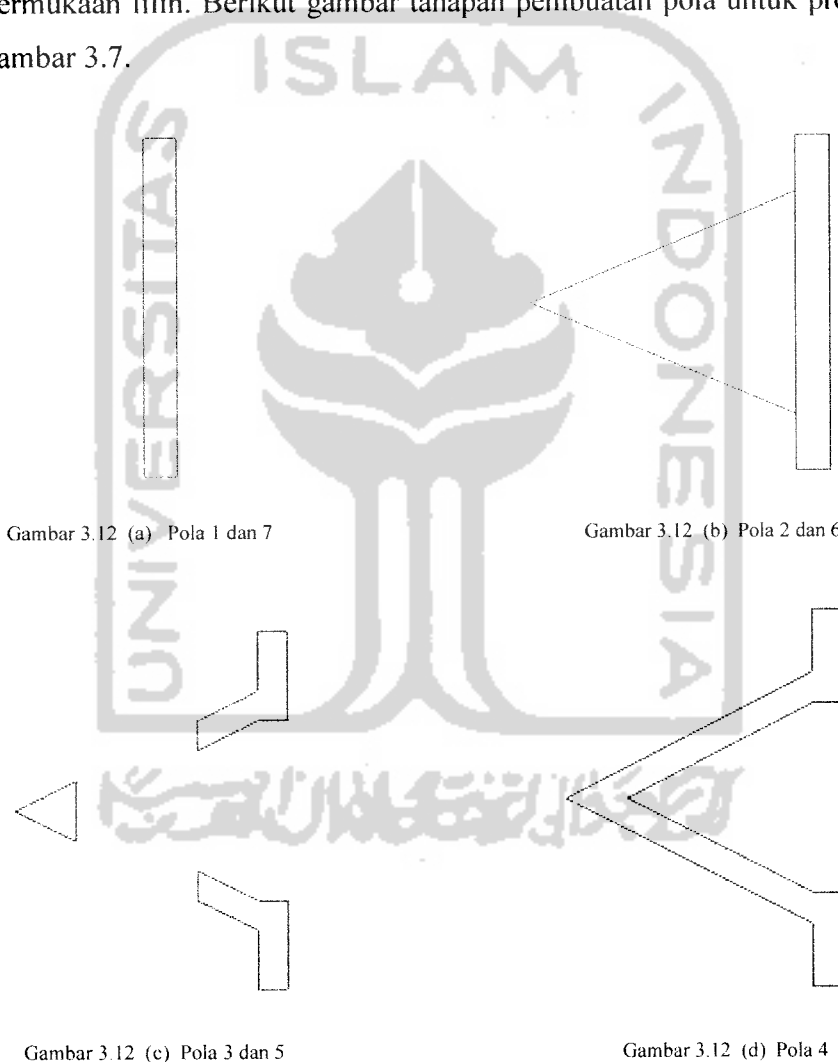
### 3.11 Pengecekan Ketebalan

Pengecekan ketebalan lapisan lilin dilakukan agar tebal dan tipisnya *support material* sesuai dengan ukuran yang diinginkan, pengecekannya menggunakan dial indikator. Proses pengecekan ini sangat penting sekali karena jika lapisan lilin terlalu tipis maka dilakukan proses penuangan lilin kembali, sedangkan jika lilin terlalu tebal maka dilakukan proses perataan permukaan.

### 3.12 Kerapian Pembuatan Pola

Proses pembuatan pola dilakukan untuk membuat produk, pembuatan pola ini dilakukan lapis demi lapis sesuai dengan kebutuhan. Lapisan untuk

pembuatan pola dibuat tergantung berapa tebal dan tipisnya produk yang akan dibuat dan sekomplek apa produk yang akan dibuat. Jika produk yang akan dibuat bentuknya kompleks maka lapisan lilin yang dibuat tipis dengan ketebalan 1mm, sedangkan jika bentuknya biasa maka tebal yang akan dibuat tergantung bentuk produk itu sendiri. Dalam pembuatan pola itu sendiri jika dilakukan kegagalan maka dilakukan proses penuangan lilin dan perataan permukaan lilin. Berikut gambar tahapan pembuatan pola untuk produk pada gambar 3.7.



Gambar 3.12 (a) Pola 1 dan 7

Gambar 3.12 (b) Pola 2 dan 6

Gambar 3.12 (c) Pola 3 dan 5

Gambar 3.12 (d) Pola 4

### 3.13 Pembuatan Produk

Pembuatan produk dilakukan lapis demi lapis dan dilakukan setelah proses pembuatan pola. Proses pembuatan produk sendiri sangat tergantung pada pembuatan pola dan penuangan material produk (resin cair), jika pola yang dibuat tidak rapih maka produk yang dihasilkan tidak rapih dan jika penuangan resin tidak rata maka produk yang dihasilkan tidak rata.

Prosedur pembuatan Produk:

1. Mempersiapkan bahan dan alat,
2. Mencairkan batangan lilin,
3. Setting alat *Layer Deposition Manufacturing Manual* hingga permukaan dalam kondisi rata,
4. Menuangkan lilin pada alat LDM, tunggu sampai lilin mengeras kemudian permukaan lilin tersebut diratakan
5. Buat pola produk yang akan dibentuk menggunakan bor listrik yang sudah dimodifikasi,
6. Menuangkan resin cair diatas permukaan lilin yang sudah dibentuk, kemudian dialasi permukaannya menggunakan akrelit atau kaca agar permukaan resin tersebut rata,
7. Setelah resin cair mengeras, angkat akrelit atau kaca kemudian rapikan sisa resin yang menempel pada produk menggunakan *cutter*,
8. Setelah mengeras tuangkan lilin kembali,
9. Mengulang proses di atas sampai menjadi produk yang diinginkan,
10. Setelah selesai, cairkan lilin dan ambil produk yang dibuat.

Alat pendukung, terdiri dari :

- Gunting/*cutter*
- Kompor
- Panci
- Amplas

- Jangka sorong
- Mistar
- Dial indikator
- Kuas

### 3.14 Proses Finising

Proses finising ini dilakukan untuk merapikan produk yang sudah jadi, proses merapikan produk ini menggunakan amplas dan *cutter*.



## BAB IV

### PROSES PEMBUATAN ALAT LDM MANUAL DAN PRODUK

#### 4.1 Proses Pembuatan Alat

##### Pembuatan Desain Alat LDM Manual

Pada proses pembuatan alat terlebih dahulu dilakukan konsultasi untuk mengetahui bagaimana bentuk, ukuran dan fungsi dari alat yang akan dibuat. Setelah mengetahui bentuk dan fungsi dari alat tersebut kemudian melakukan desain alat itu sendiri.

Untuk mempermudah dalam mendesain alat, sebelumnya dibuat terlebih dahulu desain dengan cara manual, setelah jadi kemudian pembuatannya menggunakan program inventor.

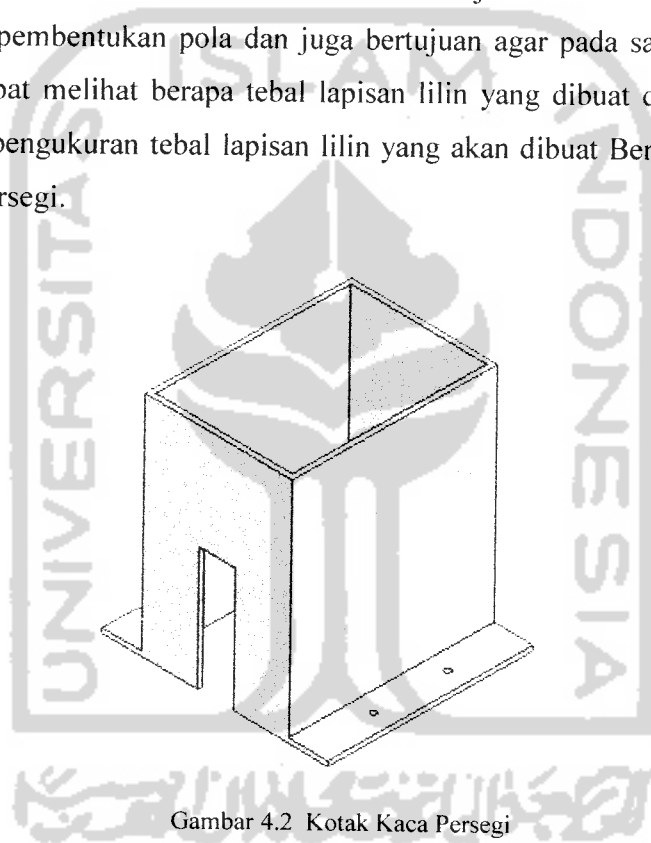
Dalam pembuatan alat LDM manual banyak ditemukan kesulitan-kesulitan untuk mendapatkan alat yang sesuai dengan kriteria-kriteria dari alat itu sendiri. Berikut adalah desain dari alat LDM manual.



Gambar 4.1 Alat LDM manual

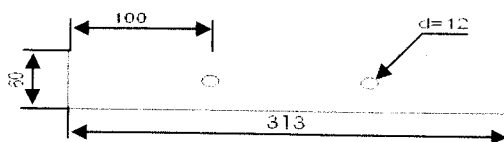
#### 4.1.2 Pembuatan Kotak kaca persegi

Cara pembuatan alat LDM manual ini yang harus diperhatikan terlebih dahulu adalah pada pembuatan kotak kaca yang berbentuk persegi. Kotak kaca ini di buat sama dengan ukuran kertas A4 yaitu untuk bagian dalamnya 210 mm x 297 mm dengan tebal kaca 8 mm yang bertujuan agar kaca tidak mudah pecah jika terkena panas dalam suhu lilin mendidih. Pembuatan kotak kaca dengan ukuran 210 mm x 297 mm bertujuan untuk mempermudah dalam proses pembentukan pola dan juga bertujuan agar pada saat penuangan lilin cair dapat melihat berapa tebal lapisan lilin yang dibuat dan mempermudah dalam pengukuran tebal lapisan lilin yang akan dibuat Berikut gambar kotak kaca persegi.



Gambar 4.2 Kotak Kaca Persegi

Pada gambar 4.1.2 untuk lubang baut menggunakan diameter 12 mm. Berikut gambar untuk dudukan baut.

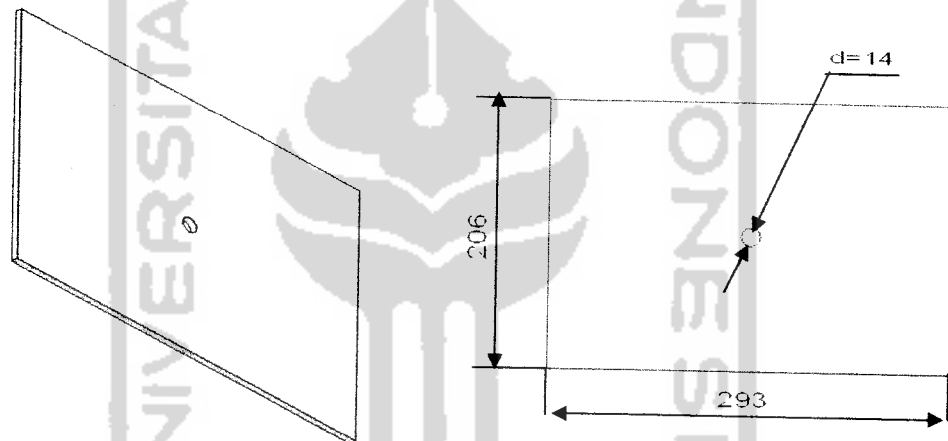


Gambar 4.3 Dudukan Baut Kotak Kaca Persegi



#### 4.1.3 Pembuatan Platform

Setelah pembuatan kaca selesai kemudian pembuatan Platform. Platform ini terbuat dari papan yang ditengahnya dibuatkan lubang dengan diameter 14 mm untuk dudukan baut dan dirangkai dengan dongkrak roda gigi menggunakan besi silinder yang berfungsi sebagai penyangga suport material. Platform ini ukurannya lebih kecil 4 mm dari luas dalam kotak kaca persegi, yaitu 206 mm x 293 mm yang bertujuan agar mempermudah pada saat platform naik turun, dan platform ini tidak boleh terlalu longgar karena akan mengakibatkan kebocoran pada saat penuangan lilin cair. Berikut gambar dari platform.

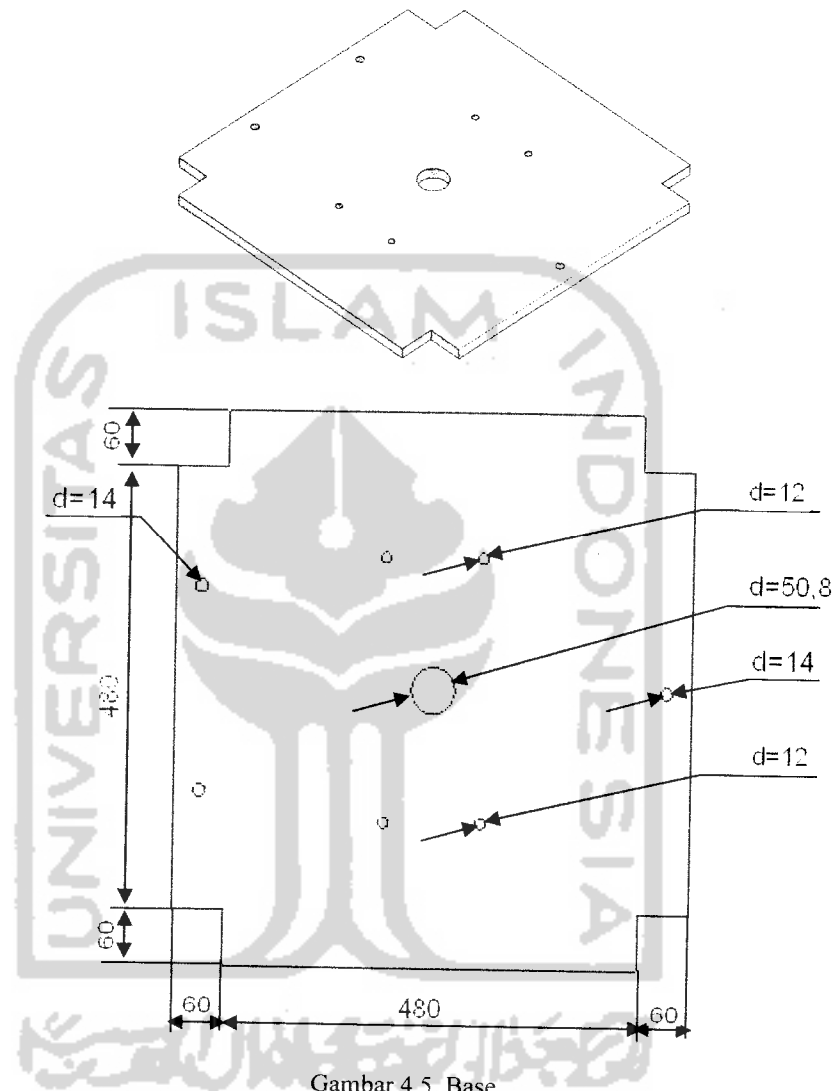


Gambar 4.4 Platform

#### 4.1.4 Pembuatan Base

Base ini berfungsi untuk tempat dudukan meja kaca persegi, selain itu juga base ini berfungsi sebagai alat kedataran. Base ini terbuat dari triplek yang dilapisi fiber yang di bentuk sesuai dengan ukuran meja alat LDM manual dan ditengah-tengahnya dibuatkan lubang dengan ukuran diameter 50,8 mm yang berfungsi untuk tempat tabung stainless yang berisi poros besi

pejal yang dihubungkan pada platform kedongkrak roda gigi untuk menaik dan menurunkan platform tersebut. Berikut gambar dari base.

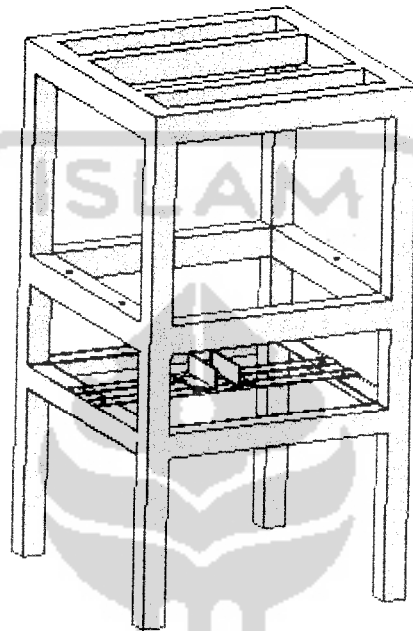


Gambar 4.5 Base

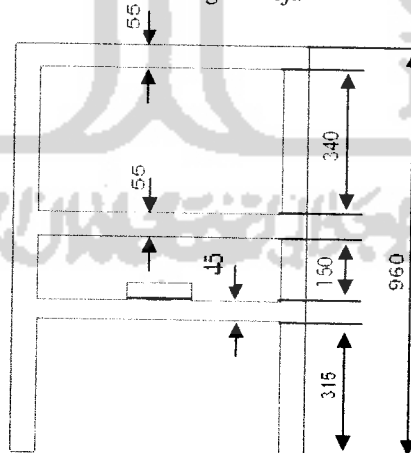
#### 4.1.5 Pembuatan Kerangka Meja

Pada tahapan ini adalah pembuatan meja. Meja ini berfungsi sebagai penopang atau dudukan yang terbuat dari kayu dengan ketebalan kayu 55 mm x 50 mm dan panjang 600 mm, selain itu meja ini diperkuat dengan plat siku agar kerangka meja ini kuat dan kokoh.

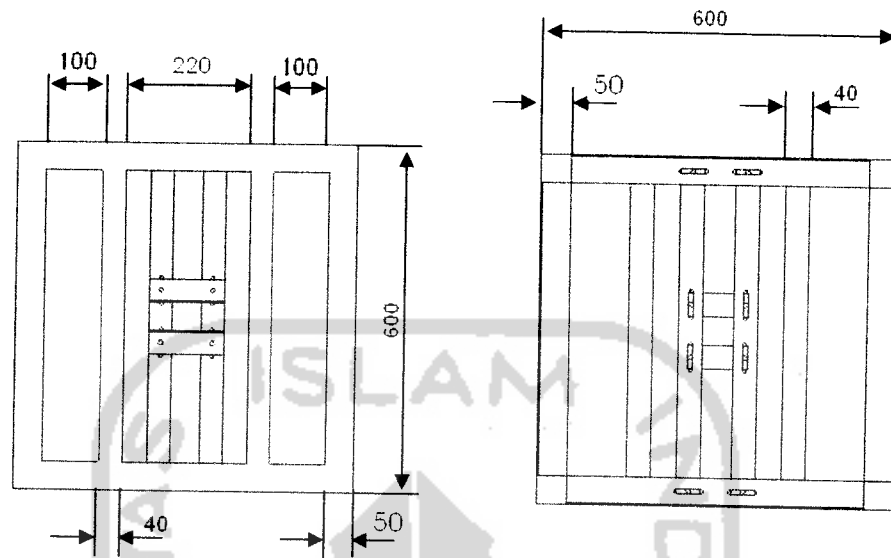
Untuk melengkapi kerangka, meja ini dibuatkan plat penjepit yang diatur oleh baut secara manual yang berfungsi sebagai penjepit tabung stainless agar pada saat platform naik turun tidak goyang dan juga dibuatkan lubang kedataran. Berikut ini gambar dari kerangka meja alat.



Gambar 4.6 Kerangka Meja

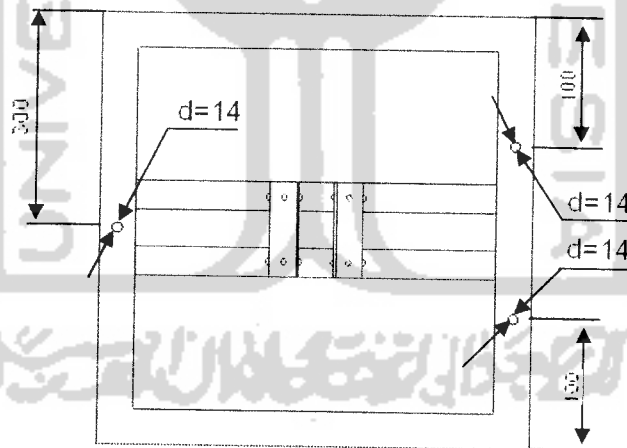


Gambar 4.7 Tampak samping Kerangka Meja

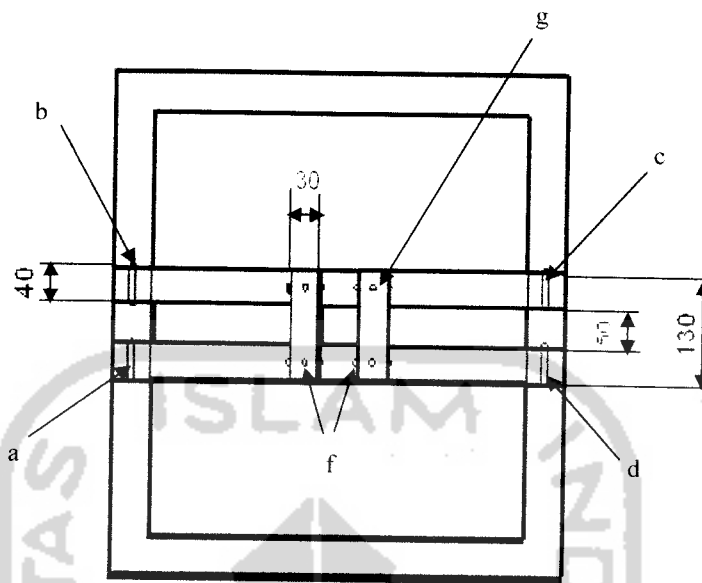


Gambar 4.8  
Tampak Atas Kerangka Meja

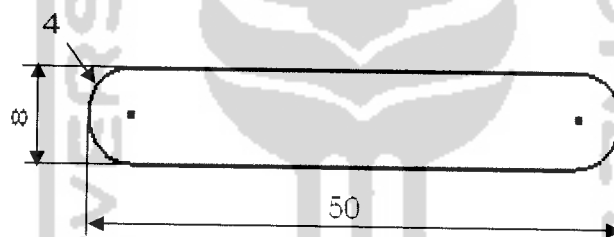
Gambar 4.9  
Tampak Bawah Kerangka Meja



Gambar 4.10  
Tampak Atas Kerangka Meja



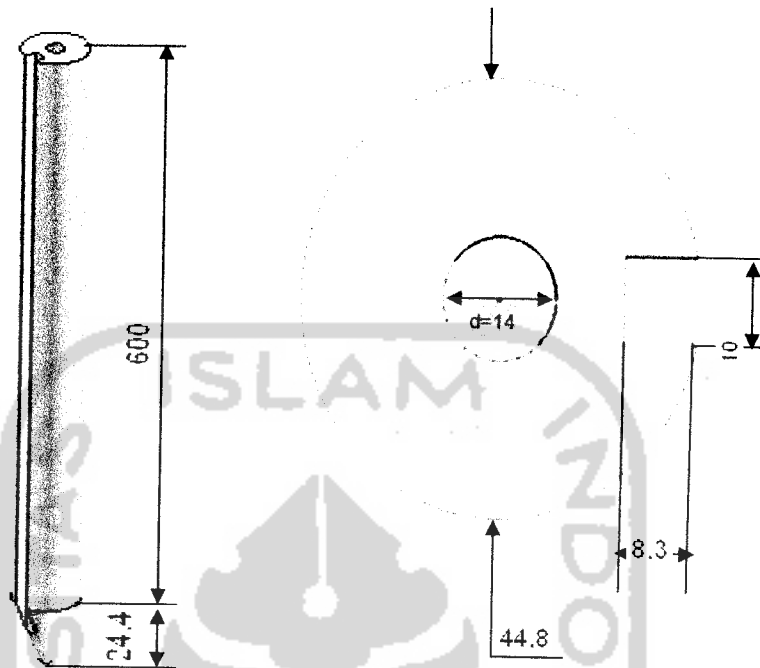
Gambar 4.11 Tampak Atas Kerangka Meja



Gambar 4.12 Lubang a, b, c, d, e, f, g

#### 4.1.6 Pembuatan Poros Besi Pejal

Poros besi pejal ini dibuat sebagai dudukan platform yang berfungsi sebagai pemberat agar pada saat platform diturunkan menggunakan dongkrak roda gigi platform ikut turun, disamping itu juga poros besi pejal ini dibuat krucut pada bagian bawahnya untuk dudukan bola bantalan agar pada saat penurunannya poros ini tetap dalam keadaan stabil. Poros ini juga dilengkapi dengan pasak supaya tidak berputar. Berikut gambar poros besi pejal dan bola bantalannya.



Gambar 4.13 Poros Besi Pejal

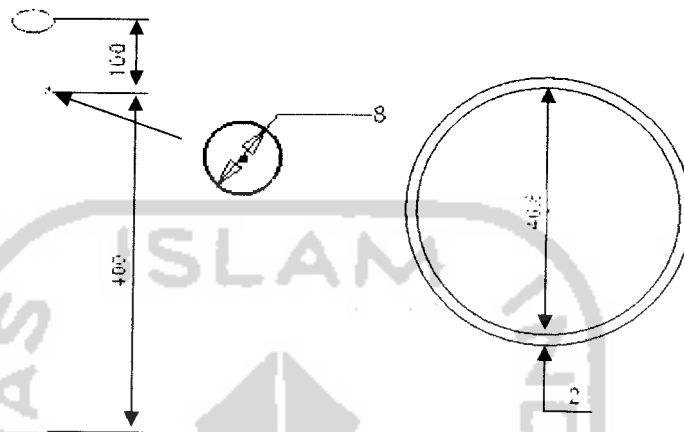


Gambar 4.14 Bola Bantalan

#### 4.1.7 Pembuatan Tabung Stainless

Tabung Stainless ini berfungsi sebagai pemegang atau tempat poros besi pejal agar poros pejal tidak lepas dan tetap stabil pada saat naik turun. Tabung stainless ini juga dilengkapi dengan baut yang bertujuan sebagai tempat pasak

poros besi pejal agar poros besi pejal tersebut tidak berputar. Berikut gambar poros stainless.



Gambar 4.15 Tabung Stainless

#### 4.1.8 Dongkrak Roda Gigi

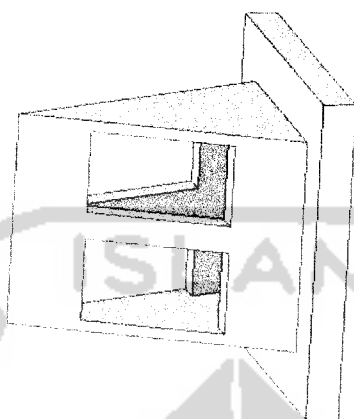
Dongkrak roda gigi ini berfungsi untuk menaik dan menurunkan platform yang dihubungkan melalui poros besi pejal. Dongkrak roda gigi ini cocok untuk alat LDM manual ini karena dalam proses menurunkan dan menaikannya slalu stabil, sedangkan jika menggunakan dongkrak hidrolik untuk menurunkannya sulit dan jika menggunakan dongkrak jembatan atau dongkrak ulir pada proses penurunannya lebih cenderung goyang. Untuk Proses LDM manual ini yang dibutuhkan hanya proses turunnya yang stabil.

## 4.2 Proses Pembuatan Produk

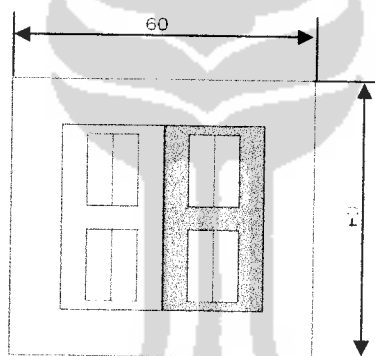
### 4.2.1 Pembuatan Desain Produk

Pada pembuatan produk yang pertama harus dilakukan adalah pembuatan desain produk yang akan dibuat. Fungsi dari pembuatan desain itu sendiri untuk mempermudah dalam proses membuat pola pada lilin agar pola yang

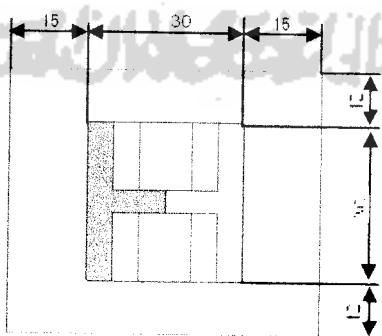
dibuat lebih rapih dan lebih cepat dalam pembuatan pola itu sendiri. Berikut desain produk yang akan dibuat.



Gambar 4.16 Desain Produk

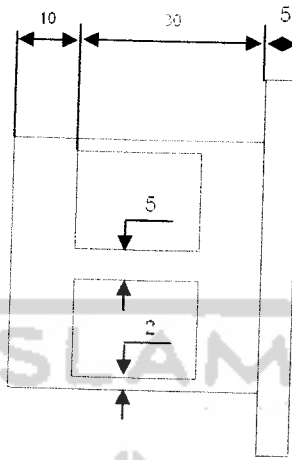


Gambar 4.17 Desain Produk bagian atas

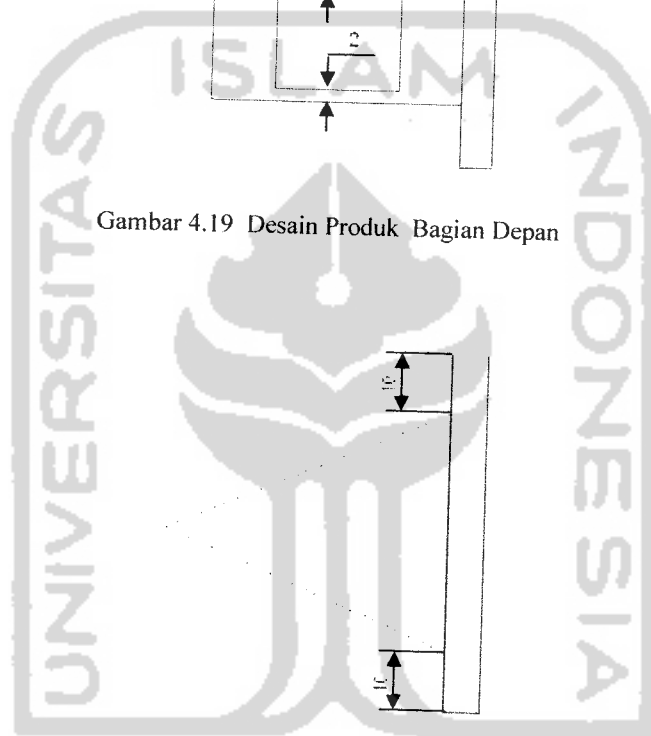


Gambar 4.18 Desain Produk Bagian Bawah





Gambar 4.19 Desain Produk Bagian Depan



Gambar 4.20 Desain Produk Bagian Samping

#### 4.2.2 Tahapan Pembuatan Produk

Dalam tahapan pembuatan produk ini yang pertama harus diperhatikan adalah alat. Alat yang digunakan pada pembuatan produk ini adalah LDM manual yang dapat membuat lapisan lilin dengan ketebalan 1 mm. Berikut gambar alat LDM manual yang dapat membuat lapisan lilin dengan ketebalan

1mm dan alat LDM manual yang tidak dapat membuat lapisan lilin dengan ketebalan 1 mm.



Gambar 4.21 Alat LDM manual yang tidak dapat membuat lapisan dengan tipis



Gambar 4.22 Alat LDM manual yang dapat membuat lapisan dengan tipis

Keuntungan dari alat *LDM* manual ini:

1. Pengoperasian mudah memungkinkan setiap orang dapat menggunakan tanpa pelatihan yang lama.
2. Bentuk sederhana
3. Dapat di buat sendiri
4. Dapat membuat lapisan lilin dengan ketebalan 1mm
5. Dapat membuat produk yang komplek
6. Pembuatan produk tidak lepas dari alat *LDM*

Kerugian dari alat *LDM* manual ini:

1. Pembuatan lapisan lilin dengan ketebalan lebih dari 20 mm membutuhkan waktu yang lama.
2. Tidak dapat membuat lapisan lilin lebih dari satu lapisan dalam sekali proses

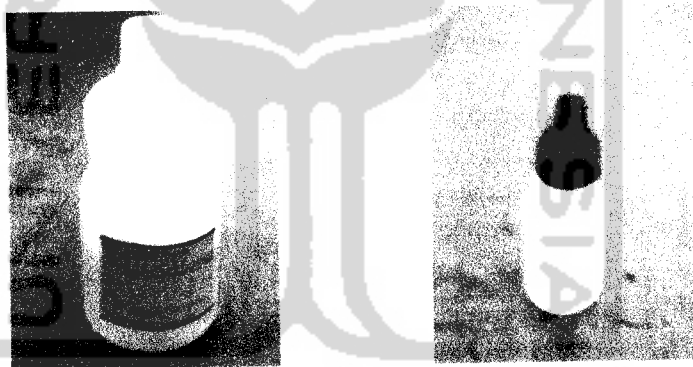
#### 4.2.2.1 Persiapan Bahan

##### A. Lilin

Bahan yang digunakan berupa campuran lilin parafin padat dan stearin merek RRT secukupnya. Lilin ini digunakan sebagai *support material* (material pendukung). Pemilihan lilin sebagai *support material* karena lilin memiliki sifat cepat mengeras dan melebur (titik lebur rendah).

##### B. Resin

Bahan yang digunakan adalah berupa resin sebagai *product material* (untuk membuat produk). Penggunaan pembuatan produk menggunakan bahan resin karena resin mempunyai sifat cair dan cepat padat jika di campur dengan campuran katalis. Disamping itu resin tidak meleleh jika dipanaskan dengan suhu panas lilin meleleh. Berikut gambar resin dan katalis



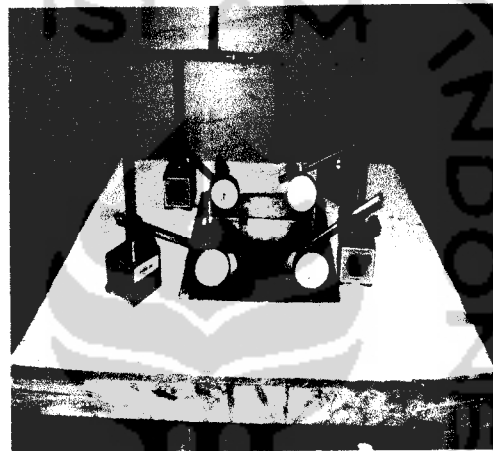
Gambar 4.23 Resin dan Katalis

#### 4.2.2.2 Pembuatan Support Material

Dalam pembuatan support material membutuhkan kesabaran dalam penuangannya, jika terburu-buru support material yang dituangkan dalam keadaan panas akan mengakibatkan kotak kaca pecah, selain itu juga dapat mengakibatkan kebocoran pada kotak kaca tersebut karena kotak kaca terdapat platform yang berfungsi sebagai penyangga support material yang

dipasang longgar untuk mempermudah dalam proses naik turunnya platform tersebut.

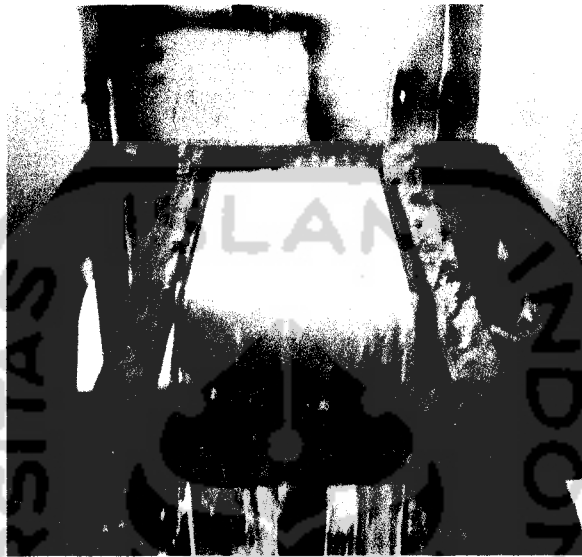
Sebelum penuangan *support material*, *platform* diturunkan sesuai dengan kebutuhan tebal *support material* yang akan dibuat, pengukuran *platform* pada saat penurunan menggunakan 4 dial indicator dan *platform* dalam keadaan rata. Berikut gambar pengukuran *platform* pada saat diturunkan.



Gambar 4.24 Platform pada saat diturunkan

Setelah platform diturunkan sesuai dengan ukuran yang diinginkan kemudian proses penuangan *support material*. Bahan *support material* adalah campuran lilin parafin padat dan stearin yang dicairkan menggunakan kompor dan panci. Sebelum penuangan dilakukan pengolesan vaseline putih pada sudut-sudut alat LDM manual untuk mencegah kebocoran dan juga mencegah lilin merekat pada alat pencetak layer. Penuangan dilakukan sedikit demi sedikit ini mengurangi resiko kebocoran pada alat pencetak support material dan mengantisipasi kotak kaca pecah. Setelah *support material* yang menggunakan bahan lilin jadi kemudian proses meratakan permukaan menggunakan penggaris mistar baja yang bertujuan agar pembuatan pola lebih mudah dan hasil yang

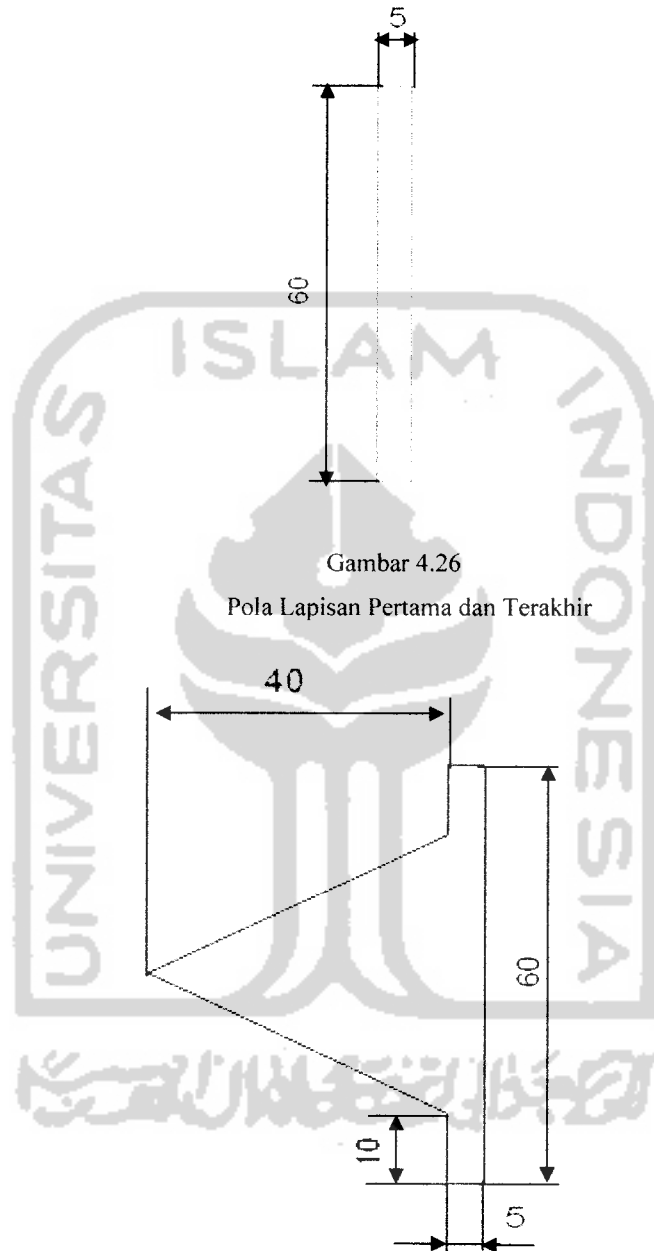
didapat lebih bagus dan sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Berikut gambar *support material* yang sudah diratakan.



Gambar 4.25 Support Material yang telah rata

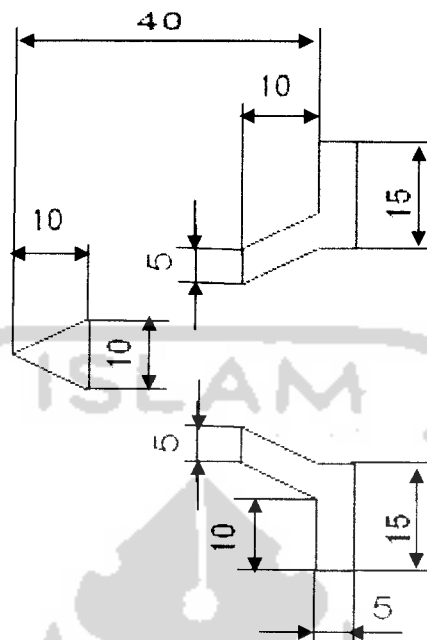
#### 4.2.2.3 Pembuatan Pola dan Produk

Proses pembuatan pola dilakukan untuk membuat sebuah produk, pembuatan pola ini dilakukan lapis demi lapis sesuai dengan kebutuhan. Lapisan untuk pembuatan pola dibuat tergantung dari berapa tebal dan tipisnya produk dan sekomplek apa produk yang akan dibuat. Tahapan ini sangat penting karena kerapihan sebuah produk dilihat dari kerapihan pembuatan pola. Dalam pembuatan pola dibutuhkan kesabaran untuk menghasilkan sebuah pola yang rapih. Pemakanan pola ini menggunakan bor listrik (*Elektrik Drill*) yang sudah didesain agar dapat memotong lapisan lilin sesuai dengan ketebalan yang dibutuhkan. Berikut gambar tahapan pembuatan pola.

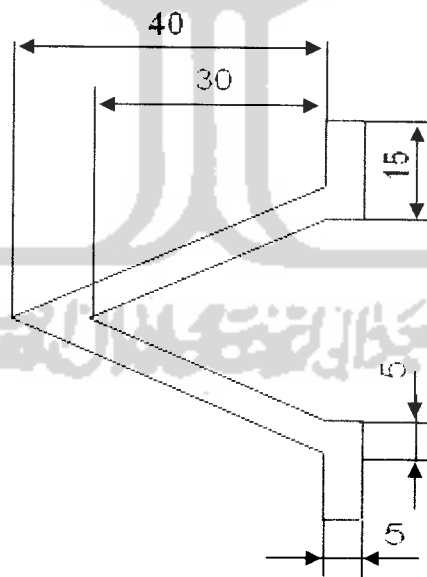


Gambar 4.26  
Pola Lapisan Pertama dan Terakhir

Gambar 4.27  
Pola Lapisan kedua dan keenam



Gambar 4.28  
Pola Lapisan ketiga dan kelima



Gambar 4.29  
Pola Lapisan keempat

Pada pembuatan produk menggunakan alat LDM manual yang pertama harus diperhatikan adalah mengenali bentuk produk yang akan dibuat dan membuat desain bagian-bagian pada tiap lapisan sesuai dengan bentuk produk yang akan dibuat.

Untuk penelitian ini produk yang akan dibuat berupa *membran* motor RX king (lihat gambar 4.16), pada pembuatan desain membran, dibuat empat bagian bentuk desain untuk tiap lapisan. Untuk lapisan pertama dan dapat terlihat pada gambar 4.26. Pada bagian ini dibuat *support material* berupa lilin dengan ketebalan 10 mm kemudian diratakan permukaannya, setelah permukaan rata kemudian pembuatan polanya menggunakan bor listrik (*Electric Drill*) yang sudah didesain agar dapat diatur tebal pemakanannya, pemakanan pada pembuatan pola ini bor listrik diatur agar tetap stabil untuk pemakanan dengan ketebalan 10 mm.

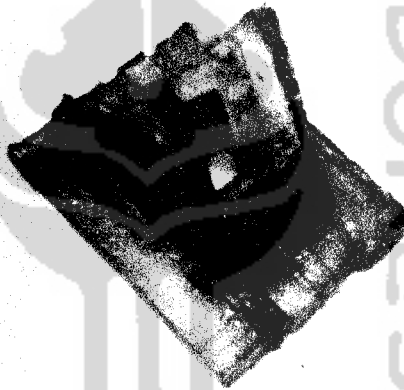
Setelah pembuatan pola, kemudian pola tersebut diisi menggunakan resin untuk bahan produknya. Pengisian resin pada pola dilakukan sedikit demi sedikit untuk mencegah terjadinya luberan resin yang terlalu banyak pada permukaan lilin. Perlu diingat pada pencampuran resin dan katalis, katalis tidak boleh terlalu banyak karena akan mengakibatkan resin tersebut panas pada saat proses pengeringan. Jika resin panas maka lilin sebagai *support material* akan mencair dan akan merubah bentuk pola tersebut.

Setelah lapisan pertama terbentuk, kemudian dilakukan penuangan lilin kembali untuk pembuatan pola tahap kedua. Sebelum penuangan lilin platform diatur terlebih dahulu untuk mengatur ketebalan lilin yang akan dibuat menggunakan alat ukur dial indicator, pada tahap kedua ini lapisan lilin dibuat dengan ketebalan 2 mm. Setelah lapisan lilin dibuat kemudian pembentukan pola, untuk lapisan tahapan kedua ini pembuatan pola harus hati-hati, karena pada tahapan ini pembentukan pola harus disesuaikan dengan bentuk pola tahapan pertama. Untuk menghindari berubahnya



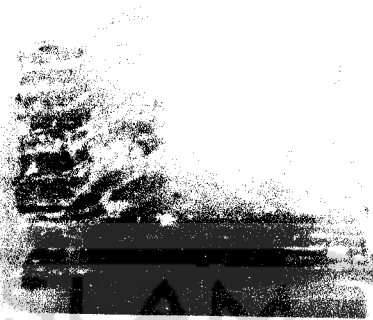
bentuk tahapan pertama dan bentuk tahapan kedua, desain yang dibuat diprint pada kertas A4 yang sesuai dengan ukuran kotak kaca agar pada pembuatan pola tidak bergerak dan untuk meyakinkannya lagi desain yang diprint pada kertas A4 tersebut ditusuk menggunakan jarum pentol pada saat desain tersebut ditempel diatas permukaan lapisan lilin. Desain tahapan kedua lihat gambar 4.27.

Setelah pola pada tahapan kedua jadi barulah penuangan resin, proses ini terus dilakukan sampai terbentuk sebuah produk. Lihat hasil-hasil produk yang dibuat pada gambar 4.30.



Gambar 4.30  
Hasil Pembuatan Produk 1

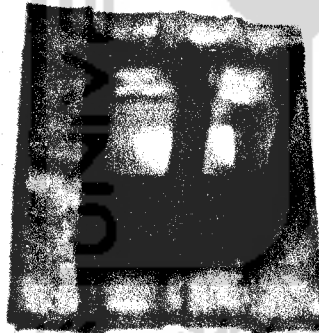
Pada hasil pembuatan produk gambar 4.30 terlihat akibat kurang ketelitian dari tebal pembuatan lilin, sehingga produk yang dibuat tidak sesuai dengan desain yang dibuat.



Gambar 4.31

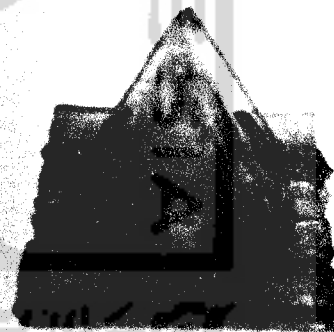
Hasil Pembuatan Produk 2

Pada hasil pembuatan produk gambar 4.31 terlihat akibat kurang ketelitian dari pembuatan pola pada permukaan lilin, sehingga produk yang dibuat tidak sesuai dengan desain yang dibuat.



Gambar 4.32

Hasil Pembuatan Produk 3



Gambar 4.33

Hasil Pembuatan Produk 3 Tampak Samping



Gambar 4.34

Gambar 4.35

Hasil Pembuatan Produk 3 Tampak Bawah

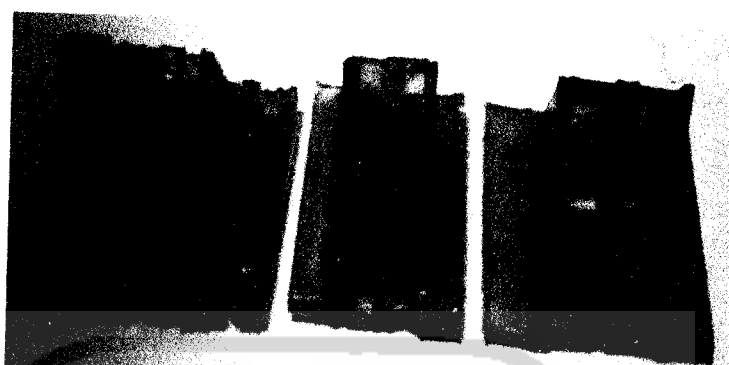
Hasil Pembuatan Produk 3 Tampak Atas

Pada gambar produk 3 dapat dilihat hasilnya lebih baik dari hasil produk 1 dan 2. Untuk mengetahui lebih jelas perbandingan hasil dari pembuatan produk 1, 2 dan 3 lihat gambar dibawah ini:



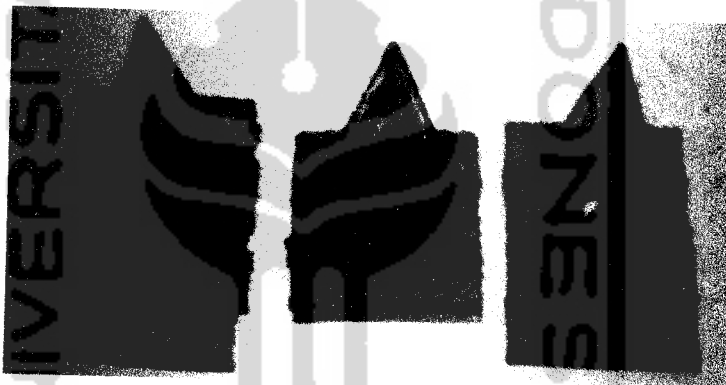
Gambar 4.36

Hasil Pembuatan Produk 1, 2 dan 3



Gambar 4.37

Hasil Pembuatan Produk 1, 2 dan 3 Tampak Depan



Gambar 4.38

Hasil Pembuatan Produk 1, 2 dan 3 Tampak Samping



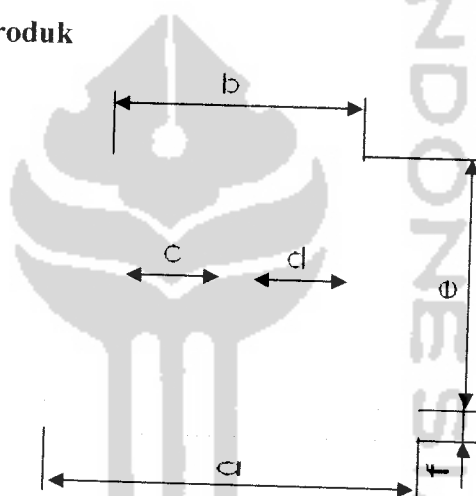
Gambar 4.39

Hasil Pembuatan Produk 1, 2 dan 3 Tampak Atas



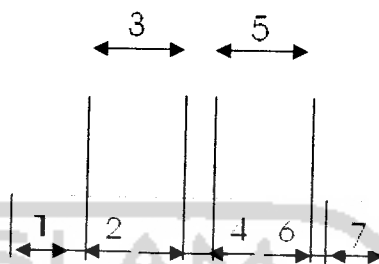
Gambar 4.40  
Hasil Pembuatan Produk 1, 2 dan 3 Tampak Bawah

#### 4.2.2.4 Hasil analisa Produk



Gambar 4.41  
Ukuran Produk Keseluruhan

Ukuran	Desain (mm)	Hasil Produk (mm)	Selisih (mm)
a	60	64,95	4,95
b	40	42,2	2,2
c	15,5	16,15	1,1
d	15,5	16,45	1,4
e	40	44,8	4,8
f	5	5,95	0,95



Gambar 4.42

Ukuran Produk Pada Setiap Layer

Layer	Desain (mm)	Hasil Produk (mm)	Selisih (mm)
1	10	11,2	1,2
2	2	2,1	1,1
3	15,5	16,15	1,1
4	5	5,35	0,35
5	15,5	16,45	1,4
6	2	2,15	0,15
7	10	11,55	1,55

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian ini telah berhasil dibuat alat *Layer Deposition Manufacturing* manual yang dapat membuat lapisan lilin dengan ketebalan 1 mm. Penggunaan alat ini menggunakan dongkrak roda gigi untuk pengoperasiannya. Dengan kemampuan membuat lapisan lilin dengan ketebalan 1 mm, alat ini dapat membuat produk dengan bentuk kompleks. Pembentukan pola pada alat ini menggunakan bor listrik dengan merk CADIK 1901 (input 220v/50Hz P.Max: 40W).

Dalam pengujian alat LDM manual ini, untuk ketebalan lilin lebih dari 20 mm membutuhkan 6 jam untuk proses pengeringan dan dengan ketebalan 20 mm penyusutannya lebih besar. Pengujian alat ini membuat membran motor RX King dengan lama proses pembuatan 7 hari, lama dan cepatnya proses pembuatan produk menggunakan alat ini tergantung banyaknya lapisan lilin dan rumitnya pola yang akan dibuat.

#### 5.2. Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka ada beberapa saran, yaitu :

1. Operator harus memiliki keterampilan dan kesabaran pada saat pembuatan lapisan lilin dan pola.
2. Perlu diperhatikan faktor penyusutan, kerataan permukaan lilin dalam pembuatan produk.

## DAFTAR PUSTAKA

**Griffith. M.** 1998. *Rapid Prototyping Technologies*. Rapid Prototyping

<http://www.ngp.secd.edu/lapman/rapid/rapid.html>

**Prinz, F. B.** 1994. *Novel Applications and Implementations of Shape Deposition*

*Manufacturing*. Mechanical Engineering, Carnegie Mellon University

<http://www.secmu.edu/~sdm/rapid.html>

**Rochim. T, Wirjomarto. S. H.,** 1985. “*Spesifikasi Geometris Metrologi Industri*

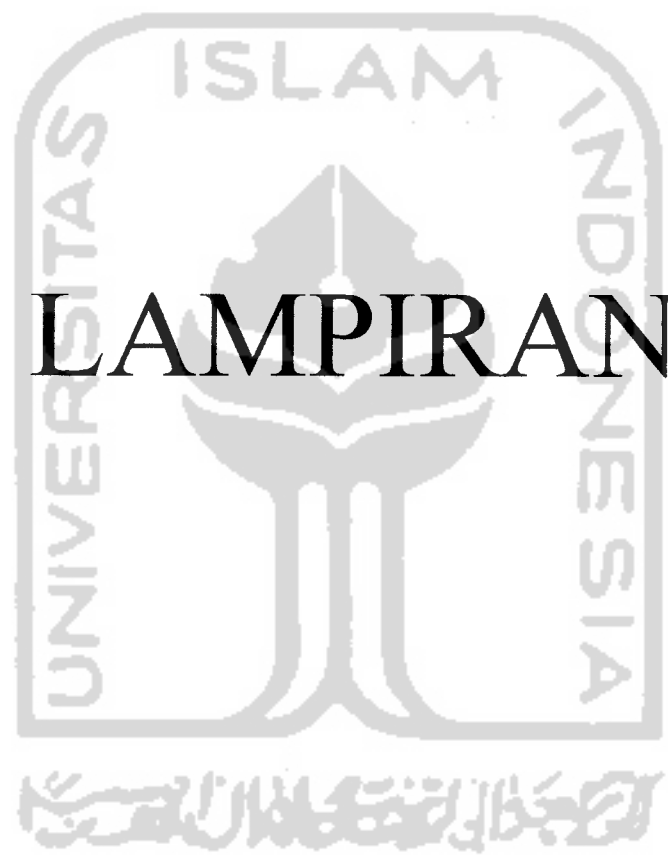
*Dan Kontrol Kualitas*”, Laboratoria Teknik Produksi Dan Metrologi Industri ITB.

**Weiss. L. E.** 1997. *Panel Report on Rapid Prototyping in Europe and Japan*.

JTEC/WTEC SFF Processes.

<http://www.secmu.edu/~sdm/rapid.html>





# LAMPIRAN

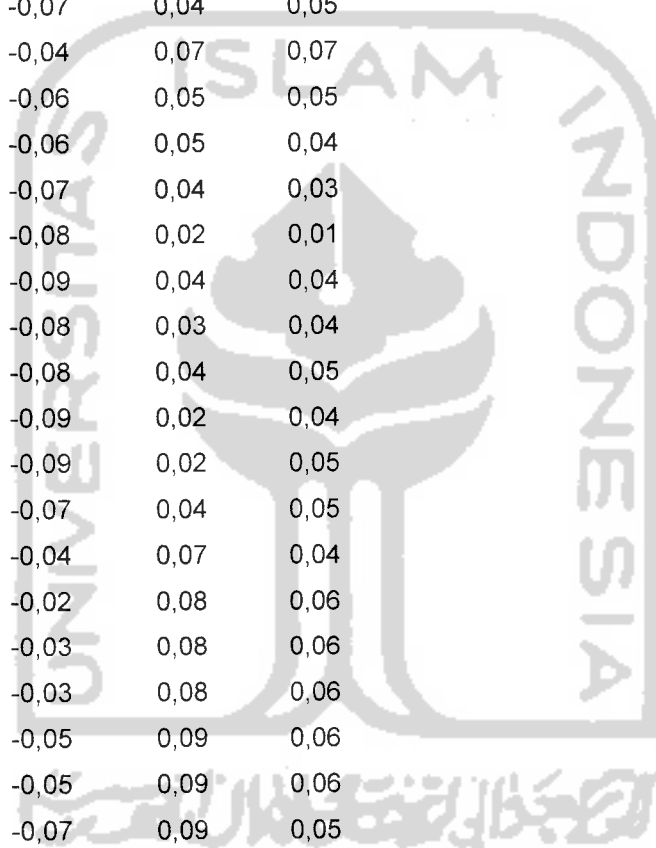
## Data Penurunan Platform

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>
1,00	1,01	1,04	1,03
2,00	2,01	2,04	2,03
3,00	3,00	3,04	3,03
4,00	3,99	4,04	4,06
5,00	5,00	5,04	5,07
6,00	6,00	6,04	6,07
7,00	6,99	7,04	7,07
8,00	7,99	8,04	8,09
9,00	8,98	9,04	9,09
10,00	9,98	10,03	10,09
11,00	10,98	11,03	11,09
12,00	11,97	12,02	12,09
13,00	12,97	13,02	13,08
14,00	13,98	14,03	14,09
15,00	14,98	15,06	15,10
16,00	15,98	16,06	16,10
17,00	16,98	17,06	17,10
18,00	17,98	18,07	18,08
19,00	18,96	19,07	19,09
20,00	19,96	20,07	20,09
21,00	20,96	21,07	21,09
22,00	21,95	22,07	22,10
23,00	22,95	23,07	23,09
24,00	23,94	24,06	24,08
25,00	24,94	25,05	25,07
26,00	25,93	26,04	26,05
27,00	26,96	27,07	27,07
28,00	27,94	28,05	28,05
29,00	28,94	29,05	29,04
30,00	29,93	30,04	30,03
31,00	30,92	31,02	31,01
32,00	31,91	32,04	32,04
33,00	32,92	33,03	33,04

34,00	33,92	34,04	34,05
35,00	34,91	35,02	35,04
36,00	35,91	36,02	36,05
37,00	36,93	37,04	37,05
38,00	37,96	38,07	38,04
39,00	38,98	39,08	39,06
40,00	39,97	40,08	40,06
41,00	40,97	41,08	41,06
42,00	41,95	42,09	42,06
43,00	42,95	43,09	43,06
44,00	43,93	44,09	44,05
45,00	44,93	45,09	45,05
46,00	45,96	46,10	46,06
47,00	46,95	47,09	47,04
48,00	47,96	48,08	48,05
49,00	48,95	49,07	49,05
50,00	49,96	50,06	50,06

<b>A-A</b>	<b>B-A</b>	<b>C-A</b>	<b>D-A</b>
0,00	0,01	0,04	0,03
0,00	0,01	0,04	0,03
0,00	0,00	0,04	0,03
0,00	-0,01	0,04	0,06
0,00	0,00	0,04	0,07
0,00	0,00	0,04	0,07
0,00	-0,01	0,04	0,07
0,00	-0,01	0,04	0,09
0,00	-0,02	0,04	0,09
0,00	-0,02	0,03	0,09
0,00	-0,02	0,03	0,09
0,00	-0,03	0,02	0,09
0,00	-0,03	0,02	0,08
0,00	-0,02	0,03	0,09
0,00	-0,02	0,06	0,10
0,00	-0,02	0,06	0,10

0,00	-0,02	0,06	0,10
0,00	-0,02	0,07	0,08
0,00	-0,04	0,07	0,09
0,00	-0,04	0,07	0,09
0,00	-0,04	0,07	0,09
0,00	-0,05	0,07	0,10
0,00	-0,05	0,07	0,09
0,00	-0,06	0,06	0,08
0,00	-0,06	0,05	0,07
0,00	-0,07	0,04	0,05
0,00	-0,04	0,07	0,07
0,00	-0,06	0,05	0,05
0,00	-0,06	0,05	0,04
0,00	-0,07	0,04	0,03
0,00	-0,08	0,02	0,01
0,00	-0,09	0,04	0,04
0,00	-0,08	0,03	0,04
0,00	-0,08	0,04	0,05
0,00	-0,09	0,02	0,04
0,00	-0,09	0,02	0,05
0,00	-0,07	0,04	0,05
0,00	-0,04	0,07	0,04
0,00	-0,02	0,08	0,06
0,00	-0,03	0,08	0,06
0,00	-0,03	0,08	0,06
0,00	-0,05	0,09	0,06
0,00	-0,05	0,09	0,06
0,00	-0,07	0,09	0,05
0,00	-0,07	0,09	0,05
0,00	-0,04	0,10	0,06
0,00	-0,05	0,09	0,04
0,00	-0,04	0,08	0,05
0,00	-0,05	0,07	0,05
0,00	-0,04	0,06	0,06



Grafik B



Grafik C



— Grafik C

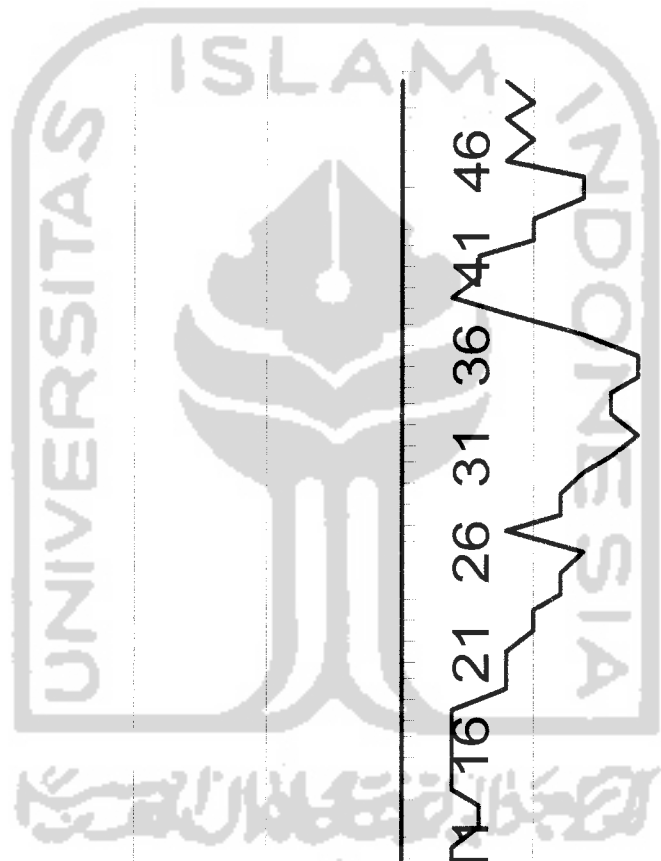
Grafik D



0,15  
0,10  
0,05  
0,00  
-0,05  
-0,10

1 6 11 16 21 26 31 36 41 46

- Grafik A
- Grafik B
- Grafik C
- Grafik D



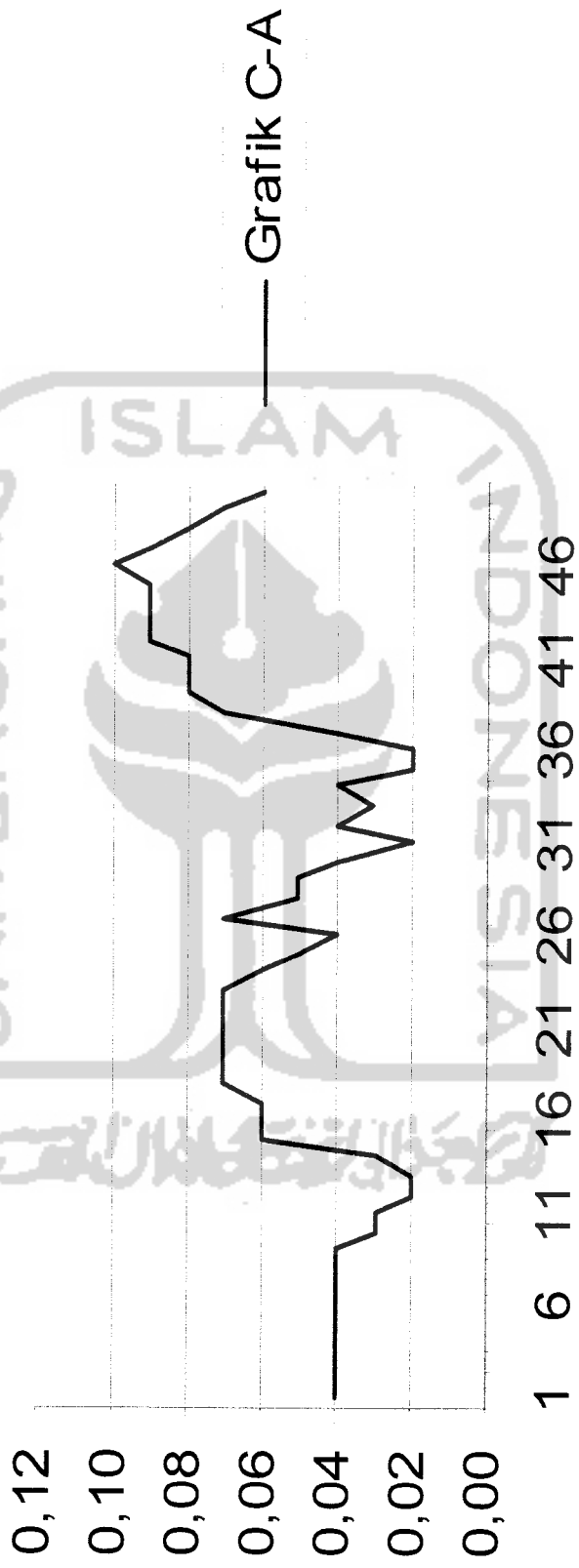


Grafik B-A



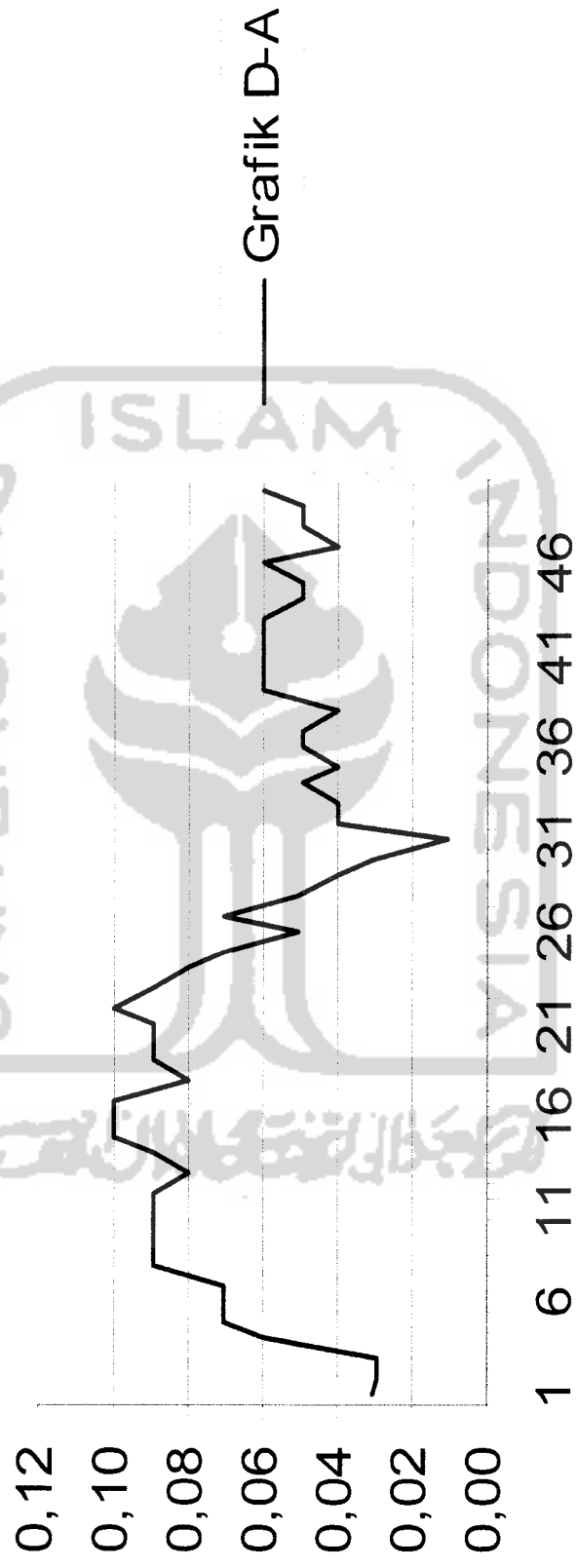
— Grafik B-A

Grafik C-A

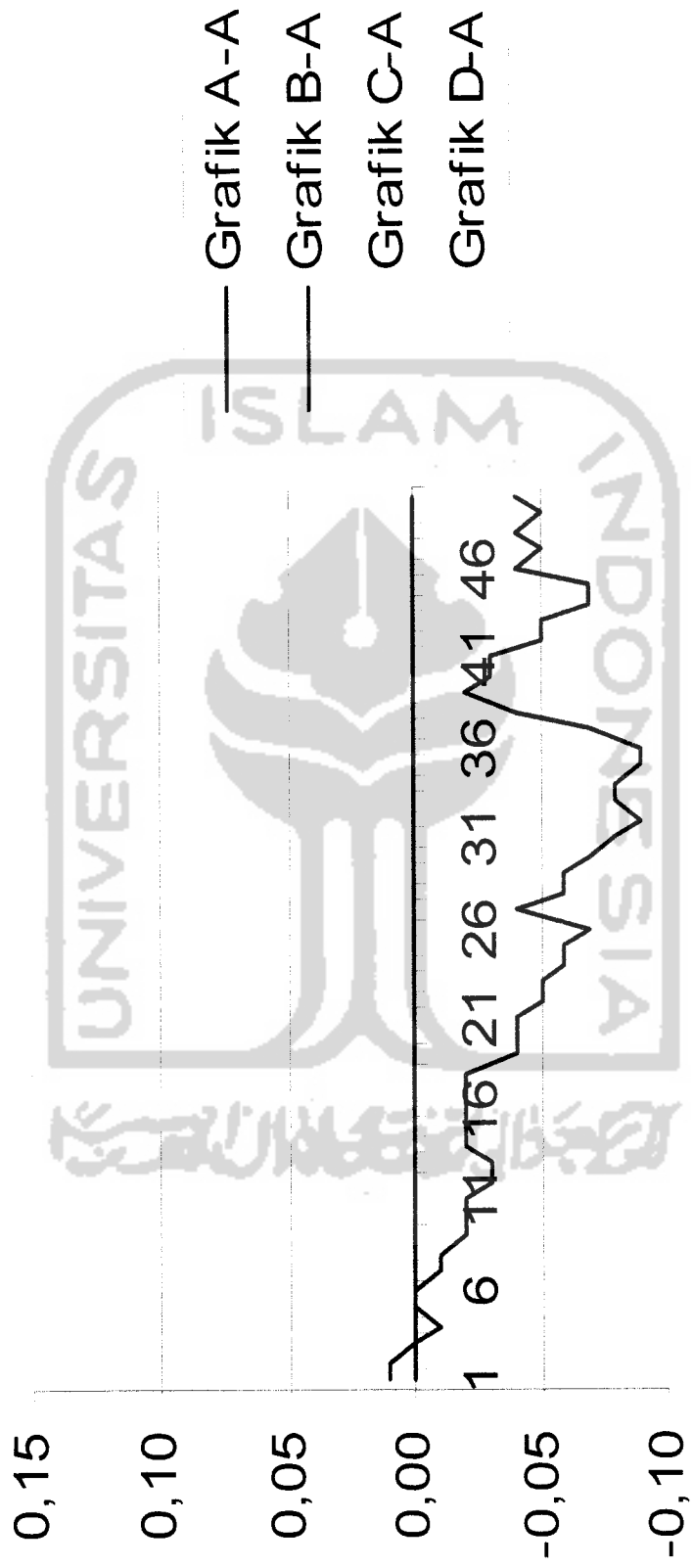


Grafik C-A

Grafik D-A



Grafik D-A



— Grafik A-A

— Grafik B-A

— Grafik C-A

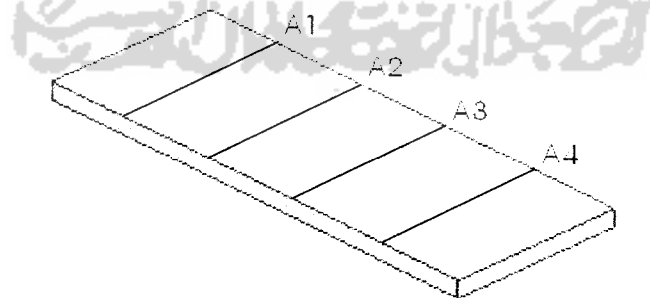
— Grafik D-A



## Data Pengukuran Kerataan Permukaan Lilin Menggunakan Dial Indicator

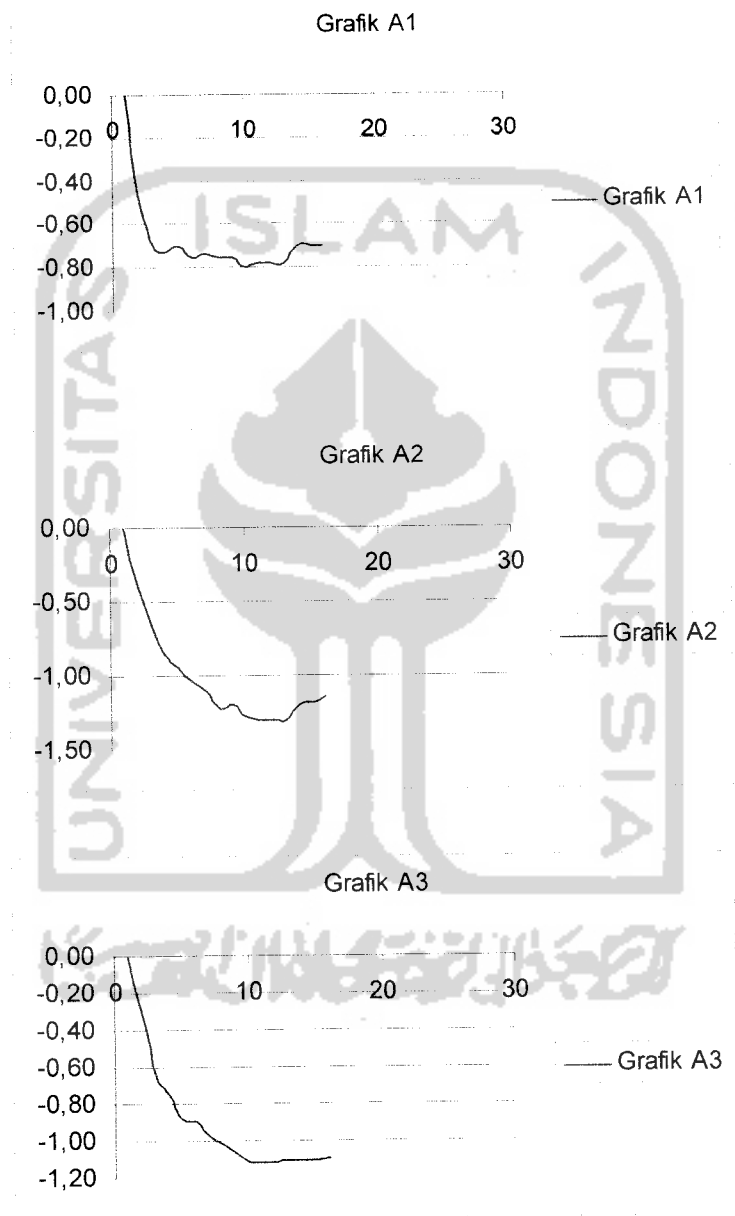
### I. Permukaan Lilin A

	A1	A2	A3	A4
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,00	-0,50	-0,40	-0,32	-0,60
10,00	-0,70	-0,67	-0,65	-0,92
15,00	-0,73	-0,85	-0,75	-1,10
20,00	-0,70	-0,95	-0,88	-1,30
25,00	-0,75	-1,04	-0,90	-1,35
30,00	-0,74	-1,10	-0,98	-1,41
35,00	-0,75	-1,22	-1,02	-1,45
40,00	-0,75	-1,20	-1,07	-1,50
45,00	-0,80	-1,27	-1,12	-1,50
50,00	-0,78	-1,30	-1,12	-1,50
55,00	-0,78	-1,30	-1,12	-1,45
60,00	-0,78	-1,30	-1,11	-1,37
65,00	-0,70	-1,20	-1,11	-1,30
70,00	-0,70	-1,18	-1,11	-1,25
75,00	-0,70	-1,15	-1,10	-1,25

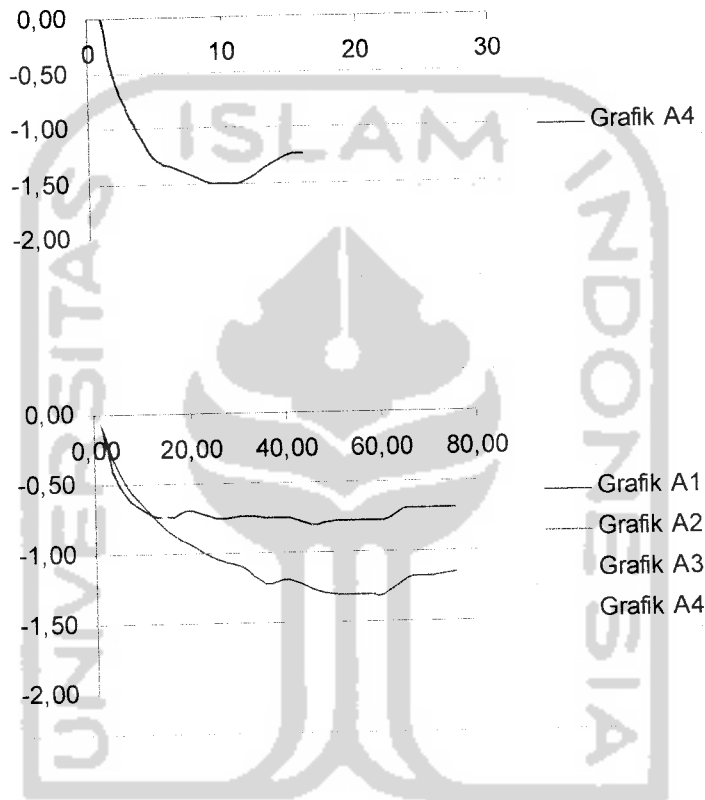


Gambar Lapisan Lilin A

Gambar Grafik Lapisan Lilin A



Grafik A4

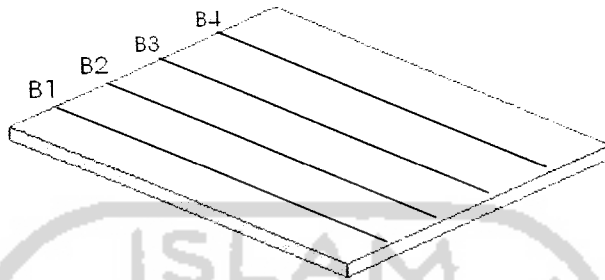


2. Permukaan Lilin B

	B1	B2	B3	B4
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,00	-0,80	-1,15	-1,28	-0,45
10,00	-1,09	-1,55	-1,60	-0,90
15,00	-1,25	-1,84	-1,84	-1,10
20,00	-1,33	-1,94	-2,07	-1,27

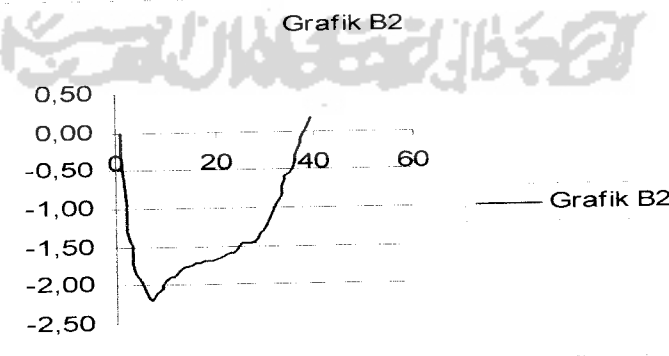
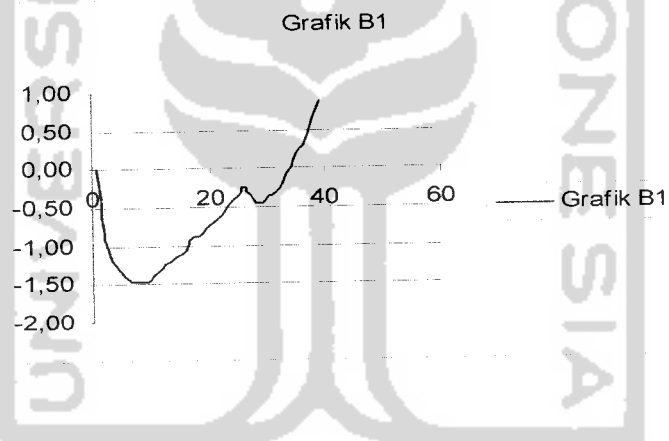


25,00	-1,45	-2,10	-2,08	-1,43
30,00	-1,47	-2,20	-2,08	-1,50
35,00	-1,47	-2,10	-2,08	-1,50
40,00	-1,47	-2,05	-2,08	-1,51
45,00	-1,45	-1,94	-2,08	-1,51
50,00	-1,35	-1,90	-2,08	-1,52
55,00	-1,30	-1,86	-2,08	-1,50
60,00	-1,22	-1,80	-2,03	-1,47
65,00	-1,16	-1,77	-1,98	-1,48
70,00	-1,10	-1,74	-1,92	-1,48
75,00	-1,05	-1,70	-1,85	-1,42
80,00	-0,90	-1,70	-1,81	-1,40
85,00	-0,87	-1,68	-1,78	-1,38
90,00	-0,82	-1,68	-1,73	-1,37
95,00	-0,74	-1,65	-1,73	-1,35
100,00	-0,68	-1,64	-1,73	-1,30
105,00	-0,59	-1,62	-1,73	-1,27
110,00	-0,49	-1,58	-1,70	-1,25
115,00	-0,42	-1,55	-1,68	-1,22
120,00	-0,35	-1,47	-1,65	-1,22
125,00	-0,25	-1,45	-1,60	-1,20
130,00	-0,35	-1,45	-1,54	-1,18
135,00	-0,45	-1,45	-1,38	-1,05
140,00	-0,45	-1,34	-1,32	-0,95
145,00	-0,38	-1,25	-1,25	-0,85
150,00	-0,34	-1,10	-1,32	-0,83
155,00	-0,26	-0,96	-1,25	-0,72
160,00	-0,15	-0,84	-1,12	-0,60
165,00	0,01	-0,60	-0,80	-0,54
170,00	0,18	-0,54	-0,61	-0,46
175,00	0,30	-0,40	-0,53	-0,23
180,00	0,43	-0,10	-0,23	-0,11
185,00	0,65	0,01	-0,01	0,04
190,00	0,88	0,18	0,07	0,07

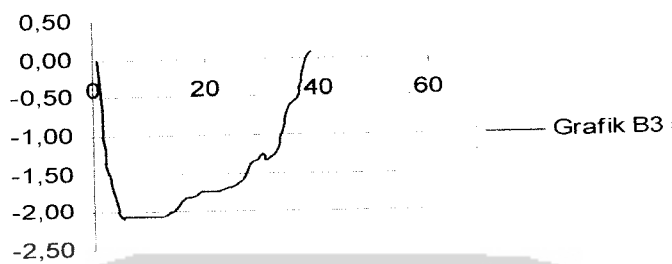


Gambar Lapisan Lilin B

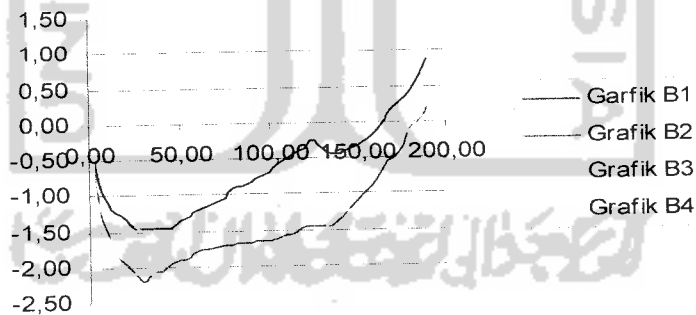
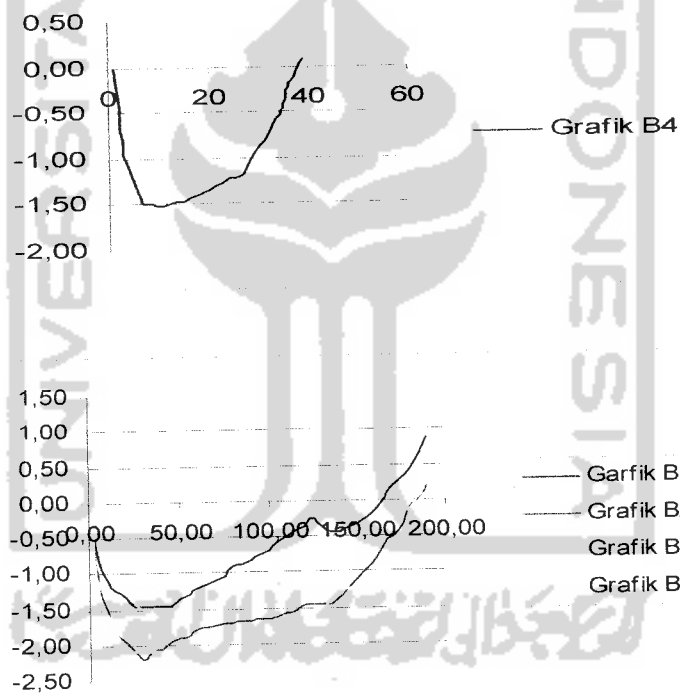
Gambar Grafik Lapisan Lilin B



Grafik B3



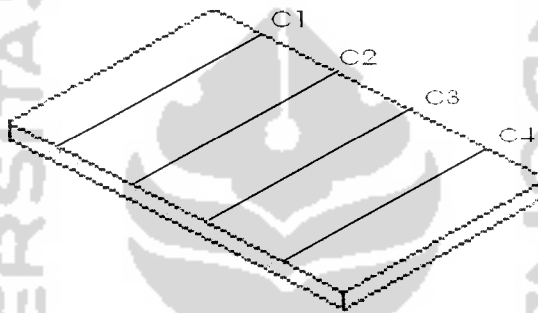
Grafik B4



3. Permukaan Lilin C

	C1	C2	C3	C4
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,00	-0,75	-1,15	-1,05	-0,42
10,00	-0,90	-1,47	-1,50	-0,73
15,00	-1,05	-1,58	-1,67	-0,85
20,00	-1,08	-1,67	-1,75	-0,92
25,00	-1,08	-1,73	-1,80	-0,92
30,00	-0,98	-1,73	-1,80	-0,95
35,00	-0,90	-1,68	-1,76	-0,95
40,00	-0,82	-1,62	-1,70	-0,90
45,00	-0,77	-1,56	-1,65	-0,85
50,00	-0,70	-1,50	-1,56	-0,78
55,00	-0,62	-1,40	-1,48	-0,65
60,00	-0,62	-1,30	-1,39	-0,55
65,00	-0,60	-1,22	-1,30	-0,47
70,00	-0,50	-1,15	-1,20	-0,37
75,00	-0,42	-1,08	-1,13	-0,32
80,00	-0,25	-0,98	-1,01	-0,22
85,00	-0,22	-0,92	-0,95	-0,15
90,00	-0,15	-0,88	-0,88	-0,08
95,00	-0,15	-0,80	-0,82	-0,01
100,00	-0,15	-0,75	-0,75	0,08
105,00	-0,15	-0,72	-0,65	0,12
110,00	-0,20	-0,72	-0,57	0,13
115,00	-0,20	-0,65	-0,55	0,25
120,00	-0,20	-0,58	-0,50	0,30
125,00	-0,20	-0,55	-0,45	0,35
130,00	-0,20	-0,55	-0,40	0,41
135,00	-0,15	-0,55	-0,34	0,47
140,00	-0,13	-0,50	-0,32	0,50
145,00	-0,05	-0,42	-0,22	0,60

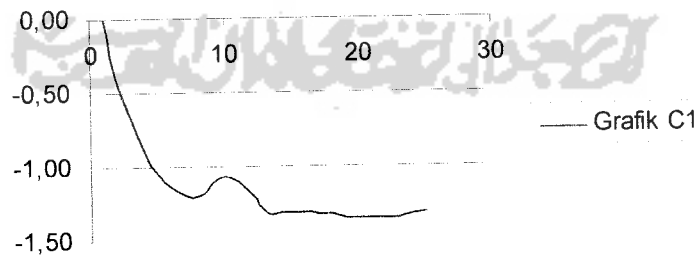
150,00	-0,02	-0,39	-0,13	0,60
155,00	0,02	-0,35	0,03	0,64
160,00	0,10	-0,30	0,14	0,70
165,00	0,20	-0,18	0,37	0,85
170,00	0,30	-0,08	0,52	0,90
175,00	0,40	0,05	0,70	1,15
180,00	0,47	0,20	0,85	1,35
185,00	0,50	0,40	0,89	1,50
190,00	0,70	0,60	0,93	1,60

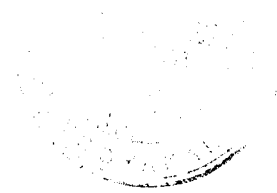


Gambar Lapisan Lilin C

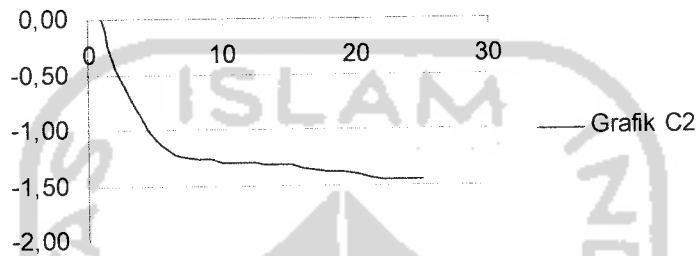
Gambar Grafik Lapisan Lilin C

Grafik C1

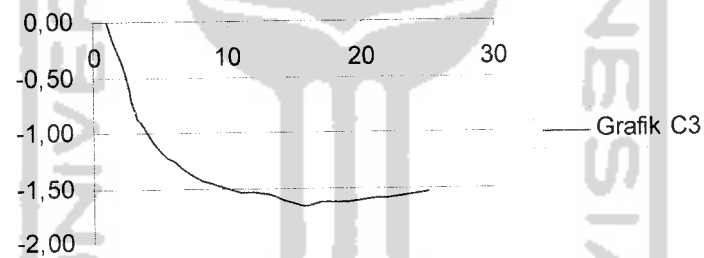




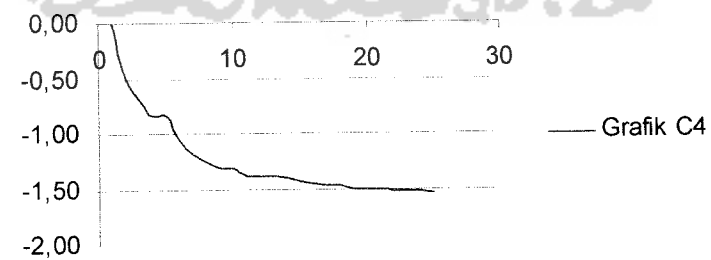
Grafik C2

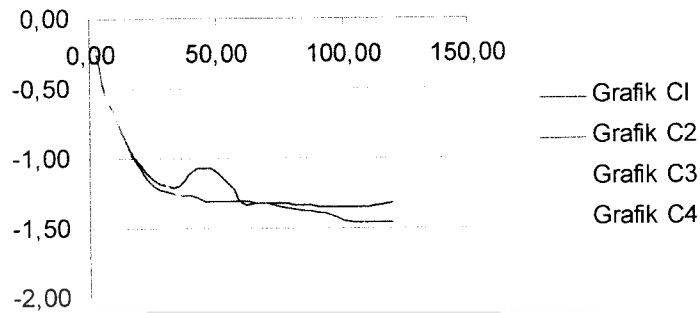


Grafik C3



Grafik C4

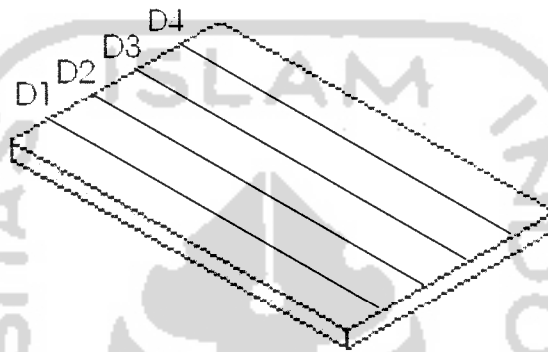




4. Permukaan Lilin D

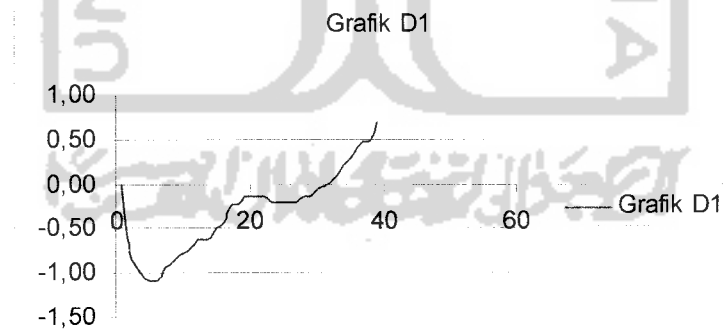
	D1	D2	D3	D4
1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
5,00	-0,45	-0,45	-0,35	-0,50
10,00	-0,70	-0,70	-0,80	-0,70
15,00	-0,90	-0,90	-1,00	-0,85
20,00	-1,05	-1,08	-1,18	-0,85
25,00	-1,15	-1,20	-1,26	-1,07
30,00	-1,20	-1,24	-1,37	-1,19
35,00	-1,20	-1,26	-1,43	-1,27
40,00	-1,10	-1,27	-1,47	-1,32
45,00	-1,07	-1,30	-1,51	-1,32
50,00	-1,10	-1,30	-1,55	-1,39
55,00	-1,20	-1,30	-1,55	-1,39
60,00	-1,32	-1,31	-1,57	-1,39
65,00	-1,32	-1,32	-1,61	-1,41
70,00	-1,32	-1,32	-1,65	-1,44
75,00	-1,32	-1,35	-1,66	-1,45
80,00	-1,33	-1,36	-1,64	-1,47
85,00	-1,33	-1,38	-1,64	-1,48
90,00	-1,35	-1,39	-1,64	-1,50
95,00	-1,35	-1,40	-1,61	-1,51

100,00	-1,35	-1,44	-1,60	-1,51
105,00	-1,35	-1,46	-1,60	-1,52
110,00	-1,35	-1,46	-1,58	-1,52
115,00	-1,33	-1,46	-1,56	-1,52
120,00	-1,32	-1,46	-1,55	-1,54



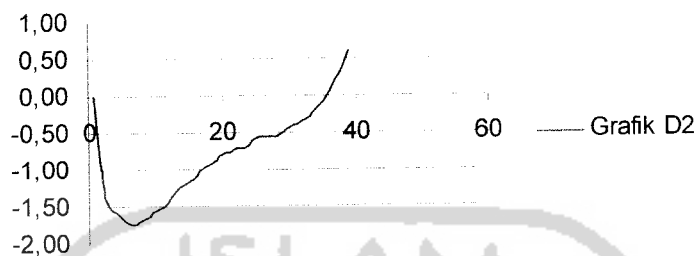
Gambar Lapisan Lilin D

Gambar Grafik Lapisan Lilin D

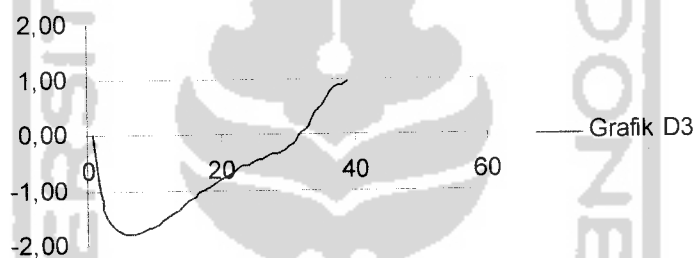




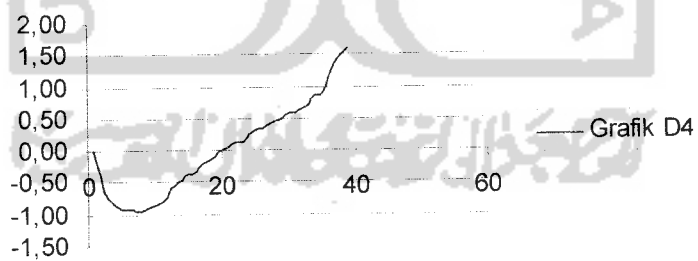
Grafik D2

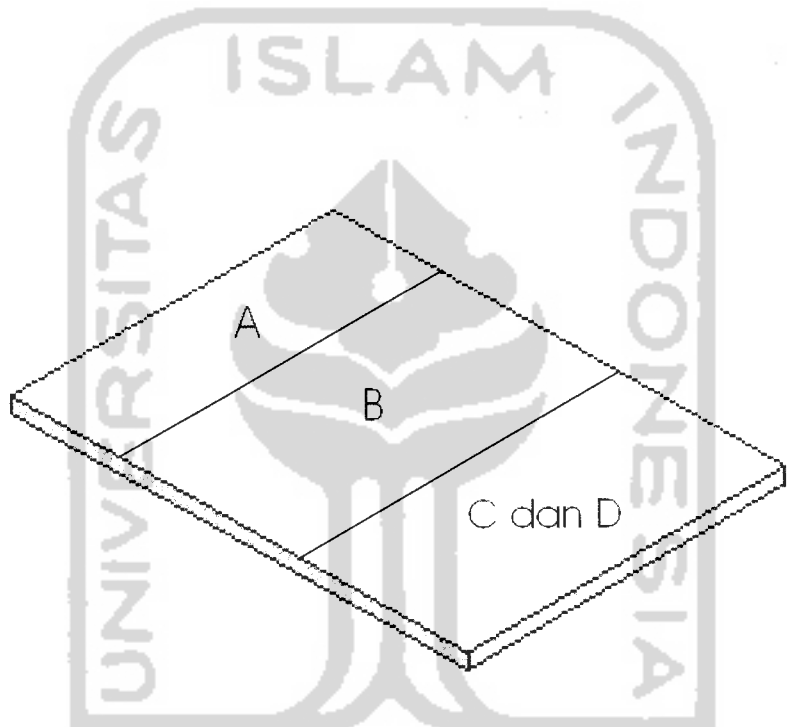
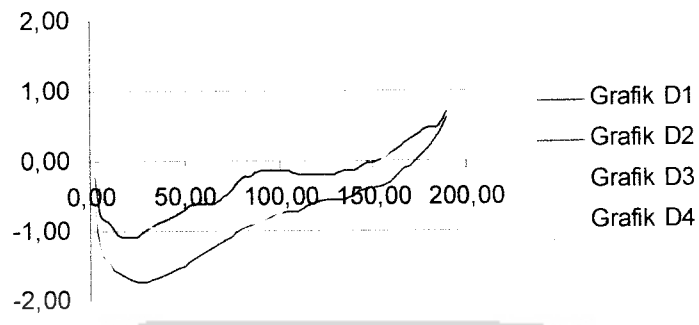


Grafik D3



Grafik D4





Gambar Lapisan Lilin A, B, C dan D Sebelum dipotong

