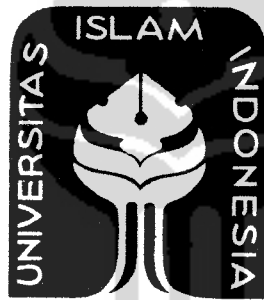


**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN
ALAT CETAK LEMBARAN LILIN UNTUK BAHAN POLA
PADA PROSES *LAYER DEPOSITION MANUFACTURING***

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai Salah Satu Syarat untuk
Melaksanakan Tugas Akhir pada Jurusan Teknik Mesin



Oleh :

Nama : Agus Riyanto

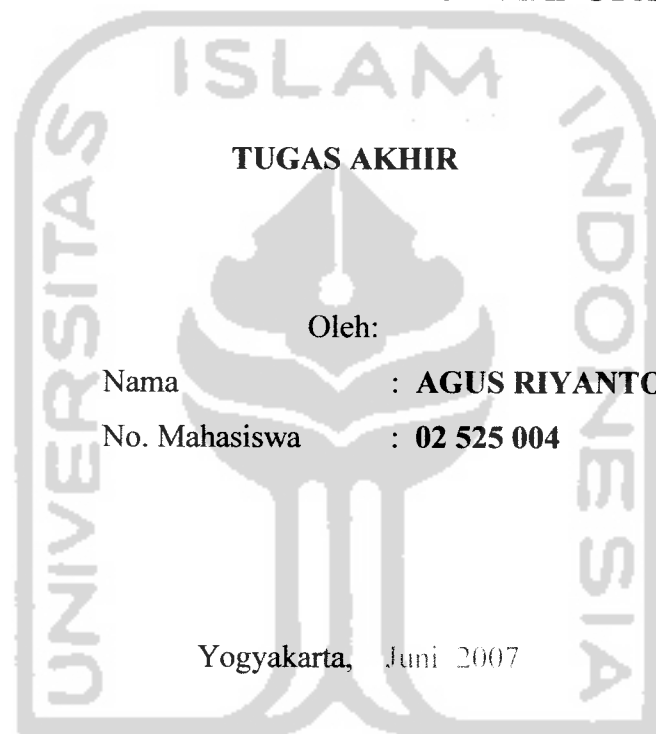
NIM : 02 525 004

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

2007

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**PERANCANGAN DAN PEMBUATAN
ALAT CETAK LEMBARAN LILIN UNTUK BAHAN POLA
PADA PROSES *LAYER DEPOSITION MANUFACTURING***



Yogyakarta, Juni 2007

Menyetujui,

Pembimbing

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

Muhammad Ridlwan, ST., MT.

LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI

PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

ALAT CETAK LEMBARAN LILIN UNTUK BAHAN POLA

PADA PROSES *LAYER DEPOSITION MANUFACTURING*

TUGAS AKHIR

Oleh:

Nama : **AGUS RIYANTO**

No. Mahasiswa : **02 525 004**

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

Yogyakarta, 02 Juli 2007

Tim Penguji

M. Ridlwan, ST., MT.

Ketua

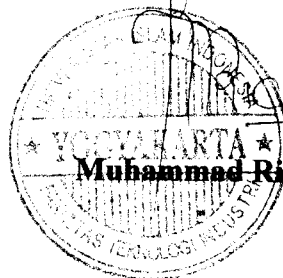
Yustiasih Purwaningrum, ST., MT.

Anggota I

Risdiyono, ST., M.Eng.

Anggota II

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin
Universitas Islam Indonesia



Muhammad Ridlwan, ST., MT.

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada:

- Alloh swt dan Muhammad sebagai Rosul Nya
- Ibu, Bapak dan Adik tercinta
- Dosen Pembimbing Tugas Akhir, M. Ridlwan, ST.,MT.
- Dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia dan Stafnya
- Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Semua Angkatan
- Pengguna Buku Laporan Tugas Akhir “Perancangan Dan Pembuatan Alat Cetak Lembaran Lilin Untuk Bahan Pola Pada Proses *Layer Deposition Manufacturing*” tanpa terkecuali.

Yogyakarta, Juni 2007

Penyusun,

Agus Riyanto

Motto

“...Barangsiapa yang dianugerahi hikmah (kefahaman), ia benar-benar telah dianugerahi karunia yang banyak. Dan hanya orang-orang yang **ber-akallah** yang dapat mengambil pelajaran “.

(Qs. Al Baqarah : 269)

“ ... Dan apabila dikatakan: "**Berdirilah kamu**", maka berdirilah, niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi **ilmu pengetahuan** beberapa derajat. Dan Allah Maha Mengetahui apa yang kamu kerjakan “.

(Qs.Al Mujaadilah : 11)

" Barangsiapa mengamalkan apa-apa yang ia ketahui, maka Allah akan mewariskan kepadanya ilmu yang belum diketahuinya, dan Allah akan menolong dia dalam amalan-nya sehingga ia mendapatkan surga. Dan barangsiapa yang tidak mengamalkan ilmunya maka ia tersesat oleh ilmunya itu. Dan Allah tidak menolong dia dalam amalannya sehingga ia akan mendapatkan neraka ".

(Al Hadist)

“Gunakan **waktu** dan **kesempatan** sebaik mungkin..!”

(by goes)

KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

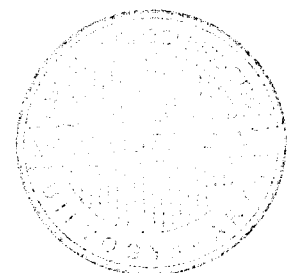
Alhamdulillah, puji syukur kami panjatkan kepada Allah swt yang telah memberi nikmat berupa kesempatan untuk dapat menyusun laporan Tugas Akhir berupa “Perancangan Dan Pembuatan Alat Cetak Lembaran Lilin Untuk Bahan Pola Pada Proses *Layer Deposition Manufacturing*”.

Perancangan yang dimaksud adalah penggambaran dan pembuatan sket alat cetak lembaran lilin dengan ukuran tertentu dengan menggunakan *software* gambar 2D dan 3D. Sedang pembuatan alat cetak lembaran lilin untuk bahan pola pada proses *layer deposition manufacturing* merupakan pengaplikasian dari proses perancangannya.

Untuk memperjelas tentang materi tugas akhir, kami telah menyusun dalam bentuk laporan yang cukup sederhana. Dimana didalamnya memaparkan hasil dari perancangan, cara penggunaan alat dan hasil analisa produk dari penggunaan alat cetak lembaran lilin tersebut.

Mudah-mudahan laporan (berbentuk buku) yang kami susun secara sederhana ini, dapat bermanfaat dan dapat dijadikan referensi atau sebagai pembanding dalam pembuatan laporan lain yang lebih sempurna dalam kasus dan topik yang sama.

Harapan dari kami sebagai penyusun adalah saran beserta solusi dari pembaca yang memahami permasalahan yang ada dalam laporan. Karena hal tersebut sangatlah membantu dalam memajukan daya pikir kami terutama tentang permasalahan yang dibahas sebagai isi laporan dalam buku ini.



ABSTRAK

Layer Deposition Manufacturing (LDM) merupakan pengembangan dari metode *Laminated Object Manufacturing* (LOM), dimana lembaran plastik, wax atau kertas ditempel-tempel untuk membentuk sebuah model produk. Lembaran plastik ditempelkan pada lapisan sebelumnya dengan rol pemanas, kemudian sinar laser memotong lembaran tersebut sesuai dengan batas luar dari bentuk penampang produk. Sinar laser kemudian memotong lembaran di bagian luar produk dengan bentuk kotak-kotak kecil sebagai material pendukung. Tujuan dari pemotongan ini adalah untuk memudahkan pemisahan produk dengan material pendukung setelah produk terbentuk seluruhnya. Setelah lapisan pertama selesai dikerjakan, *platform* diturunkan sejauh tebal satu lapisan dan lembaran baru dilapiskan pada lembaran sebelumnya. Proses ini diulangi hingga lapisan terakhir. (Griffith, 1998).

Lembaran untuk metode LDM pada kasus ini menggunakan bahan lilin. Dimana pembuatannya dimulai dari pengukuran campuran bahan lilin (*paraffine* dan *stearine*), pencairan (perebusan), perakitan alat cetak, penuangan cairan lilin, pemadatan dalam cetakan, pelepasan lembaran lilin dari cetakan dan *finishing*. *Finishing* dilakukan apabila lembaran lilin hasil pencetakan mempunyai kelebihan ukuran panjang, lebar dan sudut, serta permukaan lembaran lilin yang tidak rata atau berongga. Untuk lembaran lilin hasil pencetakan yang dinyatakan gagal dapat diproses ulang.

Kesalahan penggunaan alat cetak lembaran lilin sistem *mass product* ini relatif kecil yaitu mampu mencapai $< 0.7 \%$ untuk kesalahan panjang dan lebar, $< 1.2 \%$ untuk kesalahan sudut serta $\leq 10 \%$ untuk kesalahan tebalnya.

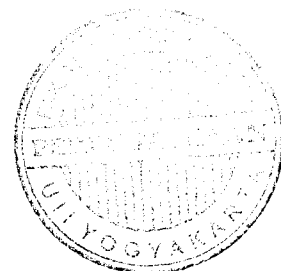
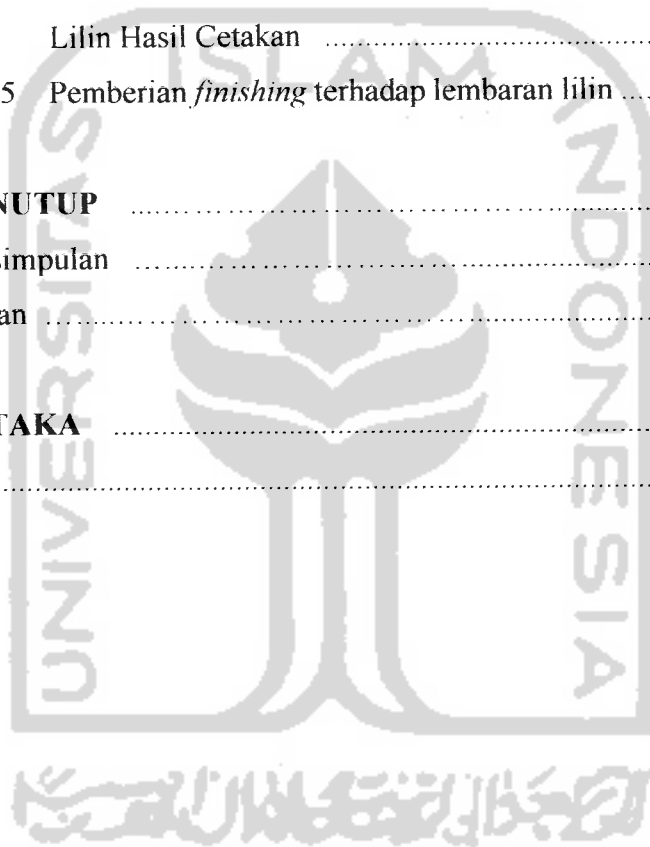
Kata kunci: *Layer Deposition Manufacturing*, kaca, lilin.

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan Dosen Pembimbing	ii
Halaman Pengesahan Dosen Penguji	iii
Halaman Persembahan	iv
Halaman Motto	v
Kata Pengantar	vi
Abstrak	vii
Daftar Isi	viii
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar	xii
Daftar Lampiran	xiii
BAB. I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	1
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	2
1.6. Sistematika penulisan	2
BAB. II. LANDASAN TEORI	4
2.1. <i>Rapid Prototyping</i> (RP)	4
2.1.1 <i>Stereolithography</i> (SLA)	5
2.1.2 <i>Layer Objek Manufacturing</i> (LOM)	7
2.1.3 <i>Selectif Laser Sintering</i> (SLS)	8
2.1.4 <i>Fused Deposition Modeling</i> (FDM)	9
2.1.5 <i>Solid Ground Curing</i> (SGC)	9
2.1.6 <i>3-D Ink Jet Printing</i>	10
2.1.7 <i>Shape Deposition Manufacturing</i> (SDM)	11

2.2.	Metode <i>Layer Deposition Manufacturing</i> (LDM)	12
2.2.1	Metode LDM Manual	12
2.2.2	Metode LDM dengan Mesin CNC	13
2.3.	Jenis dan Kreasi Lilin	14
BAB. III.	METODOLOGI PENELITIAN	16
3.1	Alat dan Bahan	17
3.1.1	Alat	17
3.1.2	Bahan	17
3.1.3	Perangkaian Alat	17
3.2	Proses Pembuatan Lembaran Lilin	18
3.2.1	Peleburan Lilin	18
3.2.2	Ruang Cetak Lembaran Lilin	19
3.2.3	Penuangan Cairan Lilin	20
3.2.4	Pemadatan	20
3.2.5	Pelepasan Lembaran Lilin	21
3.3	Pengujian	22
3.3.1	Mengukur Campuran <i>Paraffine</i> dan <i>Stearine</i>	22
3.3.2	Mengukur Temperatur	22
3.3.3	Penuangan Cairan Lilin	23
3.3.4	Mengukur Geometri Lembaran Lilin	24
BAB. IV.	ANALISIS DAN PEMBAHASAN	27
4.1	Analisis	27
4.1.1	Pengukuran Alat dan Bahan Lembaran Lilin.....	27
4.1.2	Pengukuran Temperatur Cairan Lilin	28
4.1.3	Penuangan Cairan Lilin Dalam Cetakan.....	30
4.1.4	Pengukuran Geometri Lembaran Lilin.....	31
4.1.5	Analisa Hasil Pengukuran Geometri Lembaran Lilin..	34
4.1.6	Analisa Alat Cetak Lembaran Lilin	34

4.2	Pembahasan	37
4.2.1	Pembahasan Secara Umum	37
4.2.2	Kelebihan dan Kekurangan Alat Cetak Lembaran Lilin	38
4.2.3	Prosentase Campuran <i>Paraffine</i> dengan <i>Stearine</i>	39
4.2.4	Faktor Yang Mempengaruhi Bentuk Lembaran Lilin Hasil Cetakan	39
4.2.5	Pemberian <i>finishing</i> terhadap lembaran lilin	39
BAB. V.	PENUTUP	40
5.1	Kesimpulan	40
5.2	Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	xv
LAMPIRAN	xvi



DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	: Bagian-Bagian Alat Cetak Lembaran Lilin	27
Tabel 4.2	: Bahan Pembuat Lembaran Lilin (<i>Paraffine dan Stearine</i>)..	28
Tabel 4.3	: Hasil Pengukuran Panjang, Lebar dan Sudut untuk Lembaran Lilin Ukuran 297 mm x 210 mm x 3 mm	32
Tabel 4.4	: Hasil Pengukuran Tebal untuk Lembaran Lilin Ukuran 297 mm x 210 mm x 3 mm	32
Tabel 4.5	: Hasil Pengukuran Panjang, Lebar dan Sudut untuk Lembaran Lilin Ukuran 297 mm x 210 mm x 5 mm	32
Tabel 4.6	: Hasil Pengukuran Tebal untuk Lembaran Lilin Ukuran 297 mm x 210 mm x 5 mm	32
Tabel 4.7	: Hasil Pengukuran Panjang, Lebar dan Sudut untuk Lembaran Lilin Ukuran 297 mm x 210 mm x 10 mm	33
Tabel 4.8	: Hasil Pengukuran Tebal untuk Lembaran Lilin Ukuran 297 mm x 210 mm x 10 mm	32
Tabel 4.9	: Hasil Pengukuran Panjang dan Lebar Lembaran Lilin Ukuran 297 mm x 210 mm x 2 mm	37
Tabel 4.10	: Hasil Pengukuran Sudut untuk Lembaran Lilin Ukuran 297 mm x 210 mm x 2 mm	38
Tabel 4.11	: Hasil Pengukuran Tebal (t_1, t_2, t_3, t_4) untuk Lembaran Lilin Ukuran 297 mm x 210 mm x 2 mm	38
Tabel 4.12	: Hasil Pengukuran Tebal Lanjutan (t_5, t_6, t_7, t_8) Lembaran Lilin Ukuran 297 mm x 210 mm x 2 mm	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 : <i>Stereolithography (SLA)</i>	5
Gambar 2.2 : <i>Laminated Object Manufacturing (LOM)</i>	7
Gambar 2.3 : <i>Selective Laser Sintering (SLS)</i>	8
Gambar 2.4 : <i>Fused Deposition Modelling (FDM)</i>	9
Gambar 2.5 : <i>Solid Ground Curing (SGC)</i>	9
Gambar 2.6 : <i>3-D Ink Jet Printing</i>	10
Gambar 2.7 : <i>Shape Deposition Manufacturing (SDM)</i>	11
Gambar 2.8 : Langkah Kerja Metode <i>Layer Deposition Manufacturing (LDM)</i>	12
Gambar 2.9 : Desain Produk Metode LDM	13
Gambar 2.10 : Pembuatan Produk LDM	13
Gambar 2.11 : Jenis dan Kreasi Lilin	14
Gambar 3.1 : Metodologi Penelitian	16
Gambar 3.2 : Perangkaian Alat Cetak Lembaran Lilin	17
Gambar 3.3 : Peleburan Lilin (direbus)	19
Gambar 3.4 : Cetakan Lilin Manual	19
Gambar 3.5 : Penuangan Cairan Lilin	20
Gambar 3.6 : Pemadatan Cairan Lilin	21
Gambar 3.7 : Lembaran Lilin	21
Gambar 3.8 : Mengukur Campuran <i>Paraffine</i> dan <i>Stearine</i>	22
Gambar 3.9 : Mengukur Temperatur	22
Gambar 3.10 : Posisi Penuangan	23
Gambar 3.11 : Geometri Lembaran Lilin	24
Gambar 3.12 : Pengukuran Panjang Lembaran Lilin	25
Gambar 3.13 : Pengukuran Lebar Lembaran Lilin	25
Gambar 3.14 : Pengukuran Ketebalan dengan <i>Vernier Caliver</i>	26
Gambar 3.15 : Pengukuran Sudut dengan Busur Derajat	26
Gambar 4.1 : Pengukuran Temperatur Diatas 70 °C	28
Gambar 4.2 : Pengukuran Temperatur Dibawah 70 °C	28
Gambar 4.3 : Hasil Pengukuran Temperatur Cairan Lilin	29

Gambar 4.4 : Bagian Induk Alat Cetak Lembaran Lilin	35
Gambar 4.5 : Penyekat Antar Ruang Cetak	36
Gambar 4.6 : Sket Pengatur Ketebalan	36
Gambar 4.7 : Baut (pengikat), Mur dan Ring	37



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1

(Rancangan Alat Cetak Lembaran Lilin Sistem *Mass Product* Ukuran A4).

Gambar A.1 : Sket Dinding Muka	xvii
Gambar A.2 : Sket Alas atau Bidang Bawah	xvii
Gambar A.3 : Sket Dinding Samping	xviii
Gambar A.4 : Penyekat Antar Ruang	xviii
Gambar A.5 : Sket Pengatur Ketebalan	xix
Gambar A.6 : Perangkaian Alat	xix

Lampiran 2

(Perangkaian Bagian Induk dan Biaya Pembuatan Alat)

Perangkaian Bagian Induk Alat Cetak Lembaran Lilin	xx
Tabel B.1 : Biaya Pembuatan Alat	xx

Lampiran 3

(Rangkaian dan Bagian Alat Cetak Lembaran Lilin Sistem *Mass Product*)

Gambar C.1 : Gabungan dari Beberapa <i>Part</i>	xxi
Gambar C.2 : Alat dan Meja Kerja	xxi

Lampiran 4

(Aturan Pemakaian Alat Cetak Lembaran Lilin Ukuran A4 Sistem *Mass Product*).

Lampiran D.1 : Keamanan dan Cara Pemakaian Alat	xxii
--	------

Lampiran 5

(Proses Yang Dilakukan Dalam Penelitian Alat Cetak Lembaran Lilin Ukuran A4 Sistem *Mass Product*).

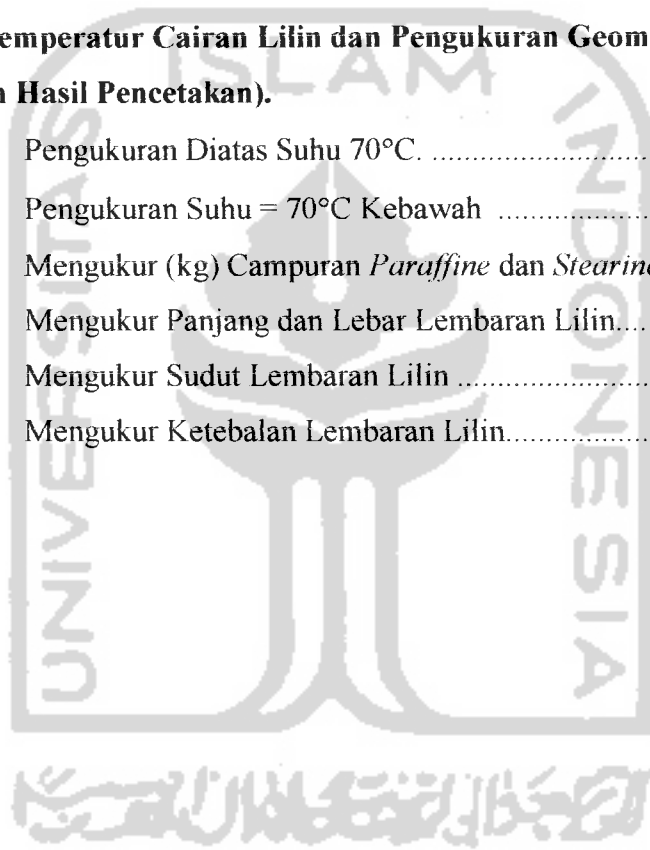
Gambar E.1 : Perangkaian	xxiii
Gambar E.2 : Perebusan atau Pencairan Lilin	xxiii

Gambar E.3 :	Penuangan Cairan Lilin	xxiv
Gambar E.4 :	Pemadatan (Cairan) Lilin Yang Dicetak.....	xxiv
Gambar E.5 :	Perataan Bagian Atas (Cairan) Lilin Yang Dicetak.....	xxv
Gambar E.6 :	Pelepasan Lembaran Lilin dari Cetakan	xxv

Lampiran 6

(Pengukuran Temperatur Cairan Lilin dan Pengukuran Geometri Lembaran Lilin Hasil Pencetakan).

Gambar F.1 :	Pengukuran Diatas Suhu 70°C.	xxvi
Gambar F.2 :	Pengukuran Suhu = 70°C Kebawah	xxvi
Gambar F.3 :	Mengukur (kg) Campuran <i>Paraffine</i> dan <i>Stearine</i>	xxvii
Gambar F.4 :	Mengukur Panjang dan Lebar Lembaran Lilin.....	xxvii
Gambar F.5 :	Mengukur Sudut Lembaran Lilin	xxviii
Gambar F.6 :	Mengukur Ketebalan Lembaran Lilin.....	xxviii



BAB. I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Layer Deposition Manufacturing (LDM) merupakan pengembangan dari metode *Laminated Object Manufacturing* (LOM), dimana lembaran plastik atau kertas ditempel-tempel untuk membentuk sebuah model produk. Lembaran plastik ditempelkan pada lapisan sebelumnya dengan rol pemanas, kemudian sinar laser memotong lembaran tersebut sesuai dengan batas luar dari bentuk penampang produk. Sinar laser kemudian memotong lembaran di bagian luar produk dengan bentuk kotak-kotak kecil sebagai material pendukung. Tujuan dari pemotongan ini adalah untuk memudahkan pemisahan produk dengan material pendukung setelah produk terbentuk seluruhnya. Setelah lapisan pertama selesai dikerjakan, *platform* diturunkan sejauh tebal satu lapisan dan lembaran baru dilapiskan pada lembaran sebelumnya. Proses ini diulangi hingga lapisan terakhir. (Griffith, 1998).

Adapun lembaran yang digunakan dalam kasus ini berupa lilin. Dimana lembaran lilin harus disesuaikan bentuk dan ukurannya. Karena jumlah lembaran yang diperlukan banyak, maka dibuatlah mesin cetak lembaran lilin untuk bahan pola sesuai dengan kebutuhan yang ada, yaitu dalam sekali cetak dapat menghasilkan beberapa lembar lilin yang berfungsi sebagai bahan pola tertentu.

Mesin cetak lembaran lilin untuk bahan pola pada metode LDM yang dibuat bertujuan untuk mendapatkan produk yang lebih teliti dan mencetak lembaran lilin sesuai dengan ketebalan yang diinginkan.

1.2. Rumusan Masalah

- Bagaimana membuat alat cetak lembaran lilin untuk bahan pola ukuran A4 dengan ketebalan yang dapat diatur.
- Bagaimana menghasilkan produk lembaran lilin dalam jumlah banyak dengan ukuran A4.
- Bagaimana ketelitian dari lembaran lilin yang dihasilkan.

1.3. Batasan Masalah

Pada tahap ini, penyelesaian masalah secara mendasar dilakukan dengan batasan sebagai berikut :

- Pembuatan alat digunakan untuk mencetak lembaran lilin.
- Material yang digunakan sebagai pola hasil cetakan berupa lilin.
- Lembaran lilin yang dihasilkan berukuran A4 (297 mm x 210 mm).
- Ketebalan lembar lilin yang dihasilkan adalah 2 mm – 10 mm.
- Jumlah lilin yang dihasilkan dalam satu kali proses cetak sebanyak maksimal sepuluh lembar.
- Pengujian dilakukan dengan mengukur panjang, lebar, tebal dan sudut pada lembaran lilin hasil cetakan.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai adalah membuat alat yang dapat menghasilkan produk lembaran lilin ukuran A4 yang dapat diatur ketebalannya.

1.5. Manfaat Penelitian

Alat cetak lembaran lilin dibuat dengan tujuan untuk mempercepat proses pembuatan pola karena mampu mencetak lembaran lilin dalam jumlah banyak. Lembaran lilin tersebut dapat disusun untuk dijadikan cetakan dalam pembuatan karya atau bidang tertentu. Diantaranya bidang arsitek, industri kecil, kontur dan seni.

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam sistematika penulisan tugas akhir ini diberikan uraian bab demi bab yang berurutan untuk mempermudah pembahasan. Pokok-pokok permasalahan dalam penulisan ini dibagi menjadi lima bab. Bab I memuat latar belakang yang ditegaskan dengan ungkapan permasalahan serta batasan-batasan tertentu untuk mencapai tujuan (penelitian) berdasarkan manfaat yang menjadi tolak ukur penelitian tersebut. Bab II memuat landasan teori yang berhubungan dengan penelitian untuk memberi gambaran tentang masalah yang sedang dijalaninya.

Bab III berisi uraian tentang bahan dan alat penelitian yang digunakan, prosedur pelaksanaan, cara pengolahan dan analisa data. Bab IV berisi uraian cara pengambilan dan pengolahan data serta pembahasan hasil penelitian berupa tabel yang sedang diolah dan model pengujian hipotesa yang menyangkut penjelasan teoritis. Bab V merupakan kesimpulan yang memuat pernyataan singkat hasil penelitian dan saran yang dibuat berdasar pengalaman penulis yang ditujukan kepada pembaca yang bertujuan untuk mengembangkan hasil penelitian yang telah disusun.



BAB. II.

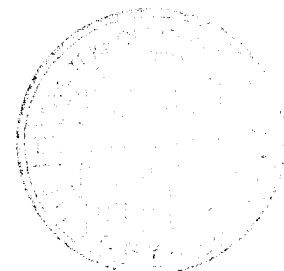
LANDASAN TEORI

2.1 *Rapid Prototyping (RP)*

Teknologi *rapid prototyping* (RP) adalah teknologi yang masih relatif baru dalam pembuatan produk atau rupa-rupa. Karakteristik utama dari teknologi ini adalah suatu penggabungan material baik berupa material padat atau material cair. Pada teknologi *rapid prototyping*, proses pembentukan produk dilakukan dengan cara penambahan material secara perlahan dan terkontrol, proses ini disebut dengan proses *additive*. Lain halnya dengan proses pemesinan, dimana proses pembentukan produknya dilakukan dengan cara pengurangan material atau disebut proses *subtractive*. Beberapa contoh proses yang termasuk dalam proses *subtractive* adalah proses bubut, proses *milling*, proses gurdi dan proses gergaji.

Teknologi *rapid prototyping* sering 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 penggabung-nya dapat berupa serbuk, cair, padat, dan lembaran. Beberapa metode yang telah dikembangkan dalam teknologi ini adalah *Stereolithography* (SLA), *Laminated Object Manufacturing* (LOM), *Selective Laser Sintering* (SLS), *Fused Deposition Modelling* (FDM), *Solid Ground Curing* (SGC), *3-D Ink Jet Printing*. (Griffith, 1998)

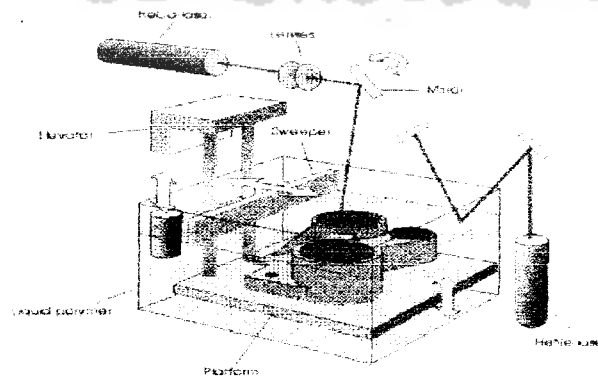
Teknik *rapid prototyping* juga dapat digunakan untuk membuat peralatan atau disebut sebagai *rapid tooling* serta untuk membuat suku cadang yang berkualitas tinggi. Untuk operasi produksi kecil dan objek yang rumit, *rapid prototyping* seringkali menjadi proses manufaktur yang terbaik. Tentu saja “cepat atau *rapid*” adalah istilah yang relatif. Kebanyakan *prototype* memerlukan waktu tiga hingga tujuh puluh dua jam untuk dibuat, tergantung pada ukuran dan tingkat kerumitan dari objek itu sendiri.



Setidaknya enam teknik RP berbeda yang telah tersedia secara komersial, masing-masing memiliki kekuatan tersendiri. Karena teknologi RP semakin banyak digunakan dalam aplikasi *non-prototyping*, teknik ini seringkali dikatakan sebagai *solid free-form fabrication*, *computer automated manufacturing*, atau *layered manufacturing*. Bentuk yang terakhirlah yang menjadi gambaran proses manufaktur yang digunakan oleh semua teknik komersial. Sebuah paket *software* “mengiris” CAD menjadi sejumlah layer tipis (0.1mm) yang kemudian disusun menjadi beberapa layer di atasnya. *Rapid prototyping* merupakan proses “*additive*” yaitu menggabungkan lapisan kertas, wax, atau plastik untuk menciptakan suatu objek padat. Sebaliknya, proses “*substraktive*” yaitu proses menghilangkan material dari blok padat (bagian besar menjadi berkurang) dengan menggunakan mesin freis, gurdi dan skrap. Sifat *additive* dari RP memungkinkan untuk menciptakan objek dengan fitur *internal* yang rumit.

Tentu saja, *rapid prototyping* belumlah sempurna. Volume *part* umumnya terbatas pada 0.125 meter kubik atau kurang, tergantung pada mesin RP-nya. *Prototype* logam sulit dibuat, hal ini harus segera diubah supaya menjadi mudah dimasa mendatang. Untuk *part* logam yang operasi produksinya besar atau objeknya sederhana, penghematan biaya produksi dapat dilakukan dengan menggunakan teknik manufaktur konvensional. Selain itu, *rapid prototyping* merupakan teknologi luar biasa yang mengubah total proses manufaktur. (McMains, S.A. 1995).

2.1.1 Stereolithography (SLA)



Gambar 2.1 Stereolithography (Griffith, 1998)

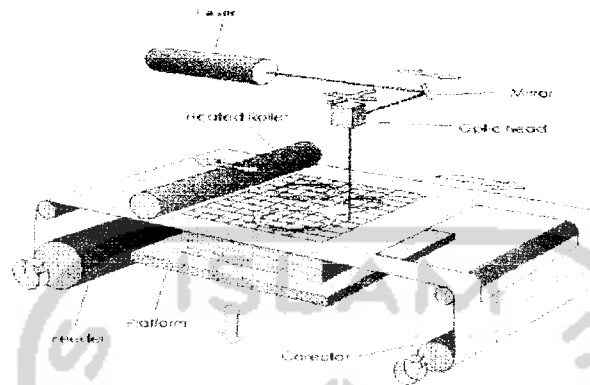
Teknik ini membangun model tiga dimensi dari cairan polimer yang memadat ketika diberi cahaya ultraviolet. Seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.1. Model rupa-rupa dibangun diatas sebuah *platform* yang ditempatkan tepat di bawah permukaan epoksi cair. Sinar laser UV bertenaga rendah difokuskan ke lapisan pertama, memadatkan polimer cair pada lapisan pertama sesuai desain produk yang akan dibentuk. Kemudian *elevator* menurunkan *platform* sejauh tebal satu lapisan. Pemangkas melapis ulang lapisan yang telah memadat dengan cairan, dan sinar laser menuju ke lapisan kedua. Proses ini diulangi hingga lapisan terakhir model produk selesai dikerjakan. Setelah itu, bagian padatan dipindahkan dan dibersihkan dari sisa cairan yang menempel. (Griffith, 1998).

Stereolithography dipatenkan pada tahun 1986 dan mengawali revolusi *rapid prototyping*. Teknik ini membangun model tiga dimensi dari cairan *polimer* yang memadat ketika diberi cahaya ultraviolet. Gambar 2.1 menunjukkan suatu model yang dibangun diatas sebuah *platform* yang ditempatkan tepat dibawah permukaan sebuah *vat* dari *epoxy* cair atau *resin*. Sedangkan sinar laser UV bertenaga rendah difokuskan ke *layer* pertama.

Sebuah *elevator* secara bertahap menurunkan *platform* kedalam *polimer* cair. Sebuah penyapu melapis ulang lapisan yang telah memadat dengan cairan dan sinar laser menuju ke *layer* kedua. Proses ini diulang hingga *prototype* selesai. Setelah itu, bagian yang padat dipindahkan dari *vat* dan membersihkan cairan yang tersisa. Penyokong dilepas dan model kemudian ditempatkan pada oven (ultraviolet) untuk proses *finishing*

Mesin *Stereolithography* telah dibuat sejak 1988 oleh 3D System of Valencia, yang mana 3D System of Valencia adalah sebuah industri maju yang mampu menjual lebih banyak mesin RP ketimbang perusahaan manapun. Karena merupakan teknik pertama, maka *stereolithography* dikatakan sebagai *benchmark* (standar baku) yang dengannya teknologi lain dinilai kemampuannya. *Prototype stereolithography* sebelumnya cukup rapuh dan rentan terhadap *distorsi*, namun modifikasi belakangan ini telah membenahi masalah ini. (Griffith, 1998).

2.1.2 Laminated Object Manufacturing (LOM)

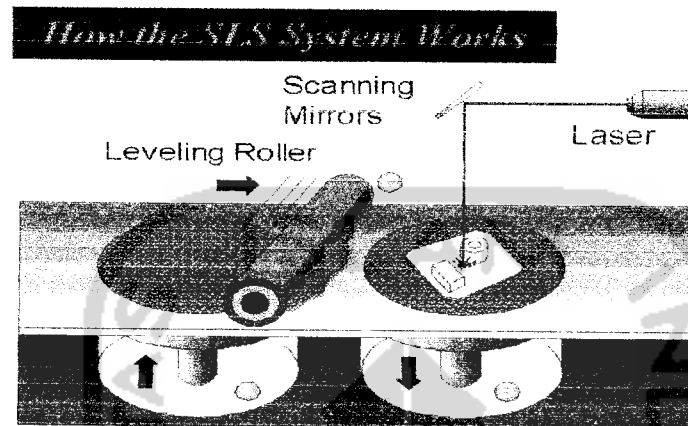


Gambar 2.2 *Laminated Object Manufacturing* (Griffith, 1998).

Produk dari bahan lembaran plastik atau kertas yang ditempel-tempel untuk membentuk sebuah model produk. Lembaran plastik ditempelkan pada lapisan sebelumnya dengan rol pemanas, kemudian sinar laser memotong lembaran tersebut sesuai dengan batas luar dari bentuk penampang produk, seperti pada gambar 2.2 Sinar laser kemudian juga memotong lembaran di bagian luar produk dengan bentuk kotak-kotak kecil sebagai material pendukung. Tujuan dari pemotongan ini adalah untuk memudahkan pemisahan produk dengan material pendukung setelah produk terbentuk seluruhnya. Setelah lapisan pertama selesai dikerjakan, *platform* diturunkan sejauh tebal satu lapisan dan lembaran baru dilapiskan pada lembaran sebelumnya. Proses ini diulangi hingga lapisan terakhir rupa-rupa selesai dikerjakan (Griffith, 1998).

Laminated Object Manufacturing (LOM) dikembangkan oleh Helisys of Torrance. Dimana layer dari bahan *adhesive-coated* diikat bersama untuk membentuk sebuah *prototype*. Material asalnya terdiri dari kertas yang dilapisi dengan lem panas dan digulung pada sebuah spool. Helisys mengembangkan beberapa material lapisan yang baru, yaitu mencakup plastik, kertas anti air, keramik serta pita bubuk logam. Pita bubuk menghasilkan *part* “hijau” yang harus dipanaskan namun tidak sampai meleleh agar diperoleh kekuatan yang optimal. (Griffith, 1998).

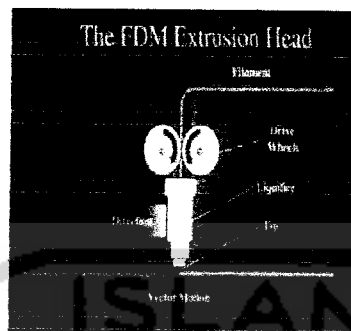
2.1.3 *Selective Laser Sintering (SLS)*



Gambar 2.3 *Selective Laser Sintering* (Griffith, 1998).

Pada metoda ini material serbuk ditaburkan dan diratakan di atas permukaan *platform*. Kemudian sinar laser memanaskan serbuk secara selektif sesuai dengan bentuk penampang produk, seperti pada gambar 2.3. Sinar laser menyebabkan serbuk-serbuk tersebut saling menyatu, selain itu sinar laser juga berguna untuk menyatukan lapisan dengan lapisan di bawahnya. Serbuk-serbuk yang tidak terkena sinar laser dibiarkan di tempat untuk digunakan sebagai material pendukung. Setelah setiap satu lapisan selesai dikerjakan, *platform* diturunkan sejauh tebal satu lapisan, dan serbuk-serbuk untuk lapisan berikutnya ditaburkan dan diratakan. Setelah bentuk produk selesai dikerjakan seluruhnya, maka produk dipisahkan dari material pendukung. *Selective Laser Sintering* (SLS) dikembangkan oleh Carl Deckard dalam tesis gelar masternya di Universitas Texas, *selective laser sintering* dipatenkan tahun 1989. Mesin SLS diproduksi oleh DTM Austin, TX. (Griffith, 1998).

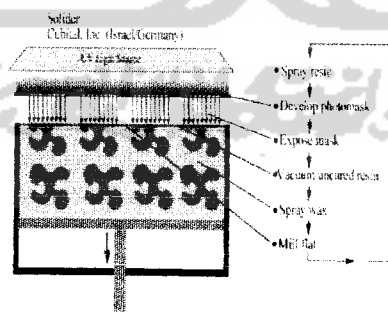
2.1.4 Fused Deposition Modelling (FDM)



Gambar 2.4 *Fused Deposition Modelling* (Griffith, 1998).

Pada gambar 2.4 metoda ini filamen termoplastik atau lilin dilewatkan nosel panas, meleleh keluar dari nosel dan menetes pada *platform*. Cairan lilin ini dengan cepat membeku setelah keluar nosel untuk membentuk deposit, seperti gambar 2.4. Nosel panas ini bergerak dalam arah x-y sesuai dengan bentuk penampang produk, yang bergerak di sumbu x-y. Setelah satu lapisan selesai dikerjakan, *platform* diturunkan sejauh tebal satu lapisan. Langkah-langkah tersebut diulang-ulang hingga produk terbentuk seluruhnya (Griffith, 1998)..

2.1.5 Solid Ground Curing (SGC)

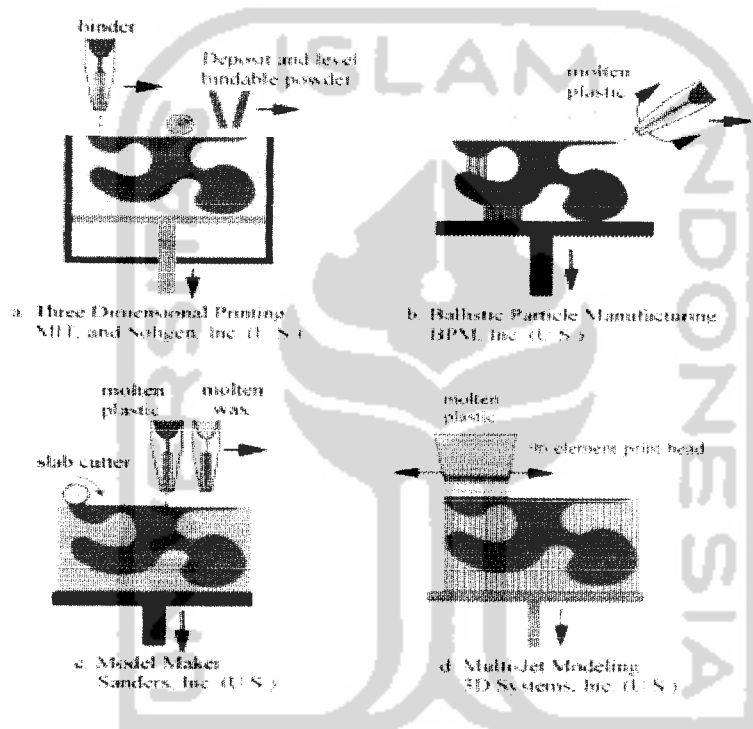


Gambar 2.5. *Solid Ground Curing* (Weiss, 1997).

Pada metoda ini, pertama resin fotosensitif disemprotkan pada *platform*. Kemudian mesin menyusun suatu pola pada pelat kaca dengan proses elektrostatis yang mirip dengan fotokopi. Sinar ultraviolet dilewatkan melalui pola mengenai resin fotosensitif menyebabkan resin tersebut menjadi padat pada bagian yang terkena sinar, gambar 2.5. Kemudian resin yang masih berbentuk cair dihisap dan lilin dituangkan

untuk digunakan sebagai material pendukung. Proses freis dilakukan untuk meratakan permukaan atas lapisan. Langkah tersebut diulang-ulang hingga lapisan terakhir selesai dikerjakan (Weiss 1997).

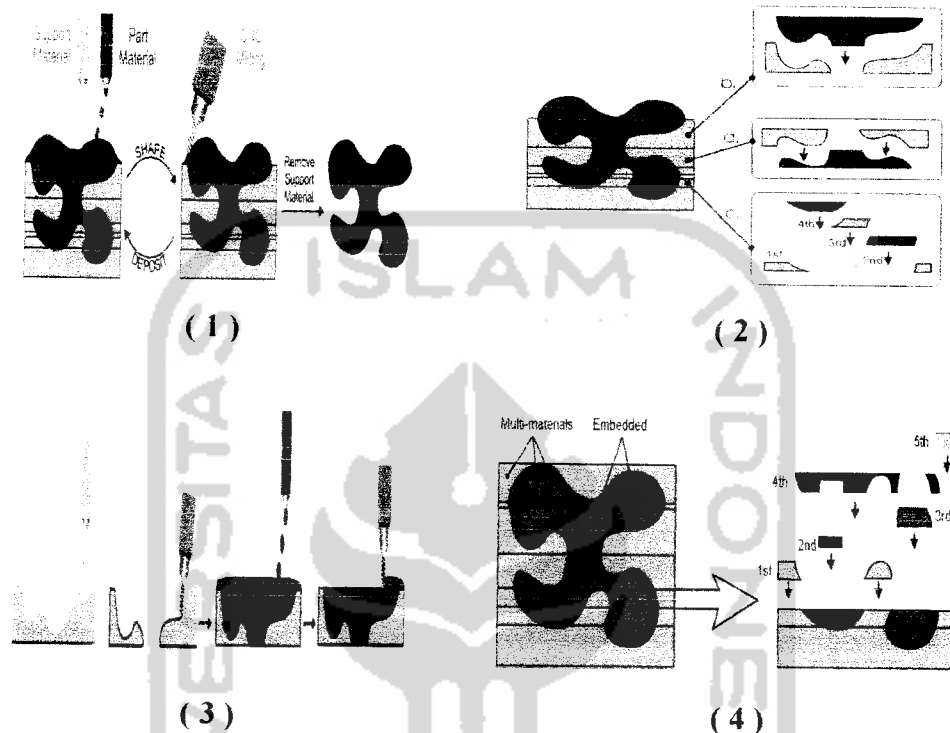
2.1.6 3-D Ink Jet Printing



Gambar 2.6. 3-D Ink Jet Printing (Weiss, 1997).

Pada metoda ini material serbuk ditaburkan di atas *platform* dan diratakan dengan roller, kemudian nosel meneteskan perekat secara selektif sesuai dengan bentuk penampang produk, seperti pada gambar 2.6. Serbuk yang terkena perekat akan saling berikatan, dan serbuk yang tidak terkena perekat berfungsi sebagai material pendukung. Setelah satu lapisan selesai dikerjakan, *platform* diturunkan sejauh tebal satu lapisan. Langkah tersebut diulang-ulang hingga lapisan terakhir selesai dikerjakan . (Weiss 1997)

2.1.7 Shape Deposition Manufacturing (SDM)



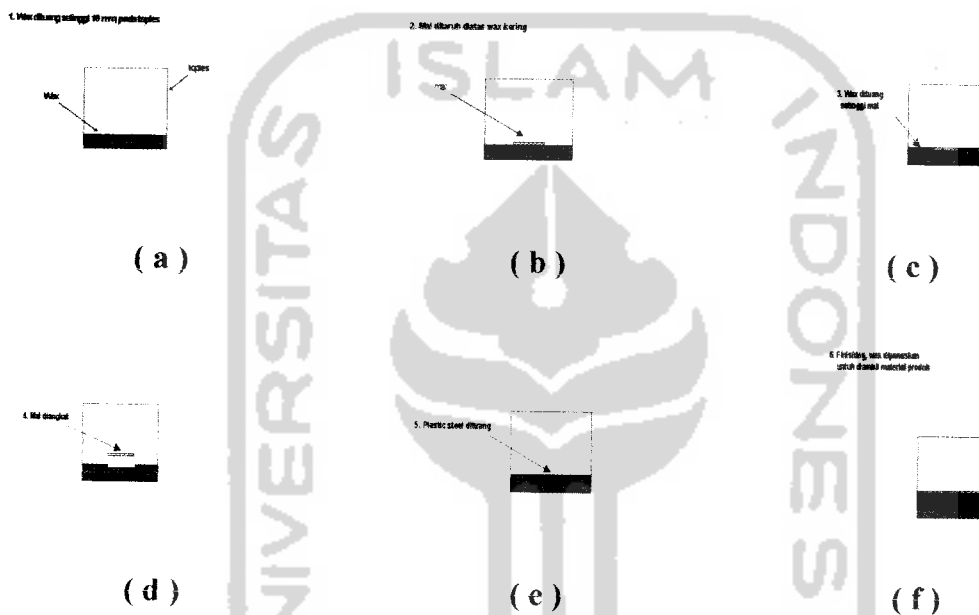
Gambar 2.7 Shape Deposition Manufacturing (Prinz, F.B. 1994).

Metode *shape deposition manufacturing* (SDM) pada dasarnya sama dengan metode lainnya dalam *rapid prototyping*. Metode SDM seperti pada gambar 2.7.(1) merupakan gabungan dari proses “*additive*” (penambahan material) dan proses “*subtractive*” (pengurangan material). Pada gambar 2.7.(2)c material pendukung dibangun, setelah itu dibentuk rongga cetak dengan menggunakan *CNC milling*, setelah rongga cetak terbentuk maka material produk dituang penuh, seperti pada gambar 2.7.(2)a, pada proses ini pula terjadi proses *subtractive*. Pada gambar 2.7.(2)b material pendukung dituang lagi sampai penuh kemudian di-*milling* (warna biru) dan proses ini diulang sampai pada *shape* terakhir. Gambar 2.7.(3) adalah beberapa tahapan proses pemahatan dengan mesin *CNC milling* 3 atau 5 sumbu pada metoda SDM. Gambar 2.7.(4) adalah *prototype* dalam bentuk kompleks. (Prinz, F.B. 1994).

2.2 Metode *Layer Deposition Manufacturing* (LDM)

Layer Deposition Manufacturing merupakan metode baru yang mempunyai prinsip sama dengan metode *Laminated Object Manufacturing* (LOM)

2.2.1 LDM secara manual



Gambar 2.8 Langkah Kerja LDM (Izzuddin, 2007)

Keterangan: Gambar 2.8a merupakan langkah kerja pertama yaitu lilin dituang pada toples setinggi 1 mm, dengan tujuan untuk melapisi dasar toples, sehingga saat material produk dituang tidak menempel pada toples tetapi menempel pada lilin atau *layer* (lapisan) pertama. Kemudian langkah kedua yang ditunjukkan pada gambar 2.8b pola diletakkan diatas layer pertama. Pola terbuat dari kertas katon, kayu atau plat baja. Setelah pola diletakkan secara presisi kemudian lilin cair dituang di sekeliling pola hingga ketebalan satu lapisan, misalnya 1 mm. Setelah beberapa saat terbentuk lapisan tipis lilin beku, seperti pada gambar 2.8c. Pola diangkat dilepaskan dari lapisan lilin tersebut sehingga terbentuk lubang cetak yang sesuai dengan bentuk dari pola, seperti gambar 2.8d.

Pada gambar 2.8e material produk yang berbentuk cair atau pasta dituang mengisi lubang cetak sesuai dengan pola yang dibentuk, dan material produk segera mengeras setelah beberapa saat. Proses ini dilakukan secara berulang-ulang

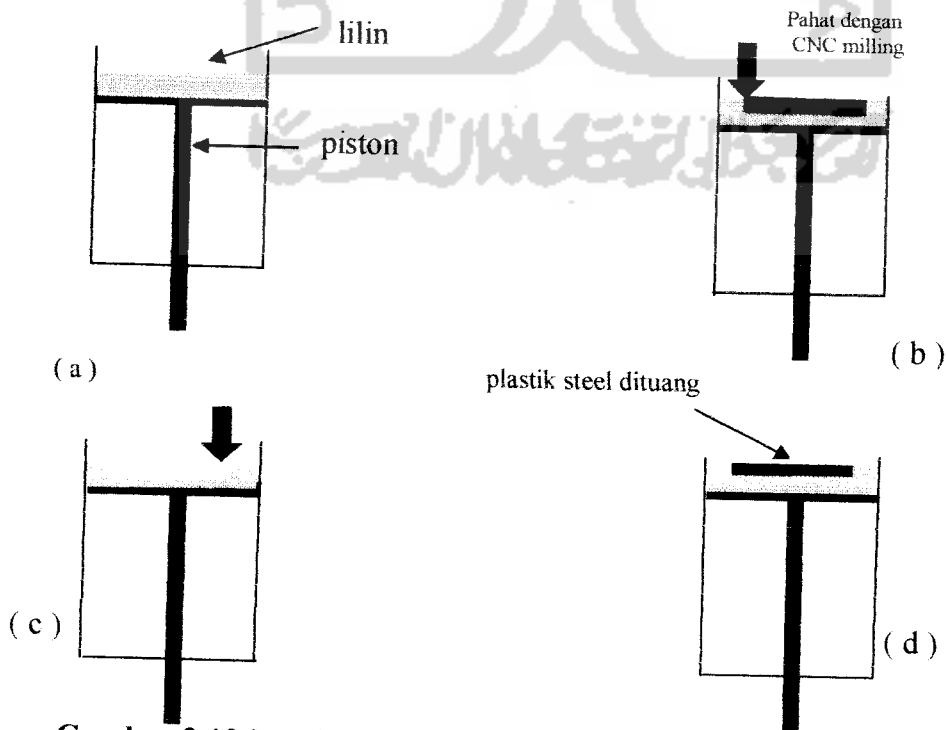
sampai pada layer terakhir seperti pada gambar 2.8f dan kemudian tahapan terakhir yaitu melepas material produk dari support material (lilin) dengan cara dipanaskan atau dilelehkan lilinnya dari material produknya, biasanya proses pemanasan bisa dilakukan memakai kompor atau oven dengan syarat pemanasan sampai titik cair lilin.

2.3.2 LDM dengan memanfaatkan mesin CNC



Gambar 2.9 Desain gambar produk (Izzuddin, 2007)

Dari gambar 2.9 produk dapat dibuat dengan metoda LDM dengan memanfaatkan mesin CNC, metoda ini pada prinsipnya sama dengan metoda LDM secara manual, yang membedakan hanya pada pembuatan pola atau rongga cetak untuk *support materialnya*.



Gambar 2.10 Langkah kerja pembuatan produk LDM (Izzuddin, 2007)

Langkah kerja dari proses pembuatan produk dengan metoda ini adalah seperti pada gambar 2.10a lilin cair, sebagai material pendukung, dituang secara tipis ke suatu lubang silinder dan didiamkan hingga membeku membentuk satu lapisan lilin. Pada lapisan lilin tersebut kemudian dibuat lubang cetak dengan proses freis menggunakan mesin CNC Milling agar lebih presisi seperti pada gambar 2.10b. Pada gambar 2.10c lubang cetak terbentuk, kemudian material produk yang berbentuk cair atau pasta (dalam penelitian ini digunakan *plastic steel / resin-epoxy*) dimasukkan ke dalam lubang cetak tersebut seperti pada gambar 2.10d dan segera mengeras setelah beberapa saat dengan bentuk menyesuaikan lubang cetak. Proses yang dilakukan untuk lapisan berikutnya, yaitu dengan menurunkan piston pada dasar lubang silinder, kemudian lilin cair dituang ke lubang silinder dan dibentuk lubang cetak dengan proses pemesinan untuk lapisan berikutnya. Material produk dituang, begitu seterusnya proses tersebut diulang-ulang hingga pada lapisan yang terakhir. Produk dilepaskan dari lilin dengan cara memanaskannya hingga sedikit di atas titik cair lilin, lilin meleleh dan produk dapat diambil. (Izzuddin, 2007)

2.4 Jenis dan Kreasi Lilin



Gambar 2.8 Kreasi lilin (<http://majalah-handicraft.jogja.com> 10 April 2007).

Jenis lilin yang digunakan untuk membuat pola pada proses LDM adalah *paraffine* dan *stearine*. Dimana *paraffine* mempunyai warna lebih transparan dibanding lilin *stearine*. *Paraffine* saat dibakar mengeluarkan asap dan mengandung racun berupa karbon. Walau racun ini tak langsung mematikan tetapi bisa menimbulkan sesak napas bagi yang menghirupnya. Sedangkan *stearine*

kadang dinamakan dengan *acid* penamaan yang berlainan ini biasanya tergantung lokasi atau tempat bahan ini ditemukan dan diolah. *Acid* memiliki tekstur yang lebih *solid* atau *flat* dan keras. Jenis ini lebih disukai di Eropa karena lebih ramah lingkungan dan kandungan racunnya lebih sedikit serta asapnya tidak terlalu tebal.

Lilin dapat dikreasikan dalam tiga katagori. Katagori pertama adalah Lilin *Suvenir*, yaitu jenis lilin yang biasanya berukuran kecil dan bisa dijadikan koleksi atau sebagai cinderamata diacara-acara tertentu. Bahan bakunya terdiri dari campuran *paraffine* dan *stearine* yang teknik pembuatan dilakukan dengan sistem kombinasi. Katagori kedua adalah Lilin *Artifisial*, dimana bentuknya merupakan tiruan dari benda asli. Contoh produknya seperti buah buahan, makanan, bunga, batu, kayu, dan sebagainya. Teknik pengembangannya dilakukan menggunakan bahan baku *paraffine*. Pembuatan produk tersebut dilakukan menggunakan teknik adonan dengan cetakan karet silikon. Katagori ketiga adalah Lilin *Geometrical*, yaitu berbentuk segi dan silindris berukuran antara 5 cm hingga 100 cm. Teknik pembuatannya menggunakan cetak logam yang bahan bakunya 100% *paraffine*, atau 100% *stearine*, bisa juga dengan menggabungkan keduanya yaitu 50% : 50%.

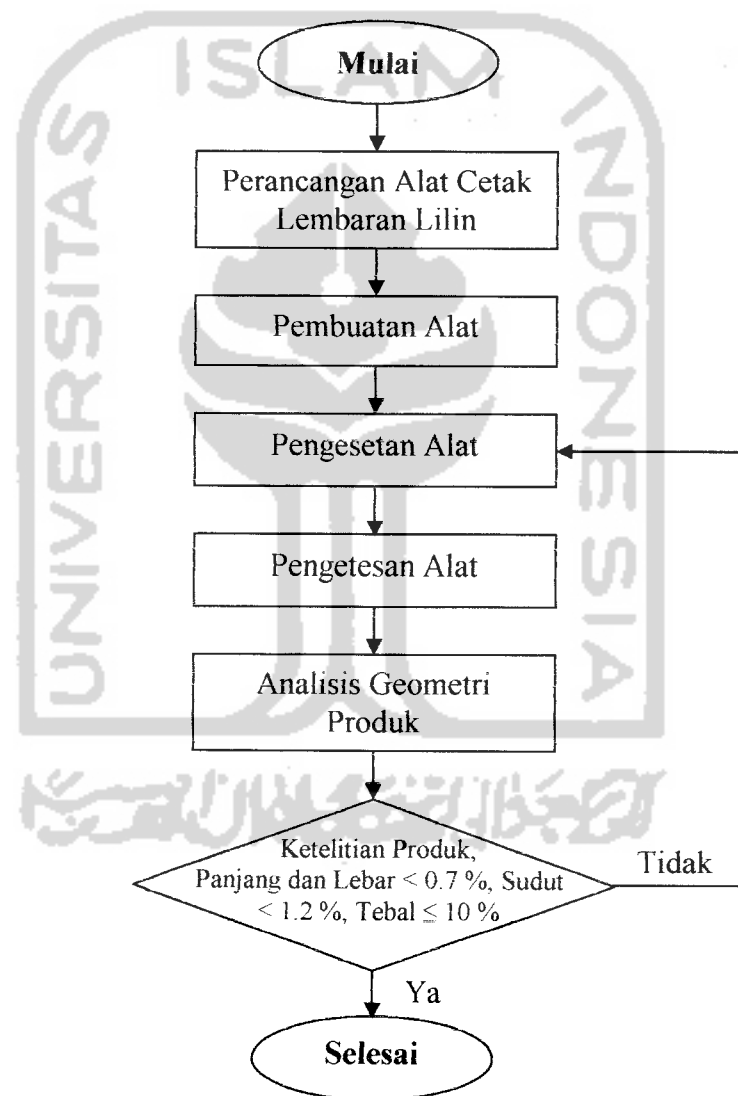
Beberapa jenis lilin kreasi yang bisa ditemukan dipasaran antara lain: *container* (dikemas bahkan dibakar dalam kemasannya), *pillar* (tegak dan tebal), *votive* (gelas kecil yang diisi lilin lembut sebagian), *moulded* (berbentuk aneh dan kecil), *taper* (panjang, kecil dan silindris), *danish tappers* (lilin taper yang sangat kecil), *tealights* (wadah logam kecil yang diisi lilin), *floating candle* (didesain bisa mengambang di air), *sculptural* (bentuk hiasan yang mempunyai ukuran besar biasanya diletakkan di lantai) dan *honeycomb sheets* atau lembar getah *honeycomb* yang digulung mengelilingi sumbu.

(<http://majalah-handicraft.jogja.com>. 10 April 2007).

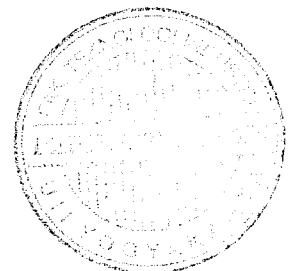
BAB. III.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan metode seperti pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Metodologi penelitian



3.1. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian pada Perancangan dan Pembuatan Alat Cetak Lembaran Lilin Untuk Bahan Pola pada Proses *Layer Deposition Manufacturing* adalah sebagai berikut.

3.1.1. Alat

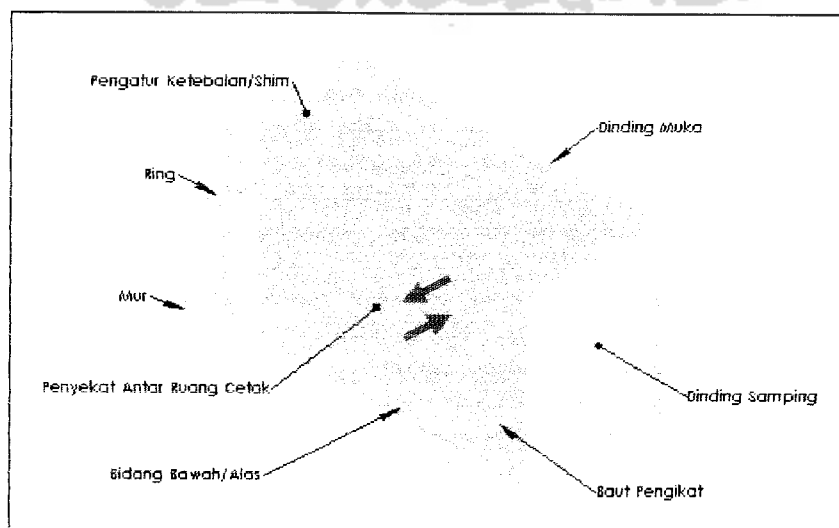
Alat yang dipakai dalam penelitian.

1. Kaca bening
2. Baut, mur dan ring
3. *Cutter*
4. Penjepit
5. Kompor dan ceret (*Oil Stove, Boiler*)
6. Minyak pelumas (*Lubricating Oil*)
7. Penggaris (Mistar Baja)
8. Jangka sorong (*Vernier Caliper*)
9. Busur derajat
10. Timbangan (*Spring Flat Form Scale*)
11. Termometer

3.1.2. Bahan

Bahan yang digunakan adalah lilin (*paraffine* ditambah *stearine*)

3.1.3. Perangkaian Alat



Gambar 3.2 Alat cetak lembaran lilin

Urutan perangkaian alat cetak lembaran lilin pada gambar 3.2 adalah sebagai berikut:

- ❑ Sisi atau permukaan kaca dibersihkan dengan menggunakan *Cutter* dan kain.
- ❑ Pelumasan diberikan untuk sisi atau permukaan kaca yang dijadikan ruang cetak lembaran lilin, sedang sisi atau permukaan lain tidak memerlukan pelumasan.
- ❑ Pemasangan satu persatu lembaran kaca kecil yang diselingi kaca besar, sekaligus memasukkan baut pengikat kedalam lubang yang ada. (sisi kaca yang rata digunakan sebagai ruang cetak lembaran lilin). Untuk menahan kaca dapat menggunakan suatu penjepit
- ❑ Penggunaan mistar baja untuk menepatkan posisi kaca kecil
- ❑ Pemasangan mur pada baut pengikat dan pengencangannya dilakukan dengan tangan.

3.2. Proses Pembuatan Lembaran Lilin

Paraffine dan *stearine* dicampur dengan perbandingan ideal 3:1 dalam wadah, kemudian lilin (*paraffine* ditambah *stearine*) direbus sampai mencair dengan temperatur maksimal antara 105 °C -110 °C. Penuangan dalam cetakan dilakukan setelah suhu cairan lilin turun sekitar 90°C sampai dengan batas bawah sekitar 70 °C. Setelah penuangan dinyatakan selesai maka cairan yang ada dalam cetakan tersebut ditunggu sampai padat sempurna dan pemadatan lilin membutuhkan waktu minimal enam jam sebelum lembaran lilin dilepas dari cetakannya.

3.2.1. Peleburan Lilin

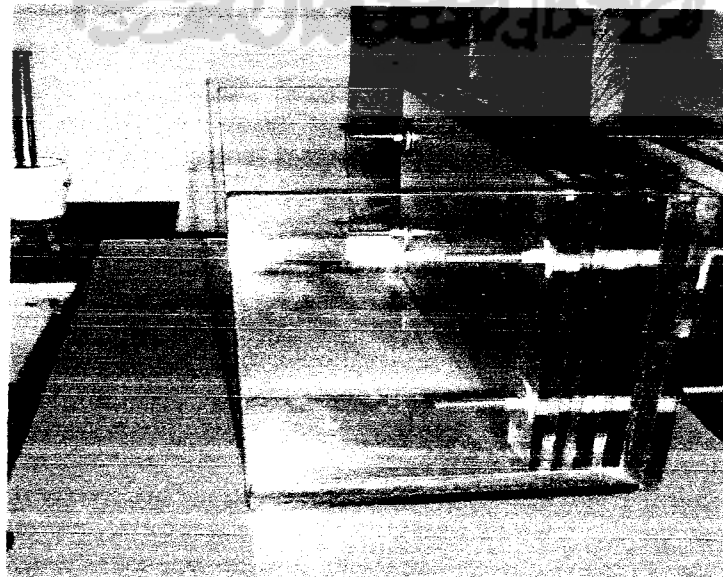
- ❑ Peleburan (perebusan) lilin dilakukan selama 10 - 20 menit
- ❑ Pemantauan proses peleburan lilin harus dilakukan untuk mencegah terbakarnya lilin yang ada dalam wadah.
- ❑ Pendinginan cairan lilin dilakukan selama 15 -20 menit sebelum dituang.



Gambar 3.3 Peleburan lilin (direbus)

3.2.2. Ruang Cetak Lembaran lilin

- ❑ Ketebalan ruang cetak dapat diatur dengan memakai sket pengatur ketebalan sesuai dengan tebal lembaran lilin yang dibutuhkan.
- ❑ Sebelum penuangan dilakukan, pemasangan sket pengatur ketebalan diusahakan menempel pada dinding samping. Hal ini bertujuan supaya ukuran panjang ruang cetak sesuai dengan ukuran panjang A4.



Gambar 3.4 Cetakan lilin manual

3.2.3. Penuangan Cairan Lilin

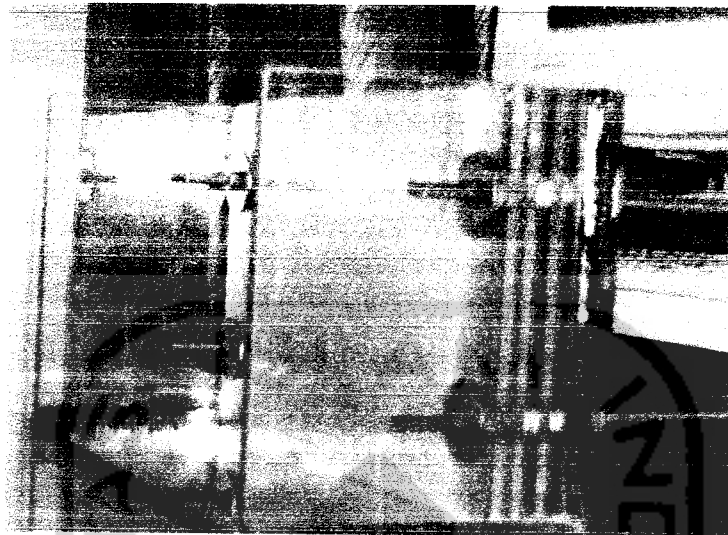
- ❑ Penuangan cairan lilin dimulai dari ruang cetak pertama (secara perlahan) sampai penuh.
- ❑ Apabila terjadi kebocoran pada ruang cetak kedua, maka harus menunggu cairan lilin itu memadat.
- ❑ Penuangan proses selanjutnya dilakukan secara berurutan (Ruang cetak kedua, tiga..... dan seterusnya).
- ❑ Penuangan cairan lilin dilakukan kembali kedalam ruang cetak sampai rata apabila penuangan pertama mengalami penyusutan.



Gambar 3.5 Penuangan cairan lilin

3.2.4. Pemadatan

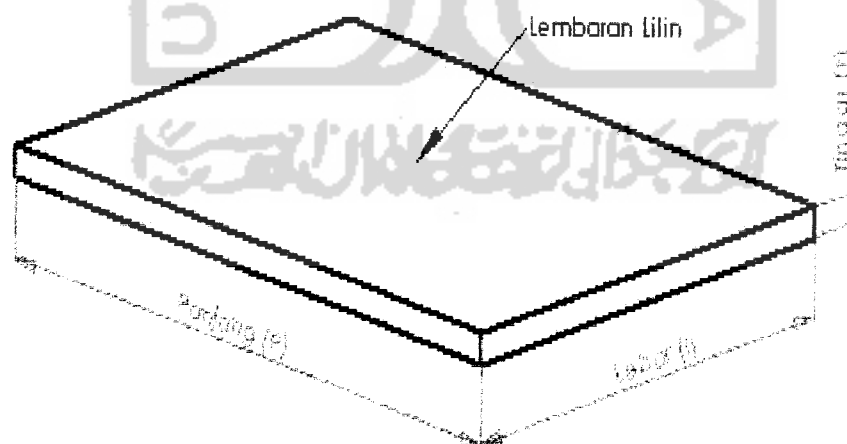
- ❑ Pemadatan dilakukan dengan menunggu minimal enam jam untuk dapat melepaskan lembaran lilin dari cetakan jika pendinginannya secara alami.
- ❑ Menunggu kurang lebih empat jam jika pendinginannya dengan bantuan kipas pendingin.



Gambar 3.6 Pemadatan cairan lilin

3.2.5. Pelepasan Lembaran Lilin

- ❑ Pelepasan mur dan baut pengikat.
- ❑ Penggunaan *cutter* untuk pemisahan kaca dan lembaran lilin.
- ❑ Pembersihan kembali kaca cetakan setelah lembaran lilin terlepas.

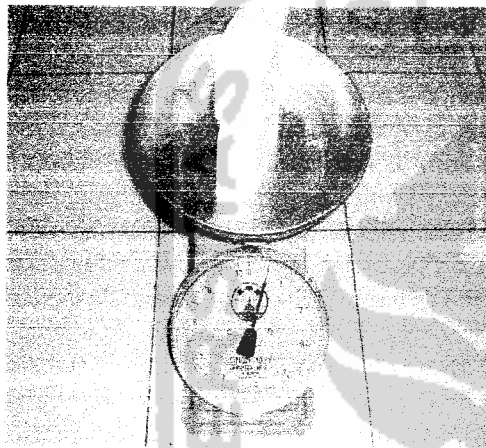


Gambar 3.7 Lembaran lilin

3.3. Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat ketelitian penggunaan alat bertujuan memperoleh bentuk lembaran lilin hasil cetakan yang sesuai dengan ukuran A4 dengan ketebalan tertentu dan untuk memperoleh permukaan lembaran lilin yang rata.

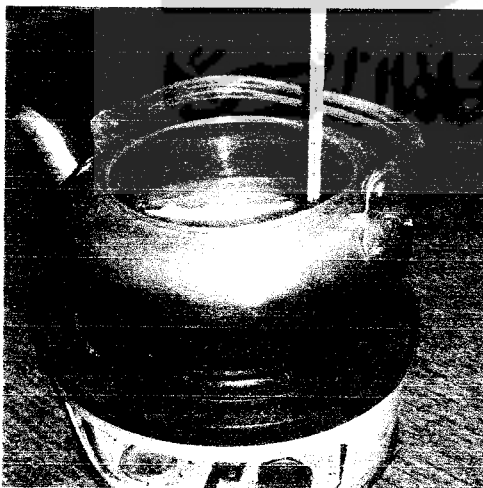
3.3.1. Mengukur Campuran *Paraffine* dan *Stearine*.



Gambar 3.8 Mengukur campuran *paraffine* dan *stearine*

Lembaran lilin dicetak dari dua unsur bahan lilin, yaitu *paraffine* dan *stearine*. Dimana semakin besar campuran *stearine*-nya maka hasil lembaran lilin akan semakin keras. Hal ini dilakukan jika lembaran lilin yang dicetak mempunyai ketebalan 2 mm - 4 mm.

3.3.2. Mengukur Temperatur



Gambar 3.9 Mengukur temperatur

Perebusan atau proses pencairan *paraffine* dan *stearine* dilakukan dengan menggunakan bantuan alat berupa kompor dan ceret, serta termometer untuk mengetahui temperatur pencairan. Proses ini dilakukan selama 10 - 20 menit atau setelah suhu cair *paraffine* dan *stearine* mencapai $105^{\circ}\text{C} - 110^{\circ}\text{C}$.

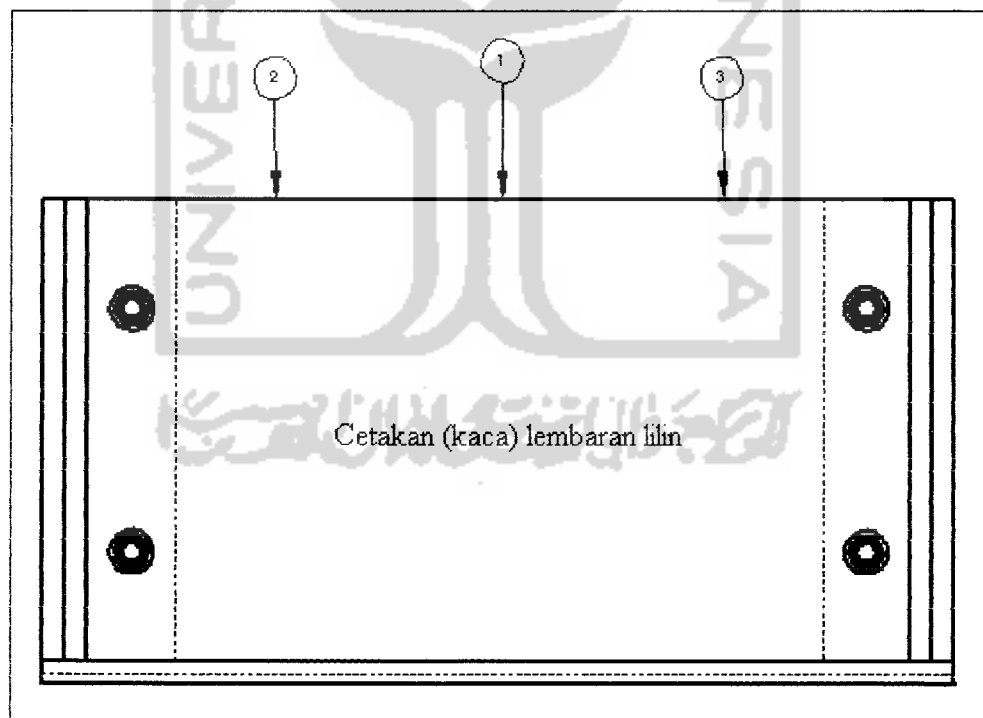
Pendinginan sementara atau proses penurunan temperatur cairan lilin (*paraffine* dan *stearine*) hingga kisaran 90°C perlu dilakukan sebelum penuangan cairan kedalam ruang cetak lembaran lilin. Hal ini bertujuan untuk mencegah

kemungkinan pecahnya cetakan lembaran lilin yang terbuat dari kaca karena tingginya temperatur cairan melebihi batas temperatur maksimal keamanan kaca.

3.3.3. Penuangan Cairan Lilin

Penuangan cairan lilin kedalam cetakan mempunyai tiga posisi yang berbeda, yaitu posisi penuangan satu tempat di tengah, penuangan dua tempat secara bergantian di pinggir kanan dan kiri serta penuangan di tiga tempat yaitu di tengah, pinggir kanan dan kiri.

Posisi penuangan tersebut sangat berpengaruh terhadap lembaran lilin hasil cetakan dikarenakan sifat atau karakteristik lilin yang mudah menyusut saat proses pencetakan berlangsung.



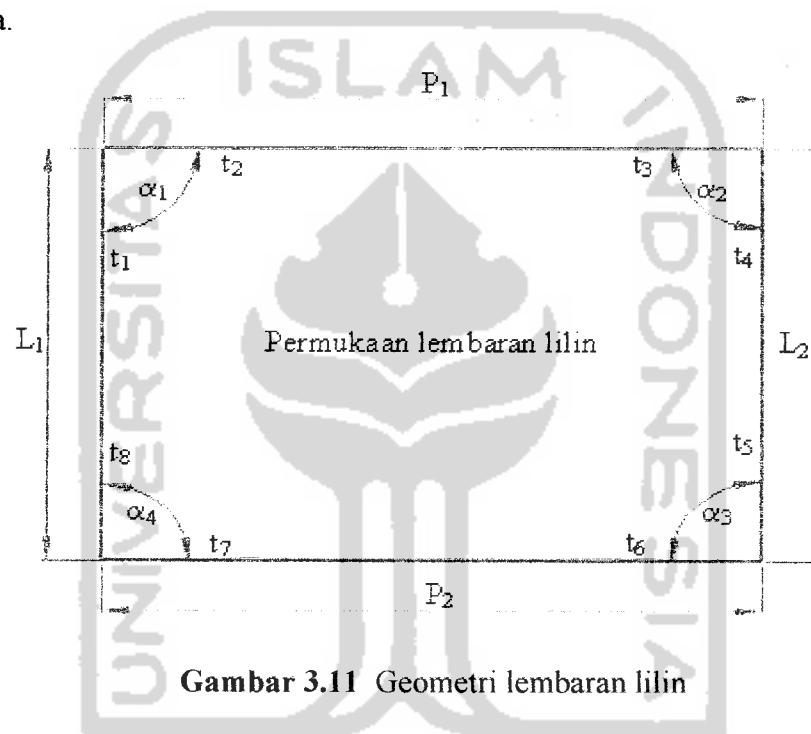
Gambar 3.10 Posisi penuangan

Keterangan gambar :

1. Posisi penuangan di tengah
2. Posisi penuangan pinggir kiri
3. Posisi penuangan pinggir kanan.

3.3.4. Mengukur Geometri Lembaran Lilin

Penelitian dilakukan dengan mengukur panjang, lebar, tebal dan sudut lembaran lilin hasil cetakan. Jika hasil pengukuran masuk dalam toleransi berarti lembaran lilin tersebut dapat digunakan untuk bahan pola, secara otomatis alat cetak lembaran lilinnya-pun dinyatakan dapat digunakan untuk proses cetak selanjutnya.



Gambar 3.11 Geometri lembaran lilin

Keterangan gambar 3.11

P = Panjang lembaran lilin (mm)

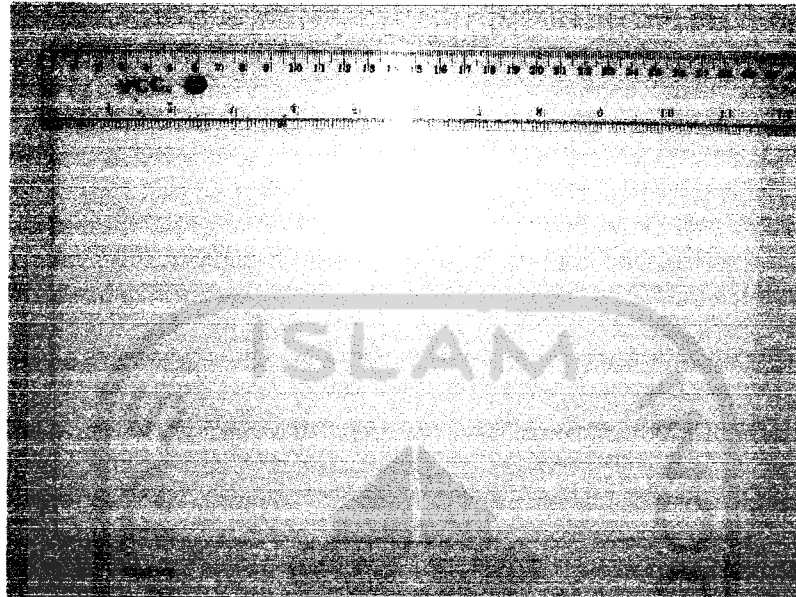
L = Lebar lembaran lilin (mm)

T = Tebal lembaran lilin (mm)

α = Sudut lembaran lilin ($^\circ$)

a. Pengukuran Panjang

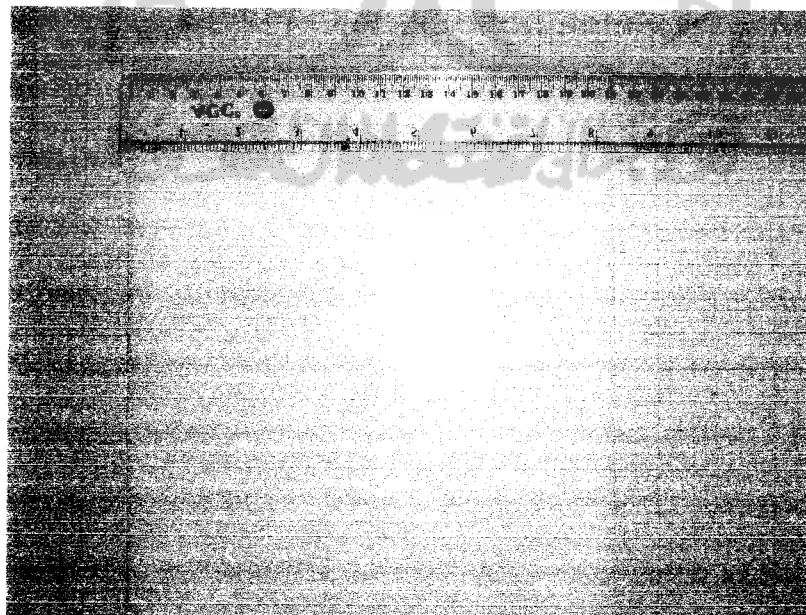
Pengukuran panjang lembaran lilin dilakukan dengan menggunakan alat ukur berupa penggaris panjang di dua posisi, yaitu P_1 dan P_2 . Adapun cara pengukurannya dapat dilakukan seperti terlihat pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Pengukuran panjang lembaran lilin

b. Pengukuran Lebar

Pengukuran lebar lembaran lilin juga dilakukan dengan menggunakan alat ukur berupa penggaris panjang di dua posisi yaitu L_1 dan L_2 .



Gambar 3.13 Pengukuran lebar lembaran lilin

c. Pengukuran Ketebalan

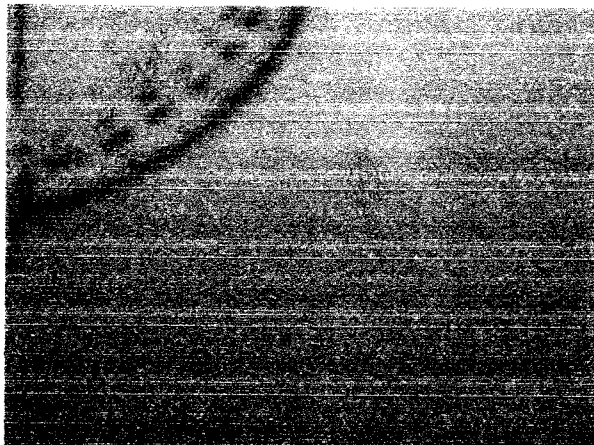
Pengukuran ketebalan lembaran lilin dilakukan dengan menggunakan alat ukur berupa jangka sorong (*vernier caliver*) pada dua posisi di setiap sudutnya yaitu t_1 , t_2 , t_3 , t_4 , t_5 , t_6 , t_7 dan t_8 . Hal ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kepresisian produk yang dihasilkan, karena ke-empat sudutnya mempunyai kesalahan yang berbeda.



Gambar 3.14 Pengukuran ketebalan dengan *vernier caliver*

d. Pengukuran Sudut

Pengukuran sudut lembaran lilin dilakukan dengan menggunakan alat ukur berupa busur derajat. Jumlah sudut yang diukur sebanyak empat posisi di setiap lembaran. Yaitu α_1 , α_2 , α_3 , dan α_4 .



Gambar 3.15 Pengukuran sudut dengan busur derajat

BAB. IV.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis

Untuk dapat mengetahui kelayakan alat cetak lembaran lilin ukuran A4 sistem *mass product* pada proses *layer deposition manufacturing*, maka perlu dilakukan analisis terhadap data-data yang diperoleh pada saat melakukan pengujian.

4.1.1 Pengukuran Alat dan Bahan Lembaran Lilin

Alat cetak lembaran lilin menggunakan bahan utama kaca dan terbentuk dari beberapa bagian yang mempunyai ukuran panjang, lebar dan ketebalan tertentu (tabel 4.1) yang digabung menjadi satu rangkaian. Dilihat dari cara kerjanya alat ini dibedakan menjadi dua, yaitu bagian induk atau *permanent* dan bagian yang *non-permanent*. Bagian *permanent* adalah bagian alat cetak lembaran lilin yang tidak dapat dilepas *per-part*-nya karena sudah menjadi satu bagian, yaitu dengan cara diberi *auto sealer* sebagai perekat pada bagian yang menjadi persinggungan antar *part*-nya tersebut. Kedua adalah bagian alat cetak lembaran lilin *non-permanent*, yaitu bagian alat cetak lembaran lilin yang dapat dilepas dan berfungsi sebagai dinding-dinding ruang cetak.

Tabel 4.1 Bagian-bagian alat cetak lembaran lilin

Nama Bagian	Ukuran (mm)		
	Panjang	Lebar	Tebal
Dinding muka	417	220	10
Bidang bawah (alas)	417	165	10
Dinding samping	165	210	10
Penyekat antar ruang cetak	377	210	8
Sket pengatur ketebalan	210	40	2-10
Baut (pengikat) $\varnothing 10$	250	-	-
Mur dan ring	-	-	-

Adapun produk yang dihasilkan dari alat cetak lembaran lilin adalah berupa lembaran yang mempunyai ketebalan 2 mm -10 mm yang bahan utamanya berasal dari campuran dua material yaitu *paraffine* dan *stearine*. Dari campuran kedua

material tersebut akan diperoleh karakteristik tertentu baik segi kekuatan, kemudahan saat dituang atau dicetak dan kerataan permukaan lembaran lilin setelah proses pencetakan dinyatakan selesai. Untuk proses pencampuran *paraffine* dan *stearine* dapat disesuaikan dengan ketebalan lembaran lilin yang dibutuhkan. Data pengujian campuran *paraffine* dan *stearine* dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Bahan lembaran lilin (*paraffine* dan *stearine*)

Tebal lembaran lilin (mm)	Jumlah lembar	Campuran (kg)		Temperatur perebusan lilin (°)		Waktu (menit)
		<i>Paraffine</i>	<i>Stearine</i>	Ruangan	Titik cair	
3	3	0.50	0.25	29	70-105	≤ 10
5	3	1	0.30	28	70-105	≥ 10
10	3	1.50	0.50	28	70-110	± 15

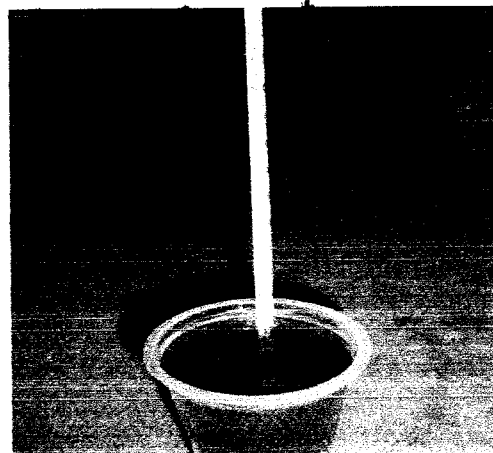
Berdasarkan tabel 4.2 disimpulkan bahwa campuran *paraffine* dan *stearine* disesuaikan dengan tebal dan jumlah lembaran lilin yang dibuat. Semakin besar ukuran *stearine*-nya maka semakin keras lembaran lilin yang dihasilkan.

4.1.2 Pengukuran Temperatur Cairan Lilin

Pengukuran temperatur cairan lilin adalah penurunan suhu cairan lilin secara bertahap karena adanya pendinginan, baik secara alami atau dengan bantuan kipas pendingin, dihitung mulai dari titik cair maksimal sampai cairan lilin tersebut memadat. Proses analisis ini dilakukan dengan menuangkan cairan lilin yang masih mempunyai suhu cair maksimal dalam wadah transparan dan untuk pengukurannya menggunakan alat ukur suhu berupa termometer.

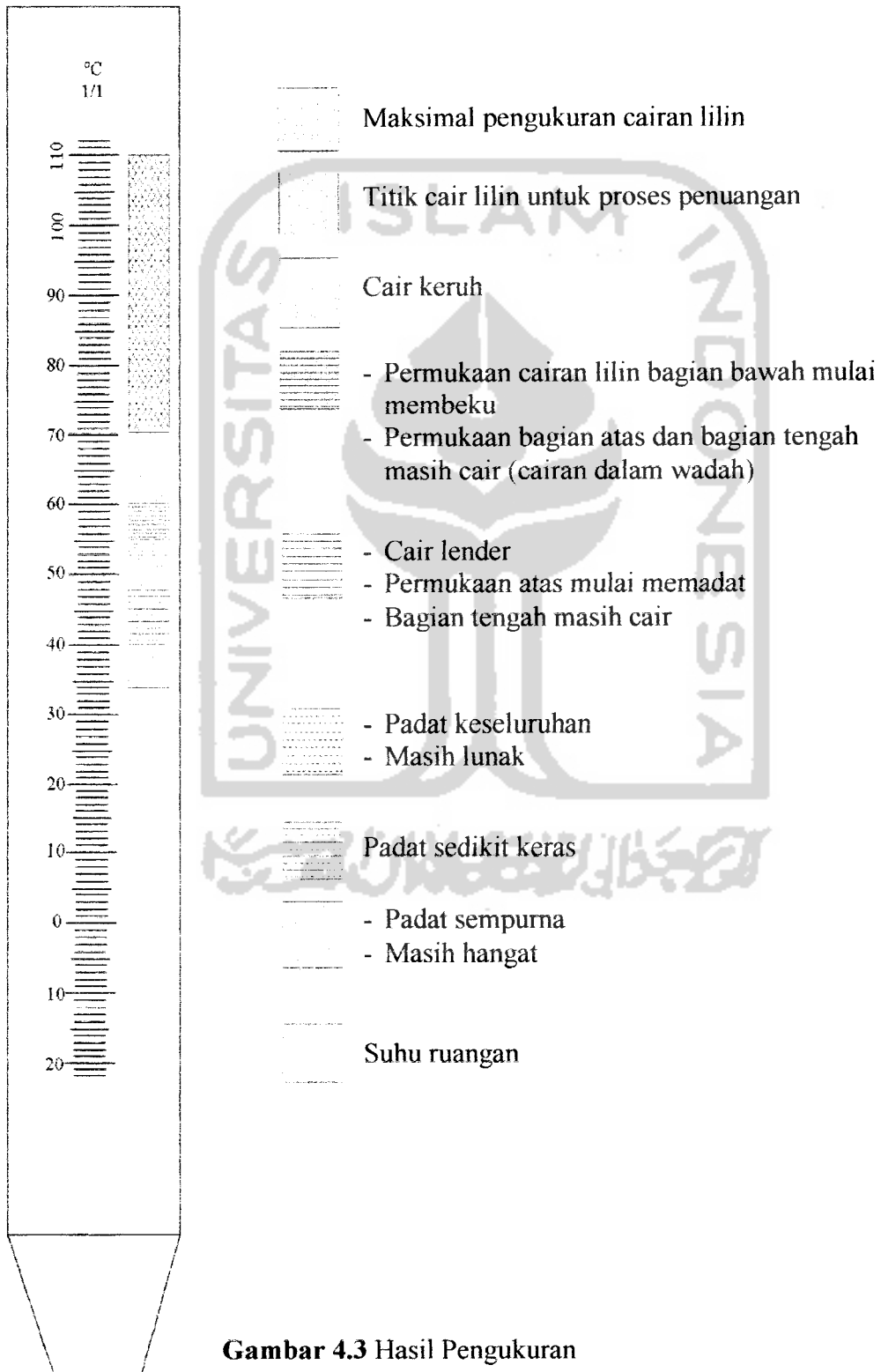


Gambar 4.1 Pengukuran suhu di atas 70 °C



Gambar 4.2 Pengukuran suhu dibawah 70 °C

Maka dari hasil pengukuran temperatur seperti terlihat pada gambar 4.1 dan gambar 4.2 didapat



Gambar 4.3 Hasil Pengukuran Temperatur Cairan Lilin

4.1.3 Penuangan Cairan Lilin Dalam Cetakan

Penuangan cairan lilin dalam cetakan dapat dilakukan dengan tiga posisi penuangan, yang masing-masing posisi mempunyai keuntungan dan kekurangan saat proses penuangan berlangsung dan berpengaruh terhadap hasil lembaran lilin yang dicetak.

a. Penuangan satu posisi di tengah.

Hasil yang diperoleh :

- ◆ Aliran cairan lilin pada proses penuangan dalam ruang cetak lebih sempurna
- ◆ Rongga pada proses pemadatan relatif sedikit
- ◆ Permukaan lembaran lilin sebagian besar rata
- ◆ Penyusutan pada proses pemadatan teratur
- ◆ Temperatur tinggi berada di satu posisi sehingga dapat mengakibatkan cetakan (kaca) retak.

b. Penuangan dua posisi, pinggir kanan dan kiri.

Hasil yang diperoleh :

- ◆ Aliran cairan lilin bertemu di posisi tengah sehingga dapat mengakibatkan rongga pada bagian tengahnya.
- ◆ Pendinginan lebih sempurna karena panas yang dialirkan pada cetakan (kaca) merata.
- ◆ Permukaan lembaran lilin kurang begitu rata.

c. Penuangan tiga posisi, tengah, pinggir kanan dan kiri

Hasil yang diperoleh :

- ◆ Pengisian cairan lilin kedalam ruang cetak lebih cepat penuh
- ◆ Pendinginan lebih sedikit cepat karena kalor merambat secara merata pada cetakan (kaca).
- ◆ Resiko keretakan cetakan (kaca) lebih kecil.
- ◆ Lembaran lilin hasil cetakan tidak semuanya rata.

Ketiga posisi penuangan tersebut semuanya dapat dipakai, karena pada tiap posisinya memiliki kelebihan dan kekurangan dari segi tertentu. Untuk mendapatkan permukaan yang rata dapat memakai posisi penuangan pertama namun untuk keamanan kaca dari kemungkinan retak kurang. Pada penuangan posisi kedua kemungkinan terbentuknya rongga besar namun pendinginannya cukup baik. Pada posisi penuangan ketiga dari segi keamanan kaca cukup baik namun hasil permukaan lembaran lilin yang dicetak kurang rata. Bicara masalah posisi penuangan yang terbaik, maka posisi ketiga dapat dikatakan lebih sempurna asalkan penuangan terbanyak diberikan pada ruang cetak bagian tengah.

4.1.4 Pengukuran Geometri Lembaran Lilin

Pengukuran geometri lembaran lilin dilakukan untuk mengetahui tingkat kepresisian setiap lembaran lilin yang dihasilkan, baik panjang, lebar, sudut dan tebal. Setiap lembaran lilin yang dihasilkan (seperti terlihat pada tabel 4.3 – 4.8) mempunyai ukuran yang berbeda, hal ini disebabkan faktor-faktor tertentu, diantaranya karena pemasangan salah satu *part* yang berfungsi sebagai dinding ruang cetak pada alat cetak lembaran lilin tidak menempel penuh pada dinding sampingnya. Kedua, karena karakteristik campuran *paraffine* dan *stearine* yang mudah menyusut saat temperatur menurun. Ketiga, ketidakpresisian ukuran pemotongan *part* kaca sebagai alat cetak lembaran lilin itu sendiri. Untuk mengatasi hal tersebut maka perlu dilakukan *finishing*, yaitu berfungsi untuk mengurangi kesalahan ukuran ketebalan lembaran lilin. Sedangkan peleburan atau pencairan kembali lembaran lilin dilakukan apabila ukuran panjang, lebar dan sudut lembaran lilin tidak masuk dalam toleransi yang ditetapkan.

a. Lembaran lilin dengan ukuran 297 mm x 210 mm x 3 mm.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran panjang, lebar dan sudut lembaran lilin

Produk	Hasil Pengukuran												Error (%)																																			
	ΔP_1						ΔP_2						ΔL_1						ΔL_2						$\Delta \alpha_1$						$\Delta \alpha_2$						$\Delta \alpha_3$						$\Delta \alpha_4$					
	P_1	P_2	L_1	L_2	α_1	α_2	α_3	α_4	mm	%	mm	%	ΔP_1	ΔP_2	mm	%	ΔL_1	ΔL_2	mm	%	$\Delta \alpha_1$	$\Delta \alpha_2$	mm	%	$\Delta \alpha_3$	$\Delta \alpha_4$	mm	%	$\Delta \alpha_1$	$\Delta \alpha_2$	mm	%	$\Delta \alpha_3$	$\Delta \alpha_4$	mm	%												
1	295	296	209	210	90	91	89	90	2.00	0.67	1.00	0.33	1.00	0.47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
2	296	297	210	210	90	90	90	90	1.00	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0								
3	297	298	210	209	90	91	89	90	0	0	1.00	0.33	0	0	1.00	0.47	0	0	1.00	1.11	1.00	1.11	0	0	1.00	1.11	0	0	1.00	1.11	0	0	1.00	1.11	0	0	1.00	1.11										

Tabel 4.4 Hasil pengukuran tebal lembaran lilin

Produk	Hasil Pengukuran																		Error (%)																													
	Δt_1						Δt_2						Δt_3						Δt_4						Δt_5						Δt_6						Δt_7						Δt_8					
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	mm	%	mm	%	Δt_1	Δt_2	mm	%	Δt_3	Δt_4	mm	%	Δt_5	Δt_6	mm	%	Δt_7	Δt_8	mm	%	Δt_1	Δt_2	mm	%	Δt_3	Δt_4	mm	%												
1	2.85	2.90	2.85	2.85	2.90	2.85	2.90	0.15	5.00	0.10	3.33	0.15	5.00	0.15	5.00	0.10	3.33	0.15	5.00	0.10	3.33	0.15	5.00	0.10	3.33	0.15	5.00	0.10	3.33	0.10	3.33	0.10	3.33															
2	2.95	2.95	2.95	2.90	2.85	2.85	2.90	0.05	1.66	0.05	1.66	0.05	1.66	0.05	1.66	0.05	1.66	0.10	3.33	0.15	5.00	0.15	5.00	0.15	5.00	0.15	5.00	0.15	5.00	0.15	5.00	0.15	5.00															
3	2.95	2.90	2.80	2.80	2.70	2.85	2.70	0.05	1.66	0.10	3.33	0.20	6.66	0.20	6.66	0.20	6.66	0.20	6.66	0.30	10.00	0.15	5.00	0.15	5.00	0.30	10.00	0.30	10.00	0.30	10.00	0.30	10.00															

b. Lembaran lilin dengan ukuran 297 mm x 210 mm x 5 mm.

Tabel 4.5 Hasil pengukuran panjang, lebar dan sudut lembaran lilin

Produk	Hasil Pengukuran												Error (%)																																			
	ΔP_1						ΔP_2						ΔL_1						ΔL_2						$\Delta \alpha_1$						$\Delta \alpha_2$						$\Delta \alpha_3$						$\Delta \alpha_4$					
	P_1	P_2	L_1	L_2	α_1	α_2	α_3	α_4	mm	%	mm	%	ΔP_1	ΔP_2	mm	%	ΔL_1	ΔL_2	mm	%	$\Delta \alpha_1$	$\Delta \alpha_2$	mm	%	$\Delta \alpha_3$	$\Delta \alpha_4$	mm	%	$\Delta \alpha_1$	$\Delta \alpha_2$	mm	%	$\Delta \alpha_3$	$\Delta \alpha_4$	mm	%												
1	297	296	210	210	90	90	90	0	0	1.00	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
2	297	296	210	210	90	90	89	0	0	1.00	0.33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0													
3	296	296	210	209	90	90	90	1.00	0.33	1.00	0.33	0	0	1.00	0.47	0	0	1.00	1.11	1.00	1.11	0	0	1.00	1.11	0	0	1.00	1.11	0	0	1.00	1.11															

Tabel 4.6 Hasil pengukuran tebal lembaran lilin

Produk	Hasil Pengukuran																		Error (%)																													
	Δt_1						Δt_2						Δt_3						Δt_4						Δt_5						Δt_6						Δt_7						Δt_8					
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	mm	%	mm	%	Δt_1	Δt_2	mm	%	Δt_3	Δt_4	mm	%	Δt_5	Δt_6	mm	%	Δt_7	Δt_8	mm	%	Δt_1	Δt_2	mm	%	Δt_3	Δt_4	mm	%												
1	4.90	4.85	4.85	4.90	4.90	4.90	4.90	0.10	2.00	0.15	3.00	0.15	3.00	0.15	3.00	0.15	3.00	0.10	2.00	0.10	2.00	0.10	2.00	0.10	2.00	0.10	2.00	0.10	2.00	0.10	2.00																	
2	4.90	4.90	4.90	4.90	4.85	4.85	4.90	0.10	2.00	0.10	2.00	0.10	2.00	0.10	2.00	0.10	2.00	0.10	2.00	0.10	2.00	0.10	2.00	0.10	2.00	0.10	2.00	0.10	2.00	0.10	2.00																	
3	4.90	4.95	4.85	4.85	4.85	4.90	4.85	0.10	2.00	0.05	1.00	0.05	1.00	0.05	1.00	0.15	3.00	0.15	3.00	0.10	2.00	0.10	2.00	0.10	2.00	0.15	3.00	0.10	2.00	0.15	3.00																	

c. Lembaran lilin dengan ukuran 297 mm x 210 mm x 10 mm.

Tabel 4.7 Hasil pengukuran panjang, lebar dan sudut lembaran lilin

Produk	Hasil Pengukuran										Error (%)																								
	P ₁		P ₂		L ₁		L ₂		α ₁		α ₂		α ₃		α ₄		ΔP ₁		ΔP ₂		ΔL ₁		ΔL ₂		Δα ₁		Δα ₂		Δα ₃		Δα ₄				
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%			
1	296	0.33	296	0.33	209	0.33	209	0.33	90	0.47	90	0.47	90	0.47	90	0.47	1.00	0.33	1.00	0.33	1.00	0.47	1.00	0.47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	296	0.33	296	0.33	209	0.33	209	0.33	90	0.47	90	0.47	90	0.47	90	0.47	1.00	0.33	1.00	0.33	1.00	0.47	1.00	0.47	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	295	0	295	0.67	209	0.47	209	0.47	89	0.47	89	0.47	89	0.47	89	0.47	2.00	0.67	2.00	0.67	1.00	0.47	1.00	0.47	1.00	1.11	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 4.8 Hasil pengukuran tebal lembaran lilin

Produk	Hasil Pengukuran										Error (%)																							
	t ₁		t ₂		t ₃		t ₄		t ₅		t ₆		t ₇		t ₈		Δt ₁		Δt ₂		Δt ₃		Δt ₄		Δt ₅		Δt ₆		Δt ₇		Δt ₈			
	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%		
1	9.75	0.25	9.65	2.50	9.70	0.25	9.70	0.25	9.70	0.25	9.70	0.25	9.70	0.25	9.70	0.25	2.50	0.35	3.50	0.35	3.50	0.35	3.50	0.35	3.50	0.35	3.50	0.35	3.50	0.35	3.50	0.35	3.50	0.35
2	9.70	0.30	9.80	3.00	9.70	0.30	9.70	0.30	9.70	0.30	9.70	0.30	9.70	0.30	9.70	0.30	3.00	0.20	2.00	0.20	2.00	0.20	2.00	0.20	2.00	0.20	2.00	0.20	2.00	0.20	2.00	0.20	2.00	0.20
3	9.90	0.10	9.90	1.00	9.80	0.10	9.80	0.10	9.80	0.10	9.80	0.10	9.80	0.10	9.80	0.10	1.00	0.10	1.00	0.10	1.00	0.10	1.00	0.10	1.00	0.10	1.00	0.10	1.00	0.10	1.00	0.10	1.00	0.10

Keterangan

ΔP = Selisih ukuran panjang (mm)

ΔL = Selisih ukuran lebar (mm)

Δα = Selisih ukuran sudut (mm)

Δt = Selisih ukuran tebal (mm)

dimana

$$Error (\%) = \frac{\text{Selisih ukuran}}{\text{Tebal lembaran lilin}} \times 100 \%$$

Error maksimal berdasar tabel 4.3 dan tabel 4.4 untuk ukuran lembaran lilin 297 mm x 210 mm x 3 mm, mempunyai kesalahan panjang 0.67 %, kesalahan lebar 0.47 %, kesalahan sudut 1.11 % dan kesalahan tebal 10.00 %.

Error maksimal berdasar tabel 4.5 dan tabel 4.6 untuk ukuran lembaran lilin 297 mm x 210 mm x 5 mm, mempunyai kesalahan panjang 0.33 %, kesalahan lebar 0.47 %, kesalahan sudut 1.11 % dan kesalahan tebal 3.00 %.

Error maksimal berdasar tabel 4.7 dan tabel 4.8 untuk ukuran lembaran lilin 297 mm x 210 mm x 10 mm, mempunyai kesalahan panjang 0.67 %, kesalahan lebar 0.47 %, kesalahan sudut 1.11 % dan kesalahan tebal 3.50 %.

4.1.5 Analisa Hasil Pengukuran Geometri Lembaran Lilin.

Pertama, ketidakpresisian ukuran panjang lembaran lilin disebabkan ukuran lebar sket pengatur ketebalan \neq 40 mm, pemotongan (memanjang) sket pengatur ketebalan sudutnya \neq 90 ° dan adanya penyusutan cairan lilin saat pemadatan berlangsung.

Kedua, ketidakpresisian ukuran lebar lembaran lilin disebabkan karena ukuran lebar penyekat antar ruang dan panjang sket pengatur ketebalan \neq 210 mm, penuangan cairan lilin dalam ruang cetak di permukaan atasnya tidak sedatar permukaan rata-rata air, adanya penyusutan cairan lilin dalam cetakan saat proses pendinginan berlangsung tanpa penuangan ulang dan karena perataan cairan lilin yang telah memadat dengan menggunakan *cutter* tidak teratur.

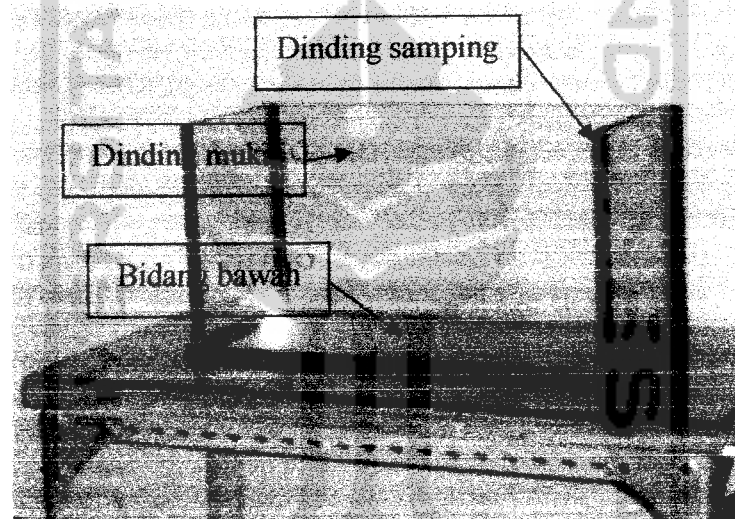
Ketiga, ketidakpresisian ukuran tebal lembaran lilin disebabkan adanya pelumas yang melapisi kedua sisi permukaan lembaran lilin, menempelnya lilin pada sisi permukaan penyekat antar ruang cetak dan karena kedua sisi permukaan lembaran lilin terkena irisan *cutter* saat pelepasan dari cetakannya.

4.1.6 Analisa Alat Cetak Lembaran Lilin.

Analisa alat cetak lembaran lilin dilakukan untuk mengetahui bagian-bagian yang ada pada satu rangkaian yang telah dibentuk menjadi sebuah alat yang siap untuk digunakan.

- a. Dinding muka, bidang bawah dan dinding samping cetakan lembaran lilin atau disebut dengan bagian induk cetakan.

Untuk proses pembentukan lembaran lilin ukuran A4 bagian ini tidak ada permasalahan saat pencetakan berlangsung, dengan catatan penggabungan antar bagian tersebut sesuai dengan ukuran yang menghasilkan lembaran lilin setara A4 (gambar 4.4). Bagian ini merupakan dudukan dari penyekat antar ruang cetak dan sket pengatur ketebalan.

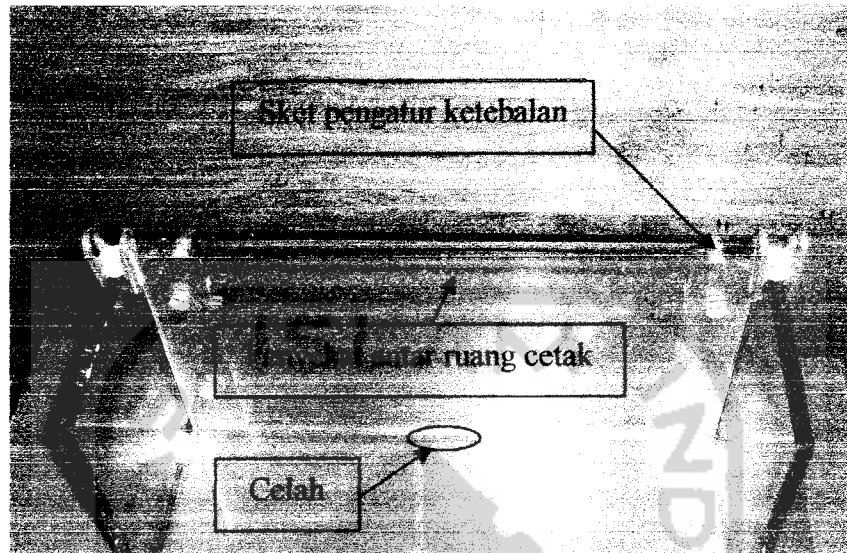


Gambar 4.4 Bagian induk cetakan

- b. Penyekat antar ruang cetak.

Cairan lilin mengalir ke ruang cetak lain karena terdapat celah antar ruang pada bagian bawah ruang cetak yang berdampingan. Untuk mengatasinya posisi hasil pemotongan (posisi memanjang) pada kaca penyekat antar ruang yang dianggap rata diletakkan di bagian bawah, sehingga tidak ada celah.

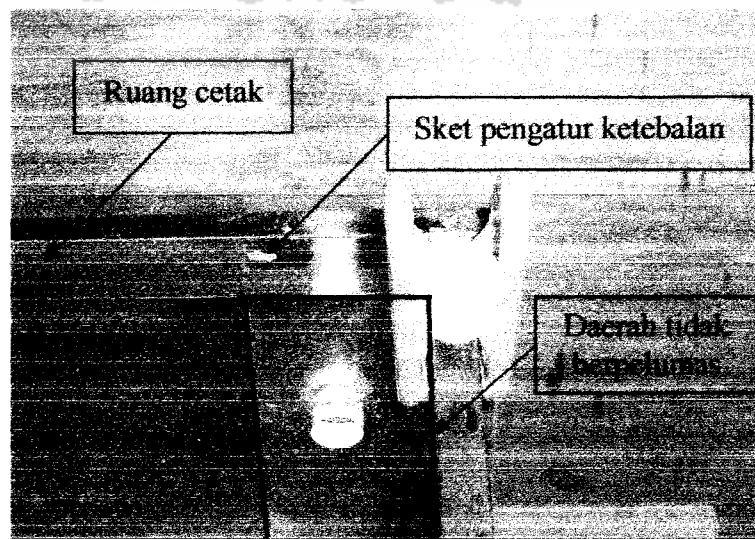
Lilin sebagian ada yang menempel pada kaca penyekat saat proses pelepasan dilakukan. Untuk mengatasinya pelumasan pada sisi atau permukaan yang dijadikan ruang cetak diusahakan rata sehingga memudahkan dalam proses pelepasan lembaran lilin.



Gambar 4.5 Penyekat antar ruang cetak

c. Sket pengatur ketebalan.

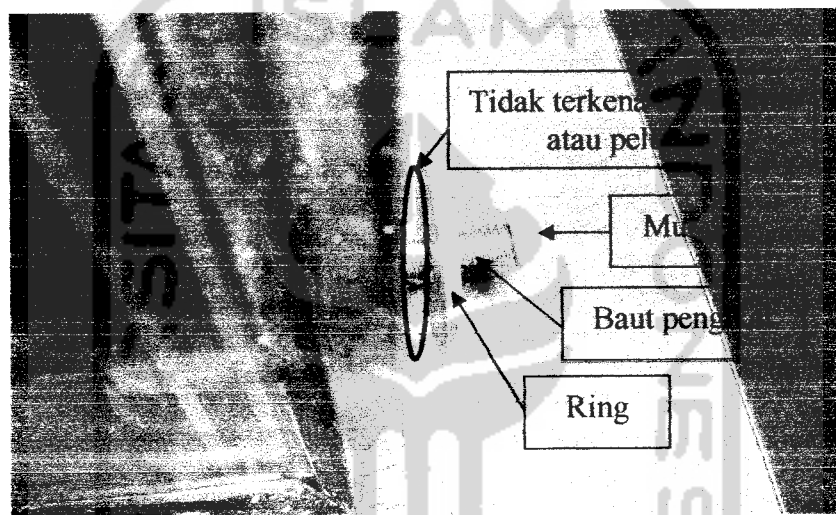
Pertama, panjang ruang cetak berkurang, disebabkan perangkaian sket pengatur ketebalan tidak tepat pada posisi yang seharusnya menempel pada dinding samping. Cara mengatasinya yaitu menggunakan mistar baja untuk menepatkan posisi sket pengatur ketebalan supaya tegak lurus dan lebih rapat pada dinding samping. Kedua, sket pengatur ketebalan melekat kuat pada penyekat antar ruang saat pelepasan lembaran lilin. Untuk mengatasinya permukaan atau sisi sket pengatur ketebalan yang bukan sebagai ruang cetak tidak perlu diberi pelumas.



Gambar 4.6 Sket pengatur ketebalan

d. Baut (pengikat), mur dan ring.

Ring melekat kuat pada permukaan kaca (dinding muka atau dinding penyekat antar ruang cetak) saat pelepasan mur dari baut pengikat. Untuk mengatasinya hindari meleleh atau mengalirnya cairan lilin hingga menempel pada ring tersebut, yaitu dengan cara menuangkan cairan lilin ke ruang cetak secara perlahan dan jangan melebihi batas panjang ruang cetak. (Gambar 4.7)



Gambar 4.7 Baut, mur dan ring

4.2 Pembahasan

Pembahasan hasil penelitian alat cetak lembaran lilin pada proses *layer deposition manufacturing* adalah sebagai berikut.

4.2.1 Pembahasan Secara Umum

a. Tebal lembaran lilin yang dapat dicetak dengan menggunakan alat cetak lembaran lilin manual yang bersifat *mass product* ini minimal 2 mm.

Berikut hasil pengukuran (satu) lembaran lilin dengan ukuran 297 mm x 210 mm x 2mm.

Tabel 4.9 Hasil pengukuran panjang dan lebar.

Produk	Hasil Pengukuran				Error (%)							
					ΔP_1		ΔP_2		ΔL_1		ΔL_2	
	P_1	P_2	L_1	L_2	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
1	297	296	210	209	0	0	1.00	0.33	0	0	1.00	0.47

Tabel 4.10 Hasil pengukuran sudut

Produk	Hasil Pengukuran				Error (%)							
					$\Delta\alpha_1$		$\Delta\alpha_2$		$\Delta\alpha_3$		$\Delta\alpha_4$	
	α_1	α_2	α_3	α_4	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
1	90	90	90	91	0	0	0	0	0	0	1.00	1.11

Tabel 4.11 Hasil pengukuran tebal (t_1, t_2, t_3, t_4)

Produk	Hasil Pengukuran				Error (%)							
					Δt_1		Δt_2		Δt_3		Δt_4	
	t_1	t_2	t_3	t_4	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
1	1.90	1.85	2.00	1.95	0.10	5.00	0.15	7.50	0	0	0.05	2.50

Tabel 4.12 Hasil pengukuran tebal lanjutan (t_5, t_6, t_7, t_8)

Produk	Hasil Pengukuran				Error (%)							
					Δt_5		Δt_6		Δt_7		Δt_8	
	t_5	t_6	t_7	t_8	mm	%	mm	%	mm	%	mm	%
1	1.90	1.90	1.85	1.85	0.10	5.00	0.10	5.00	0.15	7.50	0.15	7.50

- Temperatur normal penuangan cairan lilin kedalam cetakan berkisar antara suhu $70^\circ\text{C} - 90^\circ\text{C}$.
- Hasil produk lembaran lilin yang dinyatakan gagal dapat diproses ulang untuk dicairkan kemudian dituang kembali dalam cetakan lembaran lilin.

4.2.2 Kelebihan dan Kekurangan Alat Cetak Lembaran Lilin.

Kelebihan :

- Mampu mencetak maksimal sepuluh lembar sekaligus dalam satu kali proses pencetakan, karena alat cetak lembaran lilin *mass product* ini mempunyai ruang cetak maksimal sepuluh ruang.
- Geometri lembaran lilin yang dihasilkan hampir sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan.
- Waktu yang dibutuhkan untuk pembuatan lembaran lilin dengan menggunakan alat cetak lembaran lilin ini sedikit lebih cepat karena bersifat *mass production*.

Kekurangan :

- Perangkaian alat cetak lembaran lilin sedikit rumit.

- b. Karakteristik lilin yang mudah menyusut saat penurunan suhunya, maka penuangan dilakukan secara berulang atau lebih dari satu kali.
- c. Resiko kecelakaan tinggi karena bahan utama alat cetak lembaran lilin sistem *mass product* ini terbuat dari kaca.

4.2.3 Prosentase campuran *paraffine* dengan *stearine*.

Untuk mencetak lembaran lilin ≥ 5 mm maka prosentase campurannya 75 % *paraffine* dan 25 % untuk *stearine*. Sedangkan untuk mencetak lembaran lilin ≤ 4 mm prosentase campurannya 65 % - 67 % *paraffine* dan 33 % - 35 % *stearine*.

4.2.4 Faktor Yang Mempengaruhi Bentuk Lembaran Lilin Hasil Cetakan.

- a. Prosentase campuran *paraffine* dan *stearine* berpengaruh pada proses pembuatan lembaran lilin yang mempunyai ketebalan ≤ 4 mm dan ≥ 5 mm.
- b. Pemasangan atau perakitan bagian yang menjadi ruang cetak (sket pengatur ketebalan) tidak tepat atau tidak menempel pada dinding samping alat cetak lembaran lilin.
- c. Pemberian pelumas pada permukaan yang menjadi ruang cetak lembaran lilin (sket antar ruang) tidak rata atau kurang.
- d. Temperatur cairan lilin saat penuangan dalam ruang cetak.
- e. Waktu atau proses pemadatan (pendinginan) cairan lilin dalam cetakan.
- f. Perataan lembaran lilin bagian atas, sebelum dilakukan pelepasan dari ruang cetak.
- g. Pelepasan lembaran lilin dari cetakan setelah dinyatakan padat sempurna.

4.2.5 Pemberian *finishing* terhadap lembaran lilin.

Pemberian *finishing* dilakukan apabila hasil lembaran lilin setelah dilepas dari cetakan mempunyai bentuk permukaan yang tidak rata karena penyusutan. Untuk meratakan lembaran lilin tersebut dilakukan dengan menuangkan cairan lilin yang bertemperatur $\leq 70^{\circ}\text{C}$ ke permukaan yang tidak rata kemudian di-*freis* secara manual dengan menggunakan *cutter* sampai permukaan lembaran lilin itu rata.

BAB. V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa cairan lilin (campuran *paraffine* dan *stearine*) dapat dicetak dalam bentuk geometri yang mempunyai panjang, lebar dan tebal tertentu. Alat cetak lembaran lilin sistem *mass product* mampu untuk mencetak lembaran-lembaran lilin (campuran *paraffine* dan *stearine*) ukuran A4 dengan ketebalan 2 mm – 10 mm sebanyak maksimal sepuluh lembar disetiap prosesnya, karena ruang cetak yang dapat dirangkai pada alat cetak ini berjumlah mencapai sepuluh ruang.

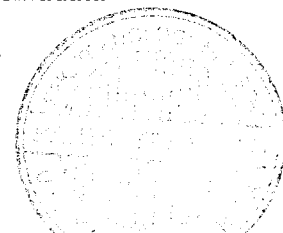
Tingkat kesalahan penggunaan alat cetak lembaran lilin sistem *mass product* ini relatif kecil yaitu $< 0.7 \%$ untuk kesalahan panjang dan lebar, $< 1.2 \%$ untuk kesalahan sudut serta $\leq 10 \%$ untuk kesalahan tebal.

Alat cetak lembaran lilin sistem *mass product* ukuran A4 dibuat dari kaca, dimana kaca merupakan bahan yang mempunyai permukaan rata dan halus sehingga (alat cetak dari kaca) cocok untuk mencetak cairan lilin (campuran *paraffine* dan *stearine*) dalam bentuk lembaran.

5.2 Saran

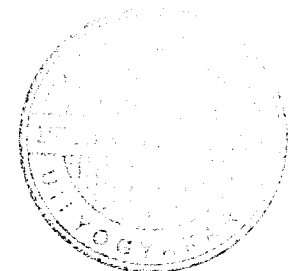
Untuk penelitian ke depan, bagi pengguna alat cetak lembaran lilin yang bersifat *mass product* pada proses *layer deposition manufacturing* atau yang mengambil materi sama, diharapkan :

- a. Mampu menganalisa lebih dalam tentang karakteristik lilin.
- b. Dapat menggunakan alat cetak lembaran lilin yang bersifat *mass product* secara benar dan mampu menganalisa kekurangannya.
- c. Membuat metode baru tentang cara penuangan yang benar supaya produk lembaran lilin yang dihasilkan masuk dalam toleransi ukuran A4.
- d. Mencari alternatif bahan lain selain kaca untuk dijadikan alat cetak lembaran lilin ukuran A4 yang mempunyai proses cetak lebih mudah, waktu pematatan lebih efisien karena sifat pendinginan sempurna serta lebih ekonomis.

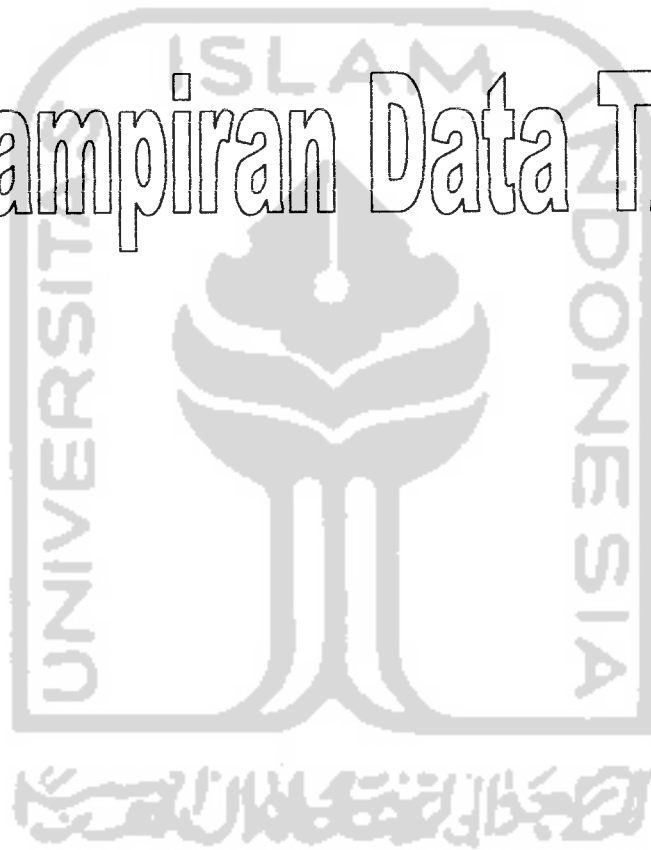


Daftar Pustaka

- McMains, S.A. 1995. *Rapid Prototyping of Solid Three-Dimensional Parts*.
Departement of Electrical Engineering and Computer Science,
University of California, Berkeley.
- Griffith, M. 1998. *Rapid Prototyping Technologies*. Rapid Prototyping.
<http://www.me.psu.edu/lamancusa/me415/rpintro2.pdf> (08/09/2006)
- Weiss, L.E. 1997. *Panel Report on Rapid Prototyping in Europe and Japan*.
JTEC/WTEC SFF Processes.
http://itri.loyale.edu/rp/02_02.htm (08/06/2006)
- Prinz, F.B. 1994. *Novel Applications and Implementations of Shape Deposition
Manufacturing*. Mechanical Engineering, Carnegie Mellon University.
<http://www.cs.cmu.edu/~sdm/opener.htm> (20/02/2007)
- Izzudin, 2007. *Layer Manufacturing dengan metoda Layer Deposition
Manufacturing*, tidak diterbitkan Teknik Mesin FTI UII Yogyakarta.
- Purnama, P.A. 2007. *Kaca dan Kreasi lilin*.
<http://majalah-handicraft.jogja.com> (10 April 2007)



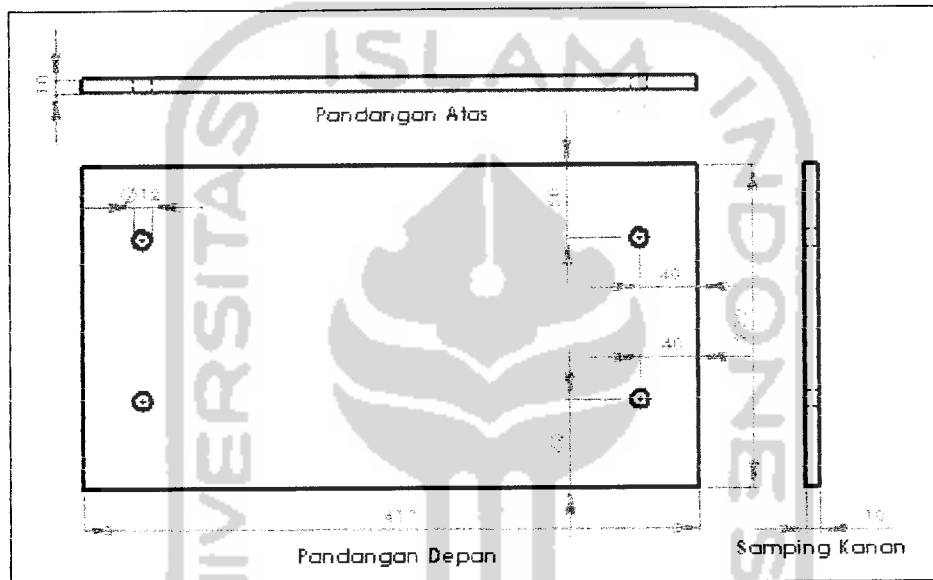
Lampiran Data TA



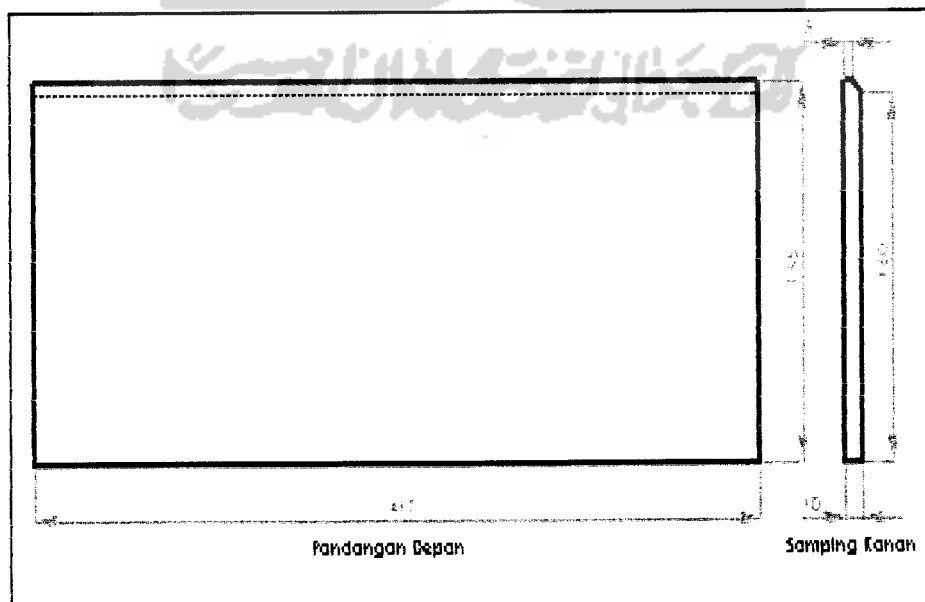
LAMPIRAN

Lampiran I

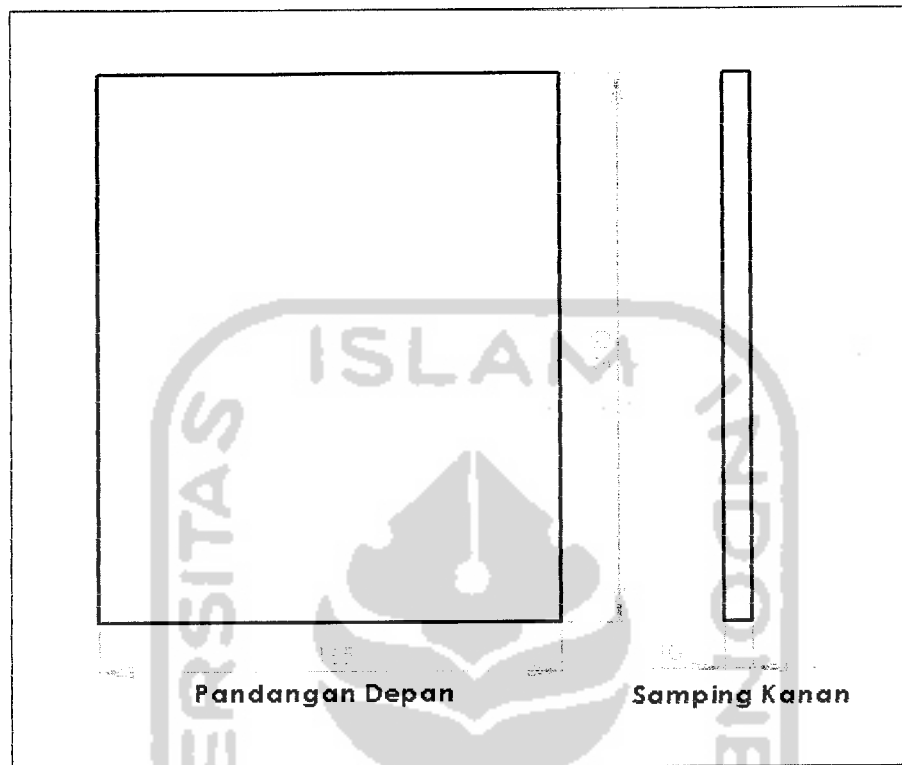
Rancangan alat cetak lembaran lilin sisitem *mass product* ukuran A4.



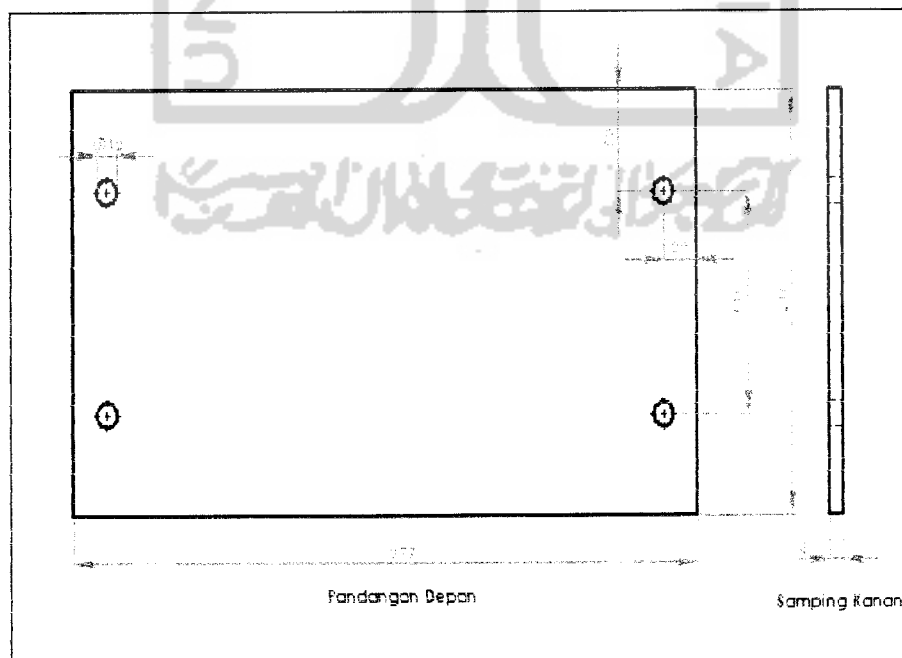
Gambar A.1 Sket dinding muka



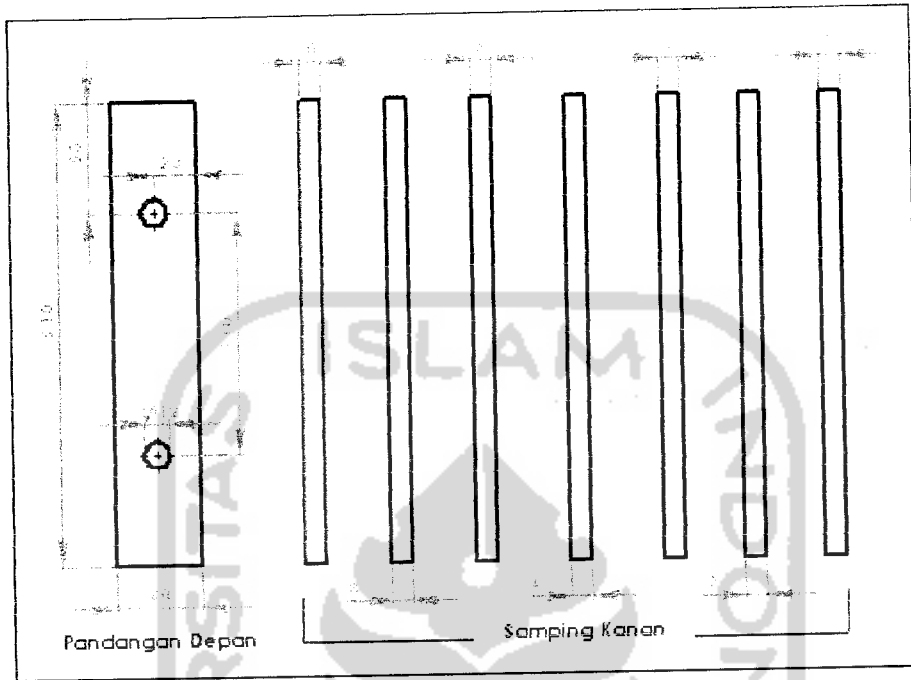
Gambar A.2 Sket alas atau Bidang bawah



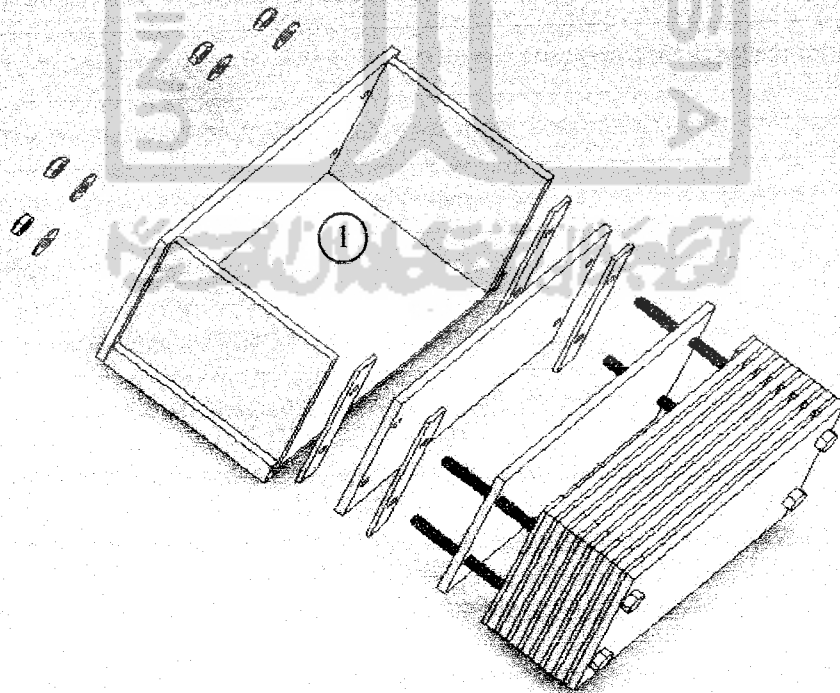
Gambar A.3 Sket dinding samping



Gambar A.4 Penyekat antar ruang



Gambar A.5 Sket pengatur ketebalan



Gambar A.6 Perangkaian Alat

Lampiran 2

Perangkaian bagian induk dan biaya pembuatan alat

Perangkaian bagian induk

Perangkaian bagian induk seperti terlihat pada lampiran 1 gambar A.6(1), dilakukan dengan memberi perekat (*auto sealer*) pada bagian ujung antar *part* yang bersinggungan. Untuk memudahkan proses pemberian perekat agar *part-part* tersebut posisinya tetap tegak lurus, maka dibutuhkan dua buah penggaris siku dan *double tape*. Setelah posisi dari *part-part* dinyatakan tegak lurus, barulah dilakukan proses pengeleman.

Tabel B.1 Biaya pembuatan alat

Nama Bagian	Ukuran (mm)			Banyaknya (Lembar)	Harga Satuan	Jumlah (Rp)
	Pnjg	Lbr	Tbl			
Dinding muka	417	220	10	1	25.000,	25.000,
Bidang bawah (alas)	417	165	10	1	25.000,	25.000,
Dinding samping	165	210	10	2	15.000,	30.000,
Penyekat ruang cetak	377	210	8	10	13.800,	138.000,
Sket pengatur ketebalan	210	40	2	20	1.050,	21.000,
Sket pengatur ketebalan	210	40	3	20	1.150,	23.000,
Sket pengatur ketebalan	210	40	4	20	1.300,	26.000,
Sket pengatur ketebalan	210	40	5	20	2.000,	40.000,
Sket pengatur ketebalan	210	40	8	20	3.650,	73.000,
Sket pengatur ketebalan	210	40	10	20	5.500,	110.000,
Baut (pengikat) \varnothing 10mm	250	-	-	4	600,	2.400,
Mur dan ring	-	-	-	8	200,	1.600,
<i>Auto sealer</i>	-	-	-	2	5.000,	10.000,
<i>Double tape</i>	-	-	-	1	1.500,	1.500,
Mata bor kaca \varnothing 12mm	-	-	-	2	80.000,	160.000,

Total biaya yang dikeluarkan Rp. 686.500,

Catatan:

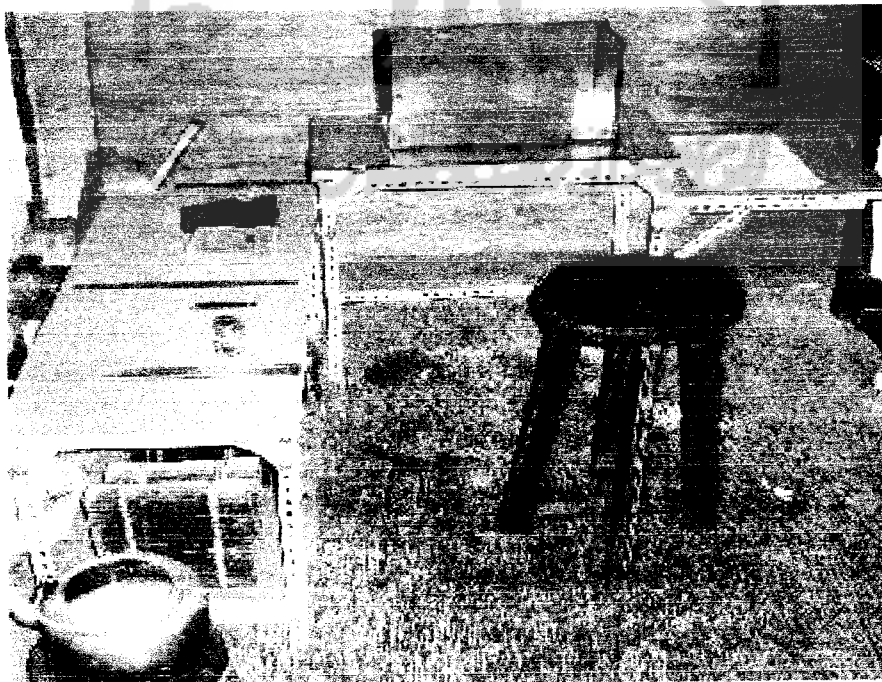
- ◆ Biaya tersebut belum termasuk harga peralatan pendukung lain seperti gerinda kaca, penggaris siku, spidol, pembuatan meja dan sebagainya.
- ◆ Biaya pembuatan lubang pada kaca tidak dihitung (jumlah lubang 244).

Lampiran 3

Rangkaian dan bagian alat cetak lembaran lilin sistem *mass product*.



Gambar C.1 Gabungan dari beberapa *part*



Gambar C.2 Alat dan Meja kerja

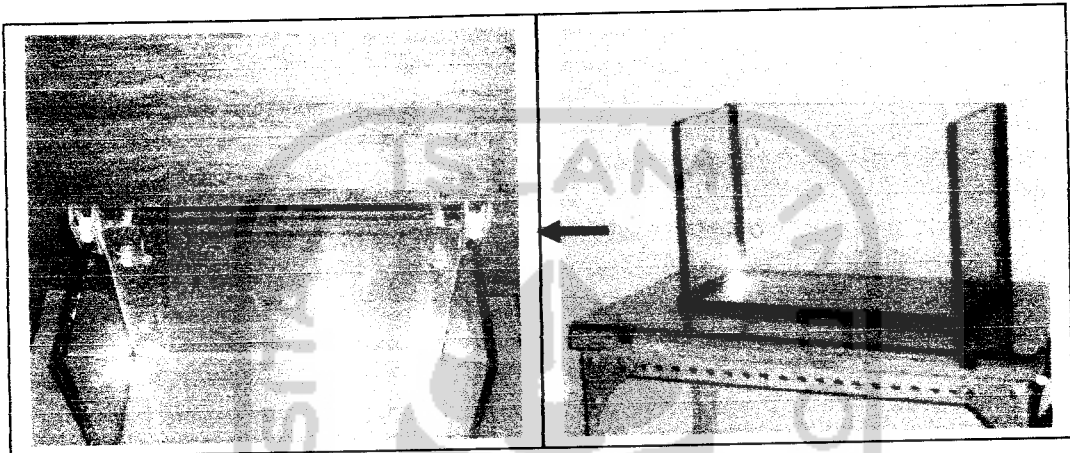
Lampiran 4

Data D.1 Aturan pemakaian alat cetak lembaran lilin ukuran A4 sistem *mass product* dan keamanannya.

PENTING!
Bagi Pengguna Mesin Cetak Lembaran Lilin Diharuskan :
<ol style="list-style-type: none">1. Menggunakan Sarung Tangan2. Menggunakan Sepatu3. Menggunakan Kacamata Bening (Jika Perlu)4. Mengganti Dengan Ukuran Yang Sama, Jika Kaca Pecah.
ATURAN PEMAKAIAN
Perangkaian :
<ol style="list-style-type: none">1. Bersihkan semua sisi/permukaan kaca dengan menggunakan <i>Cutter</i> dan kain.2. Beri Pelumas pada sisi/permukaan kaca yang di jadikan ruang cetak lembaran lilin sedangkan sisi/permukaan lain tidak perlu di lumasi.3. Pasang satu persatu lembaran kaca besar diselingi kaca kecil dengan memasukkan baut pengikat kedalam lubang yang ada, gunakan penjepit untuk menahan kaca. (sisi kaca yang rata sebaiknya diarahkan sebagai ruang cetak lembaran lilin)4. Tepatkan posisi kaca kecil dengan menggunakan mistar baja.5. Pasang mur pada baut pengikat dan kencangkan dengan tangan.
Ukuran Bahan Pembuat Lilin (Campuran <i>Paraffin</i> dan <i>Stearin</i>) :
<ol style="list-style-type: none">1. 1 : 2 untuk paraffin, jika ketebalan lembaran lilin ≥ 5 mm2. 1 : 3 untuk paraffin, jika ketebalan lembaran lilin ≤ 4 mm
Peleburan Lilin:
<ol style="list-style-type: none">1. Proses peleburan cukup dengan waktu 10 - 20 menit (direbus)2. Proses peleburan harus ditunggu/di pantau karena lilin dapat ikut terbakar.3. Dinginkan cairan lilin tersebut selama 15-20 menit sebelum dituang.
Penuangan :
<ol style="list-style-type: none">1. Tuangkan cairan lilin kedalam ruang cetak pertama, (perlahan) sampai penuh.2. Jika terjadi kebocoran pada ruang cetak kedua, tunggu sesaat sampai lilin pada ruang cetak kedua padat.3. Lanjutkan proses penuangan secara berurutan (Ruang cetak kedua, tiga..... dst.)4. Tuang kembali cairan lilin kedalam ruang cetak sampai rata jika penuangan pertama mengalami penyusutan.
Pelepasan Lembaran Lilin:
<ol style="list-style-type: none">1. Lepas mur dan baut pengikat.2. Gunakan <i>Cutter</i> untuk memisahkan kaca dan lembaran lilin.3. Bersihkan kembali kaca cetakan setelah lembaran lilin terlepas.

Lampiran 5

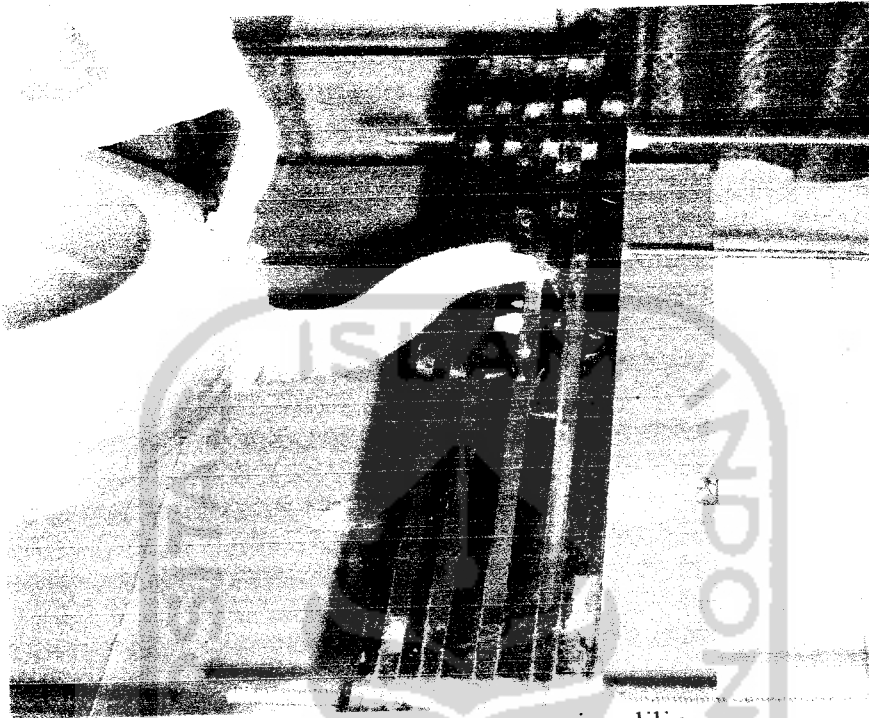
Proses yang dilakukan dalam penelitian alat cetak lembaran lilin ukuran A4 sistem *mass product*.



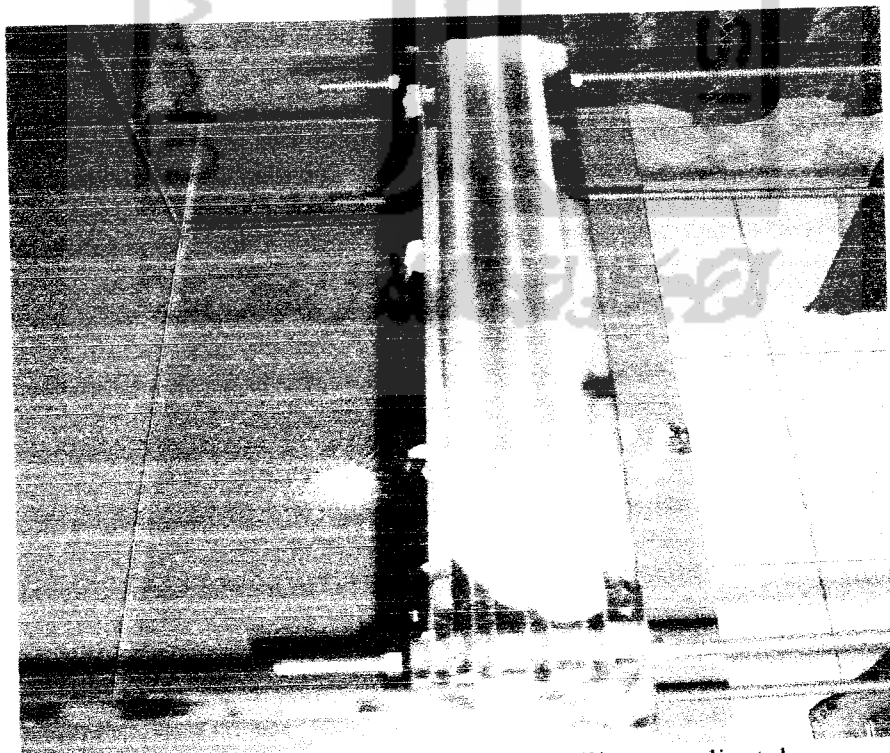
Gambar E.1 Perangkaian



Gambar E.2 Perebusan atau pencairan lilin



Gambar E.3 Penuangan cairan lilin



Gambar E.4 Pemasakan (cairan) lilin yang dicetak

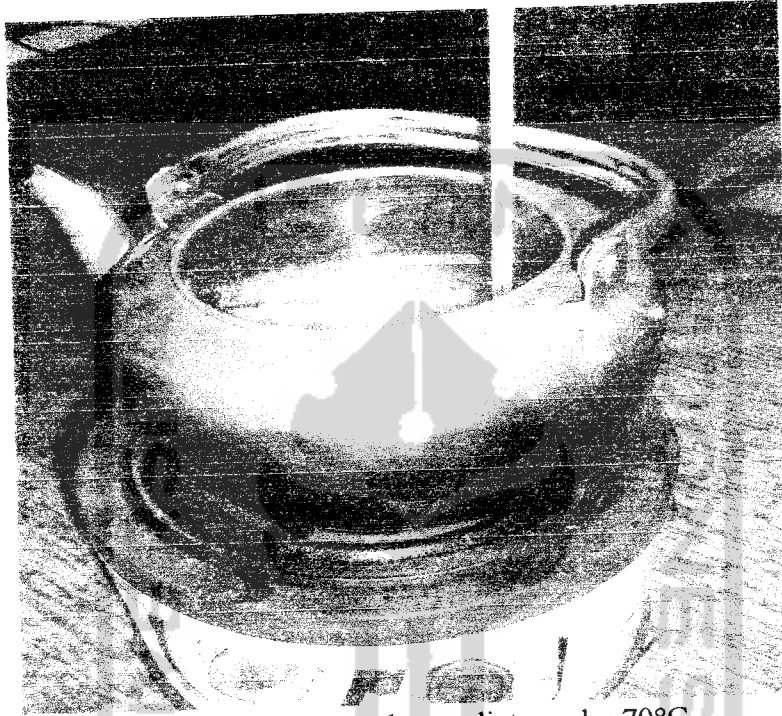


Gambar E.5 Perataan bagian atas (cairan) lilin yang dicetak



Gambar E.6 Pelepasan lembaran lilin dari cetakan

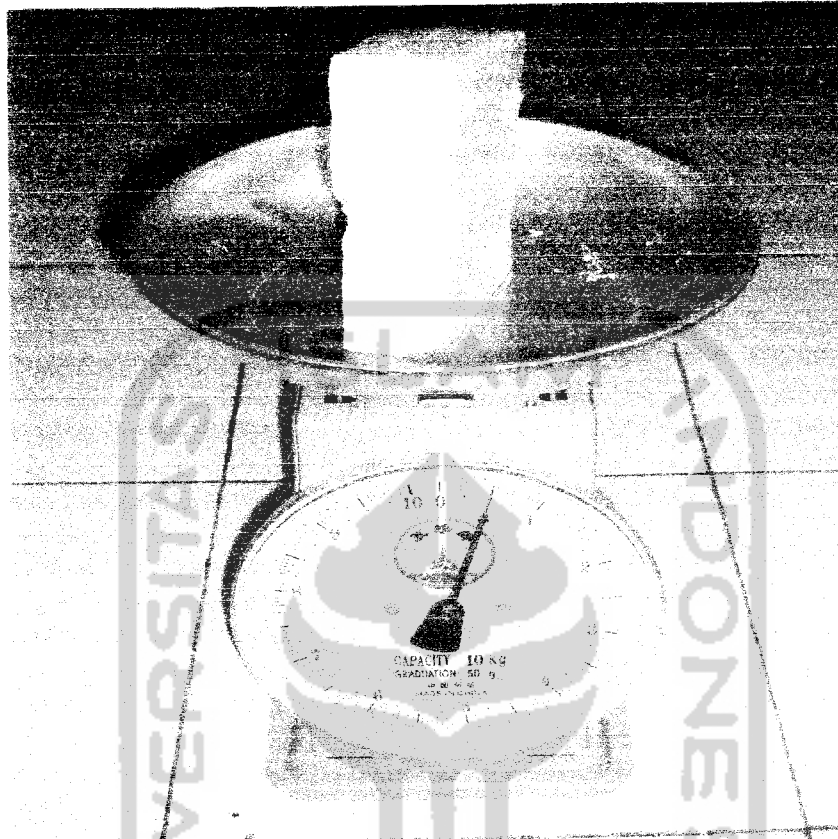
Lampiran 6
Pengukuran temperatur cairan lilin dan pengukuran geometri lembaran lilin hasil pencetakan.



Gambar F.1 Pengukuran diatas suhu 70°C.



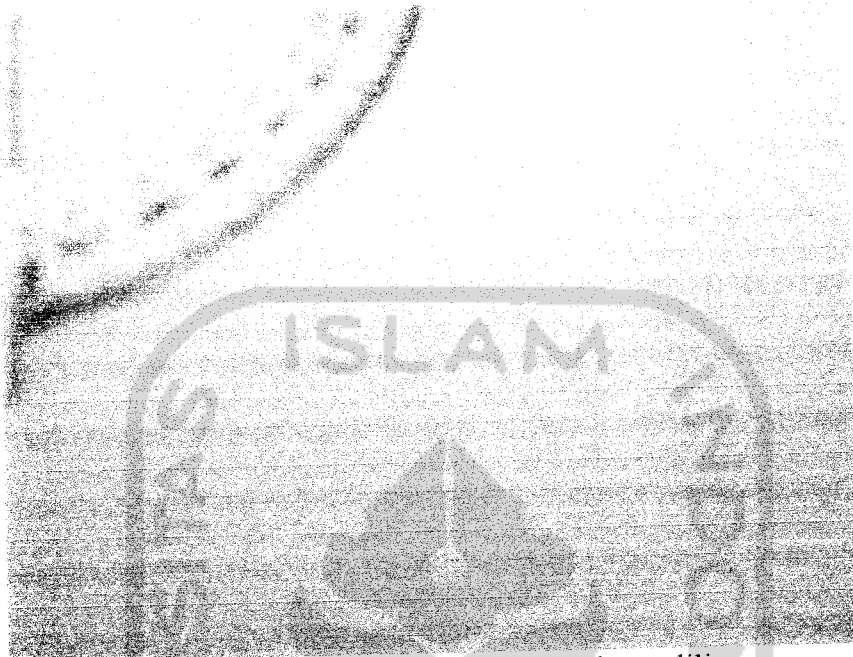
Gambar F.2 Pengukuran suhu = 70°C kebawah



Gambar F.3 Mengukur (berat) campuran *paraffine* dan *stearine*



Gambar F.4 Mengukur panjang dan lebar lembaran lilin



Gambar F.5 Mengukur sudut lembaran lilin



Gambar F.6 Mengukur ketebalan lembaran lilin