

PROSES PENGOPTIMUMAN PARAMETER FDM BAGI MATERIAL ABS

AHMAD ZAHIRUDIN BIN MOHAMAD RAMDZAN

**Fakulti Kejuruteraan Mekanikal (Rekabentuk & Inovasi)
Universiti Teknikal Malaysia Melaka**

OKTOBER 2008

„Saya/Kami* akui bahawa telah membaca karya ini dan pada pandangan saya/kami* karya ini adalah memadai dari segi skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Rekabentuk & Inovasi)“

Tandatangan :
Nama Penyelia :
Tarikh :

Tandatangan :
Nama Penyelia :
Tarikh :

PROSES PENGOPTIMUMAN PARAMETER FDM BAGI MATERIAL ABS

AHMAD ZAHIRUDIN BIN MOHAMAD RAMDZAN

**Laporan ini dikemukakan sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat penganugerahan
Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Rekabentuk & Inovasi)**

**Fakulti Kejuruteraan Mekanikal (Rekabentuk & Inovasi)
Universiti Teknikal Malaysia Melaka**

OKTOBER 2008

“Saya akui bahawa laporan ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan dan petikan yang tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya”.

Tandatangan :

Nama Penulis : Ahmad Zahirudin Bin Mohamad Ramdhan

Tarikh : 24 November 2008

PENGHARGAAN

Syukur ke Hadrat Ilahi kerana dengan limpah rahmat dan kurniannya, saya dapat menyiapkan projek sarjana muda yang diamanahkan oleh pihak universiti bagi memenuhi syarat penganugerahan Ijazah Sarjana Muda.

Saya ingin mengucapkan setinggi-tinggi penghargaan kepada Encik Faiz Redza Bin Ramli atas dorongan dan bimbingan yang diberi oleh beliau sepanjang saya menjalani projek sarjana muda ini. Selain itu, saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada Encik Hambali Bin Boejang yang telah memberi bimbingan kepada saya dalam mengendalikan system RP. Tidak lupa juga kepada pihak pengurusan makmal terutamanya para juruteknik yang telah membantu saya dalam menjalankan eksperimen di makmal.

Akhir sekali, penghargaan ditujukan kepada kedua ibu dan bapa saya yang menjadi pendorong saya untuk terus belajar bersungguh-sungguh serta kepada semua yang terlibat sama ada secara langsung atau tidak langsung membantu saya dalam menjayakan projek ini. Saya berharap agar penyelidikan saya ini dapat memberi manfaat kepada diri saya sendiri dan juga pelajar-pelajar lain.

ABSTRACT

In this study, Taguchi method will be used for determining the optimum parameter combination for FDM. Four type of FDM parameter will be considered in this study are air gap, raster angle, raster width and layer thickness. Nine prototypes will be produced according to these four parameters and several experiments will be perform on them. The experiments are tensile test, impact test and hardness test. Based on the result of the experiment, Taguchi method such as orthogonal array and analysis of variances will be used to determine the optimum parameter combination by following the criteria needed for ABS prototype such as strength, quality, build time, surface finish, endurance and etc.

ABSTRAK

Dalam kajian ini, kaedah Taguchi digunakan untuk mengenalpasti kombinasi parameter paling optimum bagi mesin FDM yang digunakan untuk menghasilkan prototaip dari material ABS. Empat parameter FDM iaitu ruang udara, sudut *raster*, lebar *raster* dan ketebalan lapisan akan diambil kira dalam kajian ini. Sembilan prototaip akan dihasilkan berdasarkan kombinasi empat parameter ini serta akan menjalani beberapa eksperimen iaitu ujian ketegangan (tensile test), ujian hentakan (impact test) dan ujian kekerasan (hardness test). Berdasarkan kepada keputusan yang diperolehi daripada ketiga-tiga eksperimen ini, kaedah Taguchi seperti tatasusunan ortogon (orthogonal array) dan analisis varians (ANOVA) akan digunakan untuk menentukan kombinasi parameter FDM yang paling optimum mengikut kriteria-kriteria yang dikehendaki pada prototaip ABS seperti kekuatan, ketahanan, kualiti, masa penghasilan, rupa permukaan dan sebagainya.

KANDUNGAN

PERKARA	MUKA SURAT
PENGAKUAN	i
PENGHARGAAN	iii
ABSTRACT	iv
<i>ABSTRAK</i>	v
KANDUNGAN	vi
SENARAI JADUAL	ix
SENARAI RAJAH	x
SENARAI LAMPIRAN	xii
BAB 1 PENGENALAN	
1.1 Pengenalan	1
1.2 Pernyataan Masalah	2
1.3 Objektif	2
1.4 Skop	3
1.5 Rumusan	3

BAB 2 KAJIAN ILMIAH

2.1	Pengenalan	4
2.2	Definisi Prototaip	4
2.3	<i>Rapid Prototyping</i>	6
2.3.1	Proses Rapid Prototyping	7
2.4	<i>Fused Deposition Modeling</i>	8
2.5	Bahan	13
2.5.1	Plastik	13
2.5.2	ABS	14
2.5.2.1	Warna	16
2.5.2.2	Sistem Yang Boleh Menggunakan ABS	17
2.6	Proses Pengoptimuman Parameter Bagi Mesin FDM	17
2.6.1	Ruang Udara	18
2.6.2	Ketebalan Lapisan	18
2.6.3	Sudut Raster	19
2.6.4	Ketebalan Raster	19
2.7	Rumusan	19

BAB 3 KAEDAH KAJIAN

3.1	Pengenalan	20
3.2	Kaedah Taguchi	22
3.3	Parameter FDM Yang Dipilih	22
3.4	Ujian Tegangan	24
3.4.1	Objektif	24
3.4.2	Teori	25

BAB 4 KEPUTUSAN & PERBINCANGAN

4.1	Pengenalan	27
4.2	Penghasilan Spesimen ABS	28
	4.2.1 Rekabentuk Spesimen	29
	4.2.1.1 Rekabentuk Pertama	31
	4.2.1.2 Masa	32
	4.2.1.3 Rekabentuk Kedua	32
	4.2.1.3 Masa	34
4.3	Ujian Tegangan	34
	4.3.1 Prosedur	34
	4.3.2 Keputusan	36
4.4	Analisis Parameter Optimum	42
	4.4.1 Pengenalan	42
	4.4.2 Graf Punca Utama	44
	4.4.3 <i>Analisis of Variance</i>	49
4.5	Perbincangan	57
	KESIMPULAN	54
	RUJUKAN	55
	LAMPIRAN	56

SENARAI JADUAL

BIL	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Kelemahan dan kelebihan sistem FDM	10
2.2	Spesifikasi mesin FDM Prodigy Plus	13
2.3	Sifat-sifat mekanikal bagi bahan ABS	15
2.4	Sifat-sifat termal bagi bahan ABS	16
3.1	Parameter FDM	23
3.2	Perancangan eksperimen menggunakan tatasusunan ortogon	23
3.3	Parameter FDM	28
3.4	Perancangan eksperimen menggunakan tatasusunan ortogon	28
3.5	Masa Yang Diambil Untuk Menghasilkan Spesimen	32
3.6	Masa Yang Diambil Untuk Menghasilkan Spesimen	34
3.7	Pemanjangan pada pelbagai daya yang dikenakan	43
3.8	Tatasusunan Ortogon	44
3.9	ANOVA bagi 2 kN daya yang dikenakan	52
4.0	ANOVA bagi 4 kN daya yang dikenakan	54
4.1	ANOVA bagi 6 kN daya yang dikenakan	56

SENARAI RAJAH

BIL	TAJUK	MUKA SURAT
2.1	Prototaip model bangunan	5
2.2	Sistem <i>3D Printer</i>	6
2.3	Sistem SLA	6
2.4	Proses <i>Rapid Prototyping</i>	7
2.5	Struktur dalaman mesin FDM	9
2.6	Mesin FDM Prodigy Plus	12
3.1	Carta alir kaedah kajian	21
3.2	Mesin INSTRON-Model 5585	24
3.3	Graf tegasan (stress) melawan terikan (strain)	25
3.4	Carta Alir Bagi Perkara yang terlibat dalam keputusan	27
3.5	Perisian INSIGHT yang digunakan	29
3.6	Proses penghasilan <i>platform</i>	30
3.7	Proses penghasilan spesimen bermula	30
3.8	Keadaan spesimen sebelum ujian tegangan	31
3.9	Keadaan spesimen selepas ujian tegangan	31
4.0	Keadaan spesimen sebelum ujian tegangan	33
4.1	Keadaan spesimen selepas ujian tegangan	33
4.2	Graf Beban melawan Terikan bagi spesimen 1	36
4.3	Graf Beban melawan Terikan bagi spesimen 2	37
4.4	Graf Beban melawan Terikan bagi spesimen 3	37
4.5	Graf Beban melawan Terikan bagi spesimen 4	38
4.6	Graf Beban melawan Terikan bagi spesimen 5	39
4.7	Graf Beban melawan Terikan bagi spesimen 6	40

4.8	Graf Beban melawan Terikan bagi spesimen 7	40
4.9	Graf Beban melawan Terikan bagi spesimen 8	41
5.0	Graf Beban melawan Terikan bagi spesimen 9	42
5.1	Graf Pemanjangan Melawan Parameter Bagi Daya 0.2 kN	46
5.2	Graf Pemanjangan Melawan Parameter Bagi Daya 0.4 kN	47
5.3	Graf Pemanjangan Melawan Parameter Bagi Daya 0.6 kN	49

SENARAI LAMPIRAN

BIL	TAJUK	MUKA SURAT
A	Mesin FDM Maxum	60
B	Mesin FDM Prodigy Plus	60
C	Mesin FDM Titan	61
D	Mesin FDM Vantage	61
E	Spesifikasi mesin FDM	62
F	Contoh Prototaip 1	62
G	Contoh Prototaip 2	63
H	Perisian Insight	63
I	Keadaan di dalam Makmal RP	64
J	Bantuan Juruteknik Di dalam Makmal Tegangan	64
K	Ujian Tegangan Sedang Dijalankan	65
L	Perisian Bluehill Dalam Ujian Tegangan	66
M	Lukisan Rekabentuk Spesimen Dalam Perisian CATIA 01	67
N	Lukisan Rekabentuk Spesimen Dalam Perisian CATIA 02	68

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pengenalan

FDM atau *Fused Deposition Modeling* adalah salah satu daripada sistem RP (Rapid Prototyping) yang menghasilkan prototaip daripada bahan plastik seperti ABS secara lapisan demi lapisan. Adalah diketahui bahawa parameter-parameter seperti ruang udara, sudut *raster*, lebar *raster* dan ketebalan lapisan mempengaruhi prestasi komponen atau bahagian dalam sesuatu prototaip yang dihasilkan oleh mesin FDM. Walau bagaimanapun, penggunaan tahap yang sesuai bagi parameter-parameter ini berhubung dengan kriteria prestasi sesuatu prototaip itu masih lagi memerlukan kajian yang lanjut. Jadi tesis ini akan menerangkan tentang cara-cara untuk mendapatkan kombinasi parameter FDM yang paling optimum dalam menghasilkan prototaip daripada bahan ABS. Ini adalah penting untuk meningkatkan prestasi teknologi RP dalam industri. Melalui kajian ini, kita mungkin dapat menjimatkan masa dan kos dalam menghasilkan sesuatu prototaip. Selain itu, kualiti prototaip juga dapat dipertingkatkan supaya dapat memenuhi keperluan para pengguna. Kombinasi parameter yang sesuai bagi mesin FDM boleh ditentukan melalui pelbagai cara atau kaedah tetapi tesis ini akan lebih menumpukan perhatian terhadap kaedah Taguchi. Terdapat beberapa eksperimen yang bakal dijalankan bersama-sama dengan kaedah Taguchi untuk mencapai objektif tesis ini. Dalam projek ini, mesin FDM yang disediakan oleh pihak universiti iaitu Prodigy Plus dan juga dengan perisian Insight akan digunakan.

1.2 Pernyataan Masalah

Antara masalah yang dihadapi semasa menggunakan mesin FDM adalah berkenaan dengan parameter FDM. Penggunaan parameter FDM yang kurang sesuai menyebabkan kelemahan dari segi kualiti pada prototaip yang dihasilkan seperti ketahanan, kekuatan, rupa permukaan dan sebagainya. Selain itu, Ia juga boleh menyebabkan masa yang diambil menjadi terlalu lama untuk menghasilkan sesuatu protaip.

1.3 Objektif

Antara objektif-objektif tesis ini adalah:

- 1) Menjalankan kajian ke atas prototaip ABS yang dihasilkan menerusi kombinasi parameter yang telah ditetapkan untuk menentukan sifat-sifat mekanikal prototaip tersebut.
- 2) Mengenalpasti kombinasi parameter FDM yang paling optimum untuk menghasilkan sesuatu prototaip ABS berdasarkan kriteria-kriteria yang diperlukan seperti masa penghasilan, rupa permukaan, kekuatan, ketahanan, kualiti dan sebagainya.
- 3) Mendapatkan prototaip yang mempunyai kualiti paling terbaik yang boleh dihasilkan oleh mesin FDM berdasarkan kajian pengoptimuman parameter FDM yang dilakukan
- 4) Untuk mendapatkan pengetahuan asas tentang sistem rapid prototyping dan sifat-sifat prototaip yang boleh dihasilkan oleh sistem ini.
- 5) Untuk mempraktikkan pengetahuan yang telah dipelajari daripada waktu kuliah dan makmal.

1.4 Skop

Antara skop dalam tesis ini adalah:

- 1) Membuat kajian melalui pembacaan buku-buku ilmiah, artikel, majalah, maklumat internet dan sebagainya untuk mendapatkan pengetahuan asas tentang sistem RP dan penghasilan rekabentuk prototaip.
- 2) Merekabentuk spesimen prototaip dengan menggunakan perisian CATIA.
- 3) Menghasilkan 9 spesimen prototaip dengan menggunakan mesin FDM berdasarkan kepada beberapa kombinasi parameter FDM yang dipilih
- 4) Menjalankan beberapa eksperimen yang telah dipilih ke atas spesimen-spesimen yang telah dihasilkan.
- 5) Menentukan kombinasi parameter FDM yang paling optimum dengan menggunakan kaedah Taguchi berdasarkan kepada keputusan yang diperolehi daripada eksperimen yang telah dijalankan.

1.5 Rumusan

Melalui kajian dan pembacaan yang telah dilakukan, saya dapat memahami pengetahuan asas tentang perkara yang dikehendaki oleh tajuk tesis ini. Berdasarkan pemahaman tersebut saya dapat mengemukakan beberapa objektif dan skop yang menjadi keperluan untuk melengkapkan tesis ini.

BAB 2

KAJIAN ILMIAH

2.1 Pengenalan

Persaingan dalam dunia perniagaan bagi produk pembuatan semakin sengit dan meningkat semenjak beberapa tahun kebelakangan ini. Kebanyakan organisasi atau ahli-ahli perniagaan berlumba-lumba dalam memasarkan produk masing-masing secepat yang mungkin. Pelbagai aspek yang terlibat dalam industri pembuatan seperti rekabentuk produk, kajian, pasaran dan sebagainya telah dipertingkatkan bagi memastikan produk mereka menembusi pasaran dengan jayanya. Dalam industri pembuatan, penjimatan masa dan bahan mentah menjadi faktor utama dalam menentukan kejayaan sesuatu produk. Disebabkan faktor ini, pelbagai teknologi telah dibangunkan supaya penghasilan sesuatu produk dapat dilakukan dengan lebih cekap. Malah, kebanyakan teknologi yang telah dibangunkan telah pun berevolusi menjadi semakin canggih dan lebih maju. Biasanya penggunaan teknologi-teknologi tersebut akan melibatkan penggunaan sistem komputer. Salah satu teknologi yang menjadi perhatian sekarang adalah sistem pantas atau *rapid prototyping*.

2.2 Definisi Prototaip

Prototaip adalah perkara penting dalam proses pembangunan sesuatu produk. Dalam sebarang bidang rekabentuk. Jika kita merujuk kepada kamus, prototaip ditakrifkan sebagai kata nama tetapi di dalam bidang pembangunan produk, prototaip ditakrifkan sebagai kata nama, kata kerja dan adjektif. Sebagai contohnya adalah:

- 1) Perekabentuk industri menghasilkan *prototaip* berdasarkan konsep mereka
- 2) Jurutera *memprototaipkan* suatu rekabentuk
- 3) Pembangun perisian komputer menghasilkan program *prototaip*

Prototaip boleh juga ditakrifkan sebagai gambaran terhadap sesuatu produk melalui pelbagai sudut pandangan atau aspek. Menerusi takrifan ini, apa sahaja entiti yang menunjukkan sekurang-kurangnya satu ciri yang ada pada sesuatu produk boleh dikira sebagai prototaip. Rajah 2.1 di bawah menunjukkan satu contoh prototaip model sebuah bangunan yang diperbuat dari bahan ABS:



Rajah 2.1 Prototaip model bangunan

2.3 *Rapid Prototyping*

Prototaip pantas atau *Rapid Prototyping* (RP) adalah satu teknologi di mana model atau prototaip dihasilkan berdasarkan lukisan tiga dimensi yang dipanggil rekabentuk berbantuan komputer atau dalam bahasa inggerisnya adalah *computer aided design* (CAD). Satu lapisan bahan mentah (plastic, seramik, kertas dan sebagainya) difabrikasikan secara lapisan demi lapisan sehingga model tersebut siap sepenuhnya. Kewujudan sistem RP ini membolehkan pelbagai model yang kompleks dan kecil dapat dihasilkan dalam masa beberapa jam dan boleh terus dihantar kepada pelanggan dengan segera. Terdapat pelbagai jenis sistem RP yang telah digunakan dalam bidang industri pembuatan. Rajah 2.2 dan 2.3 di bawah menunjukkan 2 jenis sistem RP yang popular digunakan dalam industri sekarang:



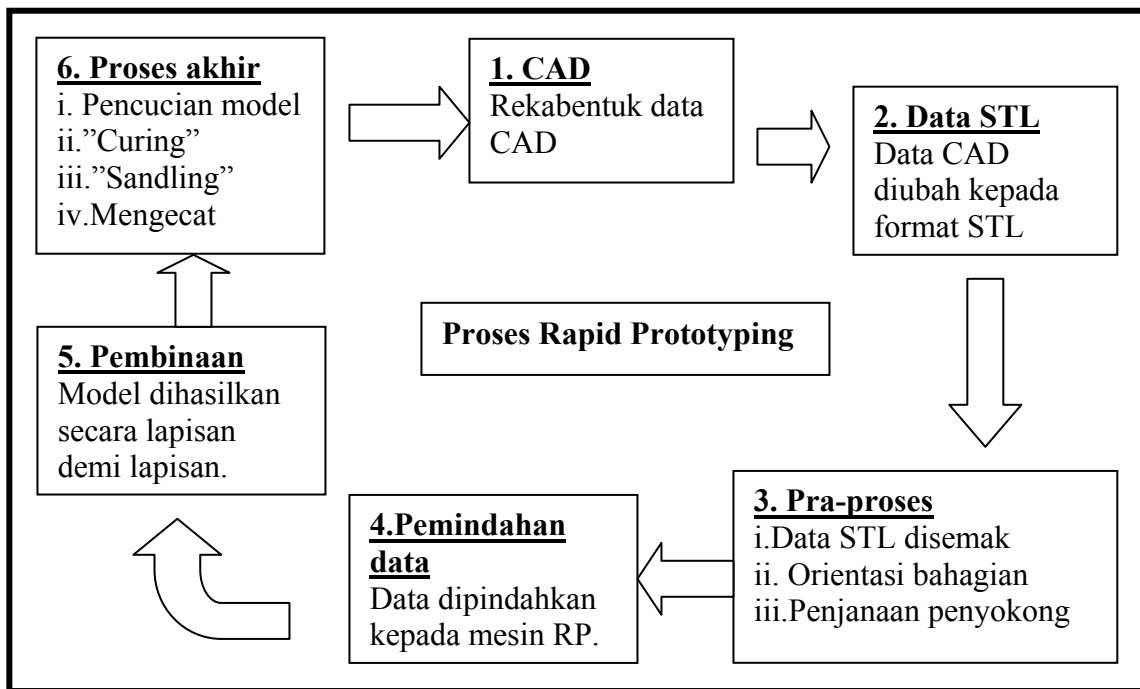
Rajah 2.2 Sistem 3D Printer



Rajah 2.3 Sistem SLA

2.3.1 Proses *Rapid Prototyping*

Terdapat 6 langkah asas yang terlibat dalam proses RP. Rajah 2.2 di bawah menunjukkan proses-proses dalam sistem RP.



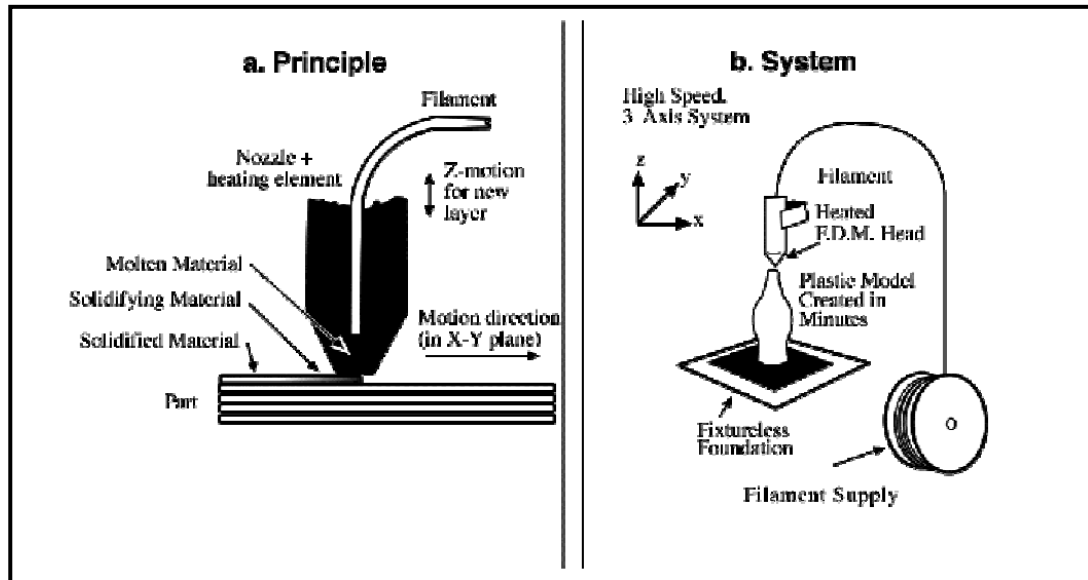
Rajah 2.4 Proses *Rapid Prototyping*

Langkah pertama adalah langkah di mana model atau komponen direkabentuk menggunakan sistem CAD. Seterusnya data CAD tersebut akan ditukar kepada format *Standard Triangulation Language* (STL). Format STL adalah format yang utama digunakan dalam semua sistem RP. Peringkat ketiga dikenali sebagai pra-proses di mana data STL akan disemak dan diperiksa. Pada peringkat ini, orientasi model dan penjanaan penyokong (jika diperlukan) akan diperiksa dengan teliti kerana ia akan mempengaruhi masa penghasilan, permukaan dan ketepatan dimensi sesuatu model fizikal yang hendak dihasilkan. Sesetengah mesin RP tidak memerlukan penyokong sebagai contoh sistem *Laser Sintering* (LS) dan *3 Dimensional Printing* (3DP). Data yang telah disediakan

akan dipindahkan ke stesen pembinaan (sistem RP) melalui sistem rangkaian tempatan (LAN), *pendrive*, CD atau disket. Proses diteruskan dengan pembinaan model secara lapisan demi lapisan sehingga seluruh bahagian model tersebut siap. Pada peringkat ke-6, prototaip akan melalui proses akhir yang dipanggil *post processing*. Antara proses-proses yang terlibat termasuklah pencucian model, *post curing*, *sandling*, mengecat dan sebagainya. Post processing yang dilakukan adalah berlainan bergantung kepada sistem RP yang digunakan.

2.4 Fused Deposition Modeling (FDM)

Secara asasnya, mesin FDM adalah salah satu mesin RP yang boleh menghasilkan prototaip atau model dari bahan seperti plastik. Filamen daripada bahan yang dipanaskan akan dikeluarkan melalui muncung (*nozzle*) yang mempunyai suhu yang lebih tinggi daripada takat lebur bahan tersebut. Kemudian bahan yang cair tadi akan dimendapkan di atas tapak yang bersuhu lebih rendah daripada takat lebur bahan tersebut supaya bahan tersebut boleh menjadi keras dengan serta merta. Model dihasilkan di dalam ruang yang dikawal. Kedua-dua muncung (bahagian dan penyokong) digerakkan pada arah paksi x dan y. Rajah 2.4 di bawah menunjukkan struktur dalaman mesin FDM:



Rajah 2.5 Struktur dalaman mesin FDM

Bahan yang digunakan adalah berlainan bergantung kepada jenis mesin yang digunakan. Antara contoh bahan yang boleh digunakan oleh mesin FDM adalah *Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS)*, *Elastomer*, polikarbonat, lilin dan *polysulphones*. Secara amnya setiap lapisan akan dibina di atas satu sama lain sehingga ke lapisan yang terakhir. FDM boleh dikatakan mempunyai kelebihan yang luas kerana ia boleh menghasilkan model daripada bahan termoplastik. Selain itu, prototaip daripada bahan ABS boleh digunakan sebagai prototaip yang berfungsi. Tetapi kelemahan yang paling ketara bagi mesin FDM ialah masa yang diambil untuk menghasilkan sesuatu prototaip sangat lama jika dibandingkan dengan sistem RP yang lain seperti SLA, SLS dan 3DP. Antara kelebihan dan kelemahan sistem FDM adalah seperti yang ditunjukkan dalam jadual di bawah:

Jadual 2.1 Kelebihan dan Kelemahan sistem FDM

Kelebihan Sistem FDM	Kelemahan sistem FDM
<p>Menghasilkan prototaip yang boleh berfungsi – Proses FDM berkebolehan untuk menghasilkan prototaip yang sama dengan produk sebenar. Dengan menggunakan ABS, Ia boleh memfabrikasikan bahagian atau komponen yang mempunyai 85% kekuatan produk sebenar serta boleh berfungsi sepenuhnya. Ini amat berguna terutamanya untuk membina produk yang memerlukan prototaip yang segera bertujuan untuk menguji kebolehan produk tersebut berfungsi.</p>	<p>Potensi ketepatan yang terhad – Penghasilan prototaip melalui sistem FDM adalah terhad pada aspek ketepatan disebabkan oleh bahan yang berbentuk filamen. Filamen tersebut berdiameter 1.27 mm dan ini menghadkan ketepatan pada prototaip yang dibina.</p>
<p>Penjimatan penggunaan bahan - Proses FDM membina bahagian atau komponen dengan mengeluarkan cecair separa cair di atas tapak pembinaan. Jadi hanya bahan yang diperlukan untuk membina prototaip dan penyokong sahaja yang digunakan dan penggunaan material ditetapkan pada tahap yang minimum.</p>	<p>Proses yang lambat – Proses pembinaan memakan masa yang sangat lama kerana setiap keratan rentas pada prototaip harus dipenuhi dengan bahan ABS. Kelajuan pembinaan prototaip dibataskan oleh kadar pengeluaran material dari muncung. Oleh kerana bahan digunakan adalah plastik yang mempunyai daya kelekatan yang tinggi, maka kelajuan proses pembinaan tidak boleh dipercepatkan dengan sesuka hati.</p>