

**KAJIAN TERHADAP SIFAT MEKANIK BAGI JENIS CORAK PENGISIAN
DALAM PROSES PEMBUATAN TIGA DEMENSI**

MUHAMAD KHAIRY BIN SHAMSUDIN

TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMPEROLEH IJAZAH SARJANA
MUDA KEJURUTERAAN MEKANIKAL

Falkuti Kejuruteraan Mekanikal Serta Pembuatan
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia

JUN 2014

PENGHARGAAN

Syukur ke Hadrat Ilahi kerana dengan limpah rahmat dan kurniaNya, 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 Khairu Bin Kamarudin atas dorongan dan bimbingan yang diberi oleh beliau sepanjang saya menjalani projek sarjana muda ini. Selain itu, saya ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada PM Dr Mustaffa Bin Ibrahim serta Encik Nasuha Bin Sa'ude yang telah memberi bimbingan kepada saya dalam mengendalikan sistem RP (Rapid Prototyping). Tidak lupa juga kepada pihak pengurusan makmal terutamanya para penolong jurutera yang telah membantu saya dalam menjalankan eksperimen di makmal.

Akhir sekali, penghargaan ditujukan kepada kedua ibubapa dan isteri 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

This project is regarding the study of mechanical properties that have on the model that produced by Makerbot Replicator 2 machine. This machine apply Fused Deposition Modelling (FDM) technology where the 3D model fabricate with different infill pattern such hexagonal, linear, marrocanstar and catfill. The determination of percentage infill is 20%, 40%, 60% and 80%. All spesimen are fabricate according to the ISO standard for tensile test and flexure test. The results show that marrocanstar have high tensile strength with value 589.41N for maximum force and percentage infill at 80%, while for flexure strength, infill pattern marrocanstar with value 108.82N at percentage infill 40%.



PTTA UTAM
PERPUSTAKAAN TUNKU TUN AMINAH

ABSTRAK

Kajian ini adalah berkenaan kajian terhadap sifat-sifat mekanikal yang ada pada model yang dihasilkan dengan menggunakan mesin Makerbot Replicator 2 dalam mengaplikasikan teknologi *Fused Deposition Modelling* (FDM) di mana setiap model dihasilkan dengan corak pengisian yang berbeza iaitu sarang lebah, segi empat sama, bintang dan gegelung lurus. Penentuan peratusan corak pengisian ialah 20 %, 40%, 60% dan 80%. Spesimen dihasilkan dengan mengikut Standard ISO bagi melakukan ujian tegangan dan ujian lenturan untuk mengetahui sifat-sifat mekanik yang ada pada spesimen yang dihasilkan. Keputusan yang diperolehi menunjukkan corak pengisi bintang (*marrocanstar*) mempunyai kekuatan tegangan yang tinggi dengan nilai 589.41 N bagi daya maksimum dan peratusan pengisian sebanyak 80%, bagi kekuatan lenturan corak pengisi bintang (*marrocanstar*) dengan nilai 108.82 N pada peratusan pengisi sebanyak 40%.



PT TAJAM
PERPUSTAKAAN TUNKU TUNJAMINAH

ISI KANDUNGAN

PENGESAHAN	
TAJUK	
PENGAKUAN	
PENGHARGAAN	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
ISI KANDUNGAN	v
SENARAI JADUAL	vi
SENARAI RAJAH	vii

BAB I

PENGENALAN

1.1	Latar Belakang Kajian	1
1.2	Penyataan Masalah	2
1.3	Objektif Kajian	4
1.4	Skop Kajian	4
1.5	Penyusunan Tesis	4

BAB II

KAJIAN LITERATUR

2.1	Prototaip Deras (RP)	5
2.1.1	Proses Prototaip Deras	7
2.1.2	Pengkelasan Prototaip Deras	8
2.2	Proses Pemodelan Penyemperitan (Fused Deposition Modeling -FDM)	9
2.2.1	Percetakan Inkjet	11
2.2.2	Selective Laser Sintering (SLS)	11
2.3	Pencetak Tiga Dimensi	12
2.3.1	Pencetak MakerBot Replicator 2	13
2.3.2	Ciri-Ciri Produk	14
2.3.3	Spesifikasi Teknikal Mesin Makerbot Replicator 2	14
2.4	Corak pengisian	15

2.5	Pemilihan Bahan	16
2.5.1	PLA (Poly Lactic Acid)	16
2.6	Definasi Sifat-Sifat Mekanikal	19
2.7	Kajian Terdahulu	20

BAB III METADOLOGI KAJIAN

3.1	Pengenalan	21
3.2	Membina Rekabentuk 3D	24
3.3	Penyediaan Bahan	24
3.3.1	PLA (Asid Polylactic Atau Polylactide)	25
3.4	Reka Bentuk 3D.	25
3.5	Persediaan Peralatan	26
3.5.1	Mesin Makerbot Replicator 2	26
3.5.1.1	Persediaan Mesin	27
3.5.1.2	Persediaan Perisian	29
3.6	Butiran Maklumat Eksperimen	31
3.6.1	Corak Pengisian (Infill Pattern)	31
3.6.1.1	Jenis-Jenis Corak Pengisian	31
3.6.1.2	Peratusan Ketumpatan Pengisian	32
3.7	Penyediaan Sampel	33
3.8	Analisis Data	34
3.8.1	Ujian Tegangan	35
3.8.2	Ujian Lenturan	36

BAB IV KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

4.1	Pengenalan	38
4.2	Ujian Tegangan (Tensile ISO 527-2)	38
4.2.1	Perbincangan ujian tegangan	50
4.3	Ujian Lenturan (Flexural ISO 178)	50
4.3.1	Perbincangan ujian lenturan	57

BAB V KESIMPULAN DAN CADANGAN

5.1	Pengenalan	58
5.2	Kesimpulan	58
5.3	Cadangan	59

RUJUKAN	60
----------------	----

LAMPIRAN	62
-----------------	----



SENARAI JADUAL

2.1	Kelebihan dan Kelemahan sistem FDM	11
2.2	Spesifikasi Teknikal Mesin Makerbot Replicator 2	15
2.3	Sifat Fizikal PLA (<i>Cargill Dow, 2000</i>)	18
2.4	Penerangan Percetakan Bahan 3D	19
2.5	Sifat Mekanikal pada sesuatu bahan (<i>Gordon England, 2006</i>)	20
2.6	Ringkasan kajian yang berkaitan (Mohd Fadzil, 2007)	21
3.1	Sifat Mekanikal PLA (Cargilldow LLC, Published June 2000)	26
3.2	Jumlah spesimen yang digunakan	35
4.1	Keputusan Ujian Tegangan	40
4.2	Keputusan Ujian Lenturan	52



SENARAI RAJAH

2.1	Sistem FDM	7
2.2	Sistem 3D Printer	7
2.3	Aliran Proses Rp	8
2.4	Prototaip Deras Berasaskan Bahan Yang Digunakan (Chua & Leong, 1997)	9
2.5	Struktur Dalaman Mesin Fdm	10
2.6	Gambarajah Mesin “Pensinteran Lazer Selektif (SLS)”	12
2.7	Pencetak Tiga Dimensi	14
2.8	Makerbot Replicator 2	16
2.9	Peraturan Pengisi	16
2.10	Molekol Atom Dalam PLA (Xiaojie Guo, M.S.)	18
3.1	Carta Keseluruhan Projek	23
3.2	Carta Aliran Projek	24
3.3	Bahan PLA Yang Digunakan Untuk Mesin Makerbot Replicator 2	25
3.4	Pembina Reka Bentuk 3D	27
3.5	Mesin Makerbot Replicator 2	28
3.6	Pemasangan Paip Panduan Bagi Filamen	29
3.7	Pemasangan Pemegang Spool Bahan Mentah	29
3.8	Pemasangan Kabel Sambungan Dan Sumber Tenaga	29
3.9	Mesin Sedia Digunakan	30
3.10	Perisian Makerware	30-31
3.11	Pengaturcaraan Bagi Menukar Corak Pengisi	31
3.12	Jenis Corak Pengisian	33
3.13	Corak Pengisian Mengikut Peraturan Ketumpatan Bagi hexagonal	33
3.14	ISO 527-Untuk Ujian Tegangan	34
3.15	ISO 178-Untuk Ujian Lenturan	34
3.16	Ujian Tegangan	36
3.17	Menunjukkan Pelaksanaan Ujian Lenturan	37
3.17	Ujian Geometri untuk ISO 178	38
4.1	Graf Daya maksimum (N) (<i>maximum force</i>) melawan Peraturan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi Corak Pengisian Sarang Lebah	43

4.2	Graf Daya maksimum (N) (<i>maximum force</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi Corak Bintang	43
4.3	Graf Daya maksimum (N) (<i>maximum force</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi Corak Segi Empat Sama	44
4.4	Graf Daya maksimum (N) (<i>maximum force</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi Corak Gegelung Lurus	44
4.5	Graf Daya Maksimum (N) (<i>maximum force</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi 20%	45
4.6	Graf Daya Maksimum (N) (<i>maximum force</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi 40%	45
4.7	Graf Daya Maksimum (N) (<i>maximum force</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi 60%	46
4.8	Graf Daya Maksimum (N) (<i>maximum force</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi 80%	46
4.9	Graf Pecahan Anjakan (mm) (<i>Break Displacement</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi Sarang Lebah.	47
4.10	Graf Pecahan Anjakan (mm) (<i>Break Displacement</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi Bintang	47
4.11	Graf Pecahan Anjakan (mm) (<i>Break Displacement</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi Segi Empat Sama	48
4.12	Graf Pecahan Anjakan (mm) (<i>Break Displacement</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi Gegelung Lurus.	48
4.13	Graf Pecahan Anjakan (mm) (<i>Break Displacement</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi 20%.	49
4.14	Graf Pecahan Anjakan (mm) (<i>Break Displacement</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi 40%.	49
4.15	Graf Pecahan Anjakan (mm) (<i>Break Displacement</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi 60%.	50
4.16	Graf Pecahan Anjakan (mm) (<i>Break Displacement</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi 80%.	50
4.17	Graf Daya Lenturan (N) (<i>flexure force</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi Sarang Lebah	54
4.18	Graf Daya Lenturan (N) (<i>flexure force</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi Bintang	54

4.19	Graf Daya Lenturan (N) (<i>flexture force</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi Segi empat sama	55
4.20	Graf Daya Lenturan (N) (<i>flexture force</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi Gegelung lurus	55
4.21	Graf Daya Lenturan (N) (<i>flexture force</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi 20%	56
4.22	Graf Daya Lenturan (N) (<i>flexture force</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi 40%	56
4.23	Graf Daya Lenturan (N) (<i>flexture force</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi 60%	57
4.24	Graf Daya Lenturan (N) (<i>flexture force</i>) melawan Peratusan Pengisian (%) (<i>percentage of infill</i>) bagi 80%	57



BAB I

PENGENALAN

Laporan ini adalah berkenaan dengan "Kajian Terhadap Sifat Mekanik Bagi Jenis Corak Pengisian Dalam Proses Pembuatan Tiga Demensi". Bab ini akan menerangkan latar belakang projek, pernyataan masalah, objektif, skop dan panduan projek.

1.1 Latar Belakang Kajian

Syarikat-syarikat pembuatan pada hari ini berhadapan dengan cabaran yang tidak menentu dari segi perubahan pasaran sama ada dalam pasaran tempatan atau antarabangsa. Ini disebabkan daripada masa penghasilan produk yang singkat, perubahan kepada produk yang sedia ada, permintaan pasaran produk yang tidak menentu dan perubahan dalam peningkatan proses serta teknologi. Untuk berjaya dalam penghasilan produk adalah sangat mencabar, disebabkan keadaan pasaran yang sangat berdaya saing (Krar dan Gill, 2003).

Prototaip adalah model yang pertama atau pun rupa bentuk asal sesuatu objek yang telah direka atau dibina, ia adalah satu contoh model atau versi pembentukan awal (Sapuan, 1998), terdiri daripada litografi stereo (SLA), pensinteran laser selektif (SLS), pembuatan objek berlapis (LOM), percetakan tiga dimensi (3DP), proses pemodelan penyemperitan (FDM) dan lain-lain. RP mempunyai keupayaan yang cepat dalam menghasilkan model 3D. Produk yang direka menggunakan sistem CAD, menghasilkan produk yang tepat dan ketara tanpa memerlukan pemesinan atau peralatan (Dimitrov et al, 2006).

RP membuka satu dimensi yang baru untuk menghasilkan produk dalam industri pembuatan. RP juga telah banyak menjana faedah dalam bidang kejuruteraan dan pembuatan dalam teknologi masa kini, dalam kaedah pembuatan lapisan, RP boleh melibatkan penjimatan masa dan kos yang berkaitan dengan penghasilan model. Kebanyakan jenis produk yang dihasilkan oleh RP melibatkan masa yang lebih singkat jika dibandingkan dengan produk yang dihasilkan dari proses konvensional. Dengan kemajuan RP pada masa kini, industri akan lebih mempunyai banyak cabaran yang datang dari pengilang untuk menaik taraf sistem RP dan sehingga kini telah banyak kajian RP dilakukan.

Pada masa kini, banyak pengeluaran dan penghasilan mesin pencetak 3 dimensi mini, yang mana ringan, mudah dan kecil jika dibandingkan dengan mesin terdahulu. Di dalam kajian ini, saya ingin membuat perbezaan kekuatan tegangan dan lenturan antara sampel yang dihasilkan oleh mesin MakerBot Replicator 2 iaitu dari segi corak pengisian. Antaranya corak pengisian sarang lebah (*hexagonal*), segi empat (*linear*), bintang (*marrocanstar*) dan gegelung lurus (*catfill*).

1.2 Pernyataan Masalah

Teknologi RP adalah satu teknologi yang baru diperkenalkan kira-kira satu dekad yang lalu. Terdapat pelbagai sistem RP yang boleh didapati secara komersial. Terutamanya di Malaysia, terdapat kekangan yang dihadapi sekarang iaitu teknologi RP belum digunakan secara meluas di kalangan pengusahaan pembuatan.

Pada masa kini, beberapa penyelidik sedang mencari peningkatan berkaitan proses, kos, dan kuasa utama yang digunakan untuk dalam pengawalan mesin RP. Kajian ini dijalankan dengan menggunakan mesin percetakan mudah alih 3D iaitu mesin MakerBot Replicator 2. Mesin ini dikawal oleh perisian Makeware yang digunakan sebagai mesin RP untuk menghasilkan produk (objek 3D). Satu pencetak 3D boleh menghasilkan beberapa jenis corak pengisian (*infill*). Sesetengah pencetak 3D boleh membuat corak grid manakala pencetak 3D yang lain akan menggunakan corak geometri sarang lebah (*heksagon*) atau corak pengisian lain. Bagi mendapatkan pengisian berongga (*hollow*), pengisian perlu dicetak dengan peratusan ketumpatan sebanyak 10% hingga 20% mengikut fungsi-fungsi pada bahagian yang melibatkan pergerakan mekanikal, manakala bagi pengisian pejal peratusan ketumpatan pengisian adalah di antara 75% hingga 100%.

Pengisian ditentukan dengan peratusan ketumpatan corak. Terdapat beberapa jenis corak pengisian di dalam proses percetakan 3D seperti sarang lebah (*hexagonal*), segi empat (*linear*), bintang (*marrocanstar*) dan gegelung lurus (*catfill*). Di dalam kajian ini pembinaan pengisian penuh dan berongga juga dihasilkan bagi menguji dan membuat perbezaan kekuatan bagi tegangan (*tensile*) dan lenturan (*flexural*) terhadap model yang dihasilkan. Objek yang dicetak pada 100% pengisian akan menjadi 100% pejal. Lebih pengisian akan membuat objek yang lebih kukuh, lebih berat, dan perlahan untuk dibina. Begitu juga, yang kurang pengisiannya akan lebih ringan dan lebih cepat untuk dibina. Pembinaan produk yang mengandungi pengisian penuh akan menyebabkan penggunaan bahan mentah atau filamen yang banyak. Jika penggunaan bahan mentah yang banyak ia akan memberi kesan kepada kos yang tinggi selain itu masa penghasilan produk yang panjang. Penggunaan bahan mentah yang banyak juga akan menyebabkan pembaziran, jika belaku sebarang kerosakkan semasa proses pembinaan dimana kita terpaksa melakukan semula pembinaan produk. Kajian terhadap corak pengisian ini akan memberikan satu maklumat yang lebih tepat mengenai ciri-ciri model yang dicetak dengan menggunakan corak pengisian yang berbeza, seterusnya dapat dijadikan panduan untuk pemilihan jenis corak yang sesuai dengan keperluan sesuatu model dan secara langsung akan menjimatkan kos bahan mentah.

1.3 Objektif

Objektif Projek Sarjana Muda ini adalah:-

- i. Untuk mengkaji sifat-sifat mekanik pada model yang dicetak dari pelbagai peratus pengisian dengan menggunakan mesin percetakan 3D berteknologi FDM (*Fused Deposition Modelling*)
- ii. Untuk membuat perbezaan sifat mekanikal bagi empat jenis corak pengisian iaitu sarang lebah (*hexagonal*), bintang (*marrocanstar*), segi empat sama (*linear*) dan gegelung lurus (*catfill*).

1.4 Skop

Skop Projek Sarjana Muda ini adalah:-

- i. Kajian ini menggunakan mesin Makerbot Replicator 2 untuk menghasilkan sampel ujikaji.
- ii. Melakukan ujian fizikal iaitu tegangan dan ujian lenturan terhadap sampel yang dihasilkan dengan menggunakan bahan PLA (*Poly Lactic Acid*)
- iii. Sampel-sampel yang digunakan dirujuk daripada standard ISO.

1.5 Penyusunan tesis

Dalam penulisan tesis ini dibahagikan kepada lima bahagian. Bab satu adalah latar belakang kajian, objektif, skop, dan tujuan kajian dijalankan. Bab Dua membincangkan mengenai kajian literatur, kajian kes atau kerja yang berkaitan. Manakala Bab Tiga membincangkan kaedah dan prosedur yang digunakan dalam menjalankan kajian. Dalam Bab Empat ia menunjukkan keputusan yang diperolehi. Manakala untuk kesimpulan dan cadangan termasuk di dalam Bab Lima.

BAB II

KAJIAN LITERATUR

Kajian literatur telah dilakukan dengan membuat rujukan daripada sumber-sumber seperti jurnal, internet, artikel, dan buku. Maklumat-maklumat berkaitan dengan projek yang akan dilaksanakan diperolehi dan dijadikan asas rujukan untuk menjalankan kajian ini.

2.1 Prototaip Deras (RP)

Teknologi prototaip deras telah diperkenalkan pada tahun 1980 dan berfungsi untuk menghasilkan model dengan menggunakan data CAD. Kebanyakan data tiga dimensi CAD diproses melalui mesin protaip deras untuk mendapatkan bentuk yang dikehendaki (Wohles, 2004).

Teknologi prototaip deras dibahagikan mengikut jenis bahan yang digunakan semasa pemprosesan antaranya termasuk teknologi prototaip deras berasaskan cecair, pepejal dan serbuk. Teknologi prototaip deras berasaskan cecair di mana keadaan bahan tersebut berada dalam keadaan cecair, dan apabila melalui mesin prototaip deras bahan tersebut akan ditukar kepada bentuk pepejal. Bagi bahan berasaskan pepejal, bahan yang digunakan adalah berkeadaan pepejal dan kebiasaannya kekuatan produk lebih tinggi jika dibandingkan dengan jenis bahan yang lain (Dimitrov et al, 2006).

Manakala bahan berasaskan serbuk menunjukkan bahan tersebut berkeadaan bijirin (*grain-like-form*). Terdapat pelbagai jenis sistem RP yang telah digunakan dalam bidang industri pembuatan. Rajah 2.1 dan Rajah 2.2 di bawah menunjukkan antara jenis sistem RP yang digunakan dalam industri sekarang.



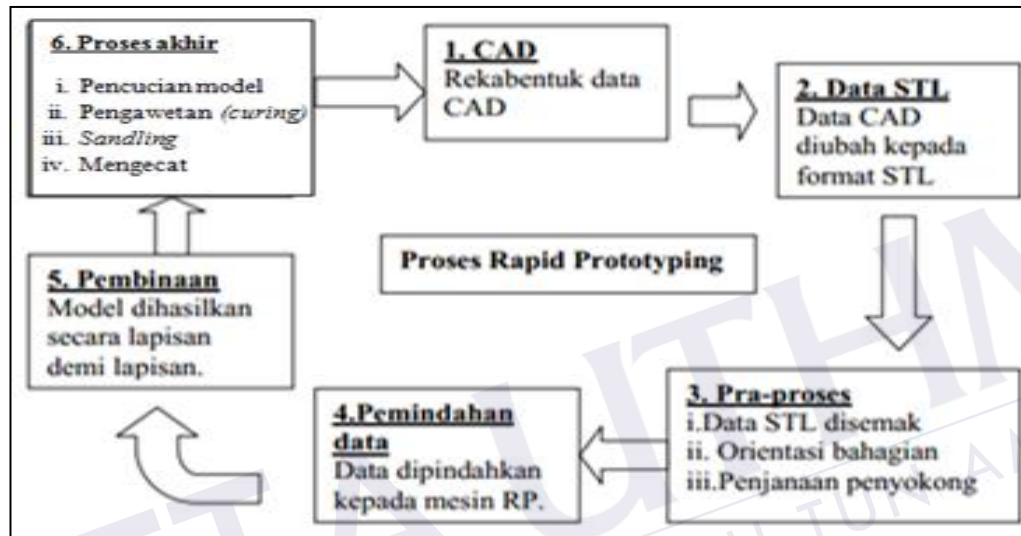
Rajah 2.1: Sistem FDM



Rajah 2.2: Sistem 3D Printer

2.1.1 Proses Prototaip Deras

Sejak beberapa dekad yang lalu, teknik RP telah dikembangkan. Sebahagian daripada teknik RP yang boleh didapati secara komersial adalah 3DP, SLA, LOM dan FDM. Berikut adalah langkah-langkah asas untuk semua teknik prototaip deras yang terkini. Rajah 2.3 menunjukkan aliran proses RP.

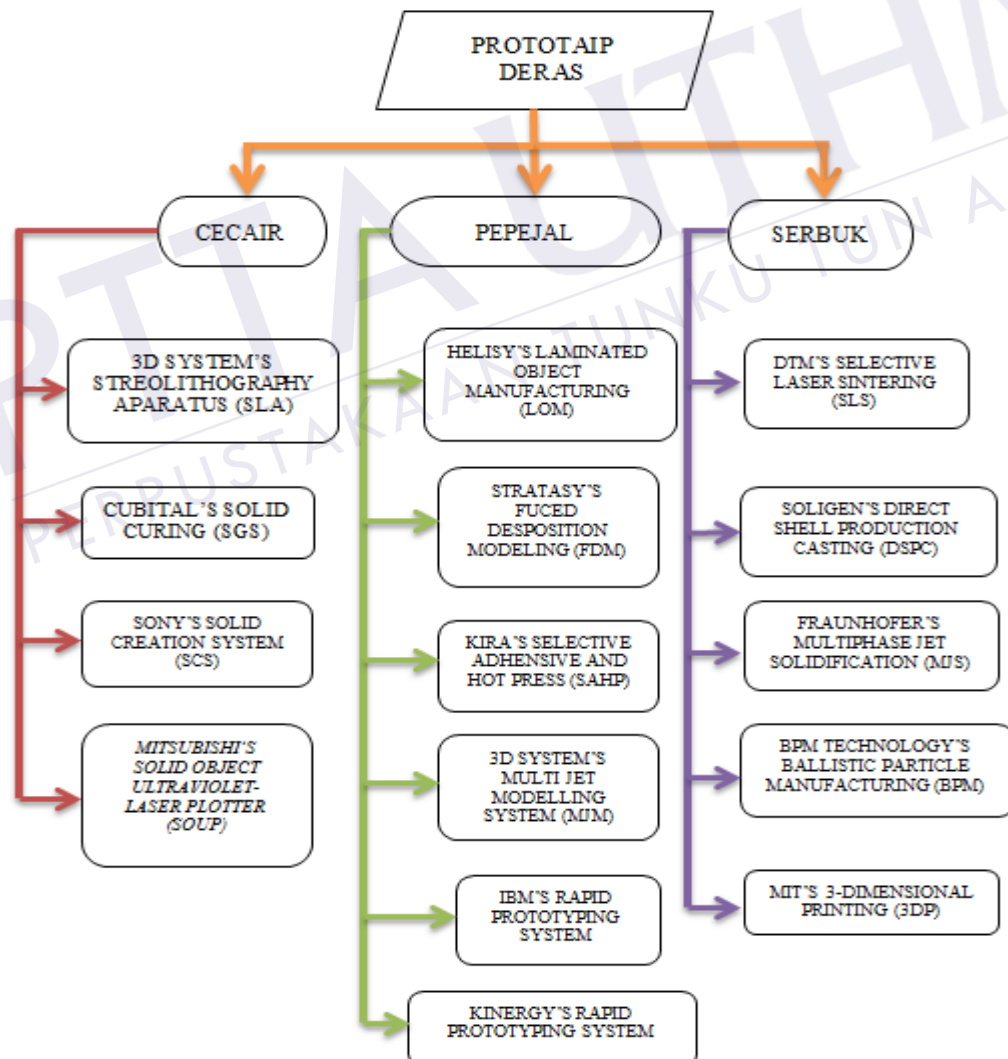


Rajah 2.3: Aliran proses RP

Untuk langkah pertama, 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 disemak dan diperiksa. Pada peringkat ini, orientasi model dan penjanaian penyokong (jika diperlukan) akan diperiksa dengan teliti kerana ia akan mempengaruhi masa penghasilan, kualiti permukaan dan ketepatan dimensi sesuatu model fizikal. Manakala terdapat juga sesetengah mesin RP yang tidak memerlukan penyokong seperti 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), CD atau disket. Proses diteruskan dengan pembinaan model secara lapisan demi lapisan sehingga seluruh bahagian model tersebut siap. Pada peringkat ke 6, protaip akan melalui proses akhir yang dipanggil kemas (post processing). Antara proses-proses yang terlibat termasuklah pembersihan model, pengawetan (post curing), melicinkan permukaan (sandling), mengecat dan sebagainya. Proses kemas yang dilakukan adalah berlainan bergantung kepada sistem RP yang digunakan.

2.1.2 Pengelasan Prototaip Deras



Rajah 2.4: Prototaip deras berasaskan bahan yang digunakan
(Chua & Leong, 1997)

2.2 Proses Pemodelan Penyemperitan (*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 2.5 di bawah menunjukkan struktur dalaman mesin FDM:



Rajah 2.5: Struktur Dalaman Mesin FDM

Jadual 2.1: Kelebihan dan kelemahan sistem FDM

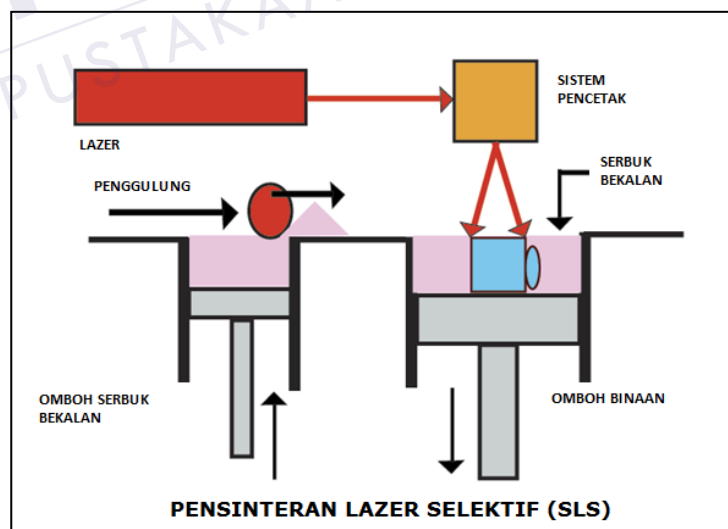
Kelebihan system FDM	Kelemahan sistem FDM
<p>Menghasilkan prototip yang boleh berfungsi</p> <p>Proses FDM berkebolehan untuk menghasilkan prototaip yang sama dengan produk sebenar. Dengan menggunakan ABS, Ia boleh memfabrikasikan bahagian atau komponen yang mempunyai 85% kekuatan produk sebenar serta 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</p> <p>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</p> <p>Proses FDM membina bahagian atau komponene dengan mengeluarkan cecair separa cair di atas tapak pembinaan. Jadi hanya bahan yang diperlukan untuk membina prototaip dan penyokong sahaja yang digunakan pada tahap yang minimum.</p>	<p>Proses yang lambat</p> <p>Proses pembinaan memakan masa yang sangat lama kerana setiap keratin rentas pada prototaip harus dipenuhi dengan bahan ABS. kelajuan pembinaan prototaip dibataskan oleh kadar pengeluaran bahan mentah dari muncung. Oleh kerana bahan digunakan adalah plastic yang mempunyai daya kelekatan yang tinggi, maka kelajuan proses pembinaan tidak boleh dipercepatkan dengan sesuka hati.</p>

2.2.1 Percetakan Inkjet

Pencetak *inkjet* menggunakan dakwat khas iaitu (resin dan pengikat) dalam proses membina model 3D dengan menggunakan alat yang sangat serupa dengan pencetak *inkjet* rumah atau pejabat. Lapisan atas adalah lapisan resin dan pengikat, ia ditambah lapisan demi lapisan sehingga objek yang dicipta selesai dan dalam proses percetakan 3D *inkjet* ini dapat menghasilkan produk yang sama warna dengan yang asal.

2.2.2 Selective Laser Sintering (SLS)

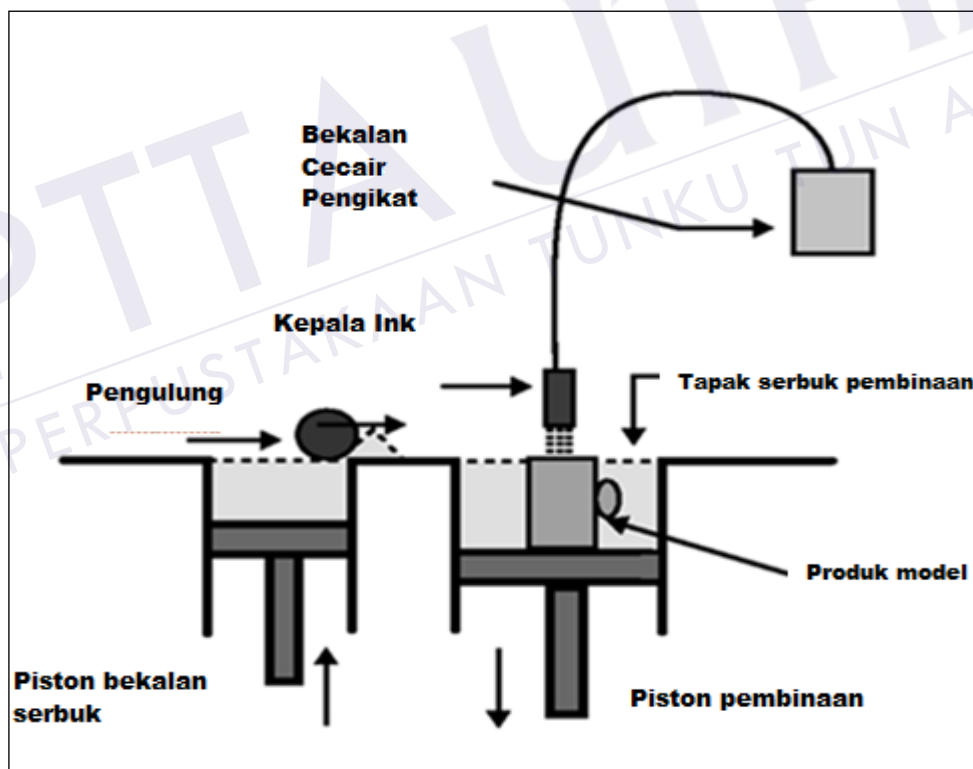
Pensinteran adalah proses penghasilan objek pepejal dari serbuk, dan di dalam proses pensinteran lazer selektif (SLS) serbuk seperti logam, plastik, seramik, atau kaca digunakan. Pada asasnya, SLS menggunakan lazer berdenyut untuk "mengeras" keratan rentas yang dikehendaki. Fius serbuk, dan seterusnya lazer membentuk lapisan secara berperingkat sehingga ke atas. Bagi industri yang besar, ia memerlukan lazer yang sangat kuat dan saiz yang besar. Rajah 2.6 menunjukkan Gambarajah mesin pembuatan objek berlapis "*Selective Laser Sintering*".



Rajah 2.6: Gambarajah mesin “pensinteran lazer selektif (SLS)”

2.3 Pencetak Tiga Dimensi (3D Printer)

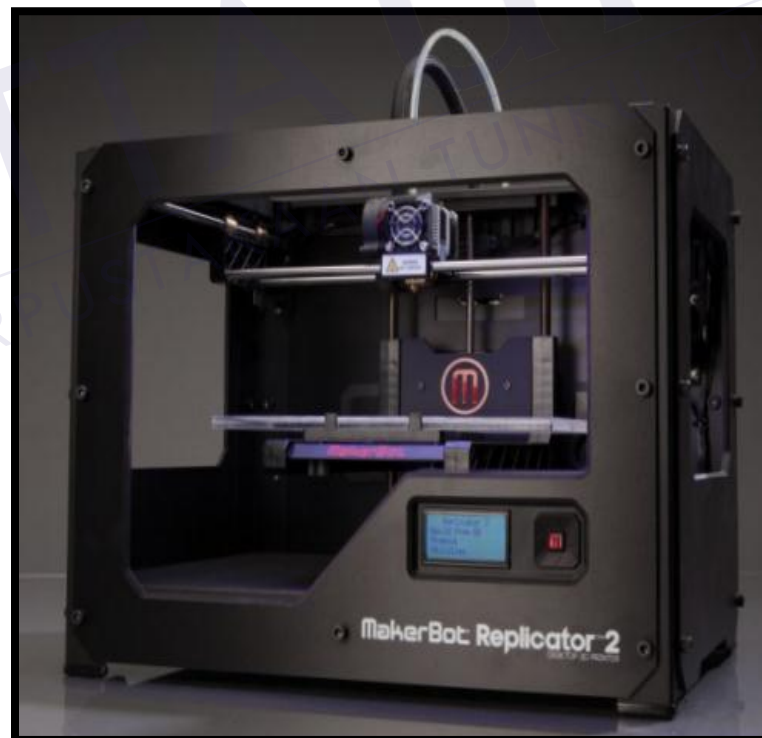
Mesin Pencetak tiga dimensi telah dibangunkan oleh *Massachusetts Institute of Technology (MIT)* dalam menghasilkan peralatan, komponen dan kemudian dipindahkan terus kepada model CAD (Chua & Leong, 1997). Ketebalan dimensi bagi produk yang dihasilkan ialah ± 0.13 mm dan ketebalan lapisan yang dihasilkan adalah 0.076 mm hingga 0.254 mm dan ia boleh dilaraskan sebelum pencetakan bermula. Ketebalan ini boleh mempengaruhi kekerasan permukaan yang dihasilkan (Chua & Leong, 1997). Rajah 2.7 menunjukkan skematik bagi mesin pencetak tiga dimensi.



Rajah 2.7: Pencetak Tiga Dimensi (3D Printer)

2.3.1 Pencetak MakerBot Replicator 2

Pencetak *MakerBot Replicator 2 Desktop 3D* boleh menghasilkan objek tiga dimensi pepejal daripada cecair *MakerBot PLA* filamen. Data fail reka bentuk 3D yang dilukis menggunakan cad atau solidwork diterjemahkan dan disimpan dalam data fail stl untuk dihantar kepada perisian *makerware*. Data tersebut dihantar ke mesin melalui kabel *USB* atau *SD Card*. Kemudian *MakerBot Replicator 2* akan memanaskan *MakerBot PLA* filamen dan filamen yang telah dicairkan mula keluar melalui satu muncung pemanas dan membuat lapisan objek pepejal, pembentukannya dari satu lapisan ke satu lapisan sehingga selesai. Kaedah ini dipanggil *Fused Filament Fabrication [FFF]*. Rajah 2.8 menunjukkan bentuk mesin pencetak MakerBot Replicator 2.



Rajah 2.8: MakerBot Replicator 2

RUJUKKAN

Agarwala, M.K., Jamalabad, V.R., Langrana, N.A., Safari, A., Whalen, P.J., Danforth, S.C., 1996. Structural quality of parts processed by fused deposition. *Rapid Prototyping Journal* 2, 4–19.

Bertsch A., Bernhard P., Vogt C. Renaud P. (2000) *Rapid prototyping of small size objects*. *Rapid Prototyping Journal*, Vol. 6, Number 4, pp. 259-266.

Bellehumeur, C., Li, L., Sun, Q., Gu, P., 2004. Modelling of bond formation between polymer filaments in the fused deposition modelling process. *Journal of Manufacturing Processes* 6 (2), 170–178.

Chua, C., Leong, K. and Lim, C. (2003). *Rapid Prototyping: Principles and Applications (2nd Ed)*. Singapore, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.

Chua C.K. & Leong K.F. (1997). *Rapid Prototyping Principles & Application in Manufacturing*. John Wiley & Son at (Asia), Singapore.

De Rosa IM et al. Morphological, thermal and mechanical characterization of okra (*Abelmoschus esculentus*) fibres as potential reinforcement in polymer composites. *Compos Sci Technol* 2010;70(1):116–22.

Dimitrov D., Schreve K & De Beer N. (2006). *Advances in three dimensional printing*

<http://wiki.makerbot.com/cupcake>, 2011.

Kruth J.P. (1991). Material Increases Manufacturing by Rapid Prototyping Techniques.

CIRP Annals 40/2/1991, P.603ves", *Rapid Prototyping Journal*, Vol.

12 Iss: 3, pp.136 – 147.

Krar, S. & Gill, A. (2003). *Exploring Advance Manufacturing Technology*. New York, Industrial Press Inc.

Li, L., Sun, Q. and Gu, P., “Modeling of Bond Formation Between Polymer Filaments in the Fused Deposition Modeling Process”, *J. of Manufacturing Processes*, Vol. 6, No. 2, (2004), pp. 170-177.

Oksman K, Skrifvars M, Selin JF. Natural fibres as reinforcement in polylactic acid (PLA) composites. *Compos Sci Technol* 2003;63(9):1317–24.

Mohanty A, Misra M, Drzal L. Natural fibers, biopolymers, and biocomposites. CRC; 2005.

Tseng, A. A. and Tanaka, M., “Advanced Deposition Techniques for Freeform Fabrication of Metal and Ceramic Parts”, *J. Rapid Prototyping*, Vol. 7, No. 1, (2001), pp. 6-17.

Wohlers, T. (1999). *Rapid Prototyping and Tooling State of the Industry: 1999 Worldwide Progress Report*. Wohlers Associates.

Wollerdorfer M, Bader H. Influence of natural fibres on the mechanical properties of biodegradable polymers. *Ind Crop Prod* 1998;8(2):105–12.

Vink ETH et al. Applications of life cycle assessment to nature works (TM) polylactide (PLA) production. *Polym Degrad Stabil* 2003;80(3):403–19.