

BAB II DASAR TEORI

2.1 Kajian Singkat *Rapid Prototyping*

Istilah *rapid prototyping (RP)* merujuk pada suatu kelas teknologi yang secara otomatis mampu menyusun model fisik dari data *CAD (Computer-Aided Design)*. “Printer tiga dimensi” ini memungkinkan si perancang untuk secara cepat menciptakan sebuah *riil* dari rancangannya, ketimbang hanya gambar dua dimensi. Model seperti ini memiliki berbagai manfaat. Mereka memberikan bantuan visual yang sempurna di dalam mengkomunikasikan gagasan dengan pelanggan atau rekan kerja. Di samping itu, *prototype* dapat digunakan untuk pengujian rancangan. Sebagai contoh, seorang teknisi luar angkasa dapat menambahkan sebuah model *airfoil* dalam saluran udaranya untuk mengukur gaya angkat dan tarikannya. Perancang selalu memanfaatkan *prototype*; *RP* memungkinkannya dibuat lebih cepat dan lebih murah.

Di samping *prototype*, teknik *RP* dapat juga digunakan untuk membuat peralatan (disebut sebagai *rapid tooling*) dan bahkan suku cadang yang berkualitas produksi (*rapid manufacturing*). Untuk operasi produksi kecil dan objek yang rumit, *rapid prototyping* sering kali menjadi proses manufaktur yang terbaik. Tentu saja, “cepat / *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. Mungkin kedengarannya memang lama, tapi itu sudah jauh lebih cepat ketimbang waktu yang diperlukan untuk membuat sebuah *prototype* dengan cara tradisional seperti menggunakan mesin yang dapat memakan waktu berminggu-minggu bahkan berbulan-bulan. Penghematan waktu yang sangat besar ini memungkinkan pabrik untuk menyalurkan produk ke pasar dengan lebih cepat dan murah.

Setidaknya enam teknik *RP* berbeda yang telah tersedia secara komersial, masing-masing memiliki kekuatannya sendiri. 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 di atas *layer* yang lain sampai *layer* terakhir. *Rapid prototyping* merupakan proses “*additive*”, menggabungkan lapisan kertas, *wax*, atau plastik untuk menciptakan suatu objek padat. Sebaliknya, dalam kebanyakan proses menggunakan mesin bubut, *dril* dan *milling* adalah proses “*substraktif*” yang menghilangkan material dari blok padat (bukan dari kecil menjadi bagian besar). Sifat yang *additive* dari *RP* memungkinkannya menciptakan objek dengan fitur *internal* yang rumit yang tidak dapat diolah oleh alat atau sarana lain.

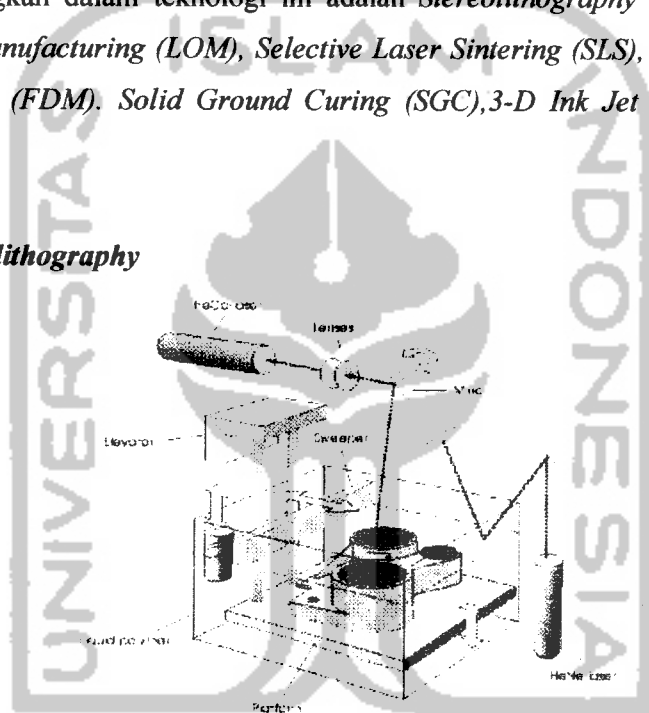
Tentu saja, *rapid prototyping* belumlah sempurna. *Volume part* umumnya terbatas pada 0.125 meter kubik atau kurang, tergantung pada mesin *RP*-nya. *Prototype* logam sulit dibuat, kendati hal ini harus segera diubah (dijadikan mudah) di masa mendatang. Untuk *part* logam, operasi produksi besar, atau objek sederhana, teknik manufaktur *konvensional* biasanya lebih ekonomis. Diluar keterbatasan ini, *rapid prototyping* adalah teknologi luar biasa yang mengubah total proses manufaktur.

2.2 Layer Manufacturing

Teknologi *layer manufacturing* adalah teknologi yang masih relatif baru dalam pembuatan produk atau rupa-rupa. Karakteristik utama dari teknologi ini adalah konsolidasi material yang berupa cair, padat, atau Pada teknologi pemesinan, proses pembentukan produk dilakukan dengan mengurangi material awal dengan cara pemotongan, atau sering disebut juga dengan proses *substraktif*. Beberapa contoh proses yang termasuk dalam proses *substraktif* seperti proses bubut, proses *milling*, proses gurd dan proses gergaji.

Pada teknologi *layer manufacturing*, proses pembentukan produk atau rupa-rupa dilakukan dengan cara menambahkan material sedikit demi sedikit secara terkontrol untuk membentuk produk atau rupa-rupa. Teknologi ini sering juga disebut dengan istilah-istilah lain seperti *rapid prototyping*, *solid free-form fabrication* (SFF), *material addition manufacturing*, dan *3D-printing*. Ciri utama teknologi ini adalah *material consolidation* dengan bentuk material awal dapat berupa serbuk, cair, padat, dan lembaran. Beberapa metoda 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).

2.3 Stereolithography



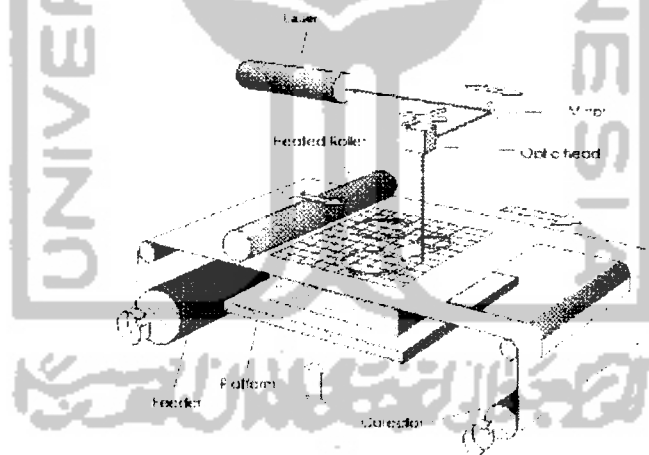
Gambar 2.1 Stereolithography [<http://www.mech.psu.edu/lamaneusa/me415/rpintro2.pdf>]

Dipatenkan di tahun 1986, *stereolithografi* mengawali revolusi *rapid prototyping*. Teknik ini membangun model tiga dimensi dari cairan polimer fotosensitif yang memadat ketika diberi cahaya ultraviolet. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.1 model dibangun diatas sebuah platform yang ditempatkan tepat dibawah permukaan dalam sebuah vat dari *epoxy* cair atau *acrylate* resin. Sinar laser *UV* bertenaga rendah difokuskan ke *layer* pertama, memadatkan bagian saling silang dari model sembari meninggalkan cairan area yang berlebihan.

Kemudian, sebuah elevator secara bertahap menurunkan platform kedalam polimer cair. Sebuah penyapu melapisi ulang lapisan yang telah memadat dengan cairan, dan sinar laser menuju ke *layer* kedua. Proses ini diulangi hingga *prototype* selesai. Setelah itu, bagian padatan dipindahkan dari vat dan dibersihkan dari cairan lebihan. Penyokong dilepas dan model kemudian ditempatkan pada oven ultraviolet untuk merapikan/*finishing*.

Mesin *Stereolithography Apparatus* (SLA) telah dibuat sejak 1988 oleh 3D System of Valencia, CA. Hingga saat ini, 3D System adalah yang terdepan dalam industri itu, menjual lebih banyak mesin *RP* ketimbang perusahaan manapun. Karena itu merupakan teknik pertama, maka *stereolithografi* dikatakan sebagai *benchmark* (standar baku) yang dengannya teknologi lain dinilai kemampuannya. *Prototype stereolithografi* sebelumnya cukup rapuh dan rentan terhadap distorsi, namun modifikasi belakangan ini telah membenahi masalah ini.

2.4 Pembuatan Objek Berlapis



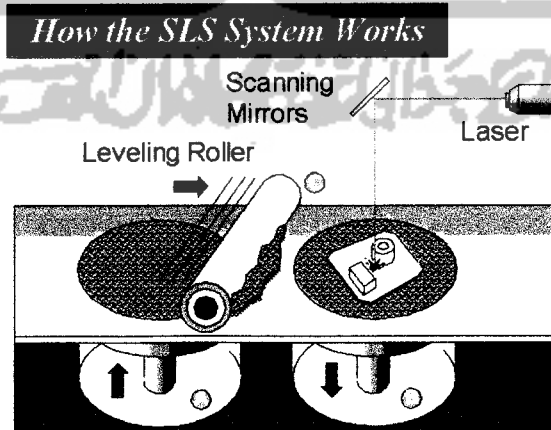
Gambar 2.2 Pembuatan objek berlapis | <http://www.me.psu.edu/lamancusa/me415/rpintro2.pdf>

Dalam teknik ini, dikembangkan oleh Helisys of Torrance, CA, *layer* dari bahan *adhesive-coated* diikat bersama untuk membentuk sebuah *prototype*. Materi asalnya terdiri dari kertas yang dilapisi dengan lem panas dan digulung pada sebuah spool. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 mekanisme feeder/collector menaikkan sheet di atas platform, dimana sebuah basis/alas telah

disusun dari kertas dan pita busa dua-sisi. Kemudian, penggulung yang terpanaskan tadi memberikan tekanan untuk mengikat kertas ke alas. Sinar laser memotong garis bentuk dari lapisan pertama ke kertas kemudian meng-*crosshatch* area yang berlebih (ruang negatif dalam *prototype*). *Cross-hatching* menguraikan material berlebih sehingga memudahkan pemindahan selama *pasca*-pemrosesan. Selama pembuatan/*build*, material berlebih tadi memberikan dukungan yang sempurna bagi bagian berdinding tipis dan *overhang* (rongga). Setelah lapisan pertama terpotong, *platform* turun dan material baru dinaikkan. *Platform* naik hingga sedikit di bawah ketinggian sebelumnya, penggulung mengikat lapisan kedua terlebih dahulu, dan laser memotong lapisan itu. Proses ini diulang sesuai yang dibutuhkan untuk membangun *part*, yang akan memiliki *tekstur* seperti kayu. Karena model itu dibuat dari kertas, maka harus ditutup dan dilapisi dengan cat atau *varnish* untuk mencegah kerusakan akibat kelembaban.

Helisys mengembangkan beberapa material *sheet* yang baru, mencakup plastik, kertas anti-air, dan keramik serta pita bubuk logam. Pita bubuk menghasilkan *part* “hijau” yang harus *disinter* (dipanaskan tapi tidak sampai meleleh) agar diperoleh kekuatan/kekokohan yang optimal. Sampai akhirnya tahun 2001, Helisys tidak lagi berbisnis.

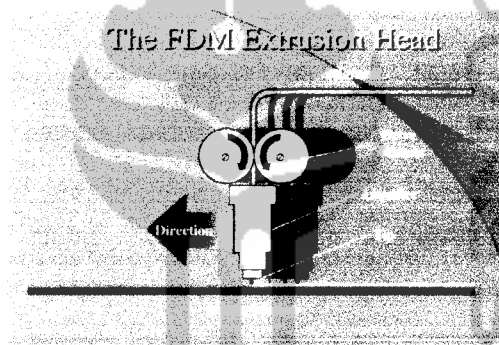
2.5 Sintering Laser Selektif



Gambar 2.3 Sintering laser selektif [<http://www.me.psu.edu/lamancusa/me415/rpintro2.pdf>]

Dikembangkan oleh Carl Deckard dalam tesis gelar masternya di Universitas Texas, *selective laser sintering* dipatenkan tahun 1989. Teknik ini, seperti ditunjukkan pada Gambar 2.3, menggunakan sinar laser untuk secara selektif melebur materi bubuk, seperti nilon, elastomer, dan logam, menjadi objek padat. *Part* dibuat di atas *platform* yang berada tepat di bawah permukaan dalam bin (seperti tungku) bubuk yang *heat-fusible*. Sinar laser menjejak pola dari lapisan pertama, dan men-*sinternya* bersamaan. *Platform* kemudian diturunkan di ketinggian lapisan berikutnya dan bubuk diberikan lagi. Proses ini berlanjut sampai *part* selesai. Bubuk lebih di setiap lapisan membantu menyokong *part* selama proses pembuatan. Mesin *SLS* diproduksi oleh *DTM Austin, TX*.

2.6 Pemodelan Deposisi Terfusi

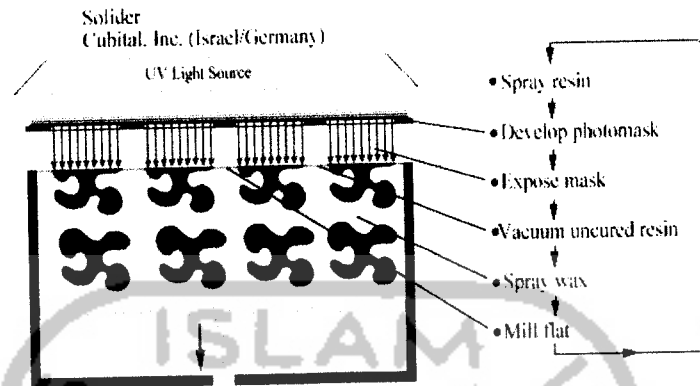


Gambar 2.4 Pemodelan deposisi terfusi [<http://www.me.psu.edu/lamancusa/me415/qintro2.pdf>]

Dalam teknik ini, filamen dari termoplastik yang dipanaskan didorong dari ujung yang bergerak di sumbu x-y. Seperti seorang baker yang menghias kue, *head ekstrusi* yang terkendali menyimpan manik tipis material ke dalam *platform* untuk membentuk lapisan pertama. *Platform* dipertahankan pada temperatur yang rendah, sehingga termoplastik akan cepat mengeras. Setelah *platform* diturunkan, *head ekstrusi* menempatkan lapisan kedua di atas lapisan pertama. Dan penopangpun secara otomatis timbul saat proses ini.

Stratasys, dari Eden Prairie, MN membuat berbagai mesin *FDM* dari modeler konsep cepat hingga mesin berpresisi tinggi yang lebih lambat. Materinya mencakup *ABS* (standar dan medical grade), *elastomer* (96 *durometer*), *polikarbonat*, *polifenolsulfone*, dan *wax*.

2.7 Solid Ground Curing

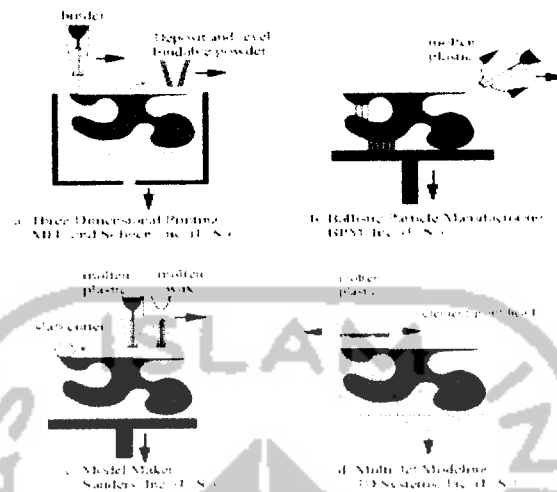


Gambar 2.5 Solid ground curing [http://ati.loyola.edu/tp_02_02.htm]

Dikembangkan oleh Cubital, SGC sedikit sama dengan SLA (*Stereolithography*) karena keduanya menggunakan cahaya ultraviolet untuk mengeraskan polimer fotosensitif. Tidak seperti SLA, SGC 'memangkas' seluruh lapisan sekaligus. Gambar 2.5 menunjukkan bagaimana proses *solid ground curing*, yang dikenal juga sebagai proses solider. Pertama, resin fotosensitif disemprotkan pada platform. Kemudian, mesin menyusun suatu fotomask (seperti stensil) dari layer yang akan dibuat. Fotomask ini dicetak pada plat kaca diatas platform menggunakan proses elektrostatik sama dengan pada fotokopi. Mask ini kemudian diberi cahaya UV, yang hanya melewati sisi transparan dari mask yang berguna untuk mengeraskan bentuk lapisan yang telah diproses.

Setelah layer di-curing, mesin mengosongkan resin cairan berlebih dan menyemprotkan wax di tempat itu untuk menyokong model selama proses pembuatan. Permukaan atas didatarakan, dan kemudian prosesnya diulang untuk lapisan berikutnya. Ketika part sudah selesai, maka harus diberi wax lagi dengan mencelupkannya dalam wadah pelarut. Mesin SGC didistribusikan di AS oleh Cubital America Inc. of Troy, MI. Mesin ini cukup besar dan dapat menghasilkan model yang besar.

2.8 Pencetakan 3-D Ink Jet



Gambar 2.6 Pencetakan 3-D ink jet [http://itri.loyola.edu/tp/02_02.htm]

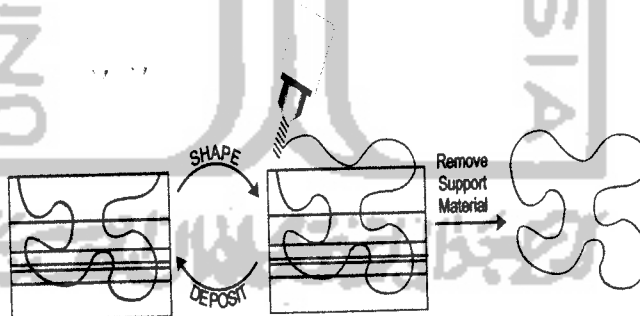
Ink Jet Printing merujuk pada seluruh kelas mesin yang menggunakan teknologi *ink-jet*. Yang pertama adalah *3D printing (3DP)*, dikembangkan di *MIT* dan dilisensikan untuk *Soligen Corporation, Extrude Hone, ZCorp 3D Printer*, diproduksi oleh *Z Corporation Burlington, MA* merupakan contoh dari teknologi ini. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6a, part dibangun di atas *platform* yang ditempatkan pada sebuah bin yang sarat dengan materi bubuk. Sebuah *head printing ink-jet* secara *selektif* menempatkan atau “mencetak” *binder fluida* untuk melebur bubuk bersamaan di area yang diinginkan. Bubuk yang tidak terikat tertinggal/tersisa sebagai penyokong *part*. *Platform* diturunkan, kemudian ditambahkan lebih banyak bubuk dan di angkat, dan proses itu diulang. Ketika selesai, *part* yang masih “hijau” dipindahkan dari bubuk yang tak terikat, sementara bubuk lebihannya dikeluarkan. *Part* yang sudah selesai dapat diinfiltrasikan dengan *wax*, lem *CA*, atau *sealant* lain untuk memperbaiki ketahanan dan penyelesaian permukaan. Ketebalan lapisan tipikal adalah dalam urutan 0.1mm. Proses ini sangat cepat, dan menghasilkan *part* dengan permukaan yang sedikit berbulir. *ZCorp* menggunakan dua materi yang berbeda, bubuk berbasis zat tepung, dan bubuk keramik. Mesin dengan kemampuan mencetak 4 warna telah tersedia.

Versi *3D System* dari sistem berbasis *ink-jet* disebut dengan *Thermo-Jet* atau *Multi-Jet Printer*. Ia menggunakan larik linera dari *print head* untuk menghasilkan model *thermoplastic* secara cepat (Gambar 2.6d). Jika *part* cukup sempit, *print head* dapat menempatkan seluruh lapisan dalam satu waktu. Sebaliknya, *the head* melakukan beberapa tahap.

Sander Ptototype of Wilton, NH menggunakan teknik *ink-jet* yang berbeda dalam aliran konsep modeler yakni *Model Maker*. Mesinnya menggunakan dua *ink-jet* (Lihat Gambar 2.6c). Satu melepaskan *termoplastik low-melt* untuk membuat model, sementara yang lain mencetak *wax* untuk membentuk penopang. Setelah setiap *layer*, pemangkas menggiling permukaan atas untuk menyeragamkan ketinggian. Ini akan menghasilkan keakuratan yang baik, dan memungkinkan mesin untuk digunakan di industri perhiasan.

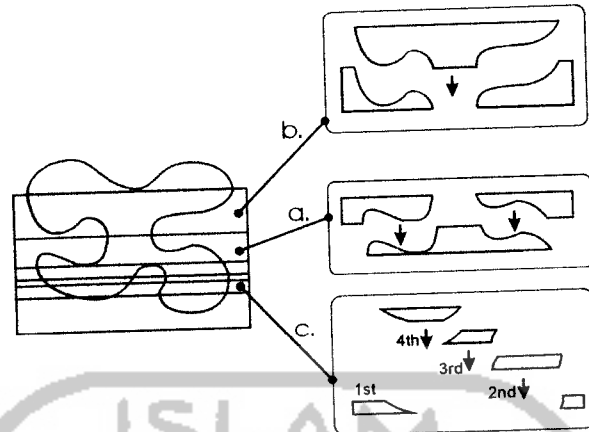
Manufaktur partikel *balistik*, seperti ditunjukkan dalam Gambar 2.6b, dikembangkan oleh *BPM Inc.*, yang telah keluar dari bisnis (tidak memproduksi lagi).

2.9 Shape Deposition Manufacturing (SDM)



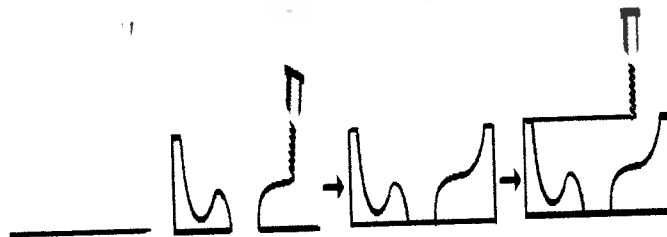
Gambar 2.7 Metoda SDM [http://www.es.cmu.edu/~sdm/opena.htm]

Metoda *shape deposition manufacturing (SDM)* pada dasarnya sama dengan metoda lainnya dalam *rapid prototyping*. Metoda *SDM* merupakan gabungan dari proses *additive* (menggabungkan material lapis demi lapis) dan proses *subtractive* (pengurangan material) seperti pada gambar 2.7.

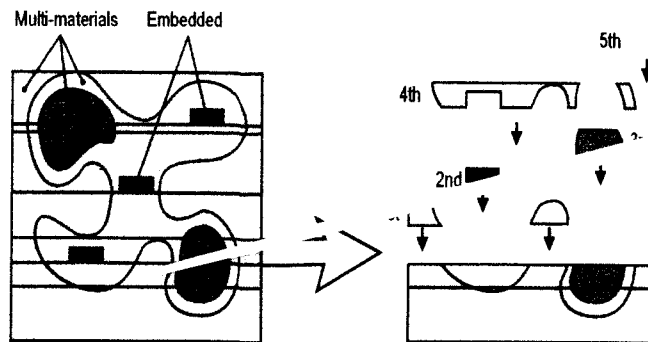


Gambar 2.8 SDM [<http://www.es.cmu.edu/~sdm/openst.htm>]

Pada gambar 2.8.c *support material* dibangun, setelah itu proses *CNC milling* untuk membentuk rongga cetak, setelah rongga cetak terbentuk, material produk dituang penuh, seperti pada gambar 2.8.a. pada proses ini terjadi proses *subtractive material*, yaitu menghilangkan material (warna kuning). Pada gambar 2.8.b *support material* dituang lagi sampai penuh, kemudian dimilling (warna biru). Proses ini diulang sampai pada *shape* terakhir. Beberapa tahapan proses pemahatan dengan mesin *CNC milling* 3 atau 5 sumbu pada metoda *SDM* ditunjukkan pada gambar 2.9.



Gambar 2.9 Tahapan *deposition* dan *shaping* [<http://www.es.cmu.edu/~sdm/openst.htm>]



Gambar 2.10 Struktur multi material dengan menyisipkan komponen [http://www.ccm.edu.sg/edu/open/edu.htm]

Membuat *prototype* dengan bentuk yang kompleks dan material *additive*, memungkinkan proses pembuatan multi material dan bentuk setengah jadi ditempelkan didalam material produk tersebut, seperti pada gambar 2.10.