

Keanggotaan
27/6/2012



UNIVERSITAS DIPONEGORO

**PENGEMBANGAN MEKANISME DEPOSISI SERBUK
PENYANGGA DAN PEMBUATAN CONTOH PRODUK DENGAN
PROSES *MATERIAL DEPOSITION INDIRECT SINTERING* (MD-IS)**

TUGAS AKHIR

TOHIRIN

L2E 607 054

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN TEKNIK MESIN

SEMARANG

JUNI 2012

TUGAS AKHIR

Diberikan kepada:

Nama : Tohirin

NIM : L2E 607 054

Pembimbing : Dr. Susilo Adi Widyanto, ST, MT

Jangka Waktu : 11 (sebelas) bulan

Judul : Pengembangan Mekanisme Deposisi Serbuk Penyangga Dan Pembuatan Contoh Produk Dengan Proses *Material Deposition Indirect Sintering* (Md-Is)

Isi Tugas :

1. Pengembangan hasil mesin MD-IS
2. Mengetahui pengaruh pengaturan parameter deposisi serbuk produk dan pendeposisian serbuk penyangga pada proses pembuatan produk berbahan serbuk Cu dengan proses MD-IS

Semarang, 20 Juni 2012

Dosen Pembimbing,



Dr. Susilo Adi Widyanto, ST, MT

NIP. 197002171994121001

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : Tohirin

NIM : L2E 607 054

Tanda Tangan :



Tanggal : 20 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Tohirin

NIM : L2E 607 054

Jurusan/Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Pengembangan Mekanisme Deposisi Serbuk Penyangga Dan Pembuatan Contoh Produk Dengan Proses *Material Deposition Indirect Sintering* (Md-Is)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro.

TIM PENGUJI

Pembimbing : Dr. Susilo Adi Widyanto ST, MT

Penguji : Dr. Ir. Toni Prahasto, MASc

Penguji : Syaiful, ST, MT, Ph.D

Penguji : Dr. Achmad Widodo, ST, MT



Semarang, 22 Juni 2012
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Dr. Sulardjaka, ST, MT
NIP. 197104201998021001

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademika Universitas Diponegoro, saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : TOHIRIN
NIM : L2E 607 054
Jurusan/Program Studi : TEKNIK MESIN
Fakultas : TEKNIK
Jenis Karya : SKRIPSI

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Diponegoro **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*None-exclusive Royalty Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

PENGEMBANGAN MEKANISME DEPOSISI SERBUK PENYANGGA DAN PEMBUATAN CONTOH PRODUK DENGAN PROSES *MATERIAL DEPOSITION INDIRECT SINTERING* (MD-Is)

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti/Noneksklusif ini Universitas Diponegoro berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Semarang

Pada Tanggal : 20 Juni 2012

Yang menyatakan



Tohirin

NIM. L2E 607 054

HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN

MOTTO

“Berdoa dan berusaha dengan sungguh-sungguh yang disertai kesabaran itu kuncinya untuk membuka pintu masa depan yang akan kita peroleh (semangat)”

PERSEMBAHAN

Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

- ☆ Orang tua saya tercinta, Bapak Daryono dan Ibu Dayunah yang selalu memberikan do’a, nasehat, kasih sayang serta dukungan baik moral maupun material dan telah memberikan saya semangat hidup.
- ☆ Teman saya yang selalu mendukung dan membantu proses pengerjaan skripsi ini.

ABSTRAK

Penelitian dan pengembangan pembuatan produk dengan proses *material deposition indirect sintering* (MD-Is) masih terus dilakukan oleh para ilmuwan di seluruh dunia. Hal tersebut didasarkan pada berbagai kelebihan yang dimilikinya seperti kemampuan untuk menghasilkan produk dengan geometri kompleks, kemudahan proses pengoperasian dan peluang untuk dapat dihasilkannya produk multi material. Seiring dengan itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan proses MD-Is dalam pembuatan produk berbahan serbuk tembaga.

Penelitian dilakukan dengan mengikuti metodologi: proses rancang bangun konstruksi *build part* dan konstruksi rel, penyiapan serbuk penyangga berbahan besi cor dengan ukuran partikel 75-100 μm dan 100-150 μm , optimasi mampu alir serbuk penyangga, pengaruh arah pengerolan pada deposisi serbuk produk dan percobaan pembuatan produk dengan proses MD-Is.

Hasil pengujian mampu alir serbuk penyangga dari mekanisme slot pengumpan sebelum dilakukan pengembangan, menghasilkan rata-rata 5,252 gram/detik untuk ukuran partikel 75-100 μm dan 25,100 gram/detik partikel berukuran 100-150 μm . Setelah dilakukan pengembangan pada mekanisme slot pengumpan, hasil pengujian menunjukkan bahwa mampu alir serbuk penyangga ukuran 75-100 μm dan 100-150 μm masing-masing adalah 20,908 gram/detik dan 64,100 gram/detik. Variasi *scanning gap* yang sesuai dalam uji pembuatan produk adalah 2 mm. Akurasi dimensi produk terbaik diperoleh pada harga rasio pengerolan sama dengan 1. Ukuran partikel serbuk penyangga menghasilkan perubahan tingkat penyusutan produk. Ukuran partikel serbuk penyangga 75-100 μm dan 100-150 μm masing-masing menghasilkan ketebalan spesimen = 9 mm dan 8,5mm. Setelah proses sinter mengakibatkan permukaan hasil produk terbentuk cekungan (*curling*).

Kata kunci: MD-Is, *Build part*, Mampu alir, parameter deposisi, Hasil produk.

ABSTRACT

Research and development of manufacturing produced by a material deposition indirect sintering process (MD-Is) are still conducted by many researchers in the world. It is based on its advantages such as the ability to produce products with complex geometry, ease of operation and opportunities for multi-material products might be produced. Along with that, this research aims to develop the MD-Is in the manufacture of products made from copper powder.

The study was conducted with the following methodology: process design build construction and construction of the rail part, the preparation of a buffer made of cast iron powder with a particle size of 75-100 μm and 100-150 μm , optimization of flow able supporting powder, the effect of rolling direction on pollen deposition and products manufacture experiment with the MD-Is.

Test results of flow able supporting powder from feeder slot mechanism prior to the development, producing an average of 5.252 gram / sec for a particle size of 75-100 μm and 25.100 g / sec particle size 100-150 μm . After the development of the feeder slot mechanism, the test results showed that the flow able of supporting powder size 75-100 μm and 100-150 μm respectively are 20.908 g / sec and 64.100 grams / sec. Corresponding variations in the scanning gap test manufacture of products is 2 mm. Dimensional accuracy of products obtained at the price of rolling ratio equal to 1. Supporting Powder particle size resulted changes in the depreciation rate of the product. Supporting powder particle size of 75-100 μm and 100-150 μm respectively result in specimen thickness = 9 mm and 8.5 mm, after the sintering process resulted in the surface of the basin formed products (curling).

Key words: MD-Is, Build part, flow able, deposition parameters, results of the product.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala Rahmat, Taufik serta Hidayah-Nya sehingga Tugas Akhir berjudul “PENGEMBANGAN MEKANISME DEPOSISI SERBUK PENYANGGA DAN PEMBUATAN CONTOH PRODUK DENGAN PROSES MD-IS” dapat terselesaikan. Walaupun hasil dari penelitian masih ada kekurangan, namun hasil bukanlah tujuan yang utama, tetapi proses pembelajaran yang telah diperoleh merupakan nilai yang sangat berarti, untuk mengetahui hal yang belum dimengerti. Pengalaman yang dihasilkan selama belajar merupakan nilai-nilai luhur yang sangat bermakna, dari pengalaman selama belajar yang telah diperoleh mudah-mudahan dapat menjadi refleksi, internalisasi, dan proyeksi di masa kini dan yang akan datang.

Penulisan Tugas Akhir ini tentunya tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, baik yang secara langsung dan tidak langsung. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Susilo Adi Widyanto, ST, MT selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah banyak memberikan bantuan, memfasilitasi peralatan untuk penelitian, menuntun, mengarahkan dan memberikan bimbingan serta masukan dalam penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Mas Wahyu selaku teknisi Metalurgi Fisik yang telah banyak membantu dalam memfasilitasi peralatan Laboratorium.
3. Tim kerja Tugas Akhir saya Bapak Muhammad Nurhilal, ST, MT dan Wahyu Hidayat yang senantiasa menemani dan sabar membantu selama proses pengujian.
4. Teman-teman mahasiswa S1 angkatan 2007 Jurusan Teknik Mesin UNDIP yang telah banyak memberikan dukungan dan motivasi.

Penulis menyadari sebagai manusia bahwa masih banyak kekurangan dalam penulisan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menyempurnakan Tugas Akhir ini. Terakhir semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun bagi para pembaca. Amin.

Semarang, 20 Juni 2012

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, cursive letters that are difficult to decipher but appear to start with 'J' and 'S'.

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
TUGAS AKHIR	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Masalah	1
1.2. Tujuan Penelitian	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Metode Penelitian	3
1.5. Sistematika Penulisan	4
BAB II DASAR TEORI	5
2.1 Landasan Teori	5
2.1.1 <i>Rapid prototyping</i>	5
2.1.2 <i>Mesin Multi Material Deposition Indirect Sintering</i> (MMD-Is)	6

2.1.3	Program perangkat lunak sistem operasi mesin MD-Is	9
2.1.4	Lintasan deposisi serbuk	12
2.1.5	Akurasi dimensi produk	14
	2.1.5.1 <i>Deposition gap</i>	14
	2.1.5.2 <i>Feeding speed</i>	15
	2.1.5.3 <i>Scanning gap</i>	15
2.1.6	Sistem <i>build part</i>	16
2.1.7	Metode deposisi serbuk proses MD-Is	17
	2.1.7.1 Metode deposisi serbuk produk	17
	2.1.7.2 Metode ulir pengumpan hopper nosel (<i>screw feeder hopper nozzle</i>)	20
	2.1.7.3 Metode deposisi serbuk penyangga	21
2.1.8	Karakteristik serbuk	22
	2.1.8.1 Berat jenis (<i>appereant density</i>)	23
	2.1.8.2 Bentuk partikel	23
	2.1.8.3 Distribusi ukuran partikel	25
	2.1.8.4 Ukuran partikel serbuk	26
	2.1.8.5 Mampu alir (<i>flowability</i>)	26
2.1.9	Tembaga	27
2.1.10	Serbuk Besi cor	28
2.1.11	Proses <i>sintering</i>	28
2.1.12	Mekanisme <i>sinter</i>	29
	2.1.12.1 <i>Vapor phase sintering</i>	29
	2.1.12.2 <i>Solid state sintering</i>	30
	2.1.12.2 <i>Liquid phase sintering</i>	31
2.1.13	Dapur dan temperatur <i>sinter</i>	31

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	34
3.1 Bahan Penelitan	34
3.1.1 Material serbuk	34
3.1.2 Alat	35
3.2 Konstruksi Peralatan Pendeposisi Serbuk	37
3.2.1 Ulir pengumpan hopper nosel (<i>screw feeder hopper nozzle</i>) sebagai pendeposisi serbuk produk.....	37
3.2.2 Slot pengumpan-rol putaran balik (<i>slot feeder counter</i> <i>Rolling cylinder</i>)sebagai pendeposisi serbuk penyangga.....	39
3.2.3 <i>Build part</i> sebagai tempat untuk proses deposisi serbuk.....	41
3.2.4 Konstruksi rel untuk lintasan pergerakan sistem deposisi (dalam sumbu X).....	43
3.3 Pembuatan Serbuk	44
3.4 Pengaturan Peralatan Deposisi	45
3.4.1 Pengaturan ulir pengumpan hopper nosel (<i>screw feeder hopper nozzle</i>)	45
3.4.2 Pengaturan slot pengumpan-rol putaran balik (<i>slot feeder counter rolling cylinder</i>).....	46
3.4.3 Pengaturan <i>build part</i>	46
3.5 Rancangan Spesimen Produk Penelitian	47
3.6 Prosedur Penelitian	47
3.6.1 Persiapan alat, material serbuk dan mesin MD-Is	47
3.6.2 Pengujian mampu alir serbuk produk	48
3.6.3 Pengujian lintasan deposisi	48
3.6.4 Pengujian massa alir serbuk penyangga	49
3.6.5 Percobaan pembuatan produk	49
3.6.5.1 pemvariasian <i>scanning gap</i>	50
3.6.5.2 Pemvariasian ukuran partikel serbuk penyangga	50

3.6.6 Proses <i>sintering</i>	51
3.6.7 Analisa produk	51
3.7 Diagram Alir Penelitian	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Hasil Pengembangan Penampung Serbuk Penyangga	53
4.2 Mampu Alir Serbuk Penyangga	54
4.2.1 Mampu Alir Serbuk Penyangga Sebelum Pengembangan	54
4.2.2 Mampu Alir Serbuk Penyangga Setelah Pengembangan	55
4.3 Mampu Alir Serbuk Produk	56
4.4 Lintasan Deposisi	57
4.5 Pengaruh Arah Pengerolan Terhadap Akurasi Dimensi Produk	59
4.6 Hasil Produk Proses MD-Is Pemvariasian Ukuran Serbuk Penyangga.....	
4.7 Studi Kasus Pembuatan Produk	69
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN-LAMPIRAN	76

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	A. Gambar Teknik Komponen-komponen <i>Build Part</i>	76
	A.1 Gambar teknik landasan pengerolan	76
	A.2 Gambar teknik silinder <i>build part</i>	77
	A.3 Gambar teknik plat penyangga serbuk	78
	A.4 Gambar teknik piston <i>build part</i>	79
Lampiran	B. Gambar teknik penampung serbuk penyangga	80
Lampiran	C. Gambar teknik rel lintasa sistem deposisi	81
Lampiran	D. Data Mampu Alir Serbuk produk	82
	D.1 Data hasil pengukuran mampu alir serbuk produk dengan memvariasikan perbandingan diameter nosel dengan ulir pengumpan	82
	D.2 Data hasil pengukuran mampu alir serbuk produk dengan memvariasikan jarak ulir pengumpan dengan ujung lubang nosel	82
	D.3 Data hasil pengukuran mampu alir serbuk produk dengan memvariasikan putaran ulir pengumpan	82
Lampiran	E. Data Pengujian Lintasan Deposisi Serbuk	83
	E.1 Data hasil pengujian lebar dan tinggi penampang lintasan deposisi variasi harga <i>deposition gap</i> , pada <i>feeding speed</i> 100 mm/menit	83
	E.2 Data hasil pengujian lebar dan tinggi penampang lintasan deposisi variasi harga <i>deposition gap</i> , pada <i>feeding speed</i> 100 mm/menit	83

	E.3	Data hasil pengujian lebar dan tinggi penampang lintasan deposisi variasi harga <i>feeding speed</i> , pada <i>deposition gap</i> 1,5 mm	83
	E.4	Data hasil pengujian lebar dan tinggi penampang lintasan deposisi variasi harga <i>feeding speed</i> , pada <i>deposition gap</i> 1,5 mm	83
Lampiran	F	Data Massa Alir Serbuk Penyangga	84
	F.1	Data massa alir serbuk penyangga ukuran partikel 75-100 μm sebelum dilakukan modifikasi terhadap penampung serbuk.....	84
	F.2	Data massa alir serbuk penyangga ukuran partikel 75-100 μm sebelum dilakukan modifikasi terhadap penampung serbuk.....	84
	F.3	Data massa alir serbuk penyangga ukuran partikel 100-150 μm setelah dilakukan modifikasi terhadap penampung serbuk.....	84
	F.4	Data massa alir serbuk penyangga ukuran partikel 100-150 μm setelah dilakukan modifikasi terhadap penampung serbuk.....	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Tahapan MMD-Is	9
Gambar 2.2	Tampilan program komputer sistem operasi mesin MMD-Is	10
Gambar 2.3	Mekanisme pembentukan penampang segitiga pada lintasan deposisi	13
Gambar 2.4	<i>Deposition gap</i>	15
Gambar 2.5	<i>Scanning gap</i>	16
Gambar 2.6	Konstruksi <i>build part</i> mesin MMD-Is	17
Gambar 2.7	Mampu alir serbuk <i>stainless steel</i> dan aerbuk aluminium	18
Gambar 2.8	Variasi kecepatan gerak hopper: (a) 6 mm/detik, (b) 12 mm/ detik, (c) 18 mm/detik, (d) 24 mm/detik, serbuk <i>Stainless steel</i> ukuran 75-150 μm , jarak deposisi 2 mm	19
Gambar 2.9	Hubungan antara luasan efektif lubang osel (D/d), dan mampu alir serbuk	19
Gambar 2.10	Lebar lintasan pada variasi kecepatan gerak hopper (a) 1 mm/detik, (b) 2 mm/detik, (c) 3 mm/detik, serbuk <i>stainless steel</i> 106-150 μm , frekuensi gerakan jarum 2,31 Hz, diameter lubang nosel 0,6 mm, jarak deposisi 1 mm	20
Gambar 2.11	Bentuk partikel serbuk	25
Gambar 2.12	Skema tahapan proses sintering	29
Gambar 2.13	Tahapan <i>vapor phase sintering</i>	30
Gambar 2.14	Skema <i>solid state sintering</i>	31
Gambar 3.1	Foto observasi bentuk dan ukuran partikel tembaga	35
Gambar 3.2	Konstruksi Mesin MMD-Is	36
Gambar 3.3	Tungku <i>Hofman</i>	37
Gambar 3.4	Konstruksi ulir pengumpan hpoer nosel	38

Gambar 3.5	Dimensi a) hoper nosel, b) ulir pengumpan.....	39
Gambar 3.6	Konstruksi slot pengumpan-rol putaran balik	40
Gambar 3.7	Konstruksi <i>build part</i>	42
Gambar 3.8	Konstruksi rel lintasan pergerakan sistem deposisi	44
Gambar 3.9	Foto observasi bentuk dan ukuran partikel (a) 150-100 μm (b) 75-100 μm	45
Gambar 3.10	Pengaturan jarak ulir dengan nosel	45
Gambar 3.11	Pengaturan <i>deposition gap</i>	46
Gambar 3.12	Rancangan specimen (a) Dimensi spesimen penelitian 3D (b) Dimensi spesimen penelitian 2D	47
Gambar 3.13	(a) Jarak plat penyangga serbuk dengan <i>build part</i> (b) Pendeposisian lapisan dasar serbuk penyangga.....	50
Gambar 3.14	Pengaturan temperatur selama proses <i>sinter</i>	51
Gambar 3.15	Diagram alir penelitian	52
Gambar 4.1	Konstruksi penampung serbuk penyangga	54
Gambar 4.2	Mampu alir serbuk penyangga sebelum dilakukan pengembangan dengan ukuran partikel 75 – 100 μm dan 100 – 150 μm	55
Gambar 4.3	Mampu alir serbuk penyangga setelah dilakukan pengembangan dengan ukuran partikel 75 – 100 μm dan 100 – 150 μm	56
Gambar 4.4	Formasi lintasan deposisi serbuk tembaga (jarak scan 3 mm)...	60
Gambar 4.5	Variasi jarak <i>scan</i> pada arah pengerolan tegak lurus lintasan deposisi	60
Gambar 4.6	Variasi jarak <i>scan</i> pada arah pengerolan sejajar lintasan deposisi	61
Gambar 4.7	Pemilihan harga jarak <i>scan</i> menghasilkan daerah <i>overlap</i> dan ketebalan lapisan lebih besar dibandingkan tinggi daerah	

		<i>overlap</i> sehingga serbuk penyangga digeser oleh gerakan pengerolan dan mengisi celah lintasan deposisi	62
Gambar	4.8	Pemilihan harga jarak <i>scan</i> sama dengan lebar lintasan deposisi dan tebal lapisan hampir sama dengan tinggi lintasan deposisi menyebabkan serbuk penyangga secara dominan mengisi celah jarak <i>scan</i>	63
Gambar	4.9	Pemilihan harga jarak <i>scan</i> menghasilkan daerah <i>overlap</i> yang besar dan tebal lapisan lebih kecil/sama dengan daerah <i>overlap</i> sehingga tidak ada serbuk penyangga yang terjebak dalam struktur serbuk produk	64
Gambar	4.10	Hasil produk setelah dilakukan proses <i>sintering</i> dengan variasi <i>scanning gap</i> = 1 mm	64
Gambar	4.11	Kemiringan penampang lintasan deposisi membesar akibat tergesek puncak lintasan deposisi oleh permukaan nosel	65
Gambar	4.12	Rasio pengerolan = 1 (tebal lapisan = jarak deposisi = tinggi lintasan deposisi), proses pengerolan tidak memangkas lintasan deposisi serbuk produk	65
Gambar	4.13	Variasi <i>scanning gap</i> = 2 mm (a) sebelum pengerolan (b) setelah pengerolan	66
Gambar	4.14	Hasil produk setelah dilakukan proses <i>sintering</i> dengan variasi <i>scanning gap</i> = 2 mm (a) tampak atas (b) tampak bawah	66
Gambar	4.15	Hasil produk pemvariasian ukuran serbuk penyangga (a) 75 – 100 μm (b) 100 – 150 μm	67
Gambar	4.16	Produk <i>sinter</i> proses MD-Is ukuran partikel serbuk penyangga 100 – 150 μm	68
Gambar	4.17	Produk <i>sinter</i> Cu deposisi serbuk menggunakan cetakan, ukuran partikel serbuk penyangga 100 – 150 μm	69
Gambar	4.18	Contoh produk dengan proses MD-Is berbahan tembaga.	69
Gambar	4.19	Berkurangnya ukuran akibat penyusutan (a) penyusutan panjang (b) penyusutan ketebalan.	70
Gambar	4.20	<i>Curling</i> pada bagian atas produk.	70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pengembangan Sistem RP di Amerika Serikat	6
Tabel 2.2	Ukuran standar pengayakan	25
Tabel 2.3	Sifat mekanik tembaga jenis <i>temper</i>	27
Tabel 2.4	Sifat fisis tembaga	28
Tabel 2.5	Temperatur dan waktu <i>sinter</i> serbuk logam.....	33
Tabel 3.1	Kandungan komposisi serbuk Cu produksi <i>Merck KGaA</i> Darmstad Jerman	34

DAFTAR SINGKATAN DAN LAMBANG

Singkatan	Nama
RP	<i>Rapid Prototyping</i>
LM	<i>Layer Manufacturing</i>
MMLM	<i>Multi Material Layer Manufacturing</i>
SLS	<i>Selective Laser Sintering</i>
LOM	<i>Laminated Object Manufacturing</i>
3DP	<i>Three Dimensional Printing</i>
MMD-Is	<i>Multi Material Deposition Indirect Sintering</i>
FDM	<i>Fused Deposition Modeling</i>
MD-Is	<i>Material Deposition Indirect Sintering</i>
CAD	<i>Computer Aided Design</i>

Nama	Lambang
D	Diameter lubang nosel
d	Diameter ulir pengumpan
n_{sf}	Putaran ulir pengumpan
μm	Mikron
mm	Milimeter
$^{\circ}\text{C}$	Derajat Celsius
#	<i>mesh</i>
rpm	rotasi putaran permenit