

PROSES PEMBUATAN PRODUK BIMETAL Cu DAN Ni DENGAN PROSES *MULTI MATERIAL DEPOSITION INDIRECT SINTERING* (MMD-IS)

*Nugrahono Adi Prabowo¹, Susilo Adi Widyanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +6285 627 630 41

*E-mail: Nugrahono.89@gmail.com

Abstrak

Penelitian dan pengembangan pembuatan produk dengan proses multi material deposition indirect sintering (MMD-Is) masih terus dilakukan. 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 MMD-Is dalam pembuatan produk berbahan serbuk tembaga dan nikel. Penelitian dilakukan dengan mengikuti metodologi: proses rancang bangun konstruksi build part dan konstruksi rel, penyiapan serbuk penyangga berbahan pasir silika dengan ukuran partikel 75-100 μm dan 100-150 μm , optimasi massa alir serbuk produk (serbuk tembaga ukuran 53-63 μm dan nikel ukuran 10 μm) dan pengujian lintasan deposisi dan percobaan pembuatan produk dengan proses MMD-Is. Hasil eksperimen menghasilkan bentuk yang mengalami cacat penyusutan karena setelah produk selesai diproses sintering, produk harus dibersihkan menggunakan kuas untuk membersihkan pasir yang menempel pada produk dan produk juga di amplas sedikit, maka produk kelihatan sesuai dengan ukuran pada rancangan.

Kata Kunci: MMD-Is, Build part, Hasil produk.

Abstract

Research and development manufacture of products with the sintering process of indirect multi material deposition (MMD-Is) are still being conducted. It is based on a variety of advantages such as its ability to produce products with complex geometry, ease of operation and opportunities for multi-material products can be produced. Along with that, this study aims to develop the MMD-Is in the manufacture of products made of copper powder and nickel. The study was conducted with the following methodology: process design construction build part and rail, preparation of a supporting powder made of silica sand with a particle size of 75-100 μm and 100-150 μm , optimization of the products powder mass flow (copper powder size of 53-63 μm and nickel size of 10 μm) and deposition path testing, and trial manufacture of products with the MMD-Is. The experimental results produce a form of disability due to shrinkage after sintering processed finished products, the product should be cleaned using a brush to clean out the sand that sticks to the product and the product is also in a bit of sandpaper, the products seem to fit at draft.

Keywords: MMD-Is, Build part, Results of the product.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi di zaman sekarang ini persaingan di dunia industri tentang produk menuntut pengembangan proses – proses manufaktur yang lebih efektif dan ekonomis pada waktu perealisasi ide menjadi bentuk produk riil dipasar, agar produk yang dihasilkan banyak disukai konsumen. Dan juga dikarenakan banyak pengembangan bentuk dan dimensi produk yang semakin kompleks yang tidak dapat dibuat melalui proses konvensional. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan teknologi *rapid prototyping* (RP).

Teknologi *rapid prototyping* (RP) di dalam proses pembuatan produknya tidak membutuhkan peralatan bantu maupun perkakas alat potong. Proses pembuatan produk tiga dimensi dapat dikerjakan menggunakan data komputer grafis dan dikerjakan lapisan demi lapisan secara langsung, oleh karena itu proses *rapid prototyping* (RP) dikenal dengan proses *layer manufacturing* (LM). Perkembangan teknologi dalam proses RP telah mampu membuat produk dengan tingkat kerumitan yang tinggi. Salah satu tekniknya adalah dengan metode *Multi Material Deposition Indirect Sintering* (MMDIs) yang merupakan pengembangan dari proses sinter konvensional. [1]

Didalam proses pembuatan produk dengan metode *Multi Material Deposition Indirect Sintering* (MMDIs) dengan menggunakan proses sinter konvensional, memerlukan dua jenis bahan baku pasir silika yaitu *supporting powder* (Sp) atau serbuk penyangga dan serbuk produk. Mekanisme sistem pendeposisi serbuk produk menggunakan

kontruksi *hopper nozzle* dan sistem pendeposisian *supporting powder* (Sp) menggunakan kontruksi *slot feeder counter rolling cylinder*. Kedua serbuk ini yang nantinya akan keluar dengan metode aliran serbuk yang ditampung didalam *built part* sesuai dengan jalannya proses program produk yang dihasilkan. [2]. Tujuan penelitian ini yaitu membahas mengenai proses pembuatan produk *bimetal* pada proses MMD-IS berbahan serbuk Ni dan Cu dengan *supporting powder* pasir silika dengan mempertimbangkan metode aliran serbuk.

2. BAHAN - BAHAN DAN METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Bahan - bahan produk

Pada spesimen yang dibuat pada percobaan ini menggunakan dua material yaitu tembaga (Cu) dan nikel (Ni), pada material yang digunakan ini memiliki beberapa spesifikasi yang dapat dilihat pada tabel 1 dan tabel 2 dibawah ini :

Tabel 1 Spesifikasi Tembaga

Spesifikasi Tembaga (Cu)	Komposisi
Serbuk Cu M=63,55 g/mol	
Assay (complexometric) Substances insoluble in nitric Acid	≥ 99.7 %
P (phosphorus)	≤ 0.02 %
Ag (Silver)	≤ 0.001 %
As (Arsenic)	≤ 0.002 %
Fe (Iron)	≤ 0.0005 %
Mn (Manganese)	≤ 0.005 %
Pb (Lead)	≤ 0.001 %
Sb (Antimony)	≤ 0.01 %
Sn (Tin)	≤ 0.001 %
	≤ 0.01 %

Tabel 2 Spesifikasi Nikel

Spesifikasi Nikel (Ni)	Komposisi
Serbuk Ni M=58,71 g/mol	
Identity (elmental analysis)	conforms
Assay (complexometric)	≥99.5 %
Particle size (d50)	10 μm

Pada analisa atau pengujian ini serbuk penyangga yang digunakan adalah serbuk pasir silika dengan ukuran partikel antara 100 – 150 μm dan 150 – 200 μm. Dalam pasir silika terdapat tiga bentuk kristalin silika utama meliputi kuarsa, tridimit dan kirbolite sangat stabil dan tidak mengalami perubahan meskipun berada dalam temperatur yang berbeda-beda. Perlu diketahui, titik peleburan pada silika adalah 16.100 OC, hal ini menunjukkan titik peleburan silika yang lebih tinggi dari pada titik peleburan baja/besi, tembaga dan alumunium. Namun, hal ini adalah satu alasan mengapa perbedaan temperatur digunakan untuk menghasilkan cetakan dan bagian inti untuk produksi metal atau logam.

2.2 Metodologi penelitian

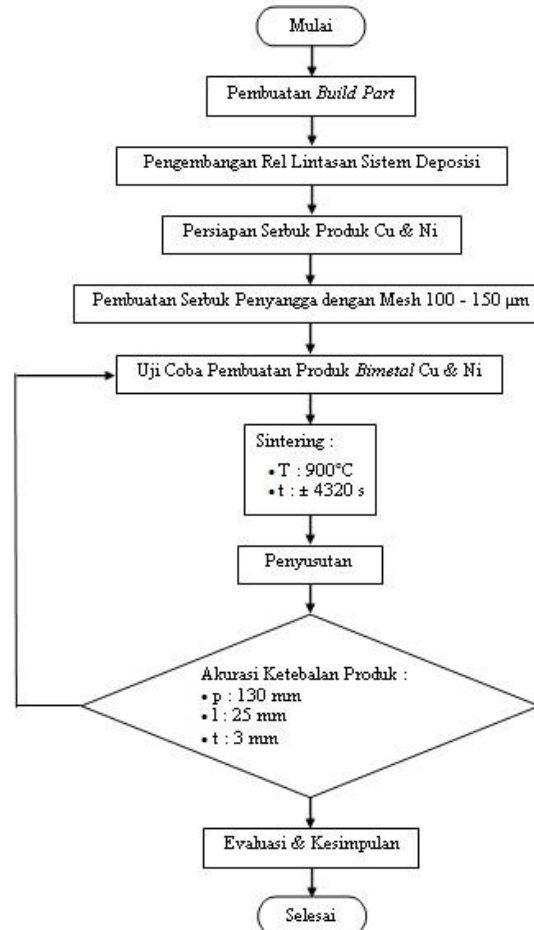
Pelaksanaan penelitian mengenai pengembangan proses MMD-Is untuk pembuatan produk dari tembaga dilakukan mengikuti diagram alir seperti pada Gambar 1. Pada Gambar 1 dapat dijelaskan yaitu penelitian dimulai dari mencari refrensi data bahan apa saja yang dibutuhkan dalam penelitian kemudian tahap kedua yaitu pembuatan *build part* yang dbuat sendiri dari pipa baja yang kemudian dibuat sesuai rancangan *build part* yang akan dibuat. Setelah *build part* jadi maka pengembangan rel lintasan deposisi dilakukan yaitu tujuannya agar ketika proses berjalan mesin tidak mengalami error ditengah - tengah perjalan proses tersebut, pengembangan dalam hal ini yaitu seperti ukuran rel yang diperluas karena ukuran mesin yang besar dari mesin sebelumnya dan kemudian mengetes gerakan rel lintasan deposisi.

Setelah rel lintasan selesai atau lancar dalam pergerakannya maka selanjutnya dilakukan persiapan serbuk produk Cu dan Ni, persiapan dalam hal ini yaitu seperti serbuk dipanaskan terlebih dahulu dalam mesin oven yang tujuannya adalah mengurangi kadar kelembaban yang ada pada serbuk tersebut, pemanasan dilakukan pada suhu 100°C dalam waktu 30s. Setelah serbuk kering maka dilakukan pembuatan serbuk penyangga yaitu pasir silika, sebelum digunakan pasir ini terlebih dahulu dihaluskan dengan cara ditumbuk hingga halus kemudian diayak dengan mesh 100 - 150 μm, setelah segala persiapan selesai maka dilakukan uji coba pembuatan produk yang di ilustrasikan pada gambar 2a.

Tahap awal pembuatan produk yaitu masukan data program kedalam sistem software kemudian nyalakan mesin MMD-IS, setelah klik jalan maka mesin akan mendeposisi serbuk produk sesuai perintah yang telah di input data tadi, setelah pendeposisian serbuk produk selesai maka pasir silika otomatis akan keluar dari tempat penampungan yang

kemudian di roll untuk diratakan dan menutupi celah2 - celah pada rancangan tadi, setelah mesin berhenti dan produk selesai dicetak maka *build part* dilepas dari mesin dan kemudian masuk ketahap selanjutnya yaitu *sintering*.

Build part yang sudah dilepas tadi maka dimasukkan kedalam mesin furnace yang tujuannya adalah untuk mensinter produk tadi agar jadi berbentuk produk padat atau *solid*. Setelah selesai maka *build part* dikeluarkan dari tungku kemudian hasil produk dibersihkan dari pasir silika yang masih menempel pada produk, setelah produk jadi maka produk di analisa apakah terjadi penyusutan atau tidak, jika tidak maka proses selesai.



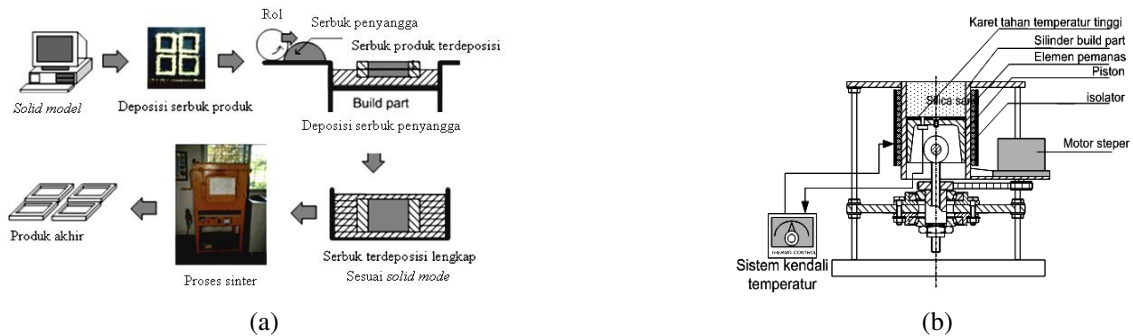
Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.3 Mesin Multi Material Deposition Indirect Sintering (MMD-Is)

Dalam pengembangan pembuatan produk multi material suatu komponen bertujuan untuk menghasilkan produk yang memiliki karakteristik unik seperti aspek penyesuaian kondisi terhadap lingkungan dan aspek fisik lainnya. Untuk itu, karakteristik produk multi-material sangat tergantung pada proses pembuatan, jenis material penyusun, komposisi dan lain-lain. Hasil produk dari multi material inilah yang akan dijadikan dasar untuk memformulasikan produk-produk material pintar (*smart material*).

Berbagai konsep pengembangan multi-material rapid prototyping telah banyak dirumuskan oleh para peneliti. Salah satu konsep yang mengembangkan pada pembuatan produk multi material dengan sistem pendeposisian serbuk adalah mesin MMD-Is hasil kreasi teknologi yang diciptakan oleh kalangan akademisi jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Prinsip kerja mesin MMD-Is sama halnya dengan teknologi RP pada umumnya, yaitu metode pembuatan produk yang dikerjakan dengan cara mendeposisikan material serbuk lapis demi lapis hingga membentuk sesuai dengan data masukan.

Mesin MMD-Is terdiri dari dua sub-sistem yaitu: a) mekanisme hardware untuk sistem pendeposisian material serbuk, dan b) perangkat lunak (software) sistem komputer untuk proses pengolahan data masukan menjadi proses pengirisan kontur kompleks, serta untuk merencanakan multi-toolpaths yang mengontrol mekanisme deposisi material. Adanya sistem operasi komputer yang bekerja dalam mesin MMD-Is, maka diperlukan tahapan-tahapan dalam proses pembuatan produk. Gambar 2a memperlihatkan skema yang menjelaskan sistem dan tahapan-tahapan pembuatan produk dengan mesin MMD-Is. Setiap tahapan proses dalam mesin MMD-Is memerlukan parameter pengaturan untuk menggerakkan sistem yang bekerja berdasarkan data masukan.



Gambar 2. (a) Tahapan MMD-Is. [4] (b) Konstruksi Build Part Mesin MMD-Is. [5]

Build part merupakan salah satu komponen yang terdapat dalam mesin MMD-Is yang berfungsi untuk menampung serbuk terdeposisi. Build part juga dapat berfungsi untuk proses sintering serbuk yang terdeposisi, dimana konstruksi build part tersebut terpasang sistem pemanas. Untuk melakukan proses sintering dalam konstruksi build part dengan sistem pemanas, dengan cara mengaktifkan sistem pemanas yang terpasang dalam mesin yang dilengkapi dengan sistem kendali temperatur. Namun, dengan sistem pemanas seperti ini temperatur sintering maksimum hanya mencapai 250 °C, sehingga hanya dapat digunakan untuk material serbuk bertemperatur rendah. Gambar 2b memperlihatkan konstruksi build part yang dilengkapi dengan sistem pemanas yang berada dalam mesin MMD-Is.

3. DATA DAN ANALISA HASIL PENGUJIAN

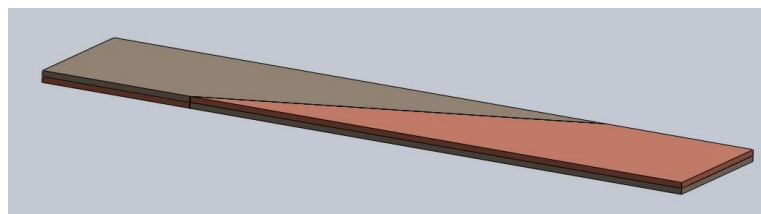
3.1 Sifat - Sifat Material Pada Spesimen dan Serbuk Penyangga

Pada spesimen yang dibuat pada percobaan ini menggunakan dua material yaitu tembaga (Cu) dan nikel (Ni), pada material yang digunakan ini memiliki beberapa sifat yang berbeda - beda, dibawah ini meliputi beberapa sifat - sifat material yang digunakan pada pengujian pembuatan *Bimetal* Cu dan Ni :

- Sifat - sifat tembaga : Tembaga merupakan logam yang berwarna kunign seperti emas kuning seperti pada gambar dan keras bila tidak murni. Mudah ditempa (liat) dan bersifat mulur sehingga mudah dibentuk menjadi pipa, lembaran tipis dan kawat. Konduktor panas dan listrik yang baik, kedua setelah perak. Titik leleh : 1.0830C, titik didih : 2.3010C. Berat jenis tembaga sekitar 8,92 g/cm³.
- Sifat - sifat nikel : Logam pith keperak - perakan yang berkilat, keras, dapat ditempa dan ditarik, feromagnetik, TL : 1420°C, TD : 2900°C.
- Sifat - sifat serbuk penyangga : Pada analisa atau pengujian ini serbuk penyangga yang digunakan adalah serbuk pasir silika dengan ukuran partikel antara 100 – 150 µm dan 150 – 200 µm. Dalam pasir silika terdapat tiga bentuk kristalin silika utama meliputi kuarsa, tridimit dan kirbolite sangat stabil dan tidak mengalami perubahan meskipun berada dalam temperatur yang berbeda-beda. Perlu diketahui, titik peleburan pada silika adalah 16.100 °C, hal ini menunjukkan titik peleburan silika yang lebih tinggi dari pada titik peleburan baja/besi, tembaga dan aluminium. Namun, hal ini adalah satu alasan mengapa perbedaan temperatur digunakan untuk menghasilkan cetakan dan bagian inti untuk peroduksi metal atau logam.

3.2 Rancangan Spesimen Produk Penelitian

Spesimen penelitian direncanakan berbentuk plat persegi panjang dengan ukuran spesimen seperti dijelaskan pada gambar 3. Setiap satu kali penyelesaian 1 lapisan, kemudian dilanjutkan dengan pendeposisian serbuk penyangga yang ditandai dengan turunnya gerakan piston. Proses pergerakan ini akan berlanjut sampai mencapai dimensi sesuai dengan ukuran ketebalan spesimen produk.

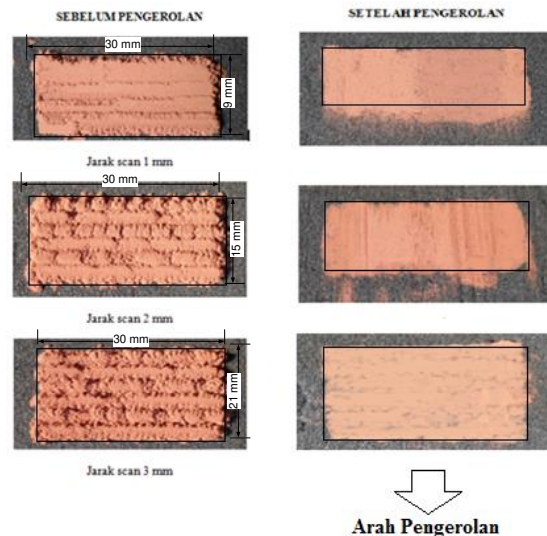


Gambar 3. Rancangan spesimen dengan dimensi 3D.

3.3 Pengaruh Pemvariasian *Scanning Gap* Terhadap Akurasi Dimensi Produk

Akurasi dimensi produk proses MMD-Is ditentukan oleh parameter proses deposisi serbuk produk maupun serbuk penyangga. Karena dalam proses deposisi menggunakan konstruksi *hoper nosel*, serbuk terdeposisi pada *build part* berupa garis, sehingga untuk membentuk bidang diperlukan banyak garis dengan jarak antar garis/lintasan deposisi disebut jarak *scan* . Untuk pendeposisian serbuk penyangga dan pengkonsistenan tebal lapisan, mekanisme rol putaran balik digunakan. Proses pengerolan menyebabkan terjadinya pemindahan serbuk produk dan serbuk penyangga searah

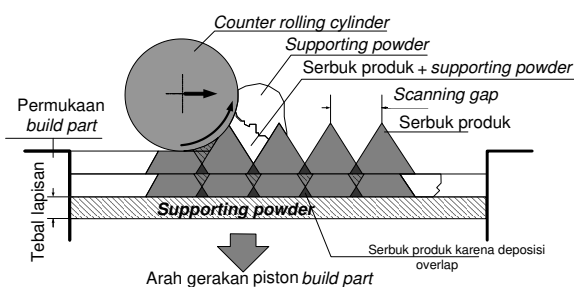
maupun tegak lurus pengerolan, hal ini dijelaskan dengan gambar 4. Gambar tersebut juga menunjukkan bahwa peningkatan harga jarak scan menyebabkan meningkatnya jumlah serbuk penyangga yang terjebak dalam serbuk produk.



Gambar 4. Variasi jarak *scan* pada arah pengerolan tegak lurus lintasan deposisi.

Pada harga jarak *scan* = 1 mm setelah proses pengerolan, tidak ada serbuk penyangga yang terjebak dalam lintasan deposisi, akan tetapi sisa serbuk produk yang terakumulasi akibat pengerolan menyebabkan pergeseran dimensi produk yang relatif besar pada arah pengerolan. Ini dikarenakan pemilihan harga jarak *scan* relatif kecil sehingga menghasilkan daerah *overlap* yang cukup tinggi. Pada harga jarak *scan* = 2 mm setelah pengerolan, serbuk penyangga yang terjebak dalam lintasan deposisi dalam jumlah minimal dan pergeseran dimensi produk relatif kecil. Pada harga jarak *scan* = 3 mm setelah proses pengerolan, jejak lintasan deposisi terlihat jelas pada lintasan deposisi, serbuk penyangga yang terjebak dalam bahan produk pada lintasan deposisi dalam jumlah besar. Setelah disinter, mekanisme ikatan antar lintasan deposisi tidak terbentuk sehingga produk sangat rapuh atau bahkan lintasan deposisi terpisah satu dengan lainnya. Secara teoretis, pergeseran dimensi produk dalam arah pengerolan tidak terjadi. Pengaruh harga jarak *scan* pada keseragaman bahan produk akibat proses pengerolan dapat dijelaskan sebagai berikut:

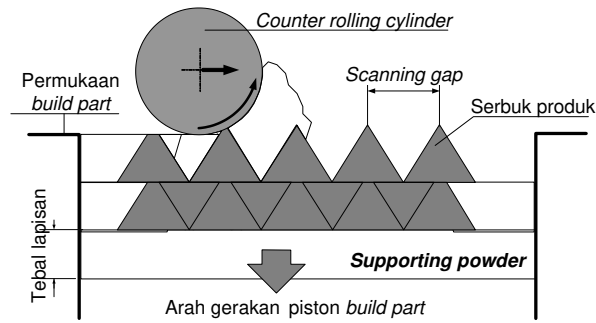
- a. Pemilihan harga jarak *scan* menghasilkan daerah *overlap*, tetapi tinggi daerah *overlap* tersebut lebih rendah dari harga tebal lapisan. Bila luasan ujung lintasan deposisi yang terpangkas oleh proses pengerolan lebih besar dari celah lintasan deposisi, terjebaknya serbuk penyangga dalam serbuk produk dalam jumlah minimal (dalam bentuk campuran serbuk penyangga dengan serbuk produk), sisa serbuk produk terakumulasi di akhir dimensi produk sehingga menyebabkan pergeseran dimensi produk pada arah pengerolan. Hal tersebut diperlihatkan seperti gambar 5.



Gambar 5. Pemilihan harga jarak *scan* menghasilkan daerah *overlap* dan ketebalan lapisan lebih besar dibandingkan tinggi daerah *overlap* sehingga serbuk penyangga digeser oleh gerakan pengerolan dan mengisi celah lintasan deposisi.

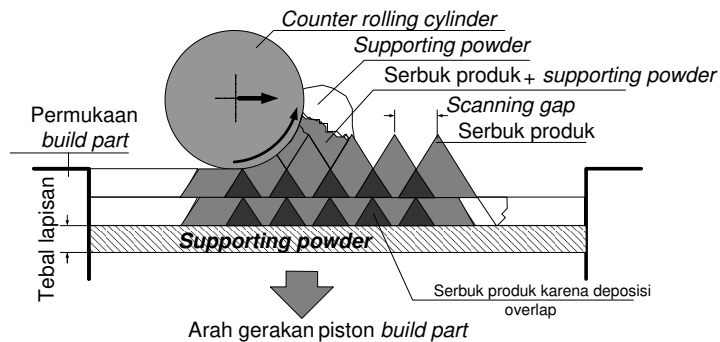
[5]

- b. Bila harga jarak *scan* sama dengan lebar lintasan deposisi dan tebal lapisan mendekati tinggi lintasan deposisi menyebabkan serbuk penyangga terjebak dalam jumlah sangat besar. Setelah disinter, mekanisme ikatan antar lintasan deposisi tidak terbentuk sehingga produk sangat rapuh atau bahkan lintasan deposisi terpisah satu dengan lainnya. Secara teoretis, pergeseran dimensi produk dalam arah pengerolan tidak terjadi, lihat gambar 6.



Gambar 6. Pemilihan harga jarak *scan* sama dengan lebar lintasan deposisi dan tebal lapisan hampir sama dengan tinggi lintasan deposisi menyebabkan serbuk penyangga secara dominan mengisi celah jarak *scan*. [5]

- c. Pemilihan harga jarak *scan* relatif kecil akan menghasilkan daerah overlap yang cukup tinggi. Bila harga tebal lapisan sama dengan ketinggian daerah overlap, secara teoritis tidak ada serbuk penyangga yang terjebak diantara lintasan deposisi. Puncak lintasan deposisi serbuk produk tergeser yang oleh proses pengerolan terjadi dalam jumlah banyak menyebabkan pergeseran dimensi produk pada arah pengerolan relatif besar. Kondisi tersebut dijelaskan dengan gambar 7.

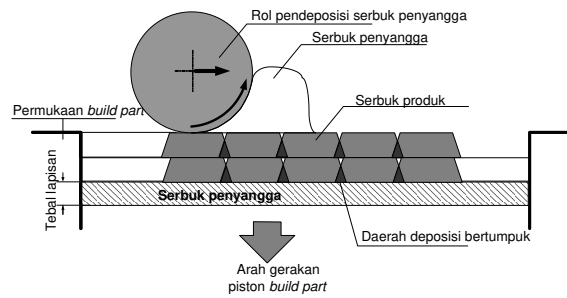


Gambar 7. Pemilihan harga jarak *scan* menghasilkan daerah *overlap* yang besar dan tebal lapisan lebih kecil/sama dengan daerah *overlap* sehingga tidak ada serbuk penyangga yang terjebak dalam struktur serbuk produk. [5]

Akurasi dimensi produk dapat diperbaiki dengan mengatur harga rasio pengerolan. Akurasi dimensi produk terbaik diperoleh pada harga rasio pengerolan sama dengan 1, yaitu harga ketebalan lapisan sama dengan jarak deposisi (dengan asumsi jarak deposisi menyebabkan puncak lintasan deposisi terpankaskan oleh permukaan lubang nosel seperti dijelaskan gambar 8). Pada harga rasio pengerolan kurang dari 1, pergeseran dimensi produk secara dominan terjadi pada arah pengerolan dan kondisi tersebut terus mengecil dengan bertambahnya harga rasio pengerolan. Setelah mencapai harga lebih besar atau sama dengan 1, dimensi produk (searah dan tegak lurus pengerolan) konstan. Pada harga rasio pengerolan = 1, proses pengerolan tidak memangkas puncak lintasan deposisi sehingga akumulasi serbuk produk tidak terjadi (gambar 9). Pada harga rasio pengerolan lebih dari 1, serbuk penyangga yang terjebak di antara lapisan akan terus bertambah hingga akhirnya ikatan antar lapisan tidak terbentuk sehingga terlepas satu dengan lainnya.



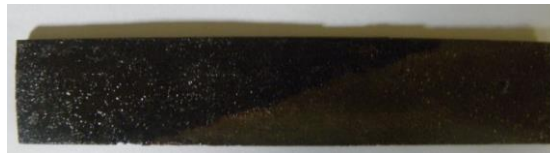
Gambar 8. Kemiringan penampang lintasan deposisi membesar akibat tergesek puncak lintasan deposisi oleh permukaan nosel. [5]



Gambar 9. Rasio pengerolan = 1 (tebal lapisan = jarak deposisi=tinggi lintasan deposisi), proses pengerolan tidak memangkas lintasan deposisi serbuk produk. [5]

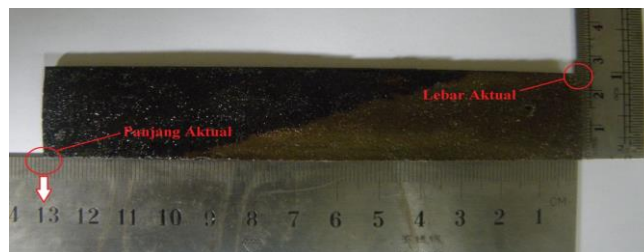
3.4 Studi Kasus Pembuatan Produk

Berikut ini diperlihatkan contoh produk *bimetal* yang dibuat dengan proses material deposition indirect sintering. Bahan berupa tembaga (Cu) dan nikel (Ni) dengan serbuk penyangga pasir silika dengan ukuran 100 – 150 μm . Diameter nosel yang digunakan adalah 1 mm sedangkan *screw feeder* 0.8mm. Sintering dilakukan pada temperatur 900 $^{\circ}\text{C}$ dengan waktu penahanan 4 jam. Contoh produk proses MMD-Is berbahan tembaga dan nikel bisa dilihat pada gambar 10.



Gambar 10 Contoh produk dengan proses MMD-Is berbahan tembaga dan nikel.

Pada saat proses sinter yang dilakukan dalam tungku suhu tinggi (furnace), penyusutan dalam distorsi bentuk tidak terjadi pada produk. Pada kasus ini hasil produk sebenarnya mengalami cacat penyusutan karena setelah produk selesai disintering, produk harus dibersihkan menggunakan kuas untuk membersihkan pasir yang menempel pada produk dan produk juga di amplas sedikit, maka produk kelihatan sesuai dengan ukuran pada rancangan (gambar 11). Dengan ketebalan 3 mm, dari ketebalan dimensi rancangan 3 mm pada dimensi aktualnya. Kemudian panjang juga tetap 130 mm dari panjang dimensi rancangan 130 mm pada dimensi aktualnya.



Gambar 11 Akurasi ukuran dimensi panjang dan dimensi lebar.

Penyusutan yang terjadi di bagian manapun karena proses pembersihan dan pengamplasan maka akurasi dimensi sesuai dengan rancangan, baik itu tebal maupun panjang spesimen seperti diperlihatkan pada Gambar 4.13. Maka dapat disimpulkan ada cacat penyusutan maupun pengurangan dimensi.

4. Kesimpulan

- Pembuatan bimetal dengan proses MMD-Is dimulai dari persiapan bahan dan alat deposisi serbuk kemudian mengaktifkan mesin MMD-Is kemudian memasukan data program produk kemudian proses pendeposisian serbuk produk kemudian proses pendeposisian serbuk penyangga kemudian proses sintering yang tak langsung dan yang terakhir proses penguatan produk.
- Berdasarkan hasil pengujian mampu alir dari dua variasi, maka dapat diketahui bahwa pada jarak ulir pengumpan dengan nosel = 0,5 mm, perbandingan $D/d = 1,5$ mm dan $n_{sf} = 211$ rpm merupakan variasi parameter mampu alir yang menunjukkan peningkatan aliran yang kontinyu. Untuk itu, hasil variasi parameter mampu alir ini yang digunakan sebagai acuan untuk proses pengujian lintasan deposisi serbuk.
- Berdasarkan variasi *deposition gap* dan variasi *feeding speed* maka *deposition gap* yang dipakai adalah 1,5 mm dan *feeding speed* yang dipakai adalah 100 mm/menit.

- d. Hasil produk sebenarnya mengalami cacat penyusutan karena setelah produk selesai disintering, produk harus dibersihkan menggunakan kuas untuk membersihkan pasir yang menempel pada produk dan produk juga di amplas sedikit, maka produk kelihatan sesuai dengan ukuran pada rancangan.

5. REFERENSI

- [1] Beaman, J.J., (1997), *“Historical Perspective, Chapter 3 in JTEC/WTEC Panel Report on Rapid Prototyping in Europe and Japan”*, WETC Hyper-Librarian.
- [2] Widyanto, S.A., Tontowi, A.E., Jamasri., dan Rochardjo, H.S.B., (2005), *“Development of Screw Feeder Hoper Nozzle of Direct- Write Deposition Applicable to Layer Manufacturing Process,”* Forum Teknik, Vol. 29, No. 3, pp. 207-10.
- [3] Tseng, A.A. dan Tanaka, A., (2001), *“Advanced deposition techniques for freeform fabrication of metal and ceramic parts”*, Rapid Prototyping Journal, 7(1), 6-17.
- [4] Widyanto, S.A., Tontowi, A.E., Jamasri. dan Rochardjo, H.S.B., (2007), *“Direct-Write Filament Deposition Applicable to Layer Manufacturing Process”* Makara-Seri Teknologi, Universitas Indonesia.
- [5] Widyanto, S.A., (2008), *“Pengembangan Proses Multi Material Indirect Sintering (MMD-Is)”*, Disertasi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.