

Analisis Kinerja Sistem Pompa Peristaltik Mesin Rapid Prototyping Dengan Teknologi Laser Based Manufacturing

*Peristaltic Pump System Performance Analysis
in Rapid Prototyping Machine Using Laser Based Manufacturing Technology*

Ahmad Musthofa, Nasril, Galuh Prihantoro

Balai Mesin Perkakas, Teknik Produksi dan Otomasi - MEPPO
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi - BPPT
Gedung Teknologi 2, PUSPIPTEK, Cisauk, Tangerang Selatan, Banten – 15314.
E-mail: nasril65@gmail.com

Abstrak

Pada era globalisasi, persaingan dalam dunia industri sangat tinggi. Faktor dominan dalam memenangkan persaingan tersebut adalah kualitas (*quality*), harga (*cost*) dan waktu penyerahan (*delivery*) suatu produk (*QCD*). Industri manufaktur menghadapi tantangan untuk mengirimkan produk baru sesuai pesanan lebih cepat sebelum langganan mengajukan permintaan kebutuhan akan produk tersebut. Penundaan pengembangan produk serta keterlambatan dalam pengiriman dapat menyebabkan kerugian dalam berbisnis. *Rapid Prototyping (RP)* merupakan metode yang membantu dalam proses pengembangan produk yang mudah dan cepat, sehingga dapat mempengaruhi kepuasan *customer* dan keuntungan perusahaan adalah terbantu dalam mendapatkan produk untuk pasar pertama. Untuk memenuhi hal di atas, produktivitas dan efisiensi sistem produksi Industri Nasional harus selalu ditingkatkan.

Balai MEPPO-BPPT telah mengembangkan mesin perkakas jenis *rapid prototyping* basis laser (*laser based manufacturing*) atau *stereolithography* yang menggunakan sistem pompa peristaltik pada sistem layer buildernya untuk mengendalikan ketelitian tinggi permukaan cairan resin. Pada tulisan ini dilakukan pemodelan dan pengukuran kinerja sistem pompa peristaltik yang digerakkan dengan sistem pengaturan servo.

Sistem pengaturan tinggi permukaan cairan resin dibentuk oleh satu sistem kontrol tertutup yang terdiri dari komputer, sistem servo, pompa peristaltik dan *laser displacement sensor*. Komputer memberikan perintah ke sistem servo untuk menggerakkan pompa peristaltik yang berfungsi menambah atau mengurangi tinggi permukaan cairan resin. *Laser displacement sensor* digunakan sebagai umpan balik yang memberikan data tinggi permukaan cairan resin. Sistem kontrol menjaga tinggi permukaan cairan resin dengan membandingkan tinggi permukaan cairan resin yang diperoleh dari *laser displacement sensor* dengan tinggi permukaan cairan yang diinginkan atau yang diperintahkan. Sistem kontrol akan memberikan koreksi kesalahan dengan mengatur putaran motor servo sehingga pompa peristaltic dapat menambah atau mengurangi cairan resin untuk mencapai tinggi permukaan resin yang diinginkan.

Hasil yang diperoleh pada pengujian sistem pompa peristaltik pada sistem layer builder mesin *rapid prototyping laser based manufacturing* yang dikembangkan di Balai MEPPO – BPPT dapat mencapai ketelitian volume cairan yang dipompakan sebesar 0.01 ml/putaran. Kesalahan ketinggian permukaan cairan resin yang dapat dicapai sebesar $\pm 2\mu\text{m}$ sehingga dapat menghasilkan ketelitian benda kerja yang tinggi.

Keywords: *Laser based manufacturing, rapid prototyping, pompa peristaltik, sistem servo, laser displacement sensor.*

Pendahuluan

Pada era globalisasi, persaingan dalam dunia industri sangat tinggi. Faktor dominan dalam memenangkan persaingan tersebut adalah kualitas (*quality*), harga (*cost*) dan waktu penyerahan (*delivery*) suatu produk (*QCD*). Industri manufaktur menghadapi tantangan untuk mengirimkan produk baru sesuai pesanan lebih cepat sebelum langganannya mengajukan permintaan kebutuhan akan produk tersebut. Penundaan pengembangan produk serta keterlambatan dalam pengiriman dapat menyebabkan kerugian dalam berbisnis. *Rapid prototyping* merupakan metode yang membantu dalam proses pengembangan produk yang mudah dan cepat, sehingga dapat mempengaruhi kepuasan *customer* dan keuntungan perusahaan adalah terbantu dalam mendapatkan produk untuk pasar pertama. Untuk memenuhi hal di atas, produktivitas dan efisiensi sistem produksi Industri Nasional harus selalu ditingkatkan.

Rapid prototyping juga dikenal juga dengan istilah *stereolithography* secara singkat didefinisikan sebagai kumpulan teknologi yang membangun komponen dengan menyambung element volume dari material *layer-by-layer* langsung dari data CAD (*computer aided design*) dengan bantuan laser menghasilkan model fisik tanpa pemesinan, pengecoran maupun moulding. *Rapid prototyping* adalah pengembangan terkini dari aplikasi *laser based manufacturing* yang berkembang sangat pesat karena didukung oleh perkembangan teknologi 3D-CAM solid modeling.

Mesin *rapid prototyping* ini terdiri atas beberapa komponen utama, seperti Sinar Laser UV, X-Y scanner system, *layer builder system*. Sinar Laser UV berfungsi sebagai sumber energi untuk membantu proses solidifikasi resin per layer. X-Y scanner system berfungsi mengarahkan sinar laser agar sesuai dengan pola. *Layer builder* berfungsi untuk membentuk layer demi layer yang akan dipanasi oleh sinar laser.

Balai MEPPPO-BPPT telah mengembangkan mesin perkakas jenis *rapid prototyping* berbasis laser (*laser based manufacturing*) atau *stereolithography* yang menggunakan sistem pompa peristaltik pada sistem layer buildernya untuk mengendalikan ketelitian tinggi permukaan cairan resin. Pada tulisan ini dilakukan pemodelan dan pengukuran kinerja sistem pompa peristaltik yang digerakkan dengan sistem pengaturan servo.

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

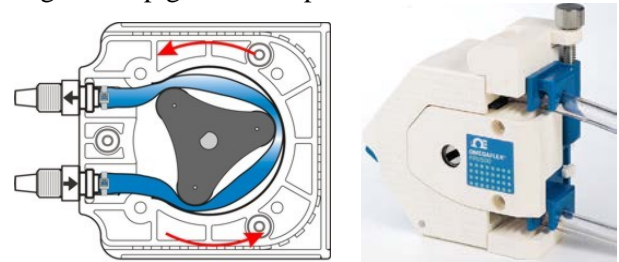
Sistem pengaturan tinggi permukaan cairan resin dibentuk oleh satu sistem kontrol tertutup yang terdiri dari komputer, sistem servo, pompa peristaltik dan *laser displacement sensor*. Komputer memberikan

perintah ke sistem servo untuk menggerakkan pompa peristaltik yang berfungsi menambah atau mengurangi tinggi permukaan cairan resin. *Laser displacement sensor* digunakan sebagai umpan balik yang memberikan data tinggi permukaan cairan resin. Sistem kontrol menjaga tinggi permukaan cairan resin dengan membandingkan tinggi permukaan cairan resin yang diperoleh dari *laser displacement sensor* dengan tinggi permukaan cairan yang diperintahkan. Sistem kontrol akan memberikan koreksi kesalahan dengan mengatur putaran motor servo sehingga pompa peristaltic dapat menambah atau mengurangi cairan resin untuk mencapai tinggi permukaan resin yang diinginkan.

Fasilitas yang digunakan dalam kegiatan ini adalah sistem pompa peristaltik pada sistem layer builder mesin *rapid prototyping laser based manufacturing* yang dikembangkan di Balai MEPPPO – BPPT.

Skema dan Numerik

Pompa peristaltik merupakan pompa yang menggunakan roller berputar dengan menekan tabung / pipa fleksibel sehingga menciptakan tekanan aliran didalamnya. Tabung dipadatkan di sejumlah titik kemudian media cairan dipindahkan melalui tabung dengan setiap gerakan berputar.



Gambar 1. Mekanisme pada pompa peristaltik

Roller yang memampatkan pipa elastis. diantara roller terbentuk bantal (*pillow*) pada pipa. Bantal merupakan ruang pemompaan dan menentukan jumlah volume yang disebabkan oleh gerakan roller dan laju aliran. Volume bantal tidak hanya bergantung pada diameter pipa tetapi juga pada sifat elastisitas pipa, spesifikasi kepala pompa serta sifat dan kondisi cairan. Berikut faktor-faktor yang menentukan volume bantal :

- a. Sistem Pompa
 - Jumlah roller
 - Desain kepala pompa (*spring-loaded* dan kedudukan pipa)
 - Setingan pemampatan
 - Kecepatan putaran
- b. Pipa
 - Diameter dalam
 - Ketebalan lapisan
 - Jenis material
 - Usia pipa

- c. Cairan
 - Jenis cairan
 - Temperatur
 - Viskositas
- d. Kondisi pengoperasian
 - Kemampuan menghisap / vakum
 - Perbedaan tekanan

Pemodelan laju aliran cairan dalam pompa peristaltik adalah sbb:

$$Q = (q \cdot z) \cdot n;$$

$$q = 0.25 \cdot \pi \cdot d^2 \cdot L \cdot \text{effisiensi}$$

Q = laju aliran per menit.

q = volume bantal.

z = jumlah roller.

n = kecepatan putar motor per menit.

d = diameter dalam pipa.

L = panjang volume bantal.



Gambar 2. Ukuran pipa elastis

Berikut volume per putaran teoritik pada pompa peristaltik dengan menggunakan berbagai ukuran pipa dengan kecepatan 600 rpm:

Diameter : mm	ml / putaran
0.8	0.05
1.6	0.22
3.2	0.90
4.8	1.90
6.4	3.00
8	3.80

Tabel 1. Data volume per putaran pompa peristaltik

Hasil dan Pembahasan

Spesifikasi pompa peristaltik “Omegaflex FPU500” yang digunakan dalam kegiatan ini adalah sebagai berikut :

Spesifikasi	Satuan	Nilai
Type pompa	-	FPU500
Tekanan Maks.	Psi	20
RPM Maks.	RPM	100
Tebal Tabung	mm	1.6
Diameter Tabung Maks.	mm	8
Temperature cairan	° C	46 - 149

Tabel 2. Spesifikasi pompa peristaltik FPU500

Spesifikasi laser displacement sensor “Keyence LK-G82” yang digunakan dalam kegiatan ini adalah sebagai berikut :

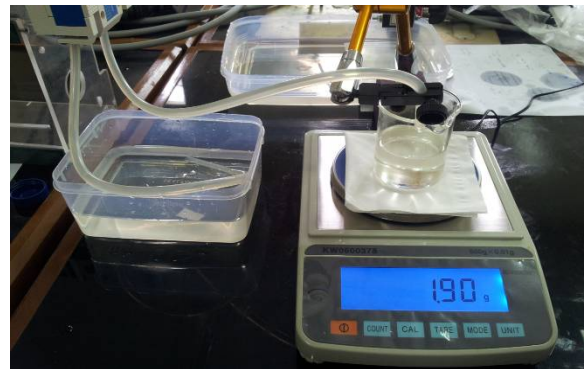


Spesifikasi	Satuan	Nilai
Controller	-	LKG3001
Measuring Range	mm	80 ± 15
Repeatability	µm	0,2
Accuracy Controller	µm	0,01

Tabel 3. Spesifikasi Sensor Keyence LK-G82

Resin *stereolithography* yang digunakan adalah WaterShed11120 dengan viskositas sebesar 260 cps (viskositas air = 1 cps). Ketebalan minimum per layer (*minimum cure depth*) resin ini untuk pematangan adalah 0.160 mm dan pada daya maksimum ketebalan per layer 0.254 mm.

Pengujian pompa peristaltik dilakukan dengan menggunakan sebuah pipa elastis dengan panjang = 1 m, yang berukuran Ø 4.8 mm dengan kecepatan putar pompa peristaltik bervariasi 100 rpm, 200 rpm, 300 rpm dan 600 rpm.



Gambar 3. Pengujian pompa peristaltik

Perubahan volume cairan dalam gelas ukur diukur dengan menggunakan neraca 500g dengan tingkat keakuratan s/d 0,01g. Hasil pengujian diperoleh data sebagai berikut (asumsi 1 gram = 1 ml):

No	1 putaran (ml)	5 putaran (ml)	10 putaran (ml)
1	2,16	10,83	21,66
2	2,16	10,83	21,68
3	2,17	10,84	21,68

Tabel 4. Data volume resin dengan kecepatan 100 rpm

No	1 putaran (ml)	5 putaran (ml)	10 putaran (ml)
1	2,15	10,72	21,49
2	2,16	10,73	21,49
3	2,15	10,73	21,48

Tabel 5. Data volume resin dengan kecepatan 200 rpm

No	1 putaran (ml)	5 putaran (ml)	10 putaran (ml)
1	2,12	10,48	20,95
2	2,11	10,49	20,96
3	2,12	10,48	20,96

Tabel 6. Data volume resin dengan kecepatan 300 rpm

No	1 putaran (ml)	5 putaran (ml)	10 putaran (ml)
1	1,90	8,89	17,60
2	1,90	8,90	17,61
3	1,91	8,89	17,61

Tabel 7. Data volume resin dengan kecepatan 600 rpm

Dari data diatas diperoleh kecepatan optimal untuk pompa peristaltik adalah pada kecepatan 100 dan 200 rpm dengan ketelitian volume cairan resin yang dipompakan sebesar 0,01 ml/putaran.

Pengujian dengan menggunakan bak (*vat*) dengan ukuran panjang 265 mm lebar 185 mm dan tinggi 50 mm dan laser displacement sensor sebagai sensor untuk mengukur perubahan tinggi permukaan cairan maka diperoleh data tinggi cairan resin yang ditambahkan ke bak untuk 1 putaran pompa dengan kecepatan 200 rpm adalah sebagai berikut:

No	Ketinggian cairan (μm)
1	16
2	15
3	17
4	18
5	15

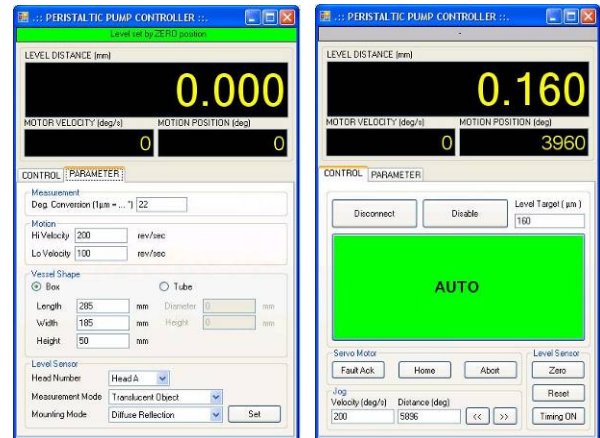
Tabel 8. Data ketinggian resin untuk 1 putaran pompa

Dari data diatas diperoleh konversi ketinggian 1 μm ketinggian cairan setara dengan 20° - 24° putaran pompa peristaltik.

Pengujian kinerja sistem pompa peristaltik dengan sistem kontrol umpan balik dengan menggunakan parameter kecepatan putaran pompa 200 rpm untuk kecepatan awal dan 100 rpm untuk kecepatan penyesuaian, konversi ketinggian cairan 1 μm setara dengan 22° putaran dan error ditetapkan sebesar $\pm 2 \mu\text{m}$.



Gambar 4. Setup sistem kontrol pompa peristaltik



Gambar 5. Sistem kontrol pompa peristaltik

Hasil pengujian kemampuan mencapai tinggi permukaan cairan resin tertentu diperoleh data kesalahan ketinggian sebagai berikut :

No.	Ketinggian Cairan (μm)	Error (μm)
1	16	0
2	32	-1
3	48	-2
4	64	0
5	80	-1
6	96	0
7	112	-2
8	128	-1
9	144	-1
10	160	-1
11	176	2
12	192	0
13	208	0
14	224	-2
15	240	0
16	256	-2

Tabel 9. Data Pengujian pompa peristaltik

Hasil pengujian kemampuan ulang sistem pompa peristaltik untuk ketinggian tertentu dengan pengulangan bolak-balik (pompa dan hisap) dapat dilihat pada penyajian data berikut:

No.	Ketinggian Cairan (μm)	Error (μm)
1	160	0
2	160	-1
3	160	0
4	160	0
5	160	-2
6	160	-1
7	160	-1
8	254	-2
9	254	-1
10	254	0
11	254	-2
12	254	0
13	254	-1
14	254	0

Tabel 10. Data Pengujian kemampuan ulang pompa peristaltik

Kesimpulan

Hasil yang diperoleh pada pengujian sistem pompa peristaltik pada sistem layer builder mesin *rapid prototyping laser based manufacturing* yang dikembangkan di Balai MEPPPO – BPPT dapat mencapai ketelitian volume cairan yang dipompakan sebesar 0,01 ml/putaran. Kesalahan ketinggian permukaan cairan resin yang dapat dicapai sebesar $\pm 2 \mu\text{m}$ sehingga dapat menghasilkan ketelitian benda kerja yang tinggi.

Referensi

- [1]. Omega, “FPU500 Omegaflex Peristaltic Pump User’s Guide”, USA, 2005.
- [2]. DSM Somos, “WaterShed 11120 Durable, Strong, Semi-transparent, Water-resistant resin for stereolithography for Solid State (355nm) Laser Systems”, USA.
- [3]. Aerotech, “Ensemble MP Hardware Manual”, Pittsburgh, USA, 2006.
- [4]. Aerotech, “Ensemble Help (1.00)”, Aerotech. Inc.
- [5]. Aerotech, “BM/BMS Series Brushless Motors Hardware Manual”, Pittsburgh, USA. 2007.
- [6]. Keyence, “High-speed, High-accuracy CCD Laser Displacement Sensor LK-G Series User’s Manual”, Osaka, Japan. 2008.
- [7]. Keyence, “For LK-G Series Setting and Support Software LK-H1W LK-Navigator User’s Manual”, Osaka, Japan. 2008.