

Analisa Parameter Laser *Marking* pada Material Stainless Steel Terhadap Struktur Mikro dan Kedalaman *Marking*

Dikky Antonius^{1)*}, Cyrilus Pandu¹⁾

¹⁾Program Studi Magister Teknik Mesin Universitas Kristen Indonesia
Jln. Maydjen Sutoyo no.2, 13630

Email: dicky.antonius@uki.ac.id; cyrilluspandu95@gmail.com

doi: <https://doi.org/10.24843/METTEK.2020.v06.i02.p07>

Abstrak

Proses *marking* merupakan proses pemberian identitas kepada material atau produk tertentu dalam rangka menghitung, memberi nomor produk, memberi tanda dsb. Bagi material yang keras dan diproduksi dalam jumlah yang banyak seperti logam, proses *marking* diberikan dengan *Laser Marking Machine*. Pada penelitian ini, mesin *laser marking* diatur pada kecepatan 50mm/s, 100mm/s dan 150mm/s. Masing-masing kecepatan mesin menggunakan frekuensi dan power yang ditingkatkan: 20Hz, 60Hz dan 100Hz; 20%, 60% dan 100% power dari mesin, sementara penembakan dilakukan secara vertical dengan sudut 0°. Hasil menunjukkan bahwa frekuensi 60Hz memperoleh kedalaman *marking* yang maksimal yaitu 3,58µm diantara parameter lainnya. Sementara dari penangkapan gambar mikrostruktur ditunjukkan bahwa kenaikan power dan frekuensi juga berpengaruh kepada melebarnya diameter dari hasil *marking* pada permukaan spesimen. Peningkatan kecepatan hanya berpengaruh terhadap kedalaman *marking* untuk frekuensi yang besar.

Kata kunci: Laser Marking Machine, Marking, Laser

Abstract

Marking process is one of manufacture process which function to give the identity for the material or final product. For material with high-hardness properties and high-volume production such as metal, the processed is held by Laser marking machine. In this research, the processes were held at speed 50mm/s, 100mm/s and 150mm/s. The frequencies and powers are increased gradually for each speed of the laser machine. The frequencies and powers are 20Hz, 60Hz and 100Hz; 20%, 60% and 100% respectively, while the shoot-angle set at 0° (vertically). The results show that the maximum depth (3,58µm) is achieve when the machines at speed 50mm/s, while the frequencies and powers applied are 60Hz and 100%x10Watt respectively. From the figure of microstructure, the increasing of power and frequencies will enhance the divergence-angle of laser thus increase the width of making process. The increasing of speed will increase the depth of marking for high frequencies such as 100Hz.

Keywords: Laser Marking, marking, Laser

1. PENDAHULUAN

Bagi industri manufaktur, pada masa modern ini setiap produsen dipaksa untuk mengikuti arus teknologi yang mengharuskan pekerjaan dibuat semakin cepat dan efisien dengan kualitas yang meningkat – atau setidaknya tetap. Baik dari proses hulu seperti pembentukan, permesinan, poles hingga ke proses akhir seperti pelapisan atau penandaan (*marking*). Proses *marking* adalah proses pemberian tanda, merk, kode atau bentuk tertentu pada produk jadi

Penulis korespondensi,
Email: cky.antonius@uki.ac.id

atau setengah jadi guna memberi identitas tertentu pada produk tersebut. Pada logam proses *marking* awalnya dilakukan dengan memahat secara manual menggunakan tangan dan alat pahat. Namun dengan meningkatnya angka produksi, dan semakin beragamnya material yang dipakai, maka proses *marking* tidak bisa dilakukan lagi secara manual dikarenakan ketidakefisienan dan prosesnya yang sangat lambat. Saat ini hal tersebut diatasi dengan mesin *marking*.

Ditinjau dari metodenya, mesin *marking* dapat dibedakan menjadi beberapa macam, antara lain metode ketuk (*Dot-Peen*), gores (*Scribing*), tekan (*Stamp*) dan juga laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*)[1]. Masing-masing metode mempunyai kelemahan dan keunggulannya tersendiri.

Laser marking sendiri memiliki prinsip kerja menggunakan kekuatan cahaya yang difokuskan pada sebuah area atau titik[2]. Umumnya cahaya yang digunakan pada ruang atmosfer bersifat menyebar atau *diverge*. Berbeda halnya dengan cahaya biasa, laser menggunakan cahaya yang dikeluarkan dengan panjang gelombang tertentu, yang cukup kuat untuk merusak logam dan bersifat *converge*. Umumnya laser *marking* dipakai pada material-material yang mempunyai kekerasan tinggi dan membutuhkan keakuratan yang tinggi. Di samping itu, penggunaan laser digunakan juga bagi produk-produk yang sangat banyak, dengan demikian membutuhkan proses pemberian label yang efisien.

Bidang kerja pada mesin laser ini dapat dibagi menjadi tiga bagian utama: laser, kontroler, dan permukaan material. Kontroler (biasanya komputer) mengontrol arah, intensitas, kecepatan gerakan, dan penyebaran sinar laser yang diarahkan ke permukaan material[3]. Konfigurasi dan pengaturan parameter yang dihasilkan dari perangkat laser *marking* yang digunakan dapat mempengaruhi struktur permukaan baja stainless yang ditandai serta komposisi elemen dan fase.[4]

Dalam dunia medis teknik penandaan biasanya digunakan untuk pengenalan dan klasifikasi atau penelusuran implan yang memungkinkan analisis posterior dari perangkat medis implan logam setelah penggunaannya. Proses ini sangat mempengaruhi karakteristik permukaan yang terkena cairan tubuh manusia korosif, seperti struktur mikro, komposisi dan kekasaran permukaan.[5]

Beberapa penelitian telah menunjukkan beberapa pengaruh parameter laser terhadap proses permesinan seperti proses pemotongan [6], [7], dikarenakan laser banyak digunakan untuk proses pemotongan. Atau data-data tentang laser marking [3] [4] yang menunjukkan beberapa pengaruh kecil dari parameter mesin laser marking. Namun belum terdapat data yang jelas tentang pengaruh dari parameter secara keseluruhan dari mesin laser marking yang terhadap hasil marking sendiri. Pada penelitian ini diharapkan kekurangan ini dapat diselesaikan, dan dilengkapi dengan gambar mikrostruktur. Oleh karena itu penulis mengambil judul “ANALISA PARAMETER LASER *MARKING* PADA MATERIAL STAINLESS STEEL TERHADAP STRUKTUR MIKRO DAN KEDALAMAN *MARKING*”.

2. METODE

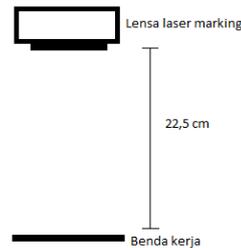
2.1. Prosedur Penelitian

Pengumpulan data dilakukan dengan cara mengumpulkan fakta, objek kerja, situasi dan kondisi yang berada dilapangan yang dibutuhkan untuk menunjang tujuan penelitian. Data-data yang menunjang penelitian ini antara lain:

1. *Laser Marking*

Mesin laser *marking* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu mesin *marking* dengan brand *Technifor* dengan type “*Hybrid Series (H10)*”. Mesin ini memiliki power max 10 Watt, frekuensi 10 kHz - 100 kHz dan speed max 10.000 mm/s. Sehingga, memungkinkan untuk mengatur perubahan parameter di dalamnya. Mesin laser *marking* ini juga dapat *marking* berbagai material antara lain *steel*, kayu, plastik dll.

Dalam mesin *marking* ini memungkinkan untuk mengatur beberapa parameter di dalamnya antara lain kecepatan (*speed*), frekuensi (*frequency*) dan daya (*power*). Proses *marking* material *stainless steel* dilakukan dengan ketinggian yang tetap (*fix*) 22,5 cm dari lensa ke benda kerja yang akan dimarking.



Gambar 1. Jarak Lensa ke Benda Kerja

2. Parameter

Parameter yang akan dianalisis antara lain kecepatan (*speed*), frekuensi (*frequency*) dan daya (*power*). Penelitian ini menggunakan pola perubahan 3^3 (satu sample terdapat 3 perubahan parameter yang sama) . Sehingga menghasilkan 27 sample percobaan.

Perubahan parameter diatur dalam software khusus dari mesin laser tersebut. Pola perubahan parameter dapat dilihat dalam table dibawah:

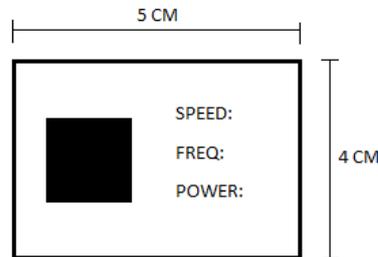
Tabel 1. Tabel parameter

Sample	Speed	Frequency	Power
A1	50	20	20
A2	50	20	60
A3	50	20	100
A4	50	60	20
A5	50	60	60
A6	50	60	100
A7	50	100	20
A8	50	100	60
A9	50	100	100
A10	100	20	20
A11	100	20	60
A12	100	20	100
A13	100	60	20
A14	100	60	60
A15	100	60	100
A16	100	100	20
A17	100	100	60
A18	100	100	100
A19	150	20	20
A20	150	20	60
A21	150	20	100
A22	150	60	20
A23	150	60	60
A24	150	60	100
A25	150	100	20
A26	150	100	60

A27	150	100	100
-----	-----	-----	-----

3. Sample

Sample atau benda kerja di dalam penelitian ini menggunakan material *stainless steel* dengan ukuran 4x5x1 cm. Jadi benda kerja atau sample akan dimarking sesuai format yang telah ditentukan. Format *marking* dapat dilihat pada gambar dibawah.



Gambar 2. Benda Kerja

4. Alat Ukur Kedalaman

Kedalaman permukaan *marking* pada penelitian ini akan menggunakan alat ukur dengan brand Mitutoyo type "SJ-411". Alat ukur ini memiliki akurasi pengukuran atau *increments* 0.1 – 25 mm.

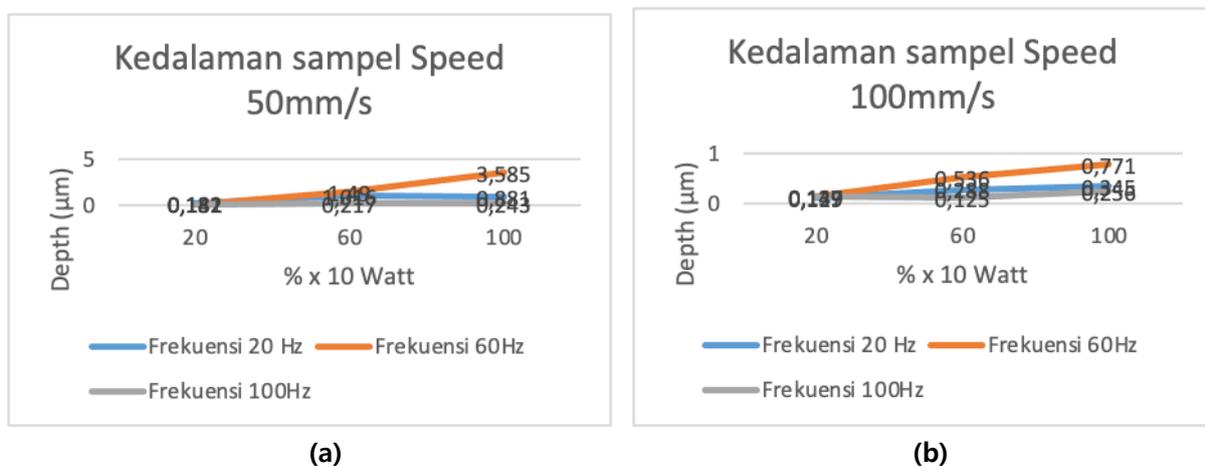
5. Alat Ukur Perubahan Struktur Mikro

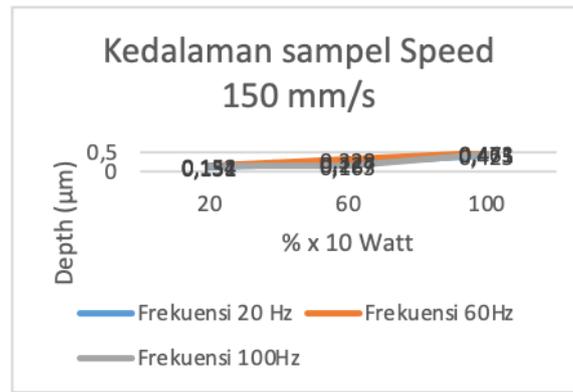
Perubahan struktur mikro pada benda kerja (*plat stainless steel*) akan diukur menggunakan Mikroskop Optik dengan pembesaran 430x. Perubahan struktur mikro tersebut akan dilakukan dengan cara membandingkan permukaan benda kerja sebelum dan sesudah diberikan penandaan atau *marking*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Gambar dan Tabel

Hasil kedalaman (*depth*) proses *marking* untuk kecepatan 50mm/s, 100mm/s dan 150mm/s. dapat dilihat dari grafik pada gambar 3. Masing-masing gambar memperlihatkan kedalaman *marking* yang berbeda untuk frekuensi 20Hz, 60Hz dan 100Hz.





(c)

Gambar 3. Grafik kedalaman *marking* laser pada kecepatan (a) 50mm/s, (b) 100mm/s dan (c) 150mm/s

Dari gambar 3 diatas, terlihat bahwa kedalaman paling tinggi diperlihatkan pada frekuensi 60 Hz berapapun variabel kecepatan dari mesin. Pada dasarnya frekuensi yang tinggi akan mengakibatkan energi yang tinggi seperti yang dijelaskan dalam [8]

$$\lambda E = hc = 1,99 \times 10^{-25} \text{ joule-meter}$$

dimana

$$\lambda = c/f$$

dimana

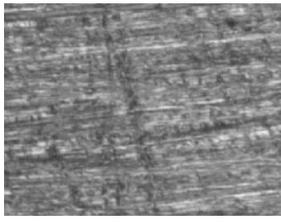
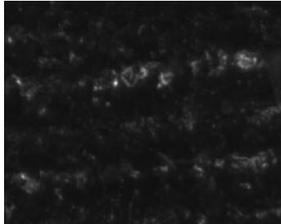
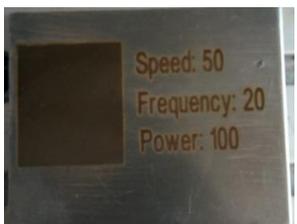
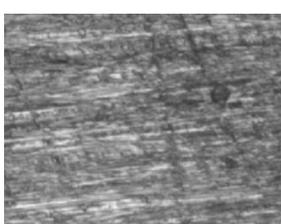
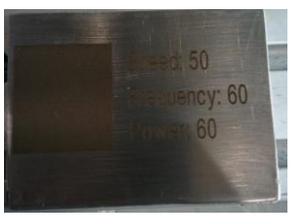
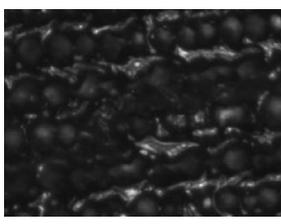
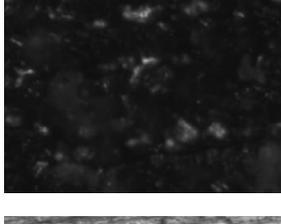
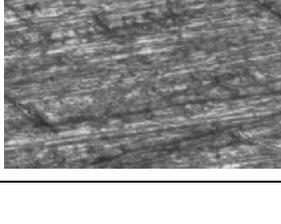
- λ = panjang gelombang (m)
- E = Energi (Joule)
- h = Tetapan planc sebesar $6,63 \times 10^{-34}$ Joule-second
- c = kecepatan cahaya sebesar 3×10^8 m/s
- f = frekuensi (Hz)

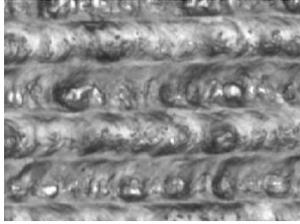
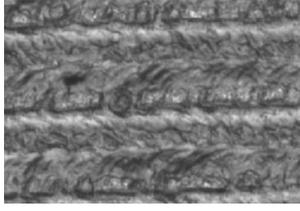
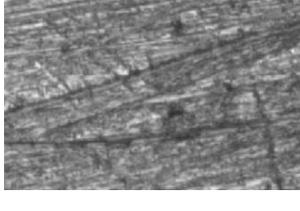
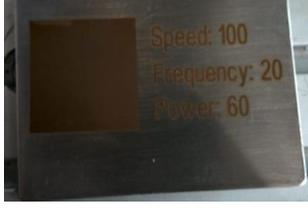
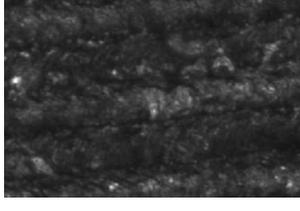
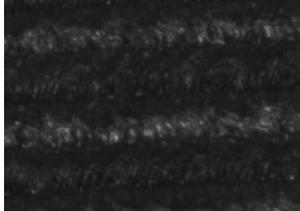
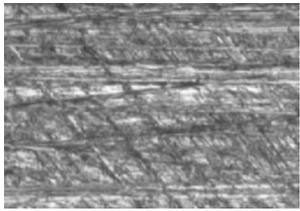
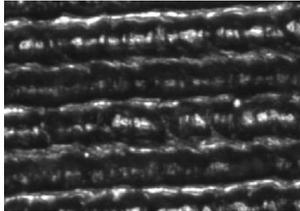
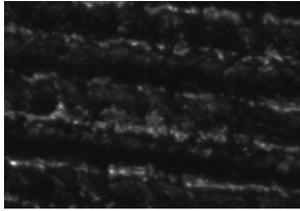
Dari tetapan diatas, dapat diketahui bahwa frekuensi yang besar (100Hz), mempunyai panjang gelombang yang paling pendek, dan dengan demikian diharapkan mempunyai energi yang paling besar untuk membuat kedalaman *marking* yang paling besar. Namun sayangnya penembakan sinar laser dilakukan vertikal dengan sudut 0° . Dengan demikian, sebagian dari sinar laser akan kembali secara berlawanan arah (180°) dengan sinar tembakan, dan dengan demikian menjadi penghalangan bagi energi laser yang ditembakkan bagi lensa menuju material tersebut.

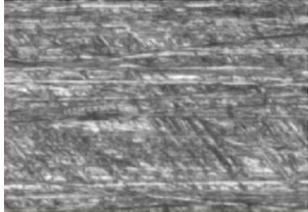
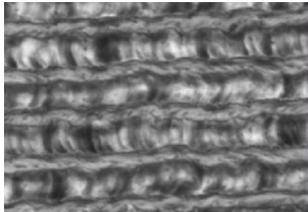
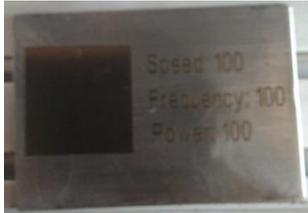
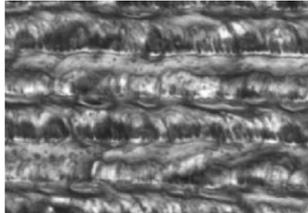
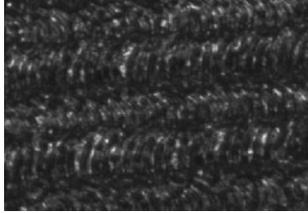
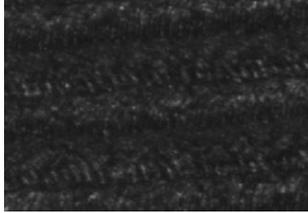
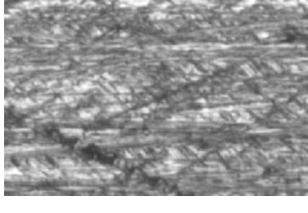
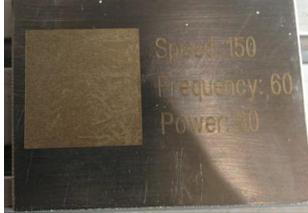
Fenomena ini akan mengakibatkan sebagian dari energi yang ditembakkan menjadi perisai bagi material, dan dengan demikian mengurangi kedalaman dari pemakanan material oleh laser tersebut. Semakin kecil energi yang ditembakkan oleh laser, maka akan semakin kecil energi yang menjadi perisai bagi material tersebut. Itulah sebabnya pada gambar 3 diperlihatkan bahwa kedalaman bagi frekuensi 20Hz jauh lebih dalam ketimbang pada laser yang ditembakkan dengan frekuensi 100Hz. Walau demikian, semakin kecil daya energi yang ditembakkan oleh laser, tidak hanya mengurangi perisai yang terbentuk, namun juga mengurangi kekuatan memakan material. Dengan demikian, maka penembakan jenis ini tidak mempunyai tendensi yang linear, namun akan maksimum pada frekuensi atau parameter tertentu.

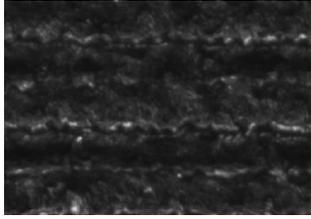
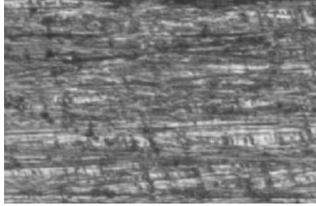
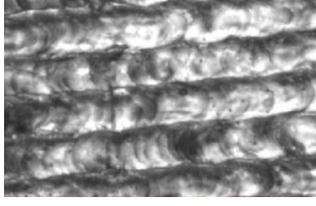
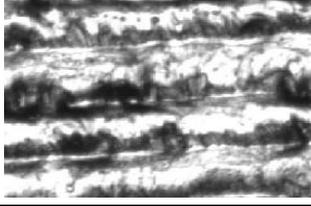
Dalam kasus ini, maka frekuensi 60Hz menjadi titik maksimum, dimana energi pemakanan material berada pada kondisi yang tidak cukup besar – namun tidak terlalu kecil, dan energi yang menjadi perisai berada pada titik minimum terkecil. Dengan demikian pemakanan (proses *marking*) mempunyai kedalaman yang maksimum.

Tabel 2. Hasil Mikrostruktur dengan pembesaran 430X untuk tiap parameter

Sample	Gambar	Struktur Micro	Depht
A1			0.181 μm
A2			1.016 μm
A3			0.881 μm
A4			0.132 μm
A5			1.490 μm
A6			3.585 μm
A7			0.142 μm

A8			0.217 μm
A9			0.243 μm
A10			0.129 μm
A11			0.288 μm
A12			0.345 μm
A13			0.139 μm
A14			0.536 μm
A15			0.771 μm

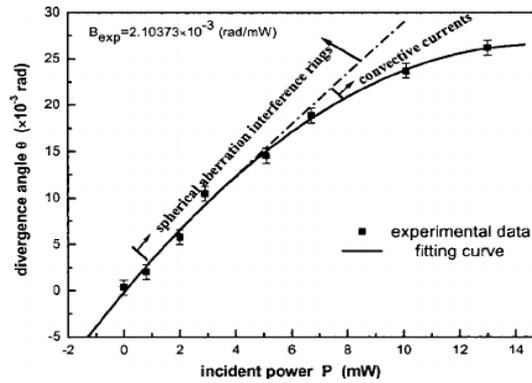
A16			0.147 μm
A17			0.125 μm
A18			0.256 μm
A19			0.131 μm
A20			0.227 μm
A21			0.425 μm
A22			0.154 μm
A23			0.328 μm

A24			0.471 μm
A25			0.152 μm
A26			0.163 μm
A27			0.463 μm

Tabel 2 memperlihatkan kondisi permukaan *marking* baik secara visual maupun secara mikrostruktur dengan pembesaran hingga 430x bagi tiap-tiap parameter. Dari gambar diatas, terlihat jelas, bahwa penambahan persentase power dari mesin umumnya akan menaikkan ukuran lebar dari *marking* laser tersebut. Ditambah lagi, setiap daya yang dinaikkan hingga 100% (10Watt) pada parameter frekuensi dan kecepatan yang berbeda sekalipun, maka lebar dari *marking* terlihat paling besar dibanding dengan daya lainnya (20% dan 60% x 10Watt). Lebar dari *marking* ini merupakan hasil dari divergence laser yang dapat diformulasikan dengan:

$$r = D \tan \theta [8]$$

Dimana D merupakan jarak objektif antara lensa dengan benda kerja, dan θ adalah sudut dari laser bergantung kepada jenis laser yang digunakan. Dikarenakan jenis laser yang digunakan sama, maka seharusnya lebar dari *marking* yang terbentuk harusnya adalah sama. Walaupun demikian, beberapa riset belakangan menunjukkan kaitan antara kaitan penumbukan energi dengan θ .



Gambar 4. Pengaruh power terhadap sudut divergence.[9]

Dari gambar terlihat bahwa θ akan naik seiring kenaikan power yang diaplikasikan pada benda kerja, dan dengan demikian akan mempengaruhi lebar dari *marking* pada benda kerja. Di samping itu Tabel 2 memperlihatkan bahwa lebar paling besar terjadi/terbuat setiap frekuensi dan power dinaikkan pada kondisi maksimum – (100Hz dan 100% \times 10Watt), terlepas berapa pun kecepatan dari mesin laser tersebut. Dalam mikrostrukturnya, terlihat juga bahwa permukaan material tersusun atas bagian-bagian yang seperti meleleh, yang menandakan kekuatan yang tinggi dari laser dan mengakibatkan stress pada material [10].

Sedang parameter kecepatan dari laser *marking* tidak terlalu berpengaruh kepada hasil kedalaman (*depth*) untuk frekuensi 20Hz atau 60Hz. Walaupun demikian, hal itu berbeda untuk frekuensi 100Hz, kecepatan terlihat membuat kedalaman dari *marking* meningkat. Hal ini dikarenakan kecepatan mesin untuk bergeser cukup cepat untuk membuat pemantulan energi tidak terlalu besar sehingga menjadi perisai energi dan menghalangi penembakan dari laser. Dengan demikian, penembakan menjadi lebih efektif dan membuat kedalaman dari *marking* meningkat.

Di samping itu, peningkatan kecepatan mesin laser membuat kontras dari mikrostruktur meningkat. Dengan kata lain, peningkatan kecepatan dari mesin akan membuat permukaan makin kasar sehingga sinar yang dipantulkan akan lebih banyak yang tersebar (*disperse*) dan membuat penangkapan gambar menjadi lebih tajam. Namun sayangnya hal ini perlu dibuktikan lebih dalam dengan uji yang lebih valid.

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil dari percobaan dan pembahasan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Peningkatan frekuensi tidak semata-mata membuat kedalaman *marking* meningkat, walaupun peningkatan energi terlihat jelas. Hal ini dikarenakan penembakan secara vertical dengan sudut 0° akan membuat pemantulan yang mengakibatkan sinar laser dihalangi.
2. Penambahan frekuensi dan power jelas membuat lebar dari motif *marking* meningkat dikarenakan peningkatan divergence yang dipengaruhi energi yang diaplikasikan.
3. Parameter kecepatan membuat penembakan bagi frekuensi yang lebih besar mendapatkan kedalaman *marking* yang lebih tinggi dikarenakan kecepatannya cukup besar untuk membuat pemantulan dari energi berkurang
4. Parameter kecepatan dimungkinkan akan mengubah kekasaran dari permukaan benda kerja. Walau demikian, hal ini harus dapat di validasi lebih lanjut

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada para dosen di fakultas teknik mesin UKI yang memberikan masukan, opini, dan ilmu pengetahuan. Kepada PT Kawan Lama yang

memberikan tempat dalam hal pelaksanaan eksperimen untuk Laser marking. Kepada PT Mitutoyo yang memberikan tempat dalam hal pengujian, khususnya dalam hal kedalaman dan mikrostruktur. Kepada Universitas Udayana yang memfasilitasi publikasi dari paper ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Qi, K. L. Wang, and Y. M. Zhu, “A study on the laser marking process of stainless steel,” *J. Mater. Process. Technol.*, vol. 139, no. 1–3, pp. 273–276, 2003.
- [2] L. Sobotova and P. DEMEC, “Laser marking of metal materials,” *Carbon*, vol. 26, no. 8, p. 59, 2015.
- [3] D. K. Patel and D. M. Patel, “Parametric Optimization of Laser Engraving Process for different Material using Grey Relational Technique-A Review,” *Patel Al*, vol. 3, no. 4, 2014.
- [4] M. Kučera, M. Švantner, and E. Smazalová, “Influence of laser marking on stainless steel surface and corrosion resistance,” in *METAL 2014-23rd International Conference on Metallurgy and Materials*, pp. 890–895, 2014.
- [5] E. F. Pieretti and M. D. M. das Neves, “Influence of laser marks on the electrochemical behaviour of the ASTM F139 stainless steel for biomedical application,” *Int. J. Electrochem. Sci.*, vol. 11, pp. 3532–3541, 2016.
- [6] A. A. Cenna and P. Mathew, “Analysis and prediction of laser cutting parameters of fibre reinforced plastics (FRP) composite materials,” *Int. J. Mach. Tools Manuf.*, vol. 42, no. 1, pp. 105–113, 2002.
- [7] A. Goeke and C. Emmelmann, “Influence of laser cutting parameters on CFRP part quality,” *Phys. Procedia*, vol. 5, pp. 253–258, 2010.
- [8] J. Hecht, *Understanding Lasers: An Entry-Level Guide*. John Wiley & Sons, 2011.
- [9] “FIG. 4. Divergence angle vs incident power.,” *ResearchGate*. https://www.researchgate.net/figure/Divergence-angle-vs-incident-power_fig4_224491896 (accessed Jul. 18, 2020).
- [10] D. A. Hutauruk, “STUDI PENGARUH LAKUPANAS ANILING TERHADAP RESIDUAL STRESS PADA BAJA TAHAN KARAT 304L,” *J. Kaji. Ilm. UBJ*, vol. 15, no. 1, pp. 20–31, 2015.