

# Pengukuran Kekasaran Permukaan Plat Aluminium Hasil Pemotongan *Laser Cutting* Dan *Cnc Milling Pc-Based*

Dani Anggoro Hasan<sup>1</sup>, Herianto<sup>2</sup>

Diploma Teknik Mesin Sekolah Vokasi UGM<sup>1</sup>  
dani.anggoro@ugm.ac.id  
Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM<sup>2</sup>

## Abstrak

Material plat aluminium termasuk material yang biasa dijumpai untuk membuat produk. Sifat dari aluminium sering menjadi pertimbangan dalam pemilihan material, seperti ringan, tahan karat, tampilan estetika yang baik, mudah dibentuk. Dalam proses pembuatan produk, plat harus melalui proses pemotongan. Teknik pemotongan banyak dijumpai seperti *shearing*, *blanking*, *punching*, *plasmacutting*, *laser cutting*. Masing-masing metode memiliki kelebihan dan kekurangan. Dalam membuat produk dengan ukuran dan bentuk yang kompleks, akan lebih mudah dilakukan pemotongan dengan *laser cutting*. Permasalahan timbul jika bentuk produknya menggunakan material plat aluminium. Proses pemotongan plat aluminium dengan mesin laser harus menggunakan mesin laser berkapasitas besar. Dari sisi ekonomi menjadikan biaya pemotongan mahal.

Untuk mengatasi ketergantungan pemotongan plat aluminium dengan *laser cutting* maka dikembangkan pemotongan dengan mesin *milling*. Diperlukan alat tambahan untuk memegang plat aluminium 2mm pada meja mesin *milling* yaitu dengan alat cekam *vacuum*. Penelitian dilakukan untuk mengetahui nilai kekasaran hasil pemotongan dengan mesin *laser cutting* dan hasil pemotongan dengan mesin *milling*. Parameter mesin *milling* yang diatur adalah kecepatan *spindle* 1590, 2120, 2650rpm, kecepatan *feeding per tooth* 0.003, 0.004, 0.007, dan kedalaman pemotongan 0.2, 0.4, 0.6mm.

Kesimpulan yang didapat bahwa hasil pemotongan dengan mesin *laser cutting* sangat baik dengan nilai Ra 5.3165µm. Nilai kekasaran permukaan hasil pemotongan mesin *milling* berkisar antara 3.83µm sampai 12.49µm. Dengan ini membuktikan bahwa pemotongan dengan mesin *milling* dapat menghasilkan produk dengan nilai kekasaran yang lebih baik.

Kata Kunci: CNC *milling*, plat aluminium, cekam vakum, kekasaran permukaan.

## 1. Pendahuluan

Material plat adalah salah satu material yang penting untuk membuat sebuah produk. Dari peralatan memasak di dapur, peralatan elektrik, hingga produk otomotif seperti panel mobil dibuat menggunakan material plat. Jenis material plat terdiri dari logam ferro dan non ferro. Masing-masing memiliki kelebihan dan kelemahan yang berbeda sesuai dengan desain pembuatan produk. Seperti kelebihan material plat aluminium memiliki karakter tahan cuaca, anti karat, mudah dibentuk, dan memiliki tampilan estetika yang baik. Plat aluminium juga banyak digunakan sebagai bahan dasar di industri seperti, industri alat dapur, perusahaan karoseri, perusahaan konstruksi bangunan dll. Dalam membuat produk dari plat aluminium terdapat beberapa pilihan alat, seperti proses pemotongan lurus dapat dengan *shearing*. Gustafson (2014) meneliti bahwa proses pemotongan *sheet metal* dengan *shearing* terdapat campuran gaya potong dengan gaya gesek yang merupakan *losses*. Gaya gesek terjadi dan mempengaruhi besar gaya potong ke arah sumbu x ( $F_x$ ). *Clearance stability* juga berpengaruh terhadap keseimbangan gaya potong pada *sheet metal*. Konfigurasi cekam 1 sisi atau cekam 2 sisi berpengaruh terhadap gaya potong. Cekam 2 sisi menjadikan material lebih *fixed* dan gaya potong

lebih kecil dari cekam 1 sisi. Metode pemotongan lainnya seperti *blanking*. Zafer dkk (2007) meneliti proses pemotongan dengan metode *blanking*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan *clearance* semakin sempit maka area *smooth-sheared* dan gaya potong meningkat. Sedangkan saat *clearance* semakin lebar maka area halus bekas potongan berkurang dan gaya potong berkurang. Disarankan untuk memilih *clearance* yang kecil karena untuk menghasilkan permukaan bekas potongan yang halus. Pemotongan plat lainnya dengan mesin *laser cutting*. Akhtar dkk (2014) memodelkan pemotongan dengan *laser cutting* pada plat aluminium 2024 tebal 2mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pemotongan dengan *laser cutting* tidak mengakibatkan retakan (*crack*) dipermukaan. Bentuk lelehan pada bentuk potongan persegi 1mm lebih banyak daripada persegi ukuran 5mm. Bentuk persegi besar (5mm) lelehan lebih sedikit karena pengaruh proses pendinginannya. Daniel (2014) membandingkan teknik pemotongan material yang paling tepat diantara pemotongan laser, plasma, atau *water jet*. Kesimpulan pemilihan paling disarankan dengan *water jet*, karena dapat memotong untuk segala material, baja besi, keramik, aluminium, gelas, dan plastik. Tidak berlaku batasan nilai konduktivitas material dan nilai refleksi cahaya,

ramah lingkungan karena tidak menyebarkan *fumes* diudara. Tidak menimbulkan deformasi thermal seperti laser dan plasma dan permukaan hasil potongannya halus. Kelemahan *water jet* adalah tidak dapat memotong secepat plasma atau laser sehingga biaya operasi lebih banyak.

Saat ini pemotongan plat berbentuk profil hanya dapat dilakukan dengan laser. Permasalahan timbul jika pemotongan plat dalam jumlah satuan dan material plat adalah aluminium, yaitu biaya pemotongan mahal karena pemotongan harus menggunakan mesin laser berkapasitas besar. Oleh karena mahalnya memotong plat aluminium dengan laser maka perlu dipikirkan cara alternative untuk mengatasi ketergantungan dengan laser cutting. Salah satu alternative yaitu dengan mesin CNC *milling*. Kelebihan mesin *milling* dibandingkan metode pemotongan diatas adalah tidak diperlukan investasi metode (mesin/die) baru, biaya operasional rendah, akurasi baik dan dapat memotong aluminium, komposit dan material lain. Kelemahan mesin *milling* adalah kekerasan benda kerja dibatasi oleh kekuatan alat irisnya.

Pengembangan pada proses *milling* berikutnya adalah pembuatan alat tambah agar mesin *milling* dapat memotong plat tipis seperti mesin *shearing* atau *blanking* tetapi tanpa memerlukan cetakan (dies) dan seperti *laser cutting* dengan kelebihan dapat memproses material logam, non logam dan polymer.

Untuk mengatasi masalah pemasangan plat pada mesin *milling*, maka dirancang sebuah sistem cekam vakum. Alat ini diharapkan akan dapat mengembangkan kemampuan mesin *milling* untuk proses material plat tipis. Dengan cekam vakum dapat pula digunakan untuk jenis permesinan lain untuk membuat bentuk atau profil yang kompleks, yang sulit untuk dipasang pada cekam konvensional.

Hasil pemotongan akan dibandingkan antara hasil pemotongan dengan *laser cutting* dan pemotongan dengan mesin CNC *milling*. Parameter amplitudo kekasaran permukaan yang sering digunakan adalah *roughness average* (Ra), *root-mean-square roughness* (Rq), dan *maximum peak-to-valley roughness* (Ry atau Rmax). Pengukuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah Ra. Kekasaran rata-rata (*average roughness*) Ra, adalah nilai integral absolut dari tinggi profil kekasaran sepanjang pengamatan Menurut Taufiq Rochim (2001), Ra adalah harga rata-rata aritmetik dibagi harga absolutnya jarak antara profil terukur dengan profil tengah dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Dengan: } R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx \text{ } \mu\text{m}$$

Ra = simpangan rerata perhitungan dari rata-rata garis

L = panjang *sampling* pengukuran

y = ordinat kurva profil

Penelitian ini menggunakan alat ukur *Surfcoder SE-1700 Roughness Tester* untuk pengukuran kekasaran permukaan (gambar 1).



Gambar 1. *Surfcoder SE-1700 Roughness Tester*

## 2. Metode

Metode eksperimen pada penelitian ini menggunakan metode Taguchi. Tujuan utama desain eksperimen Taguchi adalah meminimalkan variabilitas proses atau produk, menjadikan desain yang kokoh (*robust*), dan fleksibel terhadap kondisi lingkungan. Cara yang digunakan dalam desain eksperimen ini adalah *Orthogonal array* untuk mempelajari *layout* desain parameter dan *Signal to Noise Ratio* (S/N Ratio) untuk indikator kualitas dan meminimalkan sensitivitas karakteristik kualitas. Proses pemesinannya menggunakan CNC Mill PC-Based. Pahat menggunakan End Mill HSS *4flute* merk *Nachi*.

Langkah-langkah penelitian ini adalah:

### 1. Pemilihan karakter kualitas

Karakteristik kualitas yang digunakan adalah *smaller the better*. Hal ini karena nilai kekasaran permukaan yang paling kecil adalah nilai yang paling baik.

### 2. Pemilihan faktor bebas dan terikat

Faktor bebas yang dipilih dalam penelitian ini adalah kecepatan *spindle*, laju pemakanan, kedalaman pemakanan, Berikut desain level (faktor) parameter eksperimen *Taguchi* (tabel 1).

Tabel 1. Desain level (faktor) parameter eksperimen *Taguchi*

A. <i>Spindel Speed</i> (Rpm)	A1: 1590	A2: 2120	A3: 2650
B. <i>Feed per tooth</i> (mm/tooth)	B1: 0.003	B2: 0.004	B3: 0.007
C. <i>Depth of cut</i> (mm)	C: 0.2	C: 0.4	C: 0.6

### 3. Pemilihan *Orthogonal array*

Penelitian ini menggunakan 3 faktor kontrol yaitu A, B, dan C, serta masing-masing

faktor mempunyai 3 level. Berdasarkan perhitungan derajat kebebasan yang berjumlah 8 digunakan matriks *Orthogonal array* yang nilai derajat kebebasan sama atau lebih besar yaitu  $L9(3^3)$  seperti yang ditunjukkan tabel 2.

Tabel 2. Tabel *Orthogonal Array*

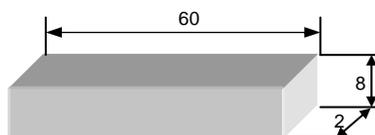
eksperimen	1	2	3
1	1	1	2
2	1	2	3
3	1	3	1
4	2	1	3
5	2	2	1
6	2	3	2
7	3	1	1
8	3	2	2
9	3	3	3

Tabel 3. Data Eksperimen sesuai pada Tabel *Orthogonal Array*

eksperimen	1 (RPM)	2(mm/tooth)	3(mm)
1	1590	0.003	0.4
2	1590	0.004	0.6
3	1590	0.007	0.2
4	2120	0.003	0.6
5	2120	0.004	0.2
6	2120	0.007	0.4
7	2650	0.003	0.2
8	2650	0.004	0.4
9	2650	0.007	0.6

#### 4. Pelaksanaan Pengujian

Langkah awal penelitian adalah pembuatan *specimen*. Material yang digunakan adalah plat aluminium 2mm dipotong dengan bentuk kotak (gambar 2). Program G code dibuat dengan bantuan software untuk memudahkan setting dan melihat simulasi permesinan.

Gambar 2. Bentuk *specimen*

Material plat dipasang pada alat cekam vakum. Setelah pompa vakum dinyalakan amati kekuatan hisapnya pada *vacuum gauge*, jika belum maksimal berarti terjadi kebocoran. Kebocoran vakum bisa terjadi pada material plat atau pada sambungan-sambungan selang. Proses *milling* pembuatan *specimen* (gambar 3).

Gambar 3. Proses *vacuum clamp* pada mesin CNC PC-Based

Jumlah penelitian adalah sembilan eksperimen dengan masing-masing 3 replikasi sehingga ada 27 percobaan. Setelah proses pemesinan dilakukan pengukuran kekasaran permukaan dengan Surfcoeder SE-1700.

Sebagai pembandingan adalah hasil pemotongan plat aluminium dengan mesin laser. Mesin laser yang digunakan seperti gambar 3.



Gambar 4. Mesin Laser TLF 3200

### 3. Hasil dan Pembahasan

Pengukuran awal dilakukan pada material pemotongan dengan mesin laser. Nilai kekasaran yang didapat tertulis pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan (Ra) Laser cutting

Laser				
Ra 1	Ra 2	Ra 3	Ra 4	Rata2
5.149	4.701	6.116	5.3	5.3165

Setelah *specimen* pemotongan dengan mesin *milling* siap dilakukan pengukuran dan hasilnya ada pada tabel 4.

Data hasil pengujian diolah untuk mendapatkan nilai rata-rata, standar deviasi, dan SNR untuk masing-masing kombinasi.

$$\text{Rata-rata} = \bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

$$\text{Standar Deviasi} = \sigma = \sqrt{\frac{\sum (y_i - \bar{y})^2}{n-1}}$$

$$\text{SNR} = \eta_i = -10 \log_{10} [y^2 + \bar{y}^2]$$

Tabel 4. Hasil Pengukuran Kekasaran Permukaan (Ra) milling

Hasil Surface Roughness Plat 2mm				STD	rasio S/N
Ra 1	Ra 2	Ra 3	Rata2	DEV	
5.989	6.024	5.834	5.949	0.1011	-15.49
9.666	9.281	8.229	9.058667	0.7439	-19.17
11.07	11.78	14.61	12.48667	1.8728	-22.026
4.709	6.555	6.463	5.909	1.0402	-15.563
3.206	3.535	3.409	3.383333	0.166	-10.597
11.7	12.12	10.53	11.45	0.824	-21.199
10.28	5.726	7.488	7.831333	2.2963	-18.235
8.518	10.19	11.62	10.10933	1.5526	-20.196
7.298	11.3	7.506	8.701333	2.2529	-19.074

Data pengukuran digunakan untuk mengetahui respon dari pengaruh faktor. Dari tabel 4 dihitung nilai respon parameter

$$\text{Alevel 1} = \frac{5.949 + 9.058 + 12.486}{3} = 9.16$$

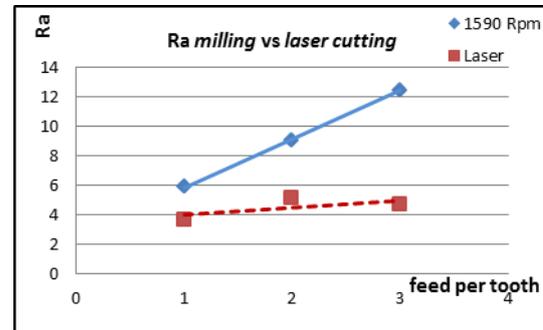
Efek untuk faktor A= rata-rata respon terbesar-rata-rata respon terkecil.(tabel5).

Tabel 5. Respon Rata-rata Kekasaran Permukaan dari Pengaruh Faktor

Parameter	Level			Selisih	Ranking
	1	2	3		
A. Spindel speed(m/min)	9.1	6.9	9.4	2.57	2
B.Feed per tooth(mm/tooth)	6.5	7.5	11.	4.92	1
C. Depth of cut (mm)	9.1	8.4	7.9	1.26	3

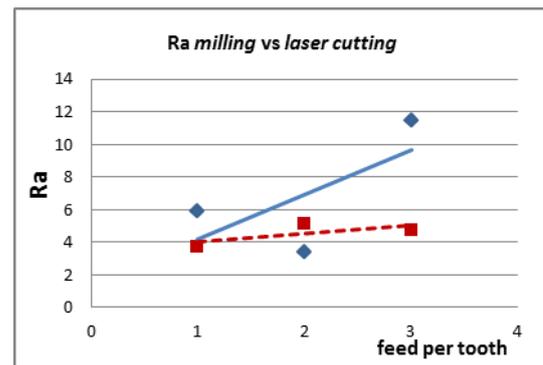
Dari tabel 5 diketahui bahwa faktor paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan adalah feeding, kemudian spindle speed, dan terakhir adalah kedalaman pemakanan.

Dari nilai kekasaran permukaan pemotongan milling dibandingkan dengan nilai kekasaran hasil potong laser ditampilkan dalam bentuk grafik berikut (gambar5).



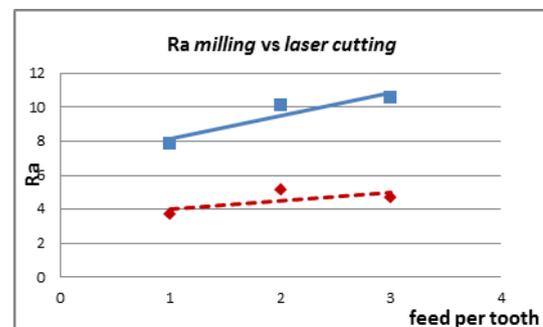
Gambar 5. Grafik Spindel Ra milling 1590 Rpm vs Laser

Pada kecepatan spindle pada 1590 Rpm dan pengaturan feeding menghasilkan kenaikan signifikan nilai kekasaran permukaan. Hal ini karena putaran spindle terlalu rendah untuk feeding lebih dari 0.003fpt.



Gambar 6. Grafik Spindel Ra milling 2120 Rpm vs Laser

Pada gambar 6 menunjukkan bahwa setting kecepatan 2120Rpm dan feeding 0.003fpt dapat mendekati nilai kekasaran pemotongan laser.



Gambar 7. Grafik Spindel Ra milling 2650 Rpm vs Laser

Gambar 7 menunjukkan bahwa kecepatan spindle 2650 menghasilkan kemiringan garis tren mirip dengan garis tren pemotongan laser.

#### 4. Kesimpulan

Proses pemotongan plat aluminium pada mesin CNC *milling* dengan alat bantu cekam vakum telah berhasil dilakukan. Nilai kekasaran permukaan hasil potongan dengan pengaturan parameter CNC *milling* telah didapat. Nilai kekasaran pemotongan mesin laser dapat dicapai dan dapat pula dilewati oleh nilai pemotongan *milling*. Ini artinya hasil pemotongan *milling* dapat dibuat lebih halus dari pemotongan laser. Pemilihan parameter spindel yang tepat dan feeding yang rendah maka dihasilkan hasil potongan yang halus. Akibat setting mesin *milling* dengan feeding rendah dapat mengakibatkan proses pemotongan menjadi lama. Mengatasi waktu proses yang lama dapat menggabungkan feeding cepat saat roughing dan feeding rendah saat finishing sehingga hasil potongan halus.

#### Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Bapak Dosen di Teknik Mesin Fakultas Teknik UGM, Bapak-bapak Dosen di Diploma Teknik Mesin UGM, Staf Laboratorium FT dan SV UGM dan Rekan.

#### Daftar Pustaka

Akhtar, S, OmerOzgurKardas, OmerKeles, BekirSamiYilbas, (2014)

*Laser cutting of rectangular geometry into aluminum alloy : Effect of cut sizes on thermal stress field* Optics and Lasers in Engineering,61, 57–66

Gustafssona, M. Oldenburgb, A. Janssonc (2014), *Design and validation of a sheet metal shearing experimental procedure*. Journal of Materials Processing Technology 214 (2014) 2468–2477

Krajcarz, D (2014), *Comparison Metal Water Jet Cutting with Laser and Plasma Cutting*, 24th DAAAM International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation, 2013\* Procedia Engineering 69 838 – 843

Pilny', L , Chiffre, L ,(2012), Miroslav Pi's`ka b, Morten F. Villumsen, *Hole quality and burr reduction in drilling aluminium sheets*, Journal of Manufacturing Science and Technology 5, 102–107