

OPTIMASI PARAMETER PEMOTONGAN MESIN BUBUT CNC TERHADAP KEKASARAN PERMUKAAN DENGAN *RESPONSE SURFACE METHODOLOGY (RSM)* PADA MATERIAL AI-6061

Sudjatmiko¹⁾, Darto,²⁾ Rusdijanto,³⁾

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Merdeka Malang^{1,2,3)}
Email: djatmiko.mlg@gmail.com¹⁾, darto_unmer@yahoo.com²⁾, rusing27@gmail.com³⁾

ABSTRACT

Research lathe machining process, carried out on workpiece material T-6061 aluminum and the HSS. The problem is that a large beaker radius chip, spindle rotation and eat optimum motion to produce lathe AI-6061 with a surface that is smooth, safe and capable of producing a high production capacity with a cutting depth (depth of cut) is constant.

Optimized cutting parameters selection is very important to control the quality of the product surface cylindrical form of AI-6061 is to optimize for spindle rotation, movements meal and corner radius (Chip) furious breaker using two measures of performance, metal removal rate and the surface roughness.

Response Surface Methodology (RSM). Alleged best regression model to speed snarled income (MRR) at a rate of 95% at $n = 900$ rpm, $f = 115$ mm / put and $RCB = 1.25$ mm is $\hat{y} = 72,291 + 26,827x_1 + 88,594 x_2 + 82,765x_3 + 0,4x_1^2 + 5,056x_2^2 + 1,525x_3^2 - 5,288x_1 x_2 + 0,845x_1 x_3 + 3,35 x_2 x_3$. While allegations of the best regression model for surface roughness (SR) at a rate of 95% at $n = 900$ rpm, $f = 115$ mm / put and $RCB = 1.25$ mm adalah: $\hat{y} = 0,9005 - 0,1285 x_1 + 0,064 x_2 - 0,125 x_3 + 0,68 x_1^2 + 0,0164x_2^2 + 0,1135x_3^2 - 0,128x_1x_2 + 0,0655x_1 x_3 + 0,14x_2x_3$. A regression model be able to describe the relationship between the combination of cutting parameters and radius chip breaker produced maximum metal removal rate and minimum surface roughness. Spindle rotation is the dominant influence on the surface roughness, whereas eating motion and spindle rotation is very influential on the metal removal rate, followed by radius chip breaker. Results obtained by iterative optimization using Response Optimizer for surface roughness (SR) at $n = 950$ rpm, $f = 90$ mm / put and $RCB = 1.44$ mm resulted SR $0.360 \mu\text{m}$, while the Response Optimizer on MRR at $n = 950$ rpm, $f = 90$ mm / put and RCB generate MRR = 1.44 mm 39.55 mm³ / sec.

Key words : *Material Removal Rate, Optimizer Response, chip breaker, surface roughness*

1. PENDAHULUAN

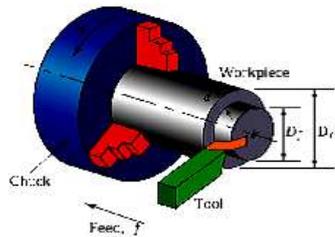
Dalam melakukan proses pemesinan *turning*, waktu yang dibutuhkan untuk membuat suatu produk/komponen harus sesingkat mungkin agar dapat mencapai kapasitas produksi yang tinggi. Untuk mencapai waktu minimal, parameter pemotongan harus diatur pada kondisi maksimum agar menghasilkan kecepatan penghasilan geram

yang tinggi..Akan tetapi disisi lain kekasaranpermukaan suatu produk/komponen menjadi lebih kasar.Parameter pemesinan dalam proses *turning* meliputi kecepatan potong, gerak makan, dan kedalaman pemotongan. Dalam aplikasinya ketiga parameter tersebut saling bergantung satu terhadap yang lain dalam mempengaruhi kecepatan penghasilan geram dan kekasaran permukaan. Gerak makan sangat mempengaruhi kekasaran permukaan, diikuti kecepatan potong, dan kedalaman pemotongan dengan mempergunakan *Response Surface Methodology* [1].Parameter pemotongan dan radius pahat digunakan untuk mengeksplorasi pengaruhnya terhadap kekasaran permukaan (Ra) dari benda kerja [2].Percobaan telah dilakukan dengan menggunakan faktorial lengkap dalam perancangan eksperimen (*DOE*) menggunakan mesin bubutCNC [3].Kesimpulan bahwa, gerak makan merupakan faktor yang paling signifikan dalam mempengaruhi kekasaran permukaan lalu diikuti radius pahat (*nose radius*), kecepatan potong, dan kedalaman pemotongan[4].Proses pemesinan yang berkesinambungan terhadap logam atau material ulet, menghasilkan *chip* (geram) yang panas dan tajam. Besar kecilnya ukuran *chip* menjadi perhatian yang serius untuk keselamatan pekerja pemesinan. Ketika *chip* dapat menggulung pada permukaan benda kerja akibat adanya putaran, pada akhirnya dapat mempengaruhi kekasaran permukaan dan waktu penyelesaian produk. Untuk mengontrol pembentukan geram yang berlebihan tersebut, maka geometri pahat yang digunakan dilengkapi *chip breaker* [5]. Permasalahannya adalah besar *radiuschip beaker*, putaran dan gerak makan yang optimum untuk menghasilkan produk bubut Al-6061 dengan permukaan yang halus, aman dan mampu menghasilkan kapasitas produksi yang tinggi [6].Dengan mempertimbangkan faktor-faktor tersebut di atas, maka dipandang perlu untuk melakukan penelitian lanjutan terkait proses pemotongan menggunakan mesin bubut CNC. Parameter pemotongan yang divariasikan meliputi kecepatan potong (*cutting speed*), gerak makan (*feed rate*), dan geometri pahat yang dilengkapi radius pemutus geram (*chip breaker radius*).Tujuan penelitian ini, untuk mendapatkan model matematis yang dapat menggambarkan hubungan antara parameter pemotongan dan *radius chip breaker* dengan kekasaran permukaan dan waktu pemotongan materia [6]. Kondisi optimal yang dimaksud adalah waktu pemotongan material secepat mungkin tetapi memperoleh kekasaran permukaan produk bubut yang sekecil mungkin.

2. TINJAUAN PUSTAKA

(1). Mesin Bubut

Salah satu proses pemesinan yang digunakan pada pemotongan logam adalah proses bubut. Proses ini bertujuan untuk membuang material dimana benda kerja dicekam menggunakan sebuah *chuck* yang berputar pada sumbunya, sedangkan pahat bubut (*tool*) bergerak arah aksial dan radial terhadap benda kerja sehingga proses pemotongan terjadi, menghasilkan permukaan yang konsentris dengan sumbu putar benda kerja. Skematis dari proses bubut dapat dilihat pada gambar 2.1, dimana n adalah putaran poros utama (*spindle*), f adalah gerak makan (*feeding*), dan d adalah kedalaman pemakanan (*depth of cut*) [7].



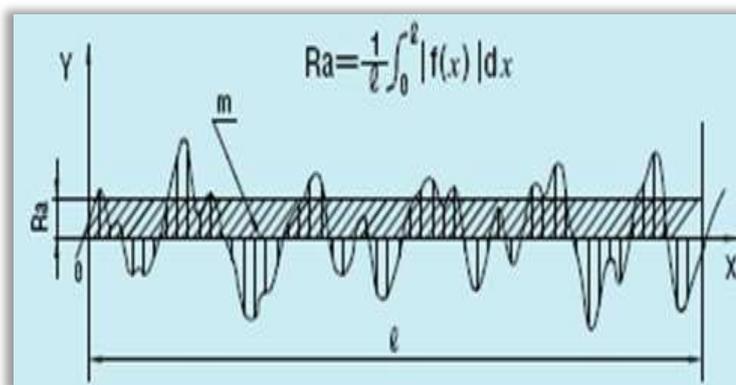
Gambar 1 Proses Bubut [7]

(2). Parameter pemesinan [4]

- Kecepatan potong (*Cutting speed*) $v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ m min}^{-1}$ (1)
- Kecepatan makan (Pemakanan) ($V_f = f \times n \text{ (mm.min}^{-1}\text{)}$)
- Kedalaman Potong (d_{cut}) $d_{cut} = \frac{D-d}{2} \text{ mm}$ (2)
- Waktu Pemotongan (t_c) $t_c = \frac{L_t}{v_f} \text{ min}$ (3)

(3). Kekasaran Permukaan (SR)

Kekasaran permukaan adalah salah satu penyimpangan yang disebabkan oleh kondisi pemotongan dari proses pemesinan. Oleh karena itu, untuk memperoleh produk bermutu berupa tingkat kepresisian yang tinggi serta kekasaran permukaan yang baik, perlu didukung oleh proses pemesinan yang tepat. Karakteristik kekasaran permukaan dipengaruhi oleh faktor kondisi pemotongan dan geometri pahat [8]. Gambar 2 menunjukkan rerata luasan dari potongan kurva kekasaran.



Gambar 2 Profil kekasaran permukaan [8]

Kekasaran permukaan (SR) yang real dapat dihitung atau diketahui dengan melalui pengukuran terhadap benda uji dengan menggunakan alat yang disebut *surface tester*. Sedangkan kecepatan penghasiian geram atau *Material removal rate (MRR)* yang real dapat dihitung dari selisih berat benda kerja sebelum dan sesudah percobaan serta waktu pemesinan (t_c) yang didapat dari pengujian. [9]

$$MRR = \frac{W_i - W_f}{\rho_s t_c} \text{ mm}^3/\text{min} \quad (4)$$

dimana,

W_i = berat benda kerja sebelum diproses (gram)

W_f = berat benda kerja setelah diproses (gram)

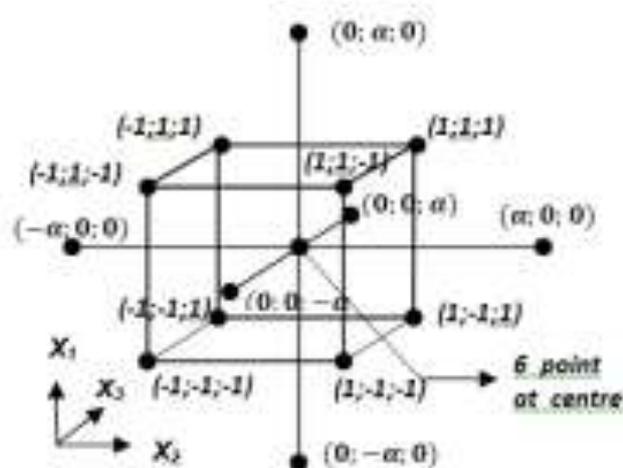
ρ_s = massa jenis benda kerja (kg/m^3).

t_c = Waktu Pemesinan (menit)

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini material yang dipilih adalah Alumunium Al-6061 [6]dimensinya, yaitu panjang 130 mm dan diameter 22 mm. dengan menggunakan Mesin EMCO TU.CNC-2A. Adapun komposisi kimianya adalah; 0,2500% Cu, 0,6050 % Si, 0.1820 % Fe, 0.0086 % Mn,0.8810% Mg,0.1120 % Cr,0.006 % 0.0108 % Zn, 0.0182 % Ti,0.0021 %Na, 0.0005 % Ca, 0.0044 % Ni, 0.0006 % Sn,Al.97.9 balance [5]. Pahat bubut yang digunakan adalah HSS S700 yang dilengkapi dengan radius *chip breaker*. Adapun komposisi kimianya; terdiri dari 1,25% C, 0,40% Cr, 3,60% Mo, 3,20% V, 9,30% W, dan 10% Co.[6]. Kecepatan potong (V_c), gerak makan (f_d), dan *radius chip breaker*(R_{cb}) divariasikan lalu dianalisa pengaruhnya terhadap kekasaran permukaan dan kecepatan penghasiian geram. Kombinasi-kombinasi yang dapat dilakukan terhadap ketiga variabel bebas berdasarkan *Response Surface Methodology*

(RSM), dimana untuk mendapatkan kecocokan model digunakan *Central Composite Second Order Rotatable Design*. Jumlah variabel penelitian $k = 3$ ($2^k = 8$), titik perpotongan (*star points*) sebesar $2k$ berarti 6, dan untuk menambah ketelitian terhadap respon yang diharapkan dengan 3 variabel maka ditambahkan 6 eksperimen sebagai titik pusat (*center points*), sehingga diperoleh jumlah total penelitiannya (N) adalah 20 kali (gambar 3) [3,10].



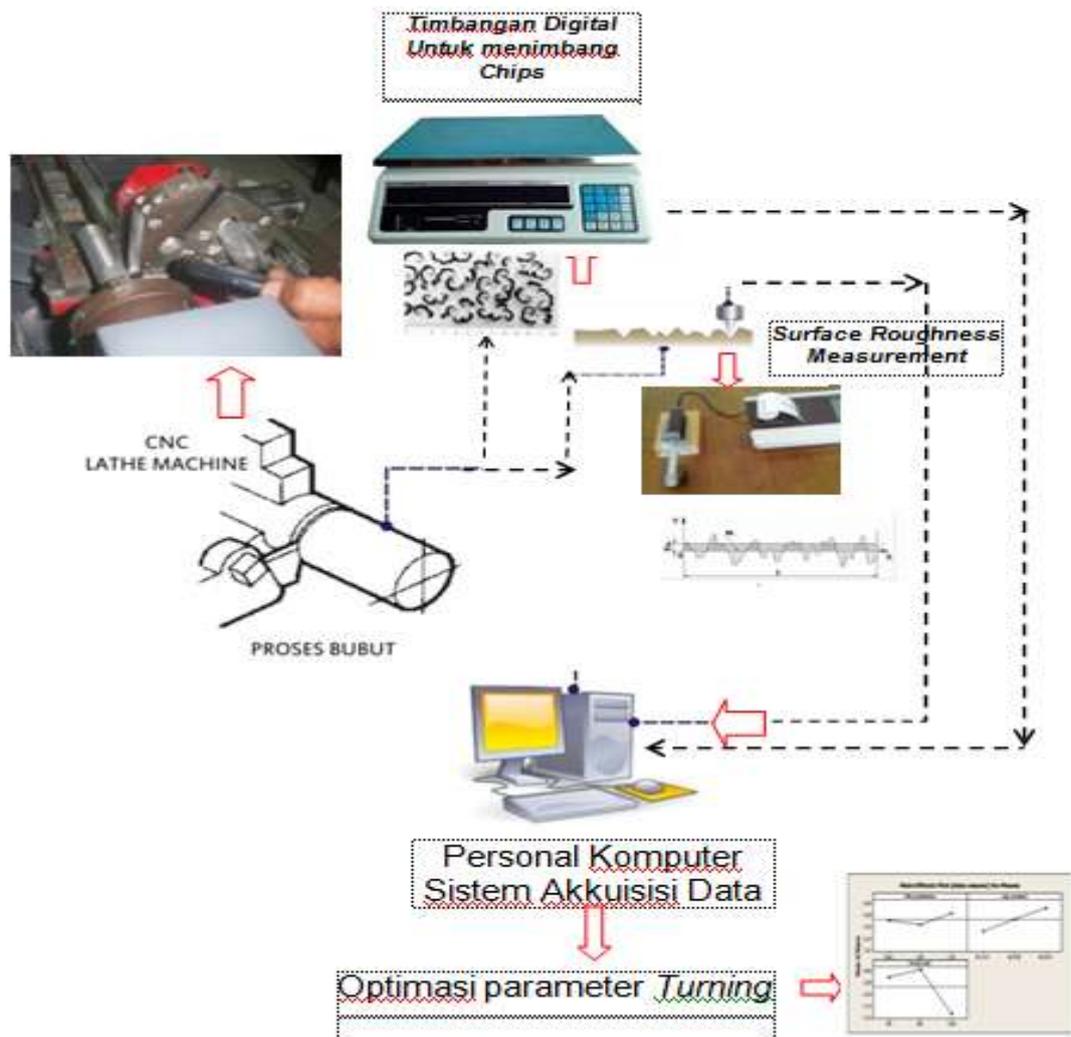
Gambar 3. Titik-titik eksperimen untuk 3 variabel [3]

Proses pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan metoda 2^n faktorial dengan mengambil 3 level faktor, yang terdiri dari -1; 0; dan 1 ditambah 2 level pada titik aksial (1,682 dan -1,682). Jadi 5 level yang dimaksud seperti ditunjukkan pada tabel 1. menjadi suatu rancangan penelitian sesuai *surface response* pada *software MINITAB* 17[11]. Selanjutnya dilakukan pengujian untuk mendapatkan waktu pemotongan (t_c), kecepatan penghasilan geram (MRR) dan kekasaran permukaan (SR).

Tabel.1 Nilai dari variasi variabel untuk level yang Berbeda [6]

| Level | -1,682 | -1 | 0 | 1 | 1,682 |
|-------------|--------|------|------|------|-------|
| Variabel | | | | | |
| n (m/min) | 500 | 750 | 900 | 1100 | 1300 |
| fd (mm/rev) | 50 | 70 | 110 | 150 | 180 |
| Rcb (mm) | 0,75 | 1,00 | 1,25 | 1,50 | 1,75 |

Adapun skema diagram untuk pelaksanaan penelitian diperlihatkan gambar 4.



Gambar 4. Skema Setting alat penelitian dan pemrosesan data[6]

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

(1). Data Hasil pengujian bubut

Pengukuran kekasaran permukaan (SR) dan perhitungan kecepatan penghasilan geram (MRR) terhadap semua benda uji telah dilaksanakan sesuai dengan jumlah total penelitian yang dibuat, hasilnya dapat ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengukuran data Pembubutan [6]

| No. | kode Variabel | | | n (Put/menit) | f (mm/rev) | Radius chip breaker (Rcb) (mm) | Kecepatan Penghaluan Gerak (MRR) (mm ³ /detik) | Kekasaran permukaan (SR) (μ m) |
|-----|---------------|--------|--------|------------------|------------|---|--|--|
| 1 | -1 | -1 | -1 | 750 | 70 | 1,00 | 35,4 | 0,55 |
| 2 | 1 | -1 | -1 | 1100 | 70 | 1,00 | 35,1 | 0,46 |
| 3 | -1 | 1 | -1 | 750 | 150 | 1,00 | 75,6 | 0,84 |
| 4 | 1 | 1 | -1 | 1100 | 150 | 1,00 | 59,8 | 0,63 |
| 5 | -1 | -1 | 1 | 750 | 70 | 1,50 | 30,7 | 0,48 |
| 6 | 1 | -1 | 1 | 1100 | 70 | 1,50 | 34,7 | 0,41 |
| 7 | -1 | 1 | 1 | 750 | 150 | 1,50 | 87,3 | 1,68 |
| 8 | 1 | 1 | 1 | 1100 | 150 | 1,50 | 69,8 | 0,79 |
| 9 | -1,682 | 0 | 0 | 500 | 110 | 1,25 | 55,7 | 1,11 |
| 10 | 1,682 | 0 | 0 | 1300 | 110 | 1,25 | 48,7 | 0,30 |
| 11 | 0 | -1,682 | 0 | 900 | 110 | 1,25 | 48,7 | 0,50 |
| 12 | 0 | 1,682 | 0 | 900 | 110 | 1,25 | 54,6 | 0,57 |
| 13 | 0 | 0 | -1,682 | 900 | 110 | 1,25 | 54,6 | 0,46 |
| 14 | 0 | 0 | 1,682 | 900 | 110 | 1,25 | 46,9 | 0,40 |
| 15 | 0 | 0 | 0 | 900 | 110 | 1,25 | 47,8 | 0,49 |
| 16 | 0 | 0 | 0 | 900 | 110 | 1,25 | 47,8 | 0,55 |
| 17 | 0 | 0 | 0 | 900 | 50 | 1,25 | 34,8 | 0,36 |
| 18 | 0 | 0 | 0 | 900 | 180 | 1,25 | 92,2 | 0,75 |
| 19 | 0 | 0 | 0 | 900 | 110 | 0,75 | 64,1 | 1,41 |
| 20 | 0 | 0 | 0 | 900 | 110 | 1,75 | 48,7 | 0,47 |

(2). Analisa Kekasaran Permukaan (SR)

Untuk memperoleh koefisien regresi kekasaran permukaan (*SR*) terhadap kecepatan potong, gerak makan, dan *radius chip breaker*., dilakukan analisis dengan menggunakan *uncoded units*. Berikut hasil *response surface* dengan variabel respon kekasaran permukaan.pada tabel 5.Untuk memperoleh koefisien regresi kekasaran permukaan (*SR*) terhadap kecepatan potong, gerak makan, dan radius *chip breaker*., dilakukan analisis dengan menggunakan *uncoded units*. Berikut hasil *response surface* dengan variabel respon kekasaran permukaan [*SR* (μ m) versus Putaran (rpm), gerak makan(mm/putaran)].

Penjelasan dari tabel 3 hasil analisis diatas dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Pengujian secara simultan pengaruh antara putaran spindle, gerak makan, dan radius *chip breaker* terhadap kekasaran permukaan diperoleh nilai F_{hitung} sebesar

0,1860 dan nilai Sig F sebesar 2,74. Karena nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($2,74 > 2,54$) dan $Sig F > \alpha$ ($0,066 > 0,05$), maka dapat disimpulkan terdapat pengaruh simultan antara putaran spindel, gerak makan, radius *chip breaker* terhadap kekasaran permukaan.

2. Adapun hipotesisnya adalah sebagai berikut :

H_0 : Tidak ada *lack of fit*

H_1 : Ada *lack of fit*

Hipotesa awal yang mengatakan tidak ada *lack of fit* berarti model yang dibuat telah sesuai dengan data, sedangkan hipotesa alternatif berarti model yang telah dibuat belum mewakili data. Hipotesa awal (H_0) akan ditolak bila p-value kurang dari α .

Sebaliknya, hipotesa awal akan diterima apabila p-value melebihi α . Pada tabel 3, menunjukkan p-value hasil uji lack of fit bernilai 0,000 menggunakan level signifikansi 5% maka keputusannya akan menerima hipotesa awal yang mengatakan tidak ada lack of fit. Dengan demikian model yang dibuat sesuai dengan data. Analisis varian untuk kekasaran permukaan, menunjukkan hasil uji parameter model dengan menggunakan statistik uji t yang dikonversikan kedalam p-value. Berdasarkan hasil analisis, persamaan modelnya diperoleh [6]:

Tabel 3. Analisis Varian Untuk Kekasaran Permukaan (SR) [6]

| Sumber Variasi | Derajat Kebebasan | Adj SS | Adj MS | F_{hitung} | Sig F |
|--|-------------------|---------|--------|--------------|-------|
| Model | 9 | 1,67462 | 0,1860 | 2,74 | 0,066 |
| Linier | 3 | 1,12814 | 0,3760 | 5,53 | 0,017 |
| Square | 3 | 0,36810 | 0,1227 | 0,38 | 0,015 |
| Interaction | 3 | 0,27841 | 0,3270 | 1,37 | 0,389 |
| Residual Error | 10 | 0,67988 | 0,0679 | | |
| Lack-of Fit | 5 | 0,67079 | 0,1341 | 73,85 | 0,000 |
| Pure Error | 5 | 0,00908 | 0,0082 | | |
| Total | 19 | 2,35450 | | | |
| F tabel (9,16) = 2,54, level signifikan (α) = 5 % | | | | | |

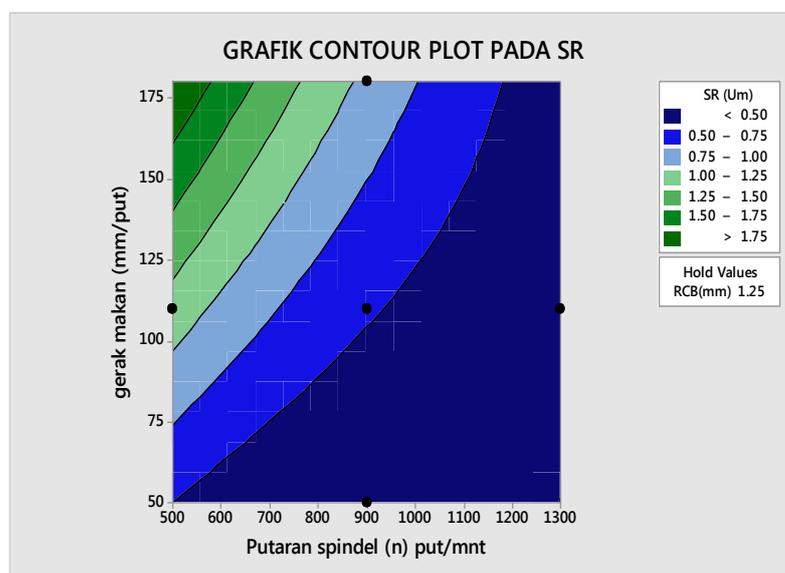
$$\hat{y} = 4,21 + 0,000036(n) - 0,005(fd) - 5,14(Rcb) + 0,000002(n)^2 + 0,000010(fd)^2 + 1,816(Rcb)^2 - 0,000016(nx\ fd) - 0,00131(n \times Rcb) + 0,01400(fd \times Rcb) \quad (5)$$

Selanjutnya hasil persamaan dugaan model regresi terbaik untuk kekasaran permukaan (SR) menjadi :

$$\begin{aligned} \text{SR } (\mu\text{m}) = & 0,9005 - 0,1285 X_1 + 0,064 X_2 - \\ & 0,125 X_3 + 0,68 X_1^2 + 0,0164 X_2^2 + 0,1135 X_3^2 \\ & -0,128 X_1X_2 + 0,0655 X_1X_3 + 0,14 X_2 X_3, \dots (6) \end{aligned}$$

Untuk memeriksa kecukupan model kekasaran permukaan tidak hanya melihat lack of fit, tetapi juga melakukan analisa residual. Ada 3 hal yang harus dilakukan dalam analisis normal probability yaitu memeriksa distribusi probabilitas keseragaman data, analisis residual, yaitu memeriksa kenormalan residual, membuat plot antara residual dengan hasil taksiran respon, dan membuat plot antara residual dengan order (x_j). Salah satu cara untuk menghasilkan kombinasi maksimum

kekasaran permukaan antara putaran spindel, gerak makan, dan radius chip breaker adalah membuat plot kontur kekasaran permukaan yang merupakan fungsi kecepatan potong (V_C), gerak makan (f_d), dan radius chip breaker (R_{cb}). Pada gambar 5 merupakan plot kontur antara putaran spindel, gerak makan dan radius chip breaker, sehingga merupakan salah satu dari kemungkinan kombinasi pendugaan untuk mendapatkan nilai kekasaran yang maksimum. Area kekasaran permukaan berbentuk lingkaran-lingkaran yang berwarna semakin besar lingkarannya semakin halus dan semakin kecil lingkarannya semakin kasar. Oleh karena itu harus dipilih 1 faktor sebagai acuan. Sebagai acuan pendekatan gerak makan (feeding) terdiri dari (50, 115 dan 180) mm/putaran, radius chip breaker dengan radiusnya terdiri dari (0,75; 1,25; dan 1,75) mm.



Gambar 5. Contour Plot of SR (μm) vs gerak makan (mm/put), Putaran spindel (n put/mnt) dengan kondisi Rcb 1,25

(3). Persamaan Kecepatan Penghasilan

Geram (MRR)

Untuk memperoleh koefisien regresi kecepatan penghasilan geram (*Metal Removal Rate/MRR*) terhadap putaran spindle, gerak makan, dan radius *chip breaker*. Analisis dilakukan dengan menggunakan *uncoded units*. Berikut hasil *response surface* dengan variabel respon kecepatan penghasilan geram pada tabel 4. Penjelasan singkat tabel 4 dijelaskan sebagai berikut :

1. Pengujian secara simultan pengaruh antara putaran spindle, gerak makan, dan radius *chip breaker* terhadap kecepatan penghasilan geram diperoleh nilai F_{hitung} sebesar 28,51 dan nilai Sig F sebesar 0,000. Karena nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ ($28,51 > 2,54$) dan $Sig F < \alpha$ ($0,000 < 0,05$), maka dapat disimpulkan terdapat pengaruh simultan antara putaran spindle, gerak makan, radius *chip breaker* terhadap kecepatan penghasilan geram .

2. Adapun hipotesisnya adalah sebagai berikut :

H_0 : Tidak ada lack of fit

H_1 : Ada lack of fit

Tabel 4. Analisis Varian Untuk Kecepatan Penghasilan geram (MRR) [6]

| Sumber Variasi | Derajat Kebebasan | Adj SS | Adj MS | F_{hitung} | Sig F |
|--|-------------------|---------|---------|--------------|-------|
| Model | 9 | 5863,36 | 651,48 | 28,51 | 0,000 |
| Linier | 3 | 5715,24 | 1905,08 | 83,36 | 0,000 |
| Square | 3 | 98,97 | 32,66 | 1,43 | 0,292 |
| Interaction | 3 | 266,64 | 88,88 | 3,89 | 0,044 |
| Residual Error | 10 | 228,53 | 22,85 | - | - |
| Lack-of Fit | 5 | 165,26 | 33,05 | 2,61 | 0,158 |
| Pure Error | 5 | 63,27 | 12,65 | - | - |
| Total | 19 | 6091,89 | - | - | - |
| F tabel (9,16) = 2,54, level signifikan (α) = 5 % | | | | | |

Hipotesa awal yang mengatakan tidak ada *lack of fit* berarti model yang dibuat telah sesuai dengan data, sedangkan hipotesa alternatif berarti model yang telah dibuat belum mewakili data. Hipotesa awal (H_0) akan ditolak bila p-value kurang dari α . Sebaliknya, hipotesa awal akan diterima apabila p-value melebihi α . Pada tabel 4 , menunjukkan hasil uji lack of fit bernilai 0,158 menggunakan level signifikansi 5% maka

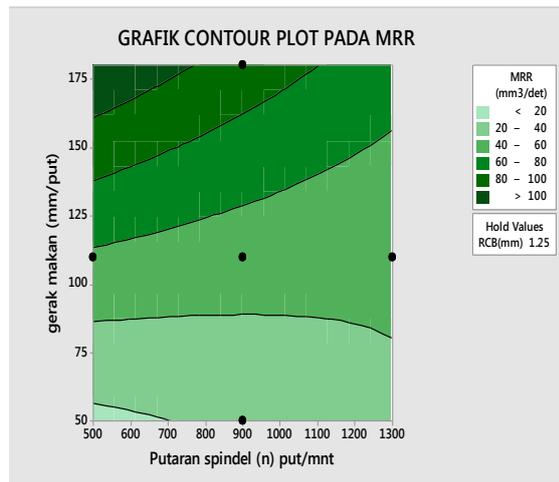
keputusannya akan menerima hipotesa awal yang mengatakan tidak ada lack of fit. Dengan demikian model yang dibuat sesuai dengan data pada tabel 1 dan 2. Analisis varian untuk kecepatan penghasilan geram menunjukkan hasil uji parameter model dengan menggunakan statistik uji t yang dikonversikan ke dalam p-value. Berdasarkan hasil analisis, modelnya :

$$\hat{y} = 74,4 + 0,0183 (n) + 0,392 (fd) - 117 (Rcb) + 0,000010 (n)^2 + 0,00316 (fd)^2 + 24,4 (Rcb)^2 - 0,000661 (n \times fd) + 0,0169 (n \times Rcb) + 0,335 (fd \times Rcb)$$

Selanjutnya hasil persamaan dugaan model regresi terbaik untuk kecepatan penghasilan geram menjadi :

$$MRR = 72,291 + 26,827x_1 + 88,594x_2 + 82,765x_3 + 0,4x_1^2 + 5,056x_2^2 + 1,525x_3^2 - 5,288x_1x_2 + 0,845x_1x_3 + 3,35x_2x_3 \quad (7)$$

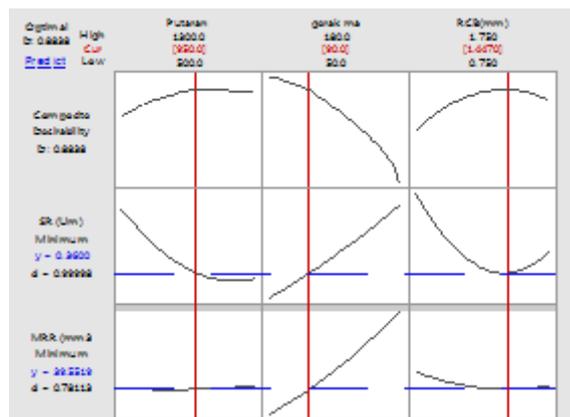
Begitu juga halnya untuk memeriksa kecukupan model kecepatan penghasilan geram tidak hanya melihat lack of fit, tetapi juga melakukan analisa residual. Ada 3 hal yang harus dilakukan dalam analisis residual, yaitu memeriksa kenormalan residual, membuat plot antara residual dengan hasil taksiran respon, dan membuat plot antara residual dengan order (x_j) Berikut gambar 6 merupakan gambar plot hasil analisis yang dimaksud Gambar 6 merupakan plot kontur antara putaran spindel (n), gerak makan dan *radius chip breaker*. Ketiga gambar tersebut merupakan salah satu dari kemungkinan kombinasi pendugaan untuk mendapatkan nilai kecepatan penghasilan geram yang maksimum. Area kecepatan penghasilan geram berbentuk garis-garis melengkung yang berwarna. Untuk memvisualisasikannya respon kecepatan penghasilan geram hanya mampu digambarkan dalam 3 dimensi, oleh karena itu harus dipilih 1 faktor sebagai acuan. Sebagai acuan adalah *radius chip breaker* yang besar radiusnya terdiri dari 1,25; 1,50; dan 1,75. Nilai kecepatan penghasilan geram maksimum sebesar 64,67 mm³/detik, maka kombinasinya putaran spindel (n) pada level 900 put/menit, gerak makan pada level 115 mm/put, dan radius chip breaker pada level 1,75 mm.



Gambar 6. Contour Plot of SR (μm) vs gerak makan (mm/put), Putaran spindel (n put/mdengan kondisi Rcb 1,25

(4). Menentukan Pemotongan optimum

Kondisi pemotongan optimum yang diperoleh akan mempengaruhi secara simultan kedua respon, yaitu respon kekasaran permukaan dan respon kecepatan penghasilan geram.



Gambar 7. Kurva *D-Optimaly Respon* Putaran spindel (n, Gerak makan (fd), dan *Radius chip breaker* (Rcb) terhadap kekasaran permukaan (SR) dan kecepatan penghasilan geram (MRR)

Dengan menggunakan *response optimizer* dari kurva *D-optimaly* kondisi pemotongan optimum dapat ditunjukkan seperti yang pada gambar 7. Dengan komposisi kekasaran permukaan 0,3600 μm dan kecepatan penghasilan geram 39.5519 mm³/detik dihasilkan kombinasi optimal, yaitu putaran spindel sebesar 950 put/min, gerak makan sebesar 90 mm/rev. dan radius *chip breaker*. sebesar 1,447 mm. Kombinasi ini didapat atas dasar prosesiterasi terhadap persamaan 5.5 dan 5.7, menghasilkan kombinasi-kombinasi antara ketiga variabel tersebut. Kombinasi itu lalu dimasukkan kedalam kurva *D-*

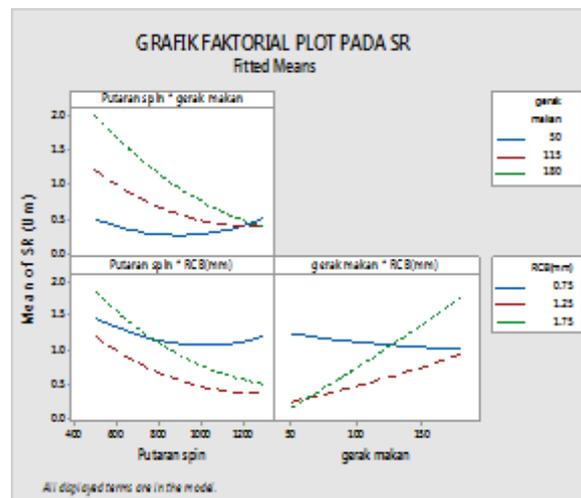
Optimally Respon, berupa nilai kekasaran permukaan minimum dan kecepatan penghasilan geram maksimum dilanjutkan dengan memberikan nilai target diantara minimum dan maksimum untuk masing-masing respon. Nilai keinginan (*Desirability/D*) merupakan tolok ukurnya dari seberapa besar keinginan yang diwujudkan dengan target yang diharapkan. Dengan melihat batas dari variabel bebasnya adalah $750 \text{ put/min} \leq \text{putaran spindel} \leq 1100 \text{ put/min}$; $70 \text{ mm/put} \leq \text{gerak makan} \leq 150 \text{ mm/put}$; dan $1,00 \text{ mm} \leq \text{radius chip breaker} \leq 1,50 \text{ mm}$, Untuk putaran spindel bertambah mendekati batas atas interval semakin halus, sedangkan semakin tinggi gerak makan akan menurunkan temperatur pemesinan padahal semakin tinggi temperatur yang dicapai maka nilai kekerasan logam cenderung menurun. Oleh karena itu gerak makan (50 mm/put) yang dipilih sekecil mungkin dibawah 110 mm/put. Untuk *radius chip breaker* pada posisi terletak di atas 1,25 mm, karena semakin besar radius (1,75 mm) semakin halus permukaan dan kecepatan penghasil geram semakin besar (tabel 2).

(5).Analisa Grafik

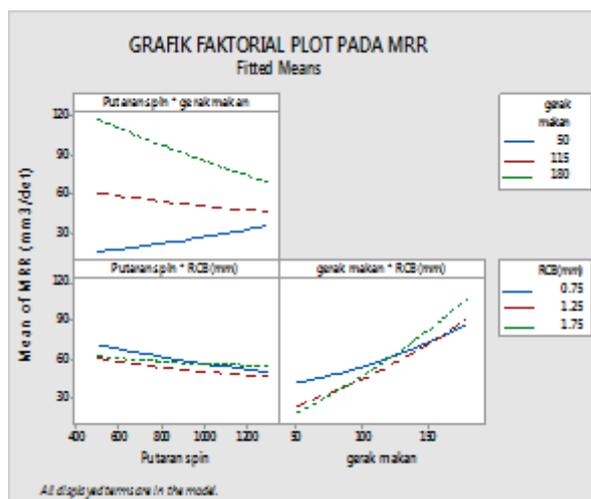
Untuk menganalisa sejauh mana pengaruh putaran spindel, gerak makan, dan radius *chip breaker* terhadap kekasaran permukaan (SR) dan kecepatan penghasilan geram (MRR) dibandingkan persamaan 6 dan 7 yang didapat, ditunjukkan pada gambar 8 dan 9. Pada gambar 8 hubungan putaran spindel (n) makin tinggi dengan Radius *chips breaker* (R_{cb}) 1,25 mm diperoleh nilai mean SR kecil. Sedangkan pada n yang tinggi dengan gerak makan kecil, diperoleh nilai mean SR kecil. Pada gerak makan rendah dan R_{cb} besar diperoleh nilai mean SR kecil. Hal ini dipengaruhi adanya daya adhesi atau afinitas antarmaterial Al-6061 dengan pahat HSS cukup kuat, sehingga tidak akan terjadi penumpukkan pada mata potong BUE (*Built Up Edge*). Pengaruh kenaikan besar *radius chip breaker* ternyata kekasaran permukaan benda kerja semakin kasar, ini disebabkan oleh panjang geram yang terjadi. Semakin besar *radius chip breaker* (1,75 mm) semakin panjang geram yang terbentuk sehingga panas yang timbul dari panjangnya geram tidak dapat terbang dengan cepat. Panas yang terjadi terakumulasi yang pada akhirnya mempengaruhi bidang potong dari pahat bubut. Sebaliknya semakin kecil *radius chip breaker* (0,75 mm) semakin pendek geram yang terbentuk, sehingga panas yang timbul dengan pendeknya geram cepat terbang. Akhirnya panas yang terjadi tidak mempengaruhi bidang potong dari pahat tersebut. Pada gambar 9 menunjukkan hubungan putaran spindel (n) tinggi (1200

put/min) dengan gerak makan kecil (50 mm/put) diperoleh nilai mean MRR kecil. Sedangkan nilai n tinggi terhadap Rcb 1,25 mm, diperoleh mean MRR yang kecil. Disisi lain dengan gerak makan kecil (50) terhadap Rcb besar (1,75 mm), maka diperoleh harga mesin MRR kecil. Disini menunjukkan bahwa hubungan putaran spindel terhadap gerak makan, RCb dan gerak makan terhadap Rcb, pengaruhnya sangat signifikan untuk meningkatkan kecepatan penghasilan geram, karena kedua parameter tersebut berhubungan dengan waktu. Semakin tinggi putaran menyebabkan semakin cepat bergeser pemakanan semakin banyak pula jumlah material yang terpotong.

Untuk *radius chip breaker* merupakan bagian dari geometri pahat yang digunakan jadi pahat berfungsi sebagai alat (*tool*) dalam proses pemotongan. Besar kecilnya kecepatan penghasilan geram (MRR) lebih dipengaruhi oleh gerak makan, putaran spindel, dan kedalaman pemotongan, sehingga semakin besar *radius chip breaker* perubahan kecepatan penghasilan geram dapat dikatakan relatif kecil. Ini dapat dilihat dari hasil penimbangan material sebelum dipotong dan setelah dipotong memperlihatkan perubahan juga relatif kecil perbedaan berat dari masing-masing perubahan variabel pemotongannya.



Gambar 8. Grafik Mean SR hubungan antara Kekasaran permukaan dan Kecepatan penghasilan Geram dengan parameter pemotongan serta radius *chip breaker*



Gambar 9. Grafik Mean MRR hubungan antara Kekasaran permukaan dan Kecepatan penghasilan Geram dengan parameter pemotongan serta radius *chip breaker*

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan dapat disimpulkan sebagai berikut:

Putaran spindle ternyata mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan yang dibuktikan dengan nilai koefisien yang negatif dan merupakan pengaruh terkuat dibandingkan dengan variabel bebas lainnya.

Putaran spindle, gerak makan, dan *radius chip breaker* bersama-sama mempengaruhi kecepatan penghasilan geram dan dibuktikan dari nilai koefisiennya ternyata yang paling besar adalah gerak makan lalu diikuti dengan Putaran spindle dan *radius chip breaker*.

Kombinasi nilai variabel bebas, meliputi Putaran spindle (n) = 950 rpm, gerak makan (fd) = 90 mm/put, dan *radius chip breaker* (Rcb) = 1,44 mm, maka nilai optimum untuk kekasaran permukaan (SR) sebesar $0,360 \mu\text{m}$, dan kecepatan penghasilan geram (MRR) sebesar $39,55 \text{ mm}^3/\text{detik}$.

Daftar Pustaka

- [1]. A. Doniavi, M. Eskandarzade and M. Tahmasebian, 2007, *Empirical Modelling of Surface Roughness in Turning Process of 1060 Steel using Reponse Surface Methodology*, Journal of Applied Sciences 7 (17) : 2509-2513.
- [2]. M. Kaladhar, K. Venkata Subbaiah, Ch. Srinivasa Rao and K. Narayana Rao 2010, *Optimization of Process Parameters In Turning Of AISI202 Austenitic Stainless Steel*, ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 5, No. 9.

- [3]. Hari Singh, Pradeep Kumar, 2007, *Mathematical Models of Tool Life and Surface Roughness for Turning Operation through Response Surface Methodology*, Journal of scientific & Industrial Research Vol. 66, pp 220-226.
- [4]. Wibolo.Achmad, Slamet Wahyudi, Sugiarto,2011.Optimasi parameter pemotongan mesin bubut CNC terhadap kekasaran permukaan dengan geometri pahat yang dilengkapi *Chipsbreaker*. Tesis Pasca Sarjana Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- [5]. V. N. Goitondo, S.R. Karnik, and J. Paulo Davim, 2009, *Multiperformance Optimization in Turning of Free-Machining Steel Using Taguchi Method and Utility Concept*, Journal of Material Engineering and Performance, Volume 18 (3) 231.
- [6]. Sudjatmiko,darto,rusdijanto, 2015.Effek Parameter Pemotongan terhadap Kekasaran Permukaan Pada Proses *Turning* dengan*Response Surface Methodology* (RSM).Laporan Akhir Penelitian Hibah Bersaing (PHB) DP2M Dikti dan UnMer Malang.
- [7]. Kalpakjian S. and Schmid Steven R. 2001, “Manufacturing Engineering and Technology”, 4th ed, Pearson Education Asia. ISBN 81-7808-157-1.
- [8]. JIS B 0031, 1994, *Technical Data Surface Roughness*.
- [9]. Boothroyd, Geoffery.1981. *Fundamentals of Metal Machining ang Machine Tool*, Washington, Mc Graw-Hill Book Company
- [10]. J. P.Choi and S.J.Lee, Efficient, 2002, *Chip Breaker Design by Predicting the Chip Breaking Performance. Department of Mechanical Engineering*, Yonsei University, Seoul, Korea. International Journal of Advance Manufacturing Technology 17:489–497.
- [11]. Nur Irawan, Septin Puji Astuti, 2006, Mengolah Data Statistik dengan Mudah Menggunakan Minitab 14, Penerbit ANDI Yogyakarta.