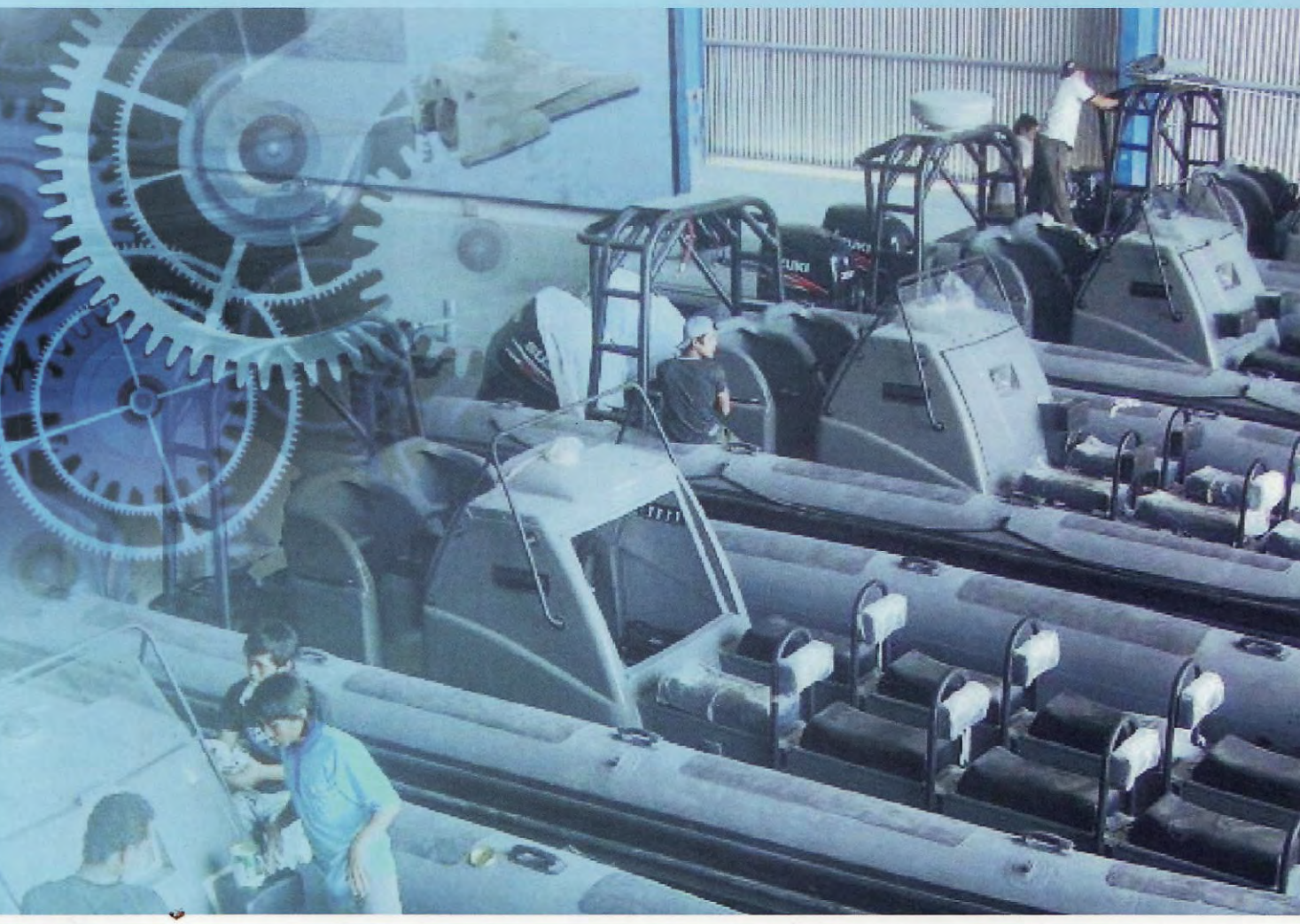
ISSN:2406-8829

# Jurnal Techno Bahari

Volume 2, Nomor 1, Maret 2015



POLTERA

POLITEKNIK NEGERI MADURA
SAMPANG - MADURA

# Optimasi Multi Respon Pada Proses *Turning* Baja Tahan Karat 316L

**Arum Soesanti[1], Hudiyo Firmanto[2], Arie Fandy[3]**
*Teknik Manufaktur Universitas Surabaya, Surabaya*
*[1] arum_soesanti@staff.ubaya.ac.id*
*[2] hudiyo@ubaya.ac.id*
*[3] an_arie@yahoo.co.id*

***Abstrak***

*Kekasaran permukaan adalah parameter yang sangat penting dalam mengukur suatu kualitas produk. Kekasaran permukaan (Ra) suatu produk yang optimum sulit untuk disertai dengan laju pemakan material (MRR) yang sebesar-besarnya, begitu pula sebaliknya. Guna mendapatkan kualitas produk yang baik dengan cycle time pendek maka diperlukan suatu penelitian guna menemukan kombinasi setting parameter terhadap multi respon Ra yang sekecil-kecilnya diikuti dengan MRR yang sebesar-besarnya. Penelitian ini menggunakan implementasi desain eksperimen Taguchi dan metode Grey Relational untuk optimasi multi respon, pada proses pemesinan turning menggunakan material baja tahan karat 316L. Proses pemesinan turning menggunakan cairan pendingin dan pahat jenis coated carbides tipe CNMG. Parameter proses pemesinan yang digunakan adalah cutting speed, feed rate, dan depth of cut. Hasil yang optimal didapatkan setting kombinasi cutting speed (130 mm/min), feed rate (0,1 mm/r), dan depth of cut (1,5 mm). Pada setting tersebut dihasilkan laju pemakanan material (MRR) sebesar 332,561 mm$^3$/min dan kekasaran permukaan (Ra) sebesar 0,877 μm.*

***Kata Kunci:*** Optimasi multi respon, Kekasaran permukaan (Ra), Laju pemakanan material (MRR), Taguchi, Grey relational

## 1. Pendahuluan

Baja tahan karat atau *stainless steel* (*SS*) adalah baja dengan kemampuan tahan korosinya diperoleh dari terbentuknya lapisan film oksida *chromium*, dimana lapisan oksida ini menghalangi proses oksidasi besi. Baja tahan karat jenis 316L (*SS-316L*) adalah salah satu jenis baja tahan karat yang memiliki aplikasi yang luas dan memiliki karakteristik *low machinability*. *SS-316L* juga digunakan untuk aplikasi pada *medical implants* seperti tulang buatan dan pen untuk menyambung tulang. *SS-316L* terkenal dengan sebutan *food grade* karena digunakan sebagai bahan peralatan makan.. Selain itu, *SS-316L* juga dikenal sebagai *marine grade* karena daya tahan korosi terhadap air garam yang baik sehingga sering juga digunakan sebagai bahan komponen kapal laut, seperti poros propeler dan poros kendali.

Produk massal yang melalui proses *turning* seperti aplikasi *SS-316L* dalam industri manufaktur membutuhkan waktu sesingkat mungkin untuk sampai ke konsumen. Oleh sebab itu diperlukan waktu pemesinan yang sesingkat mungkin. Waktu pemesinan berkaitan dengan laju pemakanan material (MRR). Dengan MRR yang tinggi akan didapatkan waktu pemesianan yang singkat. Untuk mendapatkan MRR yang tinggi diharuskan mengatur parameter pemesinan seperti *cutting speed, feed rate,* dan *depth of cut* masing-masing pada level tertinggi. Kini (2010) melalui penelitiannya mengatakan bahwa *depth of cut* adalah faktor yang paling berpengaruh terhadap MRR dan kualitas produk, diikuti oleh geometri pahat (radius pahat).

Dalam prakteknya MRR yang tinggi tidak dapat diimbangi dengan kualitas permukaan yang baik. Suatu produk dengan kualitas permukaan yang sangat baik pasti membutuhkan waktu

pemesinan yang lama. Sebuah industri manufaktur tidak menginginkan waktu yang lama guna menghasilkan satu unit produk, apalagi bila produk tersebut adalah produk massal. Oleh sebab itu industri manufaktur akan menetapkan kisaran angka kekasaran permukaan (Ra) tertinggi yang boleh dicapai, atau dengan kata lain nilai kekasaran permukaan produk harus di bawah angka yang telah ditetapkan. Fuh (1996) pada penelitiannya mengatakan bahwa cara mengoptimalkan MRR dengan cara menjaga *cutting speed, feed rate, spindle speed* tetap konstan. Demikian pula pernyataan Ashok (2012) bahwa *cutting speed, feed rate, depth of cut* dengan masing-masing level tertinggi meningkatkan laju MRR menggunakan AISI 1040. Menurut Nalbant (2007), radius pahat yang besar, *feed rate* yang kecil, *depth of cut* kecil akan menghasilkan nilai kekasaran permukaan yang optimum pada percobaan baja *AISI* 1030 menggunakan pahat *TiN*. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebagian besar menyimpulkan bahwa *feed rate* merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap kekasaran permukaan dan laju pemakanan material. Hal ini ditegaskan pula oleh Camposeco (2013) yang menyimpulkan bahwa 98% parameter *feed rate* mempengaruhi kekasaran permukaan pada penelitian akan baja *AISI* 6061. Begitu pula kesimpulan penelitian dari Makadia (2013) tentang parameter pemesinan *feed rate* mempengaruhi kekasaran permukaan diikuti dengan *cutting speed* AISI 410.

Atas dasar luasnya aplikasi *SS-316L* dan sifatnya yang *low machinability*, guna mendapatkan kekasaran permukaan yang sekecil-kecilnya dan laju pemakanan material yang sebesar-besarnya, maka perlu dilakukan optimasi mengenai kombinasi *setting* parameter dalam penelitian ini. *Setting* optimasi parameter pemesinan akan sangat berguna untuk menentukan laju pemakanan material (MRR) yang tinggi disertai dengan kekasaran permukaan yang optimum. Optimasi adalah teknik mencari hasil terbaik yang efektif dengan pemilihan faktor-faktor yang dapat dikendalikan dari sesuatu hal yang sudah ada. Penelitian ini melakukan kajian tentang muti respon terhadap Ra dan MRR dengan menggunakan material baja tahan karat 316L pada proses *turning*.

## 2. Metodologi Penelitian

Penelitian terhadap baja tahan karat 316L kali ini akan melewati beberapa tahapan. Penelitian telah dimulai dari tahapan identifikasi permasalahan tentang baja tahan karat, studi pustaka sampai dengan menyusun tujuan yang hendak dicapai. Setelah itu proses pengumpulan data dengan didahului rancangan desain eksperimen yang hendak dipakai pada penelitian dan penentuan level faktor pemesinan yang hendak dipakai. Setelah pengumpulan data selesai akan dilanjutkan dengan optimasi untuk menjawab tujuan. Hingga pada akhirnya semua tertuang pada kesimpulan tentang semua hasil yang hendak dicapai pada tujuan.

Pada rancangan eksperimen awal ditentukan batas maksimum untuk kekasaran permukaan yang diijinkan. Penentuan batas kekasaran permukaan berdasarkan studi literatur terutama tentang pengaplikasian rata-rata dengan mengambil niai terendah. Penentuan kekasaran permukaan berkisar N7 – N6 yakni sebesar 1,6 μm. Dengan demikian diharapkan nilai kekasaran permukaan pada penelitian utama tidak melebihi dari batas toleransi tersebut. Penentuan nilai kekasaran permukaan berdasarkan referensi (John A. Schey, 2000).

Penelitian pada proses pemesinan *turning* menggunakan *CNC lathe Leadwell LTC-20B*, putaran *spindle* maksimum 4000 rpm. Pahat yang digunakan adalah *TiN coated carbides* tipe *CNMG 120404 N-UP*, dengan radius pahat 0,4 mm. Benda kerja yang digunakan berdiameter 25 mm dengan panjang 50 mm, panjang pemotongan sampel 20 mm, dan panjang pencekaman 20 mm. Benda kerja berupa silinder panjang dipotong sepanjang 52 mm diameter 1 *inchi,* kemudian benda kerja yang telah dipotong diproses turning manual hingga diameter dan panjang sesuai yang ditetapkan. Alat ukur jangka sorong *Mitutuyo cd-6 csx* (Gambar 1) dan alat ukur kekasaran permukaan *Mitutoyo sj201* (Gambar 2) digunakan dalam penelitian ini. Penelitian menggunakan tiga parameter pemesinan, yakni: *cutting speed*, *feed rate*, dan *depth of cut*. Pemilihan parameter tersebut karena berkaitan langsung dengan besar kecilnya laju pemakanan material (MRR). Penentuan level sebanyak tiga guna mendapatkan nilai tengah. Penelitian menggunakan metode *Taguchi* dikarenakan

mencari kombinasi *seting* optimum multi respon terhadap kekasaran permukaan (Ra) dan laju pemakanan material (MRR), dengan kata lain mencari Ra sekecil-kecilnya dengan MRR yang paling optimum.

Gambar 1. Jangka sorong *Mitutuyo cd-6 csx*

Gambar 2. Alat ukur kekasaran permukaan *Mitutoyo sj201*

## 3. Hasil dan Pembahasan

Pada metode *Taguchi* dikenalkan sebuah matrik ortogonal guna mengetahui jumlah eksperimen yang harus dilakukan dengan memper timbangkan derajat kebebasan. Pada penelitian ini menggunakan bantuan matrik ortogonal *L9* (Tabel 1), akan didapat bahwa jumlah percobaan sebanyak 9 kali percobaan. Dengan pengulangan sebanyak tiga kali dengan nomor eksperimen menggunakan prinsip randomisasi.

Tabel 1. Kombinasi *orthogonal array L9*

| No | *Cutting Speed* | *Feed Rate* | *Depth of Cut* |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 1 | 2 | 2 |
| 3 | 1 | 3 | 3 |
| 4 | 2 | 1 | 2 |
| 5 | 2 | 2 | 3 |
| 6 | 2 | 3 | 1 |
| 7 | 3 | 1 | 3 |
| 8 | 3 | 2 | 1 |
| 9 | 3 | 3 | 2 |

Nilai level untuk faktor yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Faktor dan level

| Parameter (faktor) | Notasi | Satuan | Level | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | Level 1 | Level 2 | Level 3 |
| *Cutting Speed* | Vc | m/min | 90 | 110 | 130 |
| *Feed Rate* | f | mm/rev | 0,1 | 0,125 | 0,15 |
| *Depth of Cut* | a | mm | 1 | 1,25 | 1,5 |

Setelah percobaan didapatkanrespon MRR dan Ra seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Respon Ra dan MRR

| No | Vc | f | a | Ra (μm) | MRR ($mm^3$/min) |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 90 | 0,1 | 1 | 0,728 | 153,611 |
| 2 | 90 | 0,125 | 1,25 | 1,026 | 229,464 |
| 3 | 90 | 0,15 | 1,5 | 1,304 | 343,091 |
| 4 | 110 | 0,1 | 1,25 | 0,779 | 228,585 |
| 5 | 110 | 0,125 | 1,5 | 0,918 | 324,859 |
| 6 | 110 | 0,15 | 1 | 1,401 | 293,180 |
| 7 | 130 | 0,1 | 1,5 | 0,877 | 332,561 |
| 8 | 130 | 0,125 | 1 | 1,199 | 279,831 |
| 9 | 130 | 0,15 | 1,25 | 1,462 | 412,112 |

Untuk masing-masing respon ditentukan nilai *signal to noise* (*S/N ratio, dB*) untuk mencari deviasi karakteristik kualitas. Respon kekasaran permukaan dapat dihitung dengan jenis *S/N ratio smaller the better*

$$S/N = -10\ log\ \frac{1}{n}(\Sigma y^2) \quad .....(1)$$

Dengan y, adalah nilai kekasaran permukaan pada percobaan ke-i.

Begitu juga dengan *S/N ratio* untuk laju pemakanan material dengan menggunakan *S/N ratio larger the better*

$$S/N = -10\ log\ \frac{1}{n}\left(\Sigma\frac{1}{y^2}\right) \quad .....(2)$$

Dengan y, adalah nilai laju pemakanan material pada percobaan ke-i.

Hasil perhitungan nilai *S/N ratio* dari kekasaran permukaan (Ra) dan laju pemakanan material (MRR) seperti pada Tabel 4.

Tabel 4. *S/N Ratio* Respon Ra dan MRR

| No | Ra (μm) | S/N Ra | MRR ($mm^3$/min) | S/N MRR |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0,728 | 2,7600 | 153,611 | 43,7285 |
| 2 | 1,026 | -0,2192 | 229,464 | 47,2143 |
| 3 | 1,304 | -2,3085 | 343,091 | 50,7082 |
| 4 | 0,779 | 2,1705 | 228,585 | 47,1809 |
| 5 | 0,918 | 0,7452 | 324,859 | 50,2339 |
| 6 | 1,401 | -2,9295 | 293,180 | 49,3427 |
| 7 | 0,877 | 1,1433 | 332,561 | 50,4374 |
| 8 | 1,199 | -1,5756 | 279,831 | 48,9379 |
| 9 | 1,462 | -3,3009 | 412,112 | 52,3003 |

Metode *Taguchi* menggunakan matik ortogonal yang dilanjutkan dengan analisa *S/N ratio* hanya dapat memberikan optimasi untuk satu respon saja (*single optimization*). Oleh karena itu digunakan *Grey Relational Analysis* untuk mendapatkan kombinasi parameter agar dapat mengoptimalkan beberapa respon (*multi optimization*). *Grey Relational Analysis* efektif banyak digunakan dalam berbagai penelitian untuk mengetahui pengaruh gabungan dari dua faktor atau lebih (*Hsia and Wu, 1998*). Prinsipnya dengan mengubah nilai respon Ra untuk *smaller the better* dengan angka optimal adalah 1 sedangkan respon MRR untuk *larger the better* dengan angka optimal adalah 1. Kedua respon berkebalikan, artinya respon Ra terkecil bernilai 1, sedangkan respon MRR terbesar bernilai 1.

*Smaller the better*

$$x_i^*(k) = \frac{\max x_i(k) - x_i(k)}{\max x_i(k) - \min x_i(k)} \quad .....(3)$$

*Larger the better*

$$x_i^*(k) = \frac{x_i(k) - \min x_i(k)}{\max x_i(k) - \min x_i(k)} \quad .....(4)$$

$i = 1, 2, ..., m \qquad k = 1, 2, ..., n$

Nilai koefisien *Grey* dirumuskan sebagai berikut:

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta_{min} + \psi\Delta_{max}}{\Delta_{oi}(k) + \psi\Delta_{max}} \quad .....(5)$$

dimana

$\Delta_{oi} = \|x_o(k) - x_i(k)\|$

$\psi$ = koefisien, $0 \leq \psi \leq 1$ ;

untuk proses *turrning* $\psi = 0{,}5$

Sementara untuk rumusan *Grey Relational Grade* sebagai berikut:

$$\gamma_i = \frac{1}{n}\sum_{k=1}^{n}\xi_i(k) \quad .....(6)$$

Nilai *S/N ratio* dari masing-masing Ra dan MRR akan ditransformasikan dalam nilai *Grey Relational Generation.* Tabel 5 menunjukkan nilai *Grey Relational Generation.* Masing-masing nilai *Grey Relational Generation* tersebut akan digabungkan dalam sebuah nilai tunggal yang disebut sebagai *Grey Relational Grade.* Nilai *Grey Relational Grade* ini yang menjadi sebuah respon tunggal yang dapat dioptimasi dengan menggunakan metode Taguchi.

Tabel 4. Nilai *Grey Relational Generation* dari Ra dan MRR

| No | Grey Relational Generation | | Evaluasi | |
|---|---|---|---|---|
| | Ra | MRR | Ra | MRR |
| Kondisi Ideal | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 2 | 0,677 | 0,347 | 0,323 | 0,653 |
| 3 | 0,452 | 0,733 | 0,548 | 0,267 |
| 4 | 0,930 | 0,290 | 0,070 | 0,710 |
| 5 | 0,663 | 0,725 | 0,337 | 0,275 |
| 6 | 0,083 | 0,540 | 0,917 | 0,460 |
| 7 | 0,797 | 0,692 | 0,203 | 0,308 |
| 8 | 0,359 | 0,488 | 0,641 | 0,512 |
| 9 | 0 | 1 | 1 | 0 |

Kolom evaluasi pada tabel diatas digunakan untuk perhitungan nilai koefisien *Grey* (formulasi 5), dimana nilai koefisien *Grey* disini berperan penting dalam menentukan *Grey Relational Grade* seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. *Grey Relational Grade* gabungan Ra dan MRR

| No | Koefisien Grey Relational | | Grey Relational Grade |
|---|---|---|---|
| | Ra | MRR | |
| Kondisi Ideal | 1 | 1 | |
| 1 | 1 | 0,333 | 0,667 |
| 2 | 0,608 | 0,434 | 0,521 |
| 3 | 0,477 | 0,652 | 0,565 |
| 4 | 0,878 | 0,413 | 0,646 |
| 5 | 0,598 | 0,645 | 0,621 |
| 6 | 0,353 | 0,521 | 0,437 |
| 7 | 0,712 | 0,619 | 0,665 |
| 8 | 0,438 | 0,494 | 0,466 |
| 9 | 0,333 | 1 | 0,667 |

Setelah didapatkan Grey Relational Grade (formulasi 6) maka selanjutnya mencari respon dari *Grey Relational Grade*, dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Respon *Grey Relational Grade*

| | Level 1 | Level 2 | Level 3 | Max-Min | Peringkat |
|---|---|---|---|---|---|
| *Cutting Speed* | 0,583 | 0,568 | 0,599 | 0,031 | 3 |
| *Feed Rate* | 0,659 | 0,536 | 0,556 | 0,123 | 1 |
| *Depth of Cut* | 0,523 | 0,610 | 0,617 | 0,093 | 2 |
| Total rata-rata Grey Relational Grade: 0,583 | | | | | |

Penentuan kombinasi parameter berdasar kan rata-rata *Grey Relational Grade*, untuk mendapatkan nilai multi respon yang optimal. Hasil yang didapatkan adalah *cutting speed* pada level 3 (130 m/min), *feed rate* pada level 1 (0,1 mm/r), dan *depth of cut* pada level 3 (1,5 mm); Vc3-f1-a3. Pada *setting* kombinasi tersebut didapatkan nilai MRR sebesar 332,561 $mm^3$/min dan Ra sebesar 0,877 μm.

Berdasarkan hasi tersebut didapatkan bahwa faktor yang paling berpengaruh terhadap nilai multi respon laju pemakanan material dan kekasaran permukaan adalah *feed rate* diikuti oleh *depth of cut* pada level tersebut, sedangkan *cutting speed* tidak terlalu berpengaruh pada multi respon laju pemakanan material dan kekasaran permukaan pada level tersebut.

Uji konfirmasi multi respon *Grey Relational Grade* (MRR dan Ra) didapat nilai perubahan *GRG* sebesar 0,0122 yang mana laju pemakanan material mengalami peningkatan meskipun tidak diiukti oleh kekasaran permukaan yang menurun. Tetapi hal tersebut tidak menjadi kendala karena pada analisa *GRG* tidak memfokuskan pada Ra atau MRR, melainkan gabungan keduanya. Sehingga didapatkan laju pemakanan yang sebesar-besarnya dan kekasaran permukaan yang paling kecil pada level yang digunakan. Dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Uji konfirmasi multi respon *Grey Relational Grade*

| | Parameter Inisial | Optimal Proses Parameter | |
|---|---|---|---|
| | | Prediksi | Eksperimen |
| Level | Vc2-f1-a1 | Vc3-f1-a3 | Vc3-f1-a3 |
| MRR | 200,66 | | 332,56 |
| Surface Roughness | 0,757 | | 0,877 |
| Grey Relational Grade | 0,652 | 0,708 | 0,665 |
| Perubahan Grey Relational Grade : 0,012 | | | |

## 4. Kesimpulan

Hasil penelitian menunjukan bahwa kombinasi *setting* parameter multi respon *Grey Realtional Grade* dari kekasaran permukaan dan laju pemakanan material adalah *cutting speed* pada level 3 (130 m/min), *feed rate* pada level 1 (0,1 mm/r), dan *depth of cut* pada level 3 (1,5 mm). Dengan didapatkan nilai respon pada kombinasi tersebut adalah laju pemakanan material (MRR) sebesar 332,561 $mm^3$/min dan kekasaran permukaan (Ra) sebesar 0,877 μm.

Dengan telah dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat membantu industri manufaktur dalam proses pemesinan *turning* untuk baja tahan karat 316L. Penelitian ini menggunakan cairan pendingin pada proses *turning* dikarenakan baja

tahan karat memiliki sifat *low machinability* atau sukar dipabrikasi.

## 5. Daftar Pustaka


[1] Rochim, Taufiq, Spesifikasi Metrologi dan Kontrol Kualitas Geometrik, Bandung: Penerbit ITB, 2001.

[2] Rochim, Taufiq, Perkakas dan Sistem Pemerkakas, Bandung: Penerbit ITB, 2007

[3] Kalpakjian, Serope, *Manufacturing Engineeering and Technology*, Jurong, Singapore: Pearson Education South Asia Pte Ltd, 2006.

[4] Schey, John. A. *Introduction to Manufacturing Processes*. United States: The McGraw-Hill Companies, 2000.

[5] Sahoo, Ashok Kumar. *Multi Objective Optimization and Predictive Modeling of Surface Roughness and Material Removal Rate in Turning Using Grey Relational and Regression Analysis, Procedia Engineering* 38 (2012) 1606 – 1627.

[6] Makadia, A.J and Nanavati, J.I. *Optimisasiton Machining Parameters for Turning Operations Based on Response Surface Methodology, Measurement* 46 (2013) 1521 – 1529.

[7] Kini, M.V. *Effect of Machining Parameters on Surface Roughness and Material Removal Rate in Finish Turning of ± 30° Glass Fibre Reinforced Polymer Pipes, Materials and Design* 31 (2010) 3590 – 3598.

[8] Camposeco. C and Negrete. *Optimization of Cutting Parameters for Minimizing Energy Consumption in Turning of AISI 6061 T6 using Taguchi Methodology and Anova, Journal of Cleaner Production* 53 (2013) 195 – 203.

[9] Fuh, K.H et-al. *Design and Implementation for Maximum Metal Removal Rate Control of a Constant Turning Force System, Journal of Materials Processing Technology* 57 (1996) 351 – 359.

*[10]*Nalbant, M. *Application of Taguchi Method in the Optimization of Cutting Parameters for Surface Roughness in Turning, Materials and Design* 28 (2007) 1379 – 1385.

[11] Ranganathan., S. *Multi Response Optimization of Machining Parameters in Hot Turning Using Grey Analysis, Int J Adv Manuf Technol* (2011) 56:455–462

[12] Tsai Lin, Chin and Yin Tsai, Hui. *Hierarchical Clustering Analysis Based on Grey Relation Grade, Information and Management Sciences Volume 16, Number* 1, pp.95-105, 2005.