

OPTIMASI PARAMETER PEMESINAN TANPA FLUIDA PENDINGIN TERHADAP MUTU BAJA AISI 1045

Haryadi¹, Slamet Wiyono², Iman Saefuloh³, Muhamad Rizki Mutaqien⁴

^{1,2,3,4}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jl. Jend. Sudirman Km 3 Cilegon, 42435

E-mail: haryadi@untirta.ac.id

ABSTRAK

Dalam upaya meningkatkan penanganan masalah pencemaran lingkungan akibat limbah cairan pendingin, maka para pakar pemesinan merekomendasikan dengan *dry machining*. Pemesinan kering (*Dry Machining*) adalah proses pemesinan yang tidak menggunakan fluida pendingin dalam proses pemotongannya dengan tujuan untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat limbah cairan pendingin. Untuk mendapatkan nilai optimum maka perlu mengetahui dan mendapatkan setting yang paling optimum dari parameter-parameter proses *dry machining*. Dalam penelitian proses *dry machining*, pengaruh parameter dari putaran spindel, radius pahat, gerak pemakanan dan kedalaman potong terhadap kekerasan, kekasaran dan akurasi dimensi. Empat parameter tersebut dianalisa dengan metode desain eksperimen fraksional faktorial dua level (2^{k-1}), analisa data menggunakan statistik MINITAB 16. Analisa DOE menunjukkan bahwa pengaruh putaran spindel, radius pahat, dan kedalaman potong mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kekerasan. Untuk putaran spindel, radius pahat, gerak pemakanan dan kedalaman potong mempunyai pengaruh yang signifikan terhadap kekasaran permukaan Sedangkan untuk parameter yang berpengaruh signifikan ke akurasi dimensi yaitu kedalaman potong. Dengan menggunakan respon optimasi metode pendekatan nilai fungsi desirability menghasilkan kondisi setting parameter yang optimum dari level-level tiap faktor yakni untuk kekerasan putaran spindel 560 rpm, radius pahat 0.4 mm dan kedalaman potong 0.5, dengan nilai keinginan (desirability) untuk kekerasan sebesar 0.89216. Untuk kekasaran putaran spindel 800 rpm, radius pahat 0.8 mm, gerak pemakanan 0.05 mm/rev dan kedalaman potong 0.8 mm, dengan nilai keinginan (desirability) untuk kekasaran permukaan sebesar 0,93086 dan untuk uji akurasi dimensi hanya kedalaman pemakanan yang berpengaruh signifikan. Untuk nilai desirability akurasi dimensi 0.5=0.82639 dan yang 0.8=1.0000 yang menunjukkan bahwa nilai desirability dari kekerasan, kekasaran dan akurasi dimensi cukup baik dan target yang diperoleh telah sesuai dengan keinginan.

Kata kunci: *dry machining*, desain of eksperimen (DOE), kekasaran permukaan.

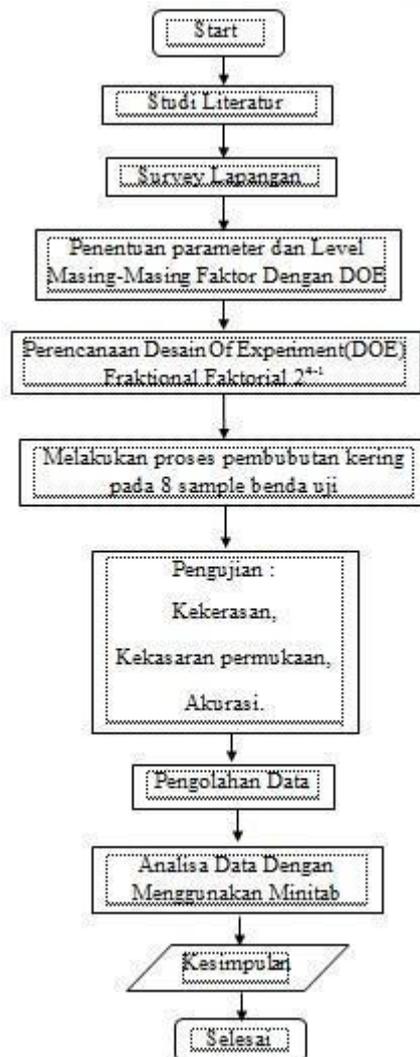
1. PENDAHULUAN

Dalam istilah teknik proses pemesinan adalah Proses pemotongan dengan menggunakan pahat potong yang dipasang pada mesin perkakas. Proses pemotongan logam merupakan suatu proses yang digunakan untuk mengubah bentuk dari logam (komponen mesin) dengan cara memotong. Salah satu jenis proses pemesinan yaitu dengan menggunakan mesin bubut.

Baja AISI 1045 merupakan baja karbon menengah dengan komposisi karbon berkisar 0,43-0,50 %. Baja tipe ini sering digunakan sebagai bahan untuk pembuatan poros, gear, sprocket, chain link dan komponen lainnya yang yang membutuhkan kombinasi antara kekerasan tinggi, keuletan, tahan korosi dan ketangguhan yang baik, dan disamping itu pula pada aplikasinya sering mengalami gesekan, tekanan dan beban berulang maka ketahanan terhadap kelelahan, keausan dan kekerasan sangat diperlukan sekali.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Alat uji kekerasan HB 30 tester

2.2 Alat Dan Bahan Yang Digunakan

2.2.1 Alat Yang Digunakan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Mesin Bubut
2. Pahat Insert
3. *Tool Holder*
4. Mesin Gergaji besi
5. Jangka Sorong
6. Mikrometer Sekrup tipe 0-35 mm
7. Mistar Baja
8. Alat ukur Kekerasan (HB 30)
9. Alat Ukur Kekasaran Permukaan (*Raughnes Taster*)



Gambar 2. Alat uji kekerasan HB 30 tester



Gambar 3. Alat Uji Kekasaran Surface Roughness Teste

2.2.2 Bahan Yang Digunakan

Material yang digunakan pada penelitian ini adalah baja AISI 1045 berbentuk silinder dengan diameter 30 mm dan tebal 210 mm. Jenis baja ini memiliki karakteristik sebagai berikut :

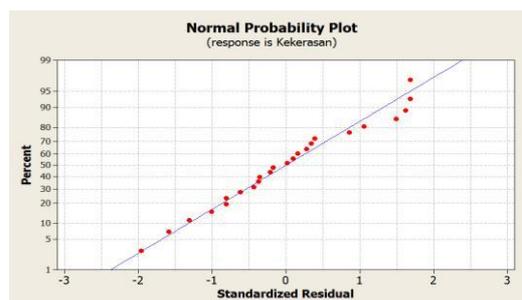


Gambar 4. Material benda kerja Baja Aisi 1045

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

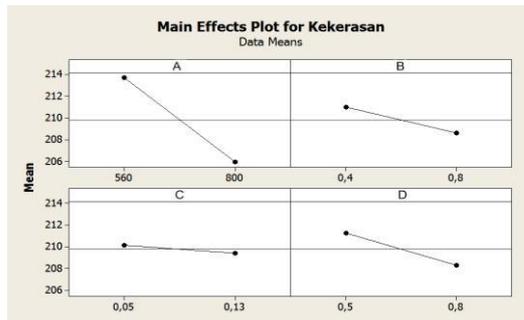
3.1 Uji kekerasan

Sebelum mengolah data lebih lanjut maka perlu memeriksa distribusi kenormalan data (residual). Pada gambar 5 menghasilkan grafik, yaitu grafik probabilitas normal plot.



Gambar 5. Grafik Normal Probability Plot

- a. Ketika garis plot efek utama horizontal (sejajar dengan sumbu x), maka tidak ada efek utama yang mempengaruhi respon Kekerasan permukaan.
- b. Ketika garis plot efek utama tidak horizontal, maka ada efek utama yang mempengaruhi respon Kekerasan permukaan



Gambar 6. Grafik main effects plot terhadap Kekerasan permukaan

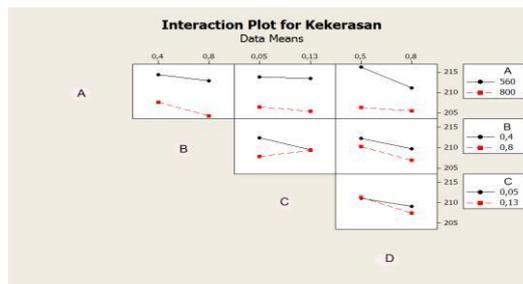
Pada plot kenormalan residual, apabila titik residual yang dihasilkan telah sesuai atau mendekati garis lurus yang ditentukan berdasarkan data (residual), maka residual dapat dikatakan telah mengikuti distribusi normal. Sebaliknya, apabila residual tidak mengikuti garis lurus atau banyak yang menyimpang, maka ada indikasi bahwa residual tidak mengikuti distribusi normal. Keputusan bahwa suatu data telah berdistribusi normal tidak bisa dibuat hanya dengan melihat secara visual, tetapi perlu dibuktikan secara statistik.

Pada gambar 5, residual yang terbentuk hampir seluruhnya mendekati garis lurus sehingga dari grafik bisa menduga bahwa residual model regresi yang dibuat telah mengikuti distribusi normal. Gambar 6, Grafik main effect plot digunakan dalam hubungannya dengan analisis varian dan desain eksperimen untuk menguji perbedaan antara tingkat satu atau lebih faktor. Sebuah plot efek utama grafik respon rata-rata untuk setiap level faktor yang dihubungkan dengan garis.

Pola umum untuk mencari atau analisa efek plot faktor utama :

Pada gambar 6 grafik main effect plot dapat disimpulkan sebagai berikut :

- a. Untuk factor putaran benda kerja (A) semakin rendah putaran benda kerja, maka semakin tinggi nilai kekerasanya.
- b. Untuk factor radius pahat (B) semakin rendah radius pahat terhadap benda kerja, maka semakin tinggi nilai kekerasanya.
- c. Untuk factor gerak pemakanan (C) semakin rendah nilai gerak pemakanan, maka semakin tinggi pula nilai kekerasanya. Tetapi untuk factor gerak pemakanan tidak berpengaruh signifikan karena garis plot utama masih membentuk garis horizontal.
- d. Untuk factor kedalaman pemotongan (D) semakin rendah nilai kedalaman pemotongan, maka semakin tinggi pula nilai kekerasanya.

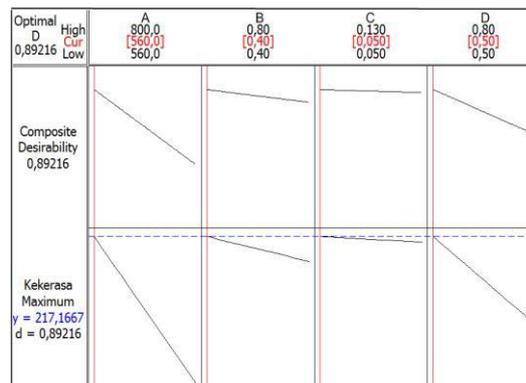


Gambar 7. Grafik interaksi Plot terhadap Kekerasan

Gambar 7 grafik interaksi plot merupakan grafik yang menunjukkan efek interaksi antara 2 faktor atau lebih terhadap suatu respon Kekerasan permukaan. Berikut ini analisa grafik : antara kecepatan putar (A) dan radius pahat (B) tidak ada interaksi. Kecepatan putar (A) dan gerak pemakanan (C) tidak ada interaksi. Kecepatan putar (A) dan kedalaman pemotongan (D) juga tidak ada interaksi. Untuk radius pahat (B) dan gerak pemakanan (C) terdapat interaksi menggunakan nilai B = 0,4 dan C = 0.05 untuk mendapatkan nilai kekerasan yang tinggi. Untuk radius pahat (B) dan kedalaman potong (D) tidak ada interaksi. Sedangkan untuk interaksi gerak pemakanan (C) dan kedalaman potong (D) terdapat interaksi menggunakan nilai C = 0,13 dan D = 0.5 untuk mendapatkan nilai kekerasan yang tinggi. Optimasi respon dilakukan dengan menggunakan pendekatan nilai keinginan/fungsi *desirability*. Penentuan kombinasi antar factor kecepatan potong, kedalaman pemakanan, gerak pemakanan dan radius pahat yang paling optimal agar menghasilkan nilai kekerasan dengan menggunakan fitur *response optimizer* pada *software* minitab 16. Nilai batasan yang dipilih untuk proses optimasinya dapat dilihat pada tabel 1 nilai batas bawah, target dan nilai batas atas ditentukan berdasarkan data yang diperoleh pada saat pengambilan dan perhitungan spesimen.

Tabel 1. Batasan Nilai Optimum Kekerasan Permukaan

Respon	Tujuan	Batas Bawah	Target	Batas Atas
Kekerasan Permukaan	Maximum	202	219	219

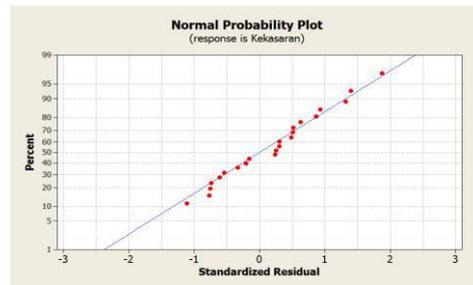


Gambar 8. Penentuan Setting Parameter yang paling Optimal

- ◆ Kombinasi parameter yang optimum :
 - Putaran Spindel : 560 rpm
 - Radius pahat : 0.4 mm
 - Gerak pemakanan : 0.05 mm/put
 - Kedalaman potong : 0.5 mm
- ◆ Prediksi respon yang dihasilkan : 217,1667 HB

3.2. Uji kekasaran

Sebelum mengolah data lebih lanjut maka perlu memeriksa distribusi kenormalan data (residual). Pada gambar 9 menghasilkan grafik, yaitu grafik probabilitas normal plot.



Gambar 9. Grafik Normal Probability Plot

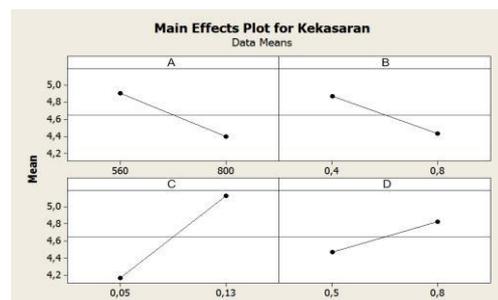
Pada plot kenormalan residual, apabila titik residual yang dihasilkan telah sesuai atau mendekati garis lurus yang ditentukan berdasarkan data (residual), maka residual dapat dikatakan telah mengikuti distribusi normal. Sebaliknya, apabila residual tidak mengikuti garis lurus atau banyak yang menyimpang, maka ada indikasi bahwa residual tidak mengikuti distribusi normal. Keputusan bahwa suatu data telah berdistribusi normal tidak bisa dibuat hanya dengan melihat secara visual, tetapi perlu dibuktikan secara statistik.

Pada gambar 9, residual yang terbentuk hampir seluruhnya mendekati garis lurus sehingga dari grafik bisa menduga bahwa residual model regresi yang dibuat telah mengikuti distribusi normal.

Gambar 10 Grafik *main effect plot* digunakan dalam hubungannya dengan analisis varians dan desain eksperimen untuk menguji perbedaan antara tingkat satu atau lebih faktor. Sebuah plot efek utama grafik respon rata-rata untuk setiap level faktor yang dihubungkan dengan garis.

Pola umum untuk mencari atau analisa efek plot faktor utama :

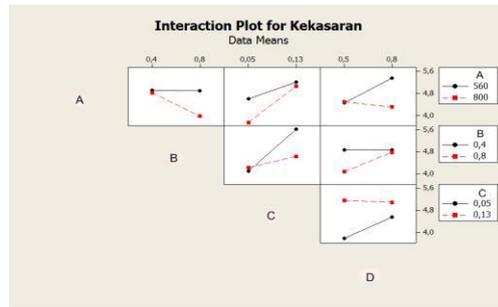
- Ketika garis plot efek utama horizontal (sejajar dengan sumbu x), maka tidak ada efek utama yang mempengaruhi respon Kekasaran permukaan.
- Ketika garis plot efek utama tidak horisontal, maka ada efek utama yang mempengaruhi respon Kekasaran permukaan.



Gambar 10. Grafik Main Efek Plot For Kekasaran

Pada gambar 10 grafik *main effect plot* dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Untuk factor putaran benda kerja (A) semakin tinggi putaran benda kerja, maka semakin rendah nilai kekasarannya.
- Untuk factor radius pahat (B) semakin tinggi nilai radius pahat terhadap benda kerja, maka semakin rendah nilai kekasarannya.
- Untuk factor gerak pemakanan (C) semakin rendah nilai gerak pemakanan, maka semakin rendah pula nilai kekasarannya.
- Begitupula untuk factor kedalaman pemotongan (D) semakin rendah nilai kedalaman pemakanan, maka semakin rendah nilai kekasarannya.



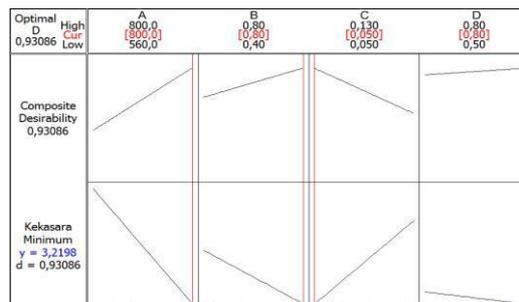
Gambar 11. Grafik interaksi Plot terhadap Kekasaran

Gambar 11 grafik interaksi plot merupakan grafik yang menunjukkan efek interaksi antara 2 faktor atau lebih terhadap suatu respon Kekasaran permukaan. Berikut ini analisa grafik : Antara kecepatan putar (A) dan radius pahat (B) tidak ada interaksi. Kecepatan putar (A) dan gerak pemakanan (C) tidak ada interaksi. Kecepatan putar (A) dan kedalaman pemotongan (D) terdapat interaksi dimana untuk mendapatkan nilai kekasaran yang rendah dapat menggunakan A = 800 dan D = 0.8. Untuk radius pahat (B) dan gerak pemakanan (C) terdapat interaksi dimana untuk mendapatkan nilai kekasaran yang rendah dapat menggunakan B = 0,4 dan C = 0.05. Untuk radius pahat (B) dan kedalaman potong (D) tidak ada interaksi dan untuk gerak pemakan (C) dan kedalaman potong (D) tidak ada interaksi

Optimasi respon dilakukan dengan menggunakan pendekatan nilai keinginan/fungsi *desirability*. Penentuan kombinasi antar factor kecepatan potong, kedalaman pemakanan, gerak pemakanan dan radius pahat yang paling optimal agar menghasilkan nilai kekasaran (*Ra*) dengan menggunakan fitur *response optimizer* pada *software* minitab 16. Nilai batasan yang dipilih untuk proses optimasinya dapat dilihat pada tabel 2. nilai batas bawah, target dan nilai batas atas ditentukan berdasarkan data yang diperoleh pada saat pengambilan dan perhitungan specimen.

Tabel 2. Batasan Nilai Optimum Kekasaran Permukaan

Respon	Tujuan	Batas Bawah	Target	Batas Atas
Kekasaran Permukaan (Ra)	Minimum	2.98	2.98	6.36



Gambar 12. Penentuan Seting Parameter yang paling Optimal

Kombinasi parameter yang optimum :

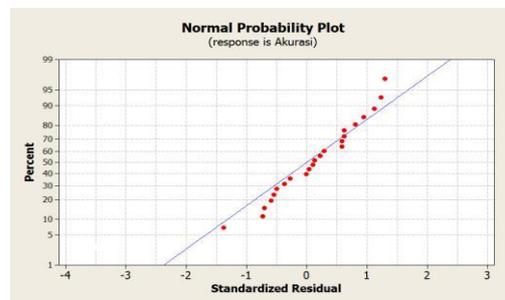
Putaran Spindel : 800 rpm
 Radius pahat : 0.8 mm
 Gerak pemakanan : 0.05 mm/put
 Kedalaman potong : 0.8 mm

Prediksi respon yang dihasilkan : 3.2198 μm

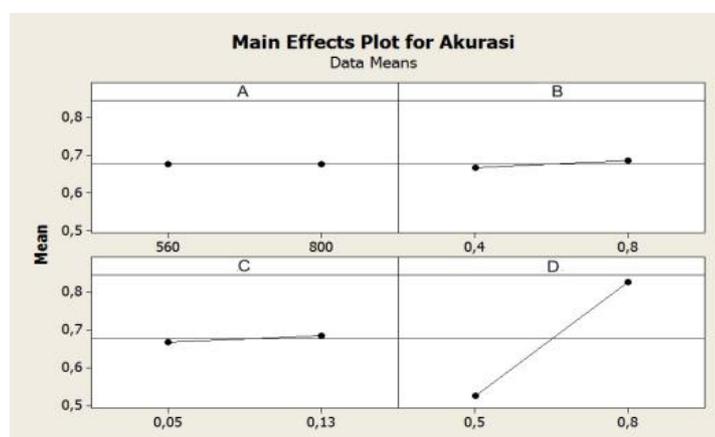
3.3. Uji Akurasi Dimensi

Pada plot kenormalan residual, apabila titik residual yang dihasilkan telah sesuai atau mendekati garis lurus yang ditentukan berdasarkan data (residual), maka residual dapat dikatakan telah mengikuti distribusi normal. Sebaliknya, apabila residual tidak mengikuti garis lurus atau banyak yang menyimpang, maka ada indikasi bahwa residual tidak mengikuti distribusi normal. Keputusan bahwa suatu data telah berdistribusi normal tidak bisa dibuat hanya dengan melihat secara visual, tetapi perlu dibuktikan secara statistik.

Pada gambar 13, residual yang terbentuk hamper seluruhnya mendekati garis lurus sehingga dari grafik bisa menduga bahwa residual model regresi yang dibuat telah mengikuti distribusi normal.



Gambar 13. Grafik normal probability plot residual



Gambar 14. Grafik Main Efek Plot For Akurasi Dimensi

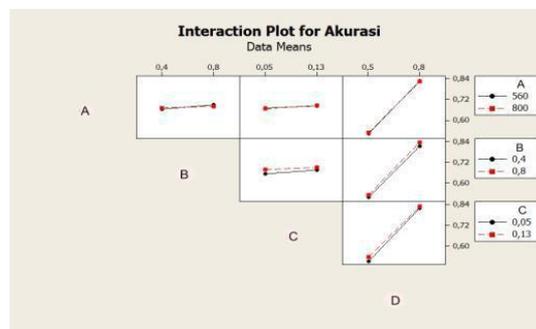
Gambar 14 Grafik *main effect plot* digunakan dalam hubungannya dengan analisis varians dan desain eksperimen untuk menguji perbedaan antara tingkat satu atau lebih faktor. Sebuah plot efek

utama grafik respon rata-rata untuk setiap level faktor yang dihubungkan dengan garis. Pola umum untuk mencari atau analisa efek plot faktor utama :

- Ketika garis plot efek utama horizontal (sejajar dengan sumbu x), maka tidak ada efek utama yang mempengaruhi respon akurasi dimensi.
- Ketika garis plot efek utama tidak horisontal, maka ada efek utama yang mempengaruhi respon akurasi dimensi.

Pada gambar 14 grafik *main effect plot* dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Untuk factor putaran benda kerja (A) semakin tinggi nilai putaran benda kerja, maka nilai akurasi dimensinya tidak baik, tetapi untuk factor putaran benda kerja tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai akurasi dimensi, karena garis plot utama membentuk horizontal.
- Untuk factor radius pahat (B) semakin tinggi nilai radius pahat, maka nilai akurasi dimensinya tidak baik. tetapi untuk factor putaran benda kerja tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai akurasi dimensi, karena garis plot utama membentuk horizontal
- Untuk factor gerak pemakanan (C) semakin tinggi nilai gerak pemakanan, maka nilai akurasi dimensinya tidak baik, tetapi untuk factor putaran benda kerja tidak berpengaruh signifikan terhadap nilai akurasi dimensi, karena garis plot utama membentuk horizontal.
- Begitupula untuk factor kedalaman pemotongan (D) semakin tinggi nilai kedalaman pemakanan, maka nilai akurasi dimensinya tidak baik.



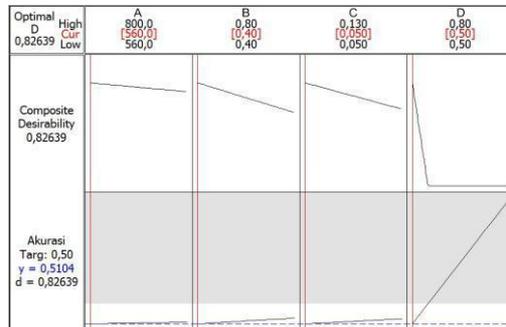
Gambar 15. Grafik *interaction plot* terhadap akurasi dimensi

Gambar 15. grafik interaksi plot merupakan grafik yang menunjukkan efek interaksi antara 2 faktor atau lebih terhadap suatu respon Akurasi dimensi. Berikut ini analisa grafik : Antara kecepatan putar (A) dan radius pahat (B) terdapat interaksi dimana untuk mendapatkan nilai akurasi yang sesuai yaitu (0,8) dapat menggunakan A = 560 dan B = 0.8. Kecepatan putar (A) dan gerak pemakanan (C) terdapat interaksi dimana untuk mendapatkan nilai akurasi yang sesuai yaitu (0,8) dapat menggunakan A = 800 dan C = 0.13. Kecepatan putar (A) dan kedalaman pemotongan (D) terdapat interaksi dimana untuk mendapatkan nilai akurasi yang sesuai yaitu (0,8) dapat menggunakan A = 560 dan D = 0.8. Untuk radius pahat (B) dan gerak pemakanan (C) tidak ada interaksi. Untuk radius pahat (B) dan kedalaman potong (D) tidak ada interaksi dan untuk gerak pemakanan (C) dan kedalaman potong (D) tidak ada interaksi.

Optimasi respon dilakukan dengan menggunakan pendekatan nilai keinginan/fungsi *desirability*. Penentuan kombinasi antar factor kecepatan potong, kedalaman pemakanan, gerak pemakanan dan radius pahat yang paling optimal agar menghasilkan nilai akurasi dengan menggunakan fitur *response optimizer* pada *software* minitab 16. Nilai batasan yang dipilih untuk proses optimasinya dapat dilihat pada tabel 3. dan tabel 4. nilai batas bawah, target dan nilai batas atas ditentukan berdasarkan data yang diperoleh pada saat pengambilan dan perhitungan specimen

Tabel 3. Batasan Nilai Optimum Akurasi Dimensi 0.5 mm

Respon	Goal	Batas Bawah	Target	Batas Atas
Akurasi Dimensi	Target	0.49	0.50	0.56

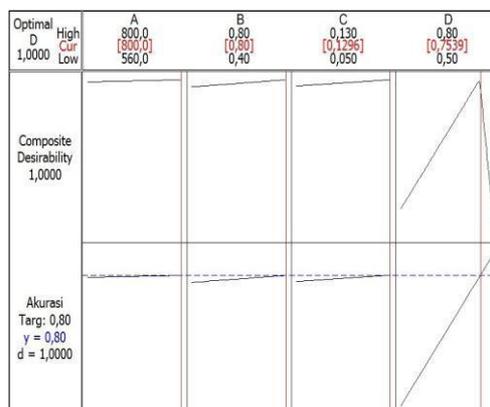


Gambar 16. Grafik parameter Optimum Akurasi Dimensi 0.5 mm

- ◆ Kombinasi parameter yang optimum :
 Putaran Spindel (n) : 560 rpm
 Radius pahat : 0.4 mm
 Gerak pemakanan : 0.05 mm/put
 Kedalaman potong : 0.5 mm
- ◆ Prediksi respon yang dihasilkan : 0.5104 mm

Tabel 4. Batasan Akurasi Dimensi 0.8 mm

Respon	Goal	Batas Bawah	Target	Batas Atas
Akurasi Dimensi	Target	0.79	0.80	0.85



Gambar 17. Grafik parameter Optimum Akurasi Dimensi 0.8 mm

Kombinasi parameter yang optimum :

Putaran Spindel (n) : 800 rpm
Radius pahat : 0.8 mm
Gerak pemakanan : 0.1296 mm/put
Kedalaman potong : 0.7539 mm
Prediksi respon yang dihasilkan : 0.80 mm

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Setelah semua proses pengujian dan penelitian dilakukan tentang optimasi parameter pemesinan tanpa fluida pendingin terhadap mutu baja AISI 1045, dapat diambil kesimpulan, yaitu optimasi respon dilakukan dengan menggunakan pendekatan nilai keinginan/fungsi *desirability*. Didapat nilai variabel yang optimal untuk mendapatkan nilai kekerasan, Putaran Spindle 560 rpm, Radius Pahat 0.4 mm, Gerak Pemakanan 0.05 mm/put, Kedalaman pemakanan 0.5 mm dan prediksi respon yang dihasilkan nilai Kekerasan 217,1667 HB. Dapat dilihat nilai fungsi *desirability* untuk kekerasan memiliki nilai fungsi *desirability* 0,89216 hal ini menunjukkan bahwa nilai fungsi *desirability* sudah cukup baik. Didapat nilai variabel yang optimal untuk mendapatkan nilai kekasaran, Putaran Spindle 800 rpm, Radius Pahat 0.8 mm, Gerak Pemakanan 0.05 mm/put, Kedalaman pemakanan 0.8 mm dan prediksi respon yang dihasilkan nilai Kekasaran 3.2198 μ m. Dapat dilihat nilai fungsi *desirability* untuk kekasaran memiliki nilai fungsi *desirability* 0.93086 hal ini menunjukkan bahwa nilai fungsi *desirability* sudah cukup baik. Sedangkan nilai variabel yang optimal untuk mendapatkan nilai akurasi dimensi untuk 0.5. Putaran Spindle 560 rpm, Radius Pahat 0.4 mm, Gerak Pemakanan 0.05 mm/put, Kedalaman pemakanan 0.5 mm dan prediksi respon yang dihasilkan nilai Akurasi Dimensi 0.5104 mm. Dapat dilihat nilai fungsi *desirability* untuk kekerasan memiliki nilai fungsi *desirability* 0.82639 hal ini menunjukkan bahwa nilai fungsi *desirability* sudah cukup baik. dan variabel yang optimal untuk mendapatkan nilai akurasi dimensi 0.8. Putaran Spindle 800 rpm, Radius Pahat 0.8 mm, Gerak Pemakanan 0.1296 mm/put, Kedalaman pemakanan 0.7539 mm dan prediksi respon yang dihasilkan nilai Akurasi Dimensi 0.80 mm. Dapat dilihat nilai fungsi *desirability* untuk kekerasan memiliki nilai fungsi *desirability* 1.0000 hal ini menunjukkan bahwa nilai fungsi *desirability* sudah cukup baik.

4.2. Saran

Adapun saran yang bisa diberikan untuk penelitian lebih lanjut yaitu:

1. Bisa dilakukan penelitian lebih lanjut dengan menambahkan level medium dan diameter benda kerja untuk menghasilkan nilai yang lebih baik terhadap nilai kekerasan, kekasaran dan akurasi dimensi.
2. Perusahaan dapat mengembangkan pengaruh parameter-parameter proses terhadap kekerasan, kekasaran dan akurasi dimensi dengan metode optimasi desain eksperimen.

Daftar Pustaka

- Ahmad. Aminy, Yusran . 2013. *Optimasi Pembubutan Kering Besi Tuang Kelabu*. Artikel. Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
- Bambang, Sugiantoro. 2014. *Optimasi Parameter Proses Milling Terhadap kualitas Pemesinan Aluminium Dengan Metode Taguchi* . Artikel. Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang.

Wiyono, S., 2016, Perencanaan Proses permesinan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon-Banten

Rochim, T., 1993, *Teori dan Teknologi Proses Permesinan*. Jurusan Teknik Mesin, FTI-ITB, Bandung.

Muin, Syamsir A., 1989, Dasar dasar perancangan perkakas dan mesin – mesin perkakas, Rajawali, Jakarta.

Wiyono, S., 2006, Bahan Ajar Proses Produksi I, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon-Banten.

<http://yamakikai.indonesia.blogspot.com/2013/11/Proses-Pemotongan-Mesin-Bubut-Material-Pahat-Konsep-Pemesinan-Terkini-Laju-Tinggi-Keras-Kering-Bahan-Logam-Rekayasa-Pemilihan-Bahan-Optimum-Response-Surface-Methodology-RSM.html>.

<https://qualityengineering.wordpress.com/2018/06/29/metode-taguchi/>

<https://indo-digital.com/alat-uji-kekasaran-permukaan-logam-nonlogam-mr-110.html>

<http://www.alatuji.com/article/detail/434/surfaceroughnessalatukurkekasaran#.VqmzC5p97Dc>

<https://gurupujaz.wordpress.com/2015/03/07/mengenal-pahat-bubut/>

<http://kamiltoh4.blogspot.co.id/>

<http://antika.blogspot.co.id/2012/01/kapan-menggunakan-pahat-hss-atau.html>