

OPTIMASI PARAMETER PROSES BUBUT BAJA St 60 DENGAN MEDIA PENDINGIN COOLED AIR JET COOLING

*Gama Cahaya Putera Su-Marna¹, Rusnaldy²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: gamacahya@gmail.com

Abstrak

Proses bubut yang merupakan salah satu proses pemotongan logam yang menghasilkan produk berbentuk silindris. Produk tersebut memiliki tingkat kekasaran permukaan yang sangat mempengaruhi fungsi dari produk itu sendiri, terutama produk yang bekerja dalam mekanisme kontak. Kekasaran permukaan suatu benda kerja dipengaruhi oleh berbagai parameter, seperti putaran *spindle*, laju pemakanan, kedalaman potong dan penggunaan media pendingin. Sampai saat ini media pendingin yang sering digunakan masih mengandung zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan dan tidak ramah lingkungan. Salah satu solusi yang diterapkan saat ini adalah penggunaan media pendingin udara berkecepatan tinggi yang didinginkan (*cooled air jet cooling*). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menemukan kondisi parameter permesinan yang paling optimal untuk mendapatkan hasil terbaik dari kekasaran permukaan, temperatur pahat, dan konsumsi daya listrik mesin dari proses bubut baja St 60. Metode penelitian yang digunakan adalah secara eksperimental dan dianalisa menggunakan metode taguchi. Dari hasil penelitian diperoleh kesimpulan bahwa untuk menghasilkan kekasaran permukaan yang halus diperoleh pada kondisi parameter putaran *spindle* 1400 rpm, laju pemakanan 0.125 mm/rev, kedalaman potong 1 mm dan tekanan pendingin 3 bar. Temperatur pahat yang paling rendah diperoleh pada kondisi parameter putaran *spindle* 580 rpm, laju pemakanan 0.136 mm/rev, kedalaman potong 0.25 mm dan tekanan pendingin 5 bar. Konsumsi daya listrik mesin bubut paling rendah diperoleh pada kondisi parameter putaran *spindle* 580 rpm, laju pemakanan 0.125 mm/rev, kedalaman potong 0.25 mm dan tekanan pendingin 5 bar.

Kata kunci: proses permesinan, *cooled air jet cooling*, kekasaran permukaan, temperatur pahat, dan konsumsi daya listrik mesin bubut.

Abstract

Lathe process which is one of the metal cutting process that produces cylindrical products. The product has a surface roughness level that affect the function of the product itself, especially products that work in the contact mechanism. Surface roughness of a work piece is influenced by various parameters, such as spindle speed, feed rate, depth of cut and the use of the cooling medium. Currently the cooling medium is often used still contains substances that are harmful to the health and generates environmental damage. One solution that is implemented today is the use of high-speed air cooling medium is cooled. Until now, commonly used cooling medium still contains substances that are harmful to health and generates environmental damages. One solution that is implemented today is the use of cooled air jet cooling. The purpose of this study was to find the most optimal machining parameter conditions to get the best result of surface roughness condition, tools temperature, and the lathe machine power consumption of steel St 60 machining process. The method used is experimentally and analyzed using the Taguchi method. From the research, we concluded that to produce a smooth surface roughness obtained at spindle speed of 1400 rpm spindle rotation, feed rate of 0.125 mm/rev, depth of cut of 1 mm and a coolant pressure of 3 bar. The lowest tool temperature obtained at feed rate of 580 rpm, feed rate of 0.136 mm/rev, depth of cut of 0.25 mm and coolant pressure of 5 bar. And the lowest power consumption of the lathe machine obtained at spindle speed of 580, feed rate of 0.125 mm/rev, depth of cut of 0.25 mm and coolant pressure of 5 bar.

Keywords: machining processes, cooled air jet cooling, surface roughness, tool temperature, and power consumption of lathe machine.

1. Pendahuluan

Dalam dunia industri, tingkat kekasaran suatu produk sangat mempengaruhi fungsi dari produk tersebut, terutama pada produk yang bekerja dalam mekanisme kontak [1]. Salah satu proses untuk menghasilkan produk tersebut adalah proses bubut yang merupakan salah satu proses pemotongan logam yang menghasilkan produk

berbentuk silindris. Dalam proses pemotongan logam terutama proses bubut, produktifitas dan kualitas permukaan produk dapat ditingkatkan dengan menaikkan putaran *spindle* atau kecepatan pemotongan serta mengatur laju pemakanan. Hal ini akan menyebabkan tingginya temperatur pada daerah pemotongan yang akan mempengaruhi keausan pahat dan kekasaran permukaan yang dapat menyebabkan cacat produk. Untuk itu dibutuhkan media pendingin yang dapat mengurangi tingginya temperatur sehingga dapat memperbaiki kekasaran permukaan dan mengurangi keausan pahat. [2]

Media pendingin yang digunakan saat ini mengandung zat yang berbahaya bagi kesehatan operator dan buruk dampaknya bagi lingkungan [3]. Media pendingin udara berkecepatan tinggi (*air jet cooling*) merupakan salah satu solusi yang dapat diterapkan saat ini [4]. Pada tahun 2010, telah dilakukan penelitian tentang analisa efek *air jet cooling* pada proses bubut baja St 40. Temperatur udara pendingin yang digunakan adalah 22 °C sampai 25 °C pada tekanan kerja 0,5 bar sampai 6 bar. Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses pendinginan tersebut dapat mengurangi temperatur pemotongan dan memperbaiki nilai kekasaran permukaan. Proses pendinginan ini juga ramah lingkungan dan efisien sehingga lebih menguntungkan jika dibandingkan dengan permesinan basah [5].

Dalam penelitian ini akan digunakan media pendingin udara berkecepatan tinggi yang didinginkan menggunakan tabung vortek (*vortex tube*). Dengan menggunakan *vortex tube* diharapkan temperatur udara bertekanan tersebut dapat memiliki temperatur yang lebih rendah dari sebelumnya. Penelitian ini melibatkan parameter-parameter utama dalam proses bubut yaitu kecepatan putar *spindle*, kecepatan pemakanan, kedalaman pemotongan dan tekanan udara pendingin itu sendiri. Kemudian data yang diperoleh akan dianalisa menggunakan metode Taguchi guna menyederhanakan penelitian dan memperoleh hasil pembahasan yang tepat. Sehingga nantinya akan diperoleh optimasi dari kombinasi parameter utama dalam proses tersebut.

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk menemukan kondisi parameter permesinan yang paling optimal yang menghasilkan nilai terbaik dari kekasaran permukaan, temperatur pahat, dan konsumsi daya listrik mesin pada proses bubut baja St 60 dengan parameter-parameter yang ditentukan.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Material dan Alat Penelitian

a. Material Benda Kerja

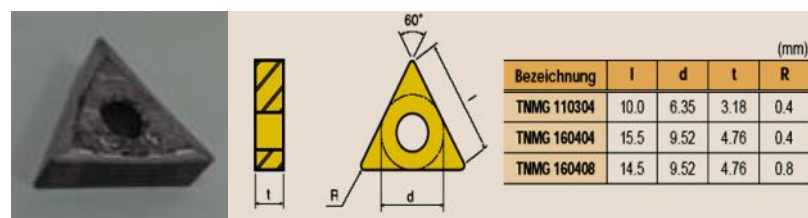
Material benda kerja yang digunakan sebagai spesimen uji dalam penelitian ini adalah baja St 60. Pemilihan baja St 60 didasarkan karena bahan tersebut sering digunakan dalam industri manufaktur. Spesimen uji dibuat dengan ukuran panjang 50 cm dan diameter 36 mm dengan kekerasan rata-rata 57.3 HRA, seperti terlihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Material benda kerja baja St 60.

b. Material Pahat

Pahat yang digunakan adalah TNMG 160404 FG CT 3000, produksi Taegutec Korea dan pahat ini memiliki kekerasan 93 HRA (Taegutec, 2008). Pahat jenis ini dipakai untuk *finishing* pada proses pemesian untuk material-material seperti *carbon steel*, *stainless steel* dan besi cor, seperti terlihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Pahat TNMG 160404 FG CT 3000 dan spesifikasinya [6].

c. Alat Penelitian

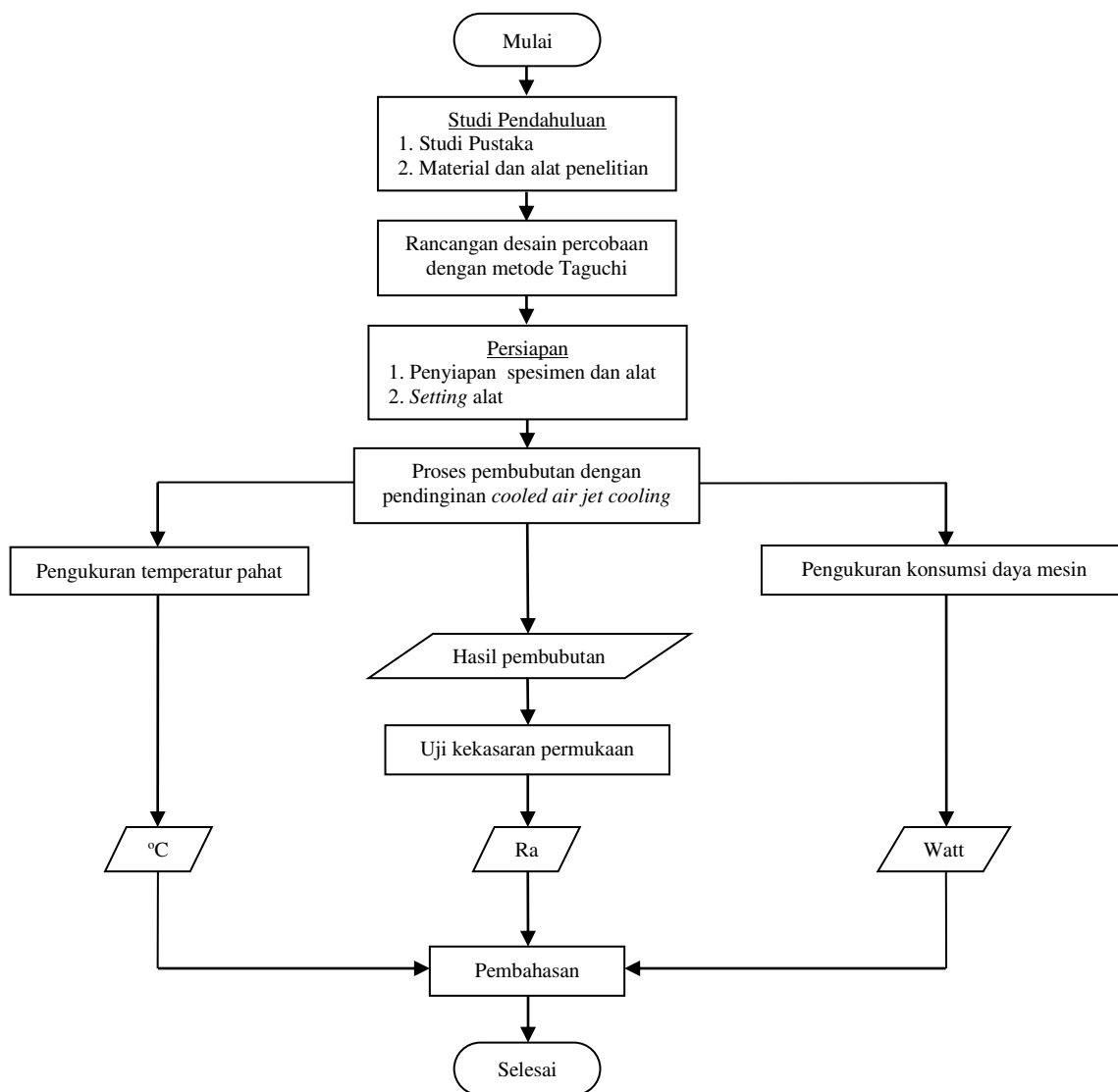
Alat penelitian yang digunakan antara lain mesin bubut CMZ T360, kompresor udara dengan tekanan kerja maksimal 8 bar, *air filter* untuk menyaring udara bertekanan, *refrigerated air dryer* untuk menurunkan temperatur udara bertekanan, dan *adjustable spot cooler* untuk menurunkan temperatur udara bertekanan sehingga diperoleh udara dingin. Alat penelitian secara keseluruhan dapat dilihat pada setup lapangan penelitian ini pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Peralatan Penelitian.

2.2 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 4** berikut ini.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

2.3 Desain Percobaan Taguchi

Pada percobaan ini menggunakan 4 buah faktor dan 3 level untuk setiap faktornya, sebagaimana terlihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Faktor dan level penelitian

Parameter	Faktor	Level 1	Level 2	Level 3
Putaran <i>spindle</i>	A	580	850	1400
Laju pemakanan	B	0.113	0.125	0.136
Kedalaman potong	C	0.25	0.5	1
Tekanan pendingin	D	1.5	3	5

Berdasarkan derajat kebebasan pada Tabel 2, maka matriks orthogonal yang dipilih adalah $L_9(3^4)$. Pada matriks ini terdapat 9 kali percobaan dan ini sudah lebih dari jumlah derajat kebebasan yang digunakan [7], dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Derajat Kebebasan

Faktor Interaksi	Derajat Kebebasan (df)	Keterangan
Faktor A	3 - 1	2
Faktor B	3 - 1	2
Faktor C	3 - 1	2
Faktor D	3 - 1	2
Total DoF		8

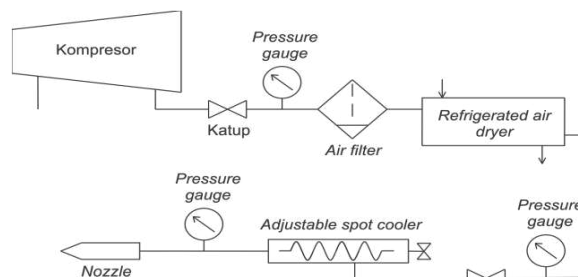
Orthogonal array adalah suatu matriks dari sejumlah kolom dan baris, masing-masing kolom mewakili faktor-faktor dari percobaan yang dilakukan. *Orthogonal array* ini memenuhi asumsi orthogonalitas, yaitu level dari masing-masing faktor adalah seimbang dan dapat dipisahkan dari masing-masing faktor yang lain dalam percobaan [7], diperlihatkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Orthogonal Array $L_9(3^4)$ dengan faktor dan level

Kondisi Percobaan	Putaran spindle (rpm)	Laju pemakanan (mm/rev)	Kedalaman potong (mm)	Tekanan Pendingin (bar)
1	580	0,113	0.25	1
2	580	0,125	0,5	3
3	580	0,136	1	5
4	850	0,113	0,5	5
5	850	0,125	1	1
6	850	0,136	0,25	3
7	1400	0,113	1	3
8	1400	0,125	0,25	5
9	1400	0,136	0,5	1

2.4 Setup Pendinginan *Cooled Air Jet Cooling*

Media pendingin yang digunakan adalah udara bertekanan yang dihasilkan oleh kompresor. Udara tersebut kemudian disaring dari uap air dan sisa pelumas yang ikut mengalir dari komponen kompresor menggunakan *air filter*. Udara bertekanan lalu dikeringkan dari uap air dan diturunkan temperaturnya menggunakan *refrigerated air dryer*. Dan didinginkan dengan menggunakan alat *adjustable spot cooler*. Skema setup media pendingin secara keseluruhan ditunjukkan pada **Gambar 5**.



Gambar 5. Skema cooled air jet cooling

2.5 Proses Pembubutan

a. Persiapan

Adapun persiapan yang dilakukan sebelum pelaksanaan pembubutan antara lain.

- 1) Persiapan, yaitu menyiapkan mesin bubut, spesimen uji, kompresor udara, *air filter*, *air dryer* dan *adjustable spot cooler*.
- 2) Merangkai alat pendingin berupa kompresor udara, *air filter*, *air dryer* dan *adjustable spot cooler*.
- 3) Membuat dimensi spesimen uji yang akan dibubut dengan dimensi panjang 31,5 cm dan diameter 3,6 cm.
- 4) Memberi tanda pada spesimen uji untuk setiap jarak pembubutan.

b. Pelaksanaan

Tahap pelaksanaan proses pembubutan adalah sebagai berikut.

- 1) Menyetting mesin bubut sesuai dengan parameter yang telah ditentukan. Misal untuk percobaan 1, mesin bubut disetting pada putaran spindle 580 rpm, laju pemakanan 0,113 mm/rev dan kedalaman potong 0,25 mm serta udara pendingin dengan tekanan 1.5 bar.
- 2) Melakukan proses pembubutan untuk percobaan pertama.
- 3) Melakukan proses pembubutan sebanyak 3 kali untuk setiap nomer percobaan.
- 4) Melakukan langkah 1 dan 2 untuk percobaan seterusnya.
- 5) Saat proses pembubutan dilakukan pengukuran temperatur pahat dan pengukuran arus listrik mesin bubut.
- 6) Setelah proses pembubutan selesai, hasil bubut ditandai sesuai dengan nomor urut percobaan. Untuk percobaan 1 replika 1 diberi kode 1.1, replika 2 diberi kode 1.2 sampai replika 3, begitu seterusnya sampai percobaan 9. Pemberian kode tersebut bertujuan untuk memudahkan proses pengujian dan pengambilan data.

2.6 Pengukuran Temperatur Pahat

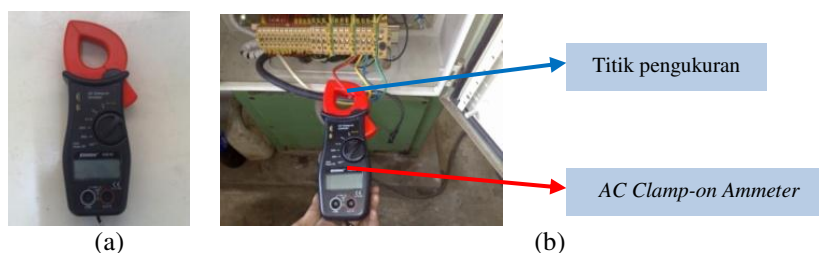
Pengukuran pada percobaan ini dengan mencari nilai temperatur saat proses pemakanan pada proses bubut. Alat yang digunakan yaitu *Infra red thermometer*. Cara pengukuran temperatur pahat dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6. (a) *Infra red thermometer*, dan (b) proses pengukuran temperatur pahat.

2.7 Pengukuran Konsumsi Daya Mesin

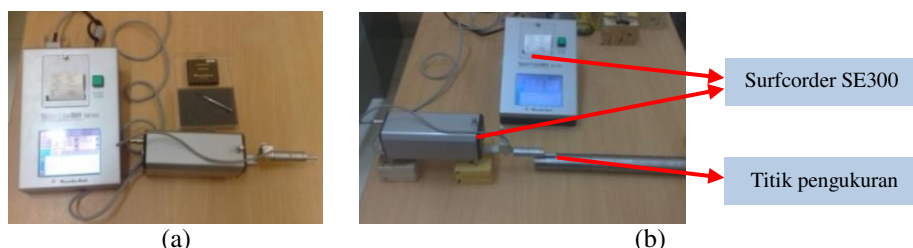
Pengukuran pada percobaan ini dengan mencari nilai konsumsi daya mesin saat proses pemakanan pada proses bubut. Penghitungan nilai daya mesin dengan mencari nilai arus listrik saat proses pembubutan, kemudian nilai arus listrik dikalikan dengan tegangan listrik yang tersedia yaitu 220 V. Alat yang digunakan yaitu *AC Clamp-on Ammeter*. Alat dan proses pengukuran konsumsi daya mesin dapat dilihat pada **Gambar 7**.



Gambar 7. (a) *AC Clamp-on Ammeter* dan (b) proses pengukuran konsumsi daya listrik mesin.

2.8 Pengujian Kekasaran Permukaan

Pengujian pada percobaan ini dengan mencari nilai kekasaran permukaan benda kerja hasil proses bubut. Alat yang digunakan yaitu Surfcomer SE300. Alat ukur dan proses pengukuran kekasaran permukaan diperlihatkan pada **Gambar 8**.



Gambar 8. (a) Surfcomer SE300 dan (b) proses pengujian kekasaran permukaan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Data Hasil Pengukuran

Dari proses pengukuran ketiga variabel terikat diperoleh nilai rata-rata pengukuran sebagai berikut, ditampilkan pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Nilai rata-rata pengukuran kekasaran permukaan, temperatur pahat dan konsumsi daya mesin bubut

Percobaan	Nilai Rata-rata		
	Kekasaran permukaan (Ra)	Temperatur pahat ($^{\circ}\text{C}$)	Daya mesin bubut (Watt)
1	2.602	28.667	909.33
2	1.869	30.000	909.33
3	2.118	32.333	916.67
4	1.583	30.333	953.33
5	1.798	37.333	982.67
6	2.245	30.333	938.67
7	1.449	40.667	1122.00
8	1.894	32.667	982.67
9	2.277	35.667	1056.00

3.2 Respon Pengaruh Level dan Analisa Varian (ANOVA) Nilai Rata-rata Hasil Pengukuran

Untuk mengidentifikasi pengaruh level dari faktor terhadap rata-rata kekasaran permukaan hasil pembubutan, rata-rata temperatur pahat, dan rata-rata konsumsi daya listrik mesin bubut dilakukan pengolahan data respon (data asli) yang diperoleh melalui pengujian. Kemudian untuk mengetahui besarnya pengaruh setiap faktor rata-rata kekasaran permukaan hasil pembubutan dapat dilakukan dengan menggunakan analisa varian. Hasil pengolahan data respon dan ANOVA kekasaran permukaan, temperatur pahat, dan konsumsi daya mesin bubut dapat dilihat pada **Tabel 5**, **Tabel 6** dan **Tabel 7**.

Tabel 5. Nilai respon pengaruh level terhadap rata-rata kekasaran permukaan hasil pembubutan dan persentase kontribusinya

Faktor	Level			Selisih (maks - min)	Ranking	Kontribusi (%)
	1	2	3			
Putaran spindle	2.196	1.875	1.873	0.323	4	19.03
Laju pemakanan	1.878	1.854	2.213	0.359	3	22.70
Kedalaman potong	2.247	1.910	1.788	0.458	1	32.86
Tekanan pendingin	2.225	1.854	1.865	0.371	2	25.40

Tabel 6. Nilai respon pengaruh level terhadap rata-rata temperatur pahat dan persentase kontribusinya

Faktor	Level			Selisih (maks - min)	Ranking	Kontribusi (%)
	1	2	3			
Putaran spindle	30.333	32.667	36.333	6.000	2	43.20
Laju pemakanan	33.222	33.333	32.778	0.556	4	0.37
Kedalaman potong	30.556	32.000	36.778	6.222	1	50.08
Tekanan pendingin	33.889	33.667	31.778	2.111	3	6.35

Tabel 7. Nilai respon pengaruh level terhadap rata-rata daya listrik mesin bubut dan persentase kontribusinya

Faktor	Level			Selisih (maks - min)	Ranking	Kontribusi (%)
	1	2	3			
Putaran spindle	911.778	958.222	1053.556	141.778	1	74.46
Laju pemakanan	994.889	958.222	970.444	24.444	4	4.97
Kedalaman potong	943.556	972.889	1007.111	63.556	2	14.42
Tekanan pendingin	982.667	990.000	950.889	39.111	3	6.16

3.3 Nilai Prediksi dari Nilai Rata-rata Kekasaran Permukaan, temperatur Pahat dan konsumsi Daya Listrik Mesin Bubut

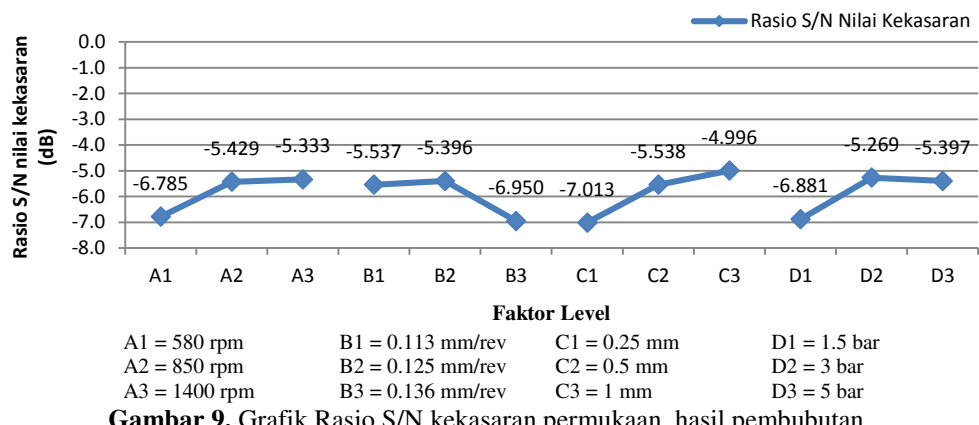
Nilai prediksi dari Nilai Rata-rata Kekasaran Permukaan, temperatur Pahat dan konsumsi Daya Listrik Mesin Bubut ditampilkan pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Nilai Prediksi dari Nilai Rata-rata Kekasaran Permukaan, temperatur Pahat dan konsumsi Daya Listrik Mesin Bubut

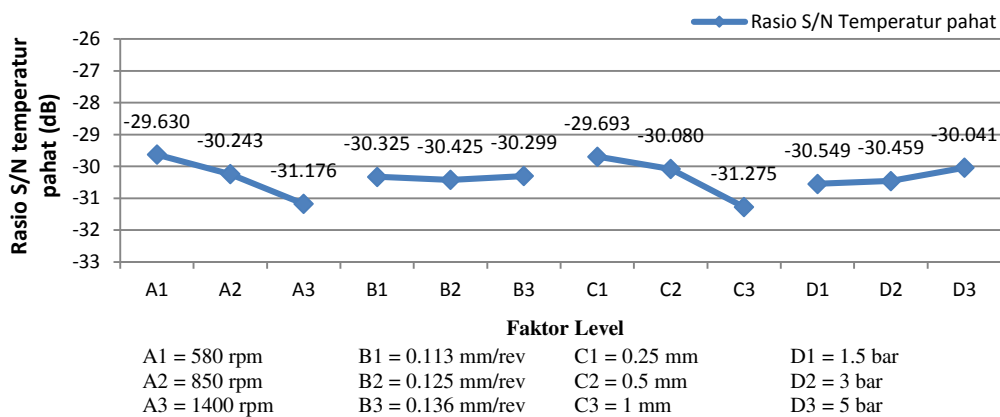
Bagian	Putaran spindle (rpm)	Laju pemakanan (mm/rev)	Kedalaman potong (mm)	Tekanan pendingin (bar)	Prediksi
a. Pengujian kekasaran Daerah pembubutan	1400	0.125	1	3	1.425 Ra
b. Pengujian temperatur Pahat	580	0.136	0.25	5	26.111 °C
c. Pengujian daya listrik Mesin bubut	580	0.125	0.25	5	840.889 W

3.4 Grafik Rasio S/N Nilai Kekasaran Permukaan, temperatur Pahat dan konsumsi Daya Listrik Mesin Bubut

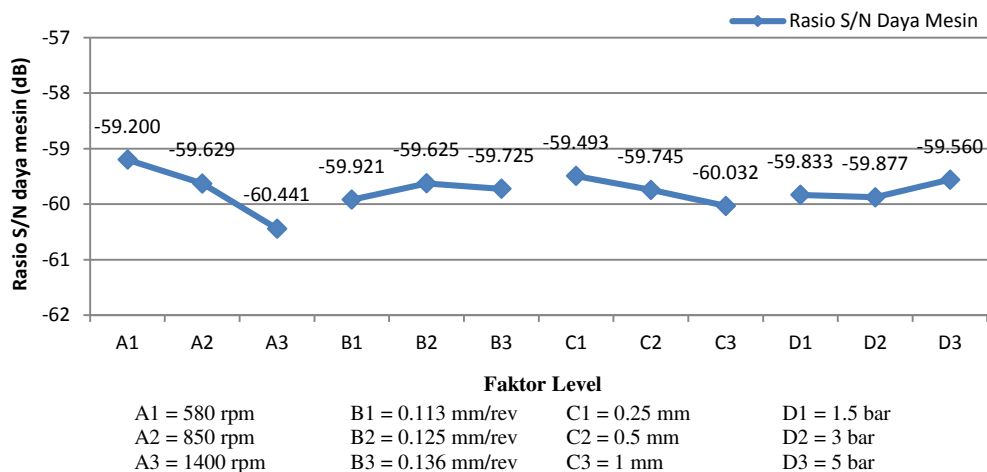
Grafik yang digunakan untuk membaca analisa Taguchi adalah grafik Rasio *Signal to Noise* (S/N). Dari hasil perhitungan bisa disajikan dalam grafik rasio S/N seperti yang ditampilkan pada **Gambar 9**, **Gambar 10** dan **Gambar 11** berikut ini.



Gambar 9. Grafik Rasio S/N kekasaran permukaan hasil pembubutan.



Gambar 10. Grafik Rasio S/N temperatur pahat.



Gambar 11. Grafik Rasio S/N konsumsi daya listrik mesin bubut.

Dari grafik rasio S/N kekasaran permukaan diperoleh nilai optimal dari kekasaran permukaan pada putaran *spindle* 1400 rpm, laju pemakanan 0.125 mm/rev, kedalaman potong 1 mm dan tekanan pendingin 3 bar. Pada grafik rasio S/N temperatur pahat diperoleh nilai optimal dari temperatur pahat pada putaran *spindle* 580 rpm, laju pemakanan 0.136 mm/rev, kedalaman potong 0.25 mm dan tekanan pendingin 5 bar. Dan pada grafik rasio S/N konsumsi daya listrik mesin diperoleh nilai optimal dari kekasaran permukaan pada putaran *spindle* 580 rpm, laju pemakanan 0.125 mm/rev, kedalaman potong 0.25 mm dan tekanan pendingin 5 bar. Kombinasi parameter-parameter inilah yang akan dijadikan optimasi parameter untuk melakukan proses bubut pada baja St 60 dengan media pendingin *cooled air jet cooling*.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian proses permesinan baja St 60 dengan media pendingin *cooled air jet cooling* menggunakan metode Taguchi dapat disimpulkan bahwa:

- Kondisi permesinan yang menghasilkan kekasaran permukaan paling halus adalah pada putaran *spindle* 1400 rpm, laju pemakanan 0.125 mm/rev, kedalaman potong 1 mm, dan tekanan pendingin 3 bar.
- Kondisi permesinan yang menghasilkan temperatur pahat paling rendah adalah pada putaran *spindle* 580 rpm, laju pemakanan 0.136 mm/rev, kedalaman potong 0.25 mm, dan tekanan pendingin 5 bar.
- Kondisi permesinan yang membutuhkan daya listrik mesin bubut paling kecil adalah pada putaran *spindle* 580 rpm, laju pemakanan 0.125 mm/rev, kedalaman potong 0.25 mm, dan tekanan pendingin 5 bar.

5. Daftar Pustaka

- [1] Abouelatta, O.B., Madl, J., (2001), "Surface roughness prediction based on cutting parameter and tool vibrations in turning operation", *Journal of Material Processing Technology* 118, 269 – 277.
- [2] Dhar, N.R., Islam, S., Kamruzzaman, M., (2007), "Effect of minimum quantity lubrication (MQL) on tool wear, surface roughness and dimensional deviation in turning AISI-4340 steel", *G.U. Journal of Science* 20 (2), 23 – 32.
- [3] Bareggi, A., Torrance, A., O' Donnell, G., (2007), "Modelling thermal effects in machining by finite element method", *Proceedings of the 24th International Manufacturing Conference*, Waterford, 263 – 272.
- [4] Monno, M., Pittala, G.M., Bareggi, A., (2006), "Finite element modeling of titanium assisted by high speed air jet", *Proceeding of 12nd CIRP International Workshop on Modelling of Machining Operations*, San Sabastian, Spain, 29 – 35.
- [5] Paryanto, Rusnaldy, (2010), "Analisa efek air jet cooling pada proses bubut baja St 40", Universitas Diponegoro Semarang.
- [6] Taegutec, (2008), "*Taegu Turn Insert Master*", Korea.
- [7] Ross, J. Phillip, (1996), "*Taguchi Techniques for Quality Engineering*", McGraw-Hill.