

OPTIMASI PARAMETER PROSES BUBUT PADA BERBAGAI JENIS BAJA DENGAN MEDIA PENDINGIN *COOLED AIR JET COOLING*

*Muhammad Taufik Fitriadi Febrianto¹, 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: muh.taufikff@gmail.com

ABSTRAK

Proses bubut merupakan proses permesinan yang digunakan untuk melakukan produksi khususnya untuk pemotongan berbagai jenis logam. Untuk meningkatkan produktivitas, maka dilakukan proses permesinan yang efisien yaitu dengan mengoptimalkan parameter-parameter proses pembubutan saat melakukan pemotongan pada beberapa jenis material logam. Beberapa parameter yang mempengaruhi proses bubut, antara lain putaran *spindle*, laju pemakanan dan kedalaman potong. 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 40, St 60 dan *stainless steel* 304. 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* 850 rpm, laju pemakanan 0.125 mm/rev, kedalaman potong 1 mm dan jenis material *stainless steel* 304. Temperatur pahat yang paling rendah diperoleh pada kondisi parameter putaran *spindle* 580 rpm, laju pemakanan 0.125 mm/rev, kedalaman potong 0.25 mm dan jenis material St 40. Dan 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 jenis material *stainless steel* 304.

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

ABSTRACT

Lathe machining process is used for production, especially for cutting various types of metal. To increase productivity, the efficient machining process is carried out is by optimizing the process parameters when performing cutting lathe on some kind of metal material. Some of the parameters that affect the process of lathe, for example spindle speed, feed rate and depth of cut. Until now commonly used cooling medium still contains substances that are harmful to health and are not environmentally friendly. 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 40, St 60 and stainless steel 304 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 850 rpm spindle rotation, feed rate of 0.125 mm/rev, depth of cut of 1 mm and material type stainless steel 304. The lowest tool temperature obtained at feed rate of 580 rpm, feed rate of 0.125 mm/rev, depth of cut of 0.25 mm and material type St 40. 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 material type stainless steel 304.

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

1. Pendahuluan

Pada proses permesinan seringkali terjadinya kendala seperti keausan pahat. Faktor terbesar penyebab terjadinya keausan pahat adalah karena adanya panas yang dihasilkan selama proses permesinan. Sedangkan untuk meningkatkan produktivitas permesinan dibutuhkan putaran *spindle* dan kecepatan potong yang tinggi, hal ini jelas menghasilkan temperatur yang tinggi pada daerah pemotongan [1]. Oleh karena itu diperlukan media pendingin yang

digunakan untuk mengurangi temperatur saat proses permesinan berlangsung sehingga keausan pahat dapat diminimalkan serta dapat meningkatkan kualitas hasil proses permesinan.

Pada proses permesinan, media pendingin berfungsi dalam proses pendinginan, pelumasan dan pembuangan *chips* yang akan menentukan performansi proses permesinan. Penggunaan media pendingin yang saat ini dipakai masih mengandung zat-zat yang berbahaya bagi kesehatan operator mesin dan tidak ramah lingkungan [2].

Karena seringnya penggunaan media pendingin yang tidak ramah lingkungan tersebut maka diperlukan media pendingin alternatif yang aman bagi kesehatan operator dan ramah lingkungan, tetapi efektif dalam penggunaannya. Salah satu solusi yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan media pendingin udara berkecepatan tinggi (*cooled air jet cooling*) [3]. Selain itu dengan menggunakan udara sebagai media pendingin dalam proses permesinan akan dapat mengurangi biaya operasional selama proses permesinan [4].

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 jenis material yang digunakan dalam penelitian. Sampel material yang digunakan yaitu St 40, St 60 dan *stainless steel* 304. Kemudian data yang diperoleh akan dianalisa menggunakan metode Taguchi guna menyederhanakan penelitian dan memperoleh hasil pembahasan yang tepat. 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 40, St 60 dan *stainless steel* 304.

2. Bahan dan Metode Penelitian

2.1 Material dan Alat Penelitian

a. Material Benda Kerja

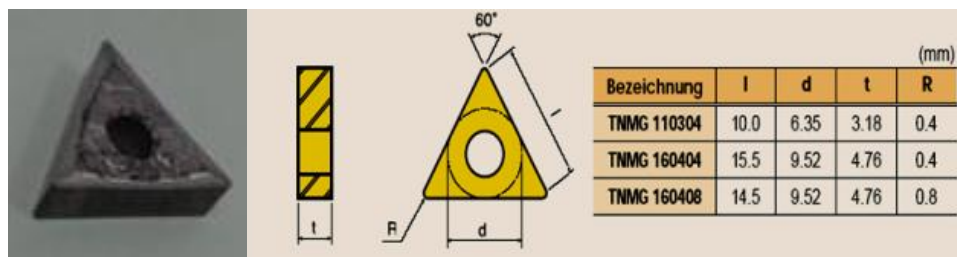
Material benda kerja yang digunakan sebagai spesimen uji dalam penelitian ini adalah baja St 40, St 60 dan *stainless steel* 304. Pemilihan baja ini didasarkan karena bahan tersebut sering digunakan dalam industri manufaktur. Spesimen uji dibuat dengan ukuran panjang 50 cm dan diameter 36 cm dengan kekerasan rata-rata St 40 56.2 HRA, St 60 57.3 HRA dan *stainless steel* 304 66.2 HRA, seperti terlihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Material benda kerja baja St 40, St 60 dan *stainless steel* 304.

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 pemesinan 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 [5].

c. Alat Penelitian

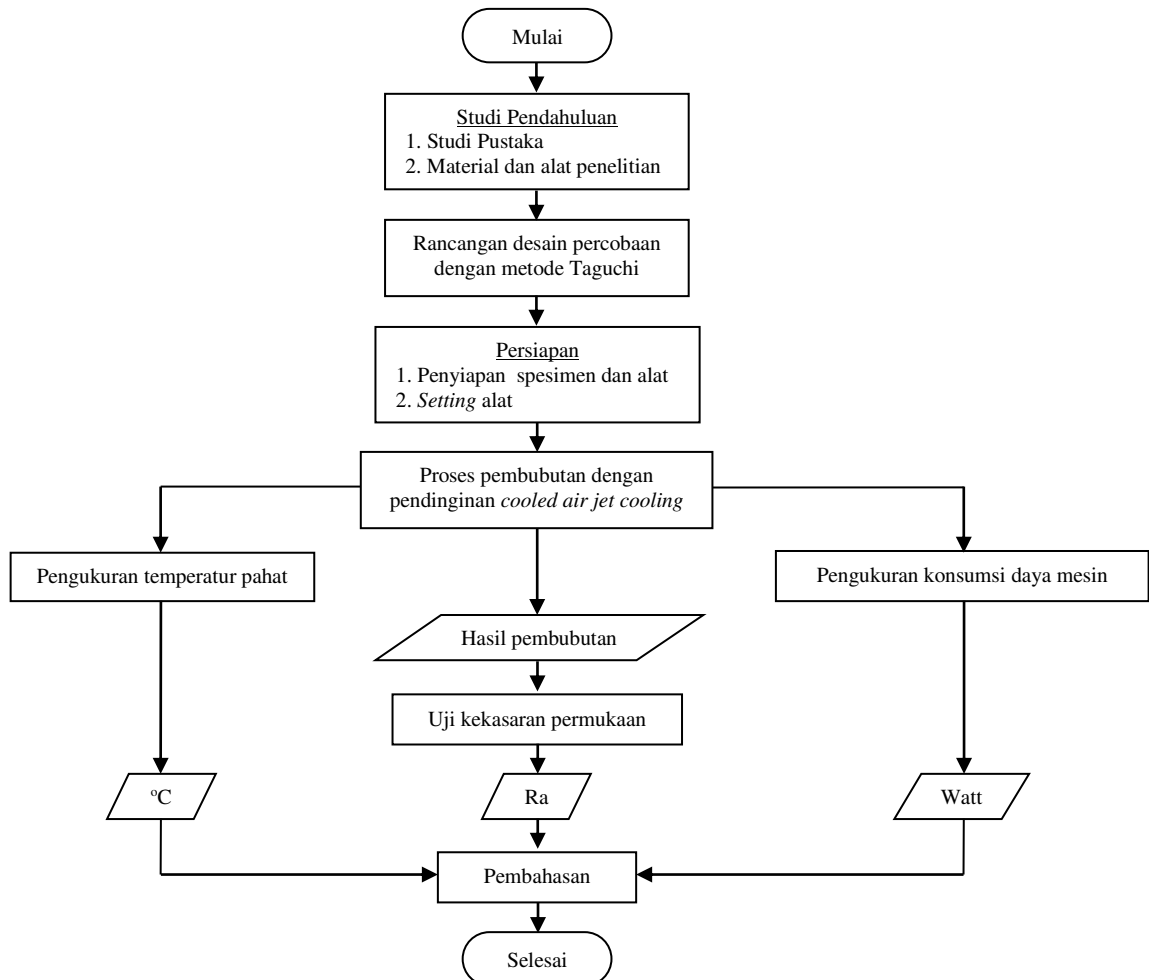
Alat penelitian yang digunakan diperlihatkan pada **Gambar 3** berikut ini.



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
Jenis material	D	St 40	St 60	<i>Stainless steel 304</i>

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 [6], 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

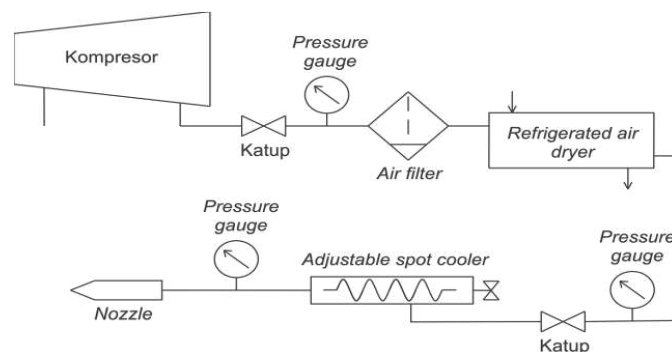
Orthogonal array adalah suatu matriks dari sejumlah kolom dan baris, masing-masing kolom mewakili faktor-faktor dari percobaan yang dilakukan. *Orthogonal array* ini memenuhi asumsi orthogonalitas, yaitu level dari masing-masing faktor adalah seimbang dan dapat dipisahkan dari masing-masing faktor yang lain dalam percobaan, 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)	Jenis Material
1	580	0,113	0.25	St 40
2	580	0,125	0,5	St 60
3	580	0,136	1	<i>Stainless steel 304</i>
4	850	0,113	0,5	<i>Stainless steel 304</i>
5	850	0,125	1	St 40
6	850	0,136	0,25	St 60
7	1400	0,113	1	St 60
8	1400	0,125	0,25	<i>Stainless steel 304</i>
9	1400	0,136	0,5	St 40

2.4 Setup Pendinginan *Cooled Air Jet Cooling*

Media pendingin yang digunakan adalah udara bertekanan yang dihasilkan oleh kompresor. Udara tersebut kemudian 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.

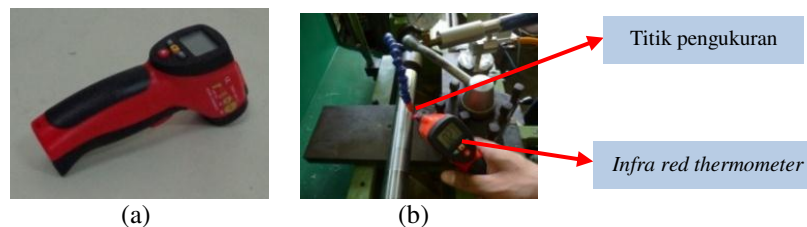
b. Pelaksanaan

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 serta jenis material St 40.
- 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

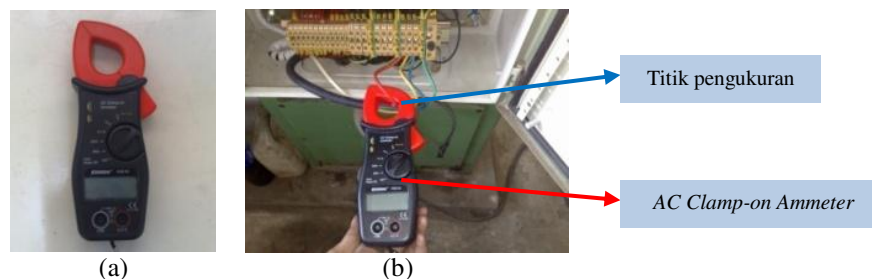
Pengukuran pada percobaan ini dengan mencari nilai temperatur saat proses pemakanan pada proses bubut. Alat yang digunakan yaitu termometer laser. Cara pengukuran temperatur pahat dapat dilihat pada **Gambar 6**.



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

2.7 Pengukuran Konsumsi Daya Mesin

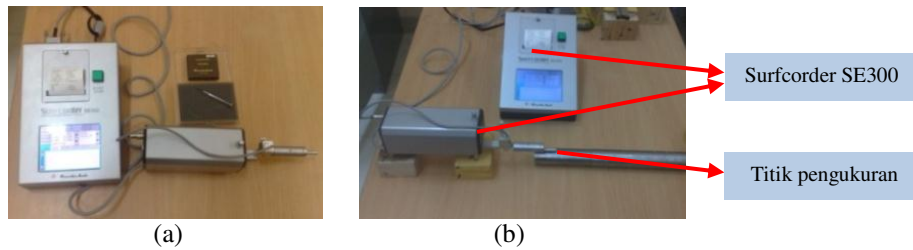
Pengukuran pada percobaan ini dengan mencari nilai konsumsi daya mesin saat proses pemakanan pada proses bubut. Penghitungan nilai daya mesin dengan mencari nilai arus listrik saat proses pembubutan, kemudian nilai arus listrik dikalikan dengan tegangan listrik yang tersedia yaitu 220 V. Alat yang digunakan 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 Surfcoorder SE300. Alat ukur dan proses pengukuran kekasaran permukaan diperlihatkan pada **Gambar 8**.



Gambar 8. (a) Surfcoorder 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 (°C)	Daya mesin bubut (Watt)
1	3.235	26.667	946
2	2.084	28.000	924
3	1.728	30.667	924
4	1.316	29.000	946
5	1.724	28.667	990
6	2.056	27.667	946
7	1.722	30.333	1144
8	1.486	28.667	990
9	2.583	28.333	1056

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 <i>spindle</i>	2.349	1.699	1.930	0.650	2	22.93
Laju pemakanan	2.091	1.765	2.122	0.358	4	7.62
Kedalaman potong	2.259	1.994	1.725	0.534	3	14.70
Jenis material	2.514	1.954	1.510	1.004	1	54.75

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 <i>spindle</i>	28.444	28.444	29.111	0.667	3	7.10
Laju pemakanan	28.667	28.444	28.889	0.444	4	2.32
Kedalaman potong	27.667	28.444	29.889	2.222	1	61.40
Jenis material	27.889	28.667	29.444	1.556	2	29.18

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 <i>spindle</i>	931.333	960.667	1063.333	132.000	1	68.02
Laju pemakanan	1012.000	968.000	975.333	44.000	4	7.87
Kedalaman potong	960.667	975.333	1019.333	58.667	2	13.20
Jenis material	997.333	1004.667	953.333	51.333	3	10.91

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

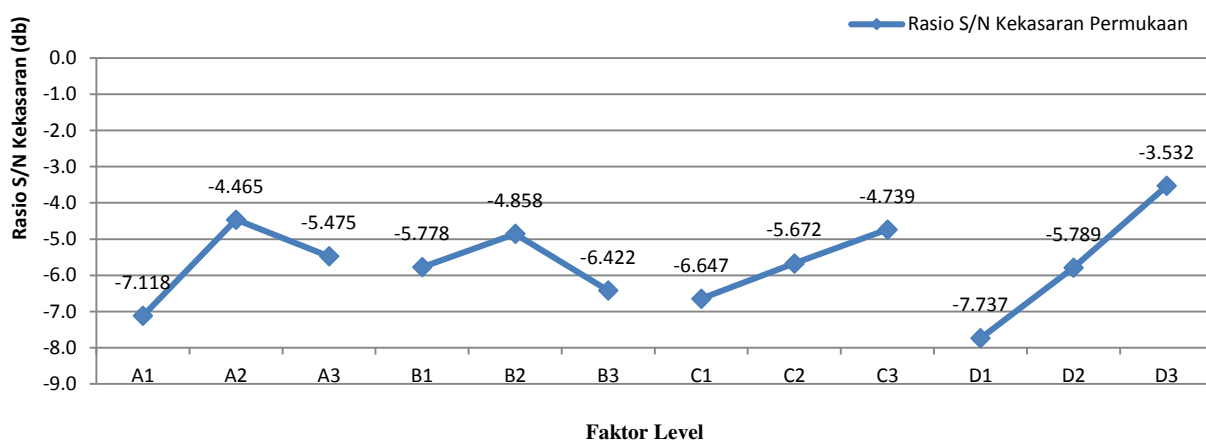
Nilai prediksi dari Nilai Rata-rata Kekasaran Permukaan, temperatur Pahat dan konsumsi Daya Listrik Mesin Bubut ditampilkan pada **Tabel 8**.

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)	Jenis material	Prediksi
a. Pengujian kekasaran daerah pembubutan	850	0.125	1	<i>Stainless steel 304</i>	3.266 Ra
b. Pengujian temperatur pahat	580	0.125	0.25	St 40	31.33 °C
c. Pengujian daya listrik mesin bubut	580	0.125	0.25	<i>Stainless steel 304</i>	1144 W

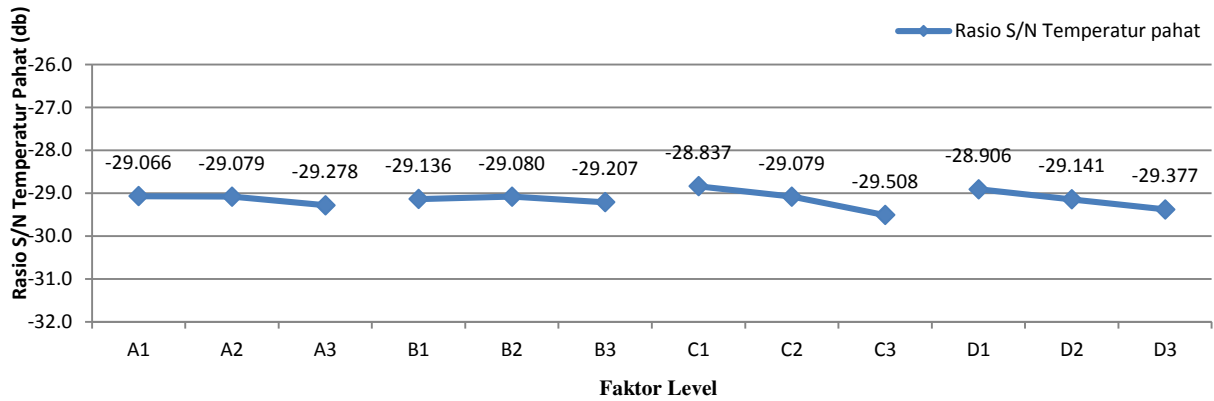
3.4 Grafik Rasio S/N Nilai Kekasaran Permukaan, temperatur Pahat dan konsumsi Daya Listrik Mesin Bubut

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.



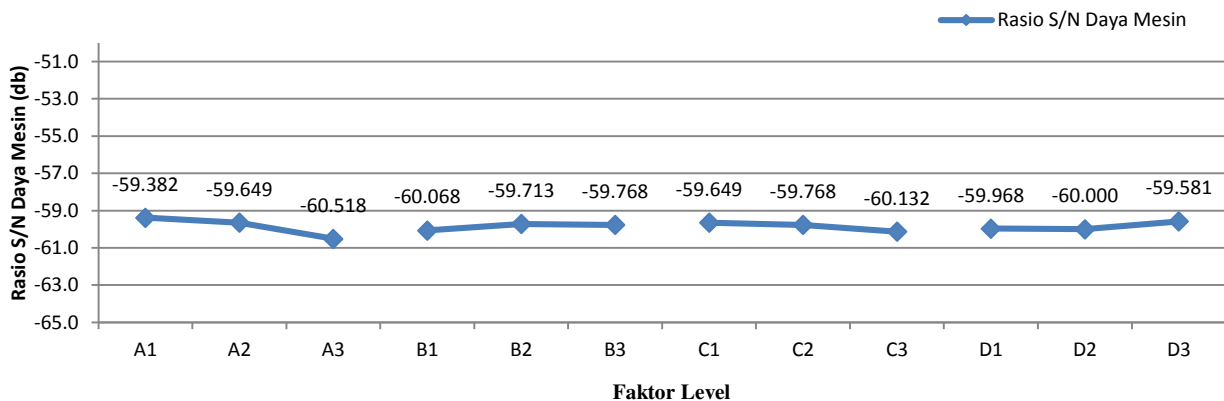
A1 = 580 rpm B1 = 0.113 mm/rev C1 = 0.25 mm D1 = St 40
 A2 = 850 rpm B2 = 0.125 mm/rev C2 = 0.5 mm D2 = St 60
 A3 = 1400 rpm B3 = 0.136 mm/rev C3 = 1 mm D3 = *Stainless steel 304*

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



A1 = 580 rpm B1 = 0.113 mm/rev C1 = 0.25 mm D1 = St 40
 A2 = 850 rpm B2 = 0.125 mm/rev C2 = 0.5 mm D2 = St 60
 A3 = 1400 rpm B3 = 0.136 mm/rev C3 = 1 mm D3 = *Stainless steel 304*

Gambar 10. Grafik Rasio S/N temperatur pahat.



A1 = 580 rpm B1 = 0.113 mm/rev C1 = 0.25 mm D1 = St 40
 A2 = 850 rpm B2 = 0.125 mm/rev C2 = 0.5 mm D2 = St 60
 A3 = 1400 rpm B3 = 0.136 mm/rev C3 = 1 mm D3 = *Stainless steel 304*

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* 850 rpm, laju pemakanan 0.125 mm/rev, kedalaman potong 1 mm dan jenis material *stainless steel 304*.. Pada grafik rasio S/N temperatur pahat diperoleh nilai optimal dari temperatur pahat pada putaran *spindle* 580 rpm, laju pemakanan 0.125 mm/rev, kedalaman potong 0.25 mm dan jenis material St 40. 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 jenis material *stainless steel 304*. 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 40, St 60 dan *stainless steel 304* 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* 850 rpm, laju pemakanan 0.125 mm/rev, kedalaman potong 1 mm, dan jenis material *stainless steel 304*.
- Kondisi permesinan yang menghasilkan temperatur pahat paling rendah adalah pada putaran *spindle* 580 rpm, laju pemakanan 0.125 mm/rev, kedalaman potong 0.25 mm, dan jenis material St 40.
- 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 jenis material *stainless steel 304*..

5. Daftar Pustaka

- [1] 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.
- [2] Çakır, O., Yardımeden, A., Ozben, T., Kilickap, E., (2007), "Selection of cutting fluids in machining processes"., *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering* 25, 99 – 102.
- [3] Boswell, B., Chandratilleke, T.T., (2009), "Air-cooling used for metal cutting", *American Journal of Applied Sciences* 6 (2), 251 – 262.
- [4] Feng, S.C., Hattori, M., (2001), "Cost and process information modeling for dry machining", Manufacturing Engineering Laboratory, NIST DoC.
- [5] Taegutec, (2008), "Taegu Turn Insert Master", Korea.
- [6] Ross, J. Phillip, (1996), "Taguchi Techniques for Quality Engineering", McGraw-Hill.