

ANALISIS PENGARUH PARAMETER PEMOTONGAN TERHADAP KONSUMSI ENERGI LISTRIK PADA PROSES PEMBUBUTAN¹⁾

Asmeati, Yanti²⁾

Abstract: *This research is focused on determining the consumption of electrical energy in machining process. In this study, the calculation and measurement used to evaluate the needs of electrical energy for machining process. The research conducted on low carbon steel and the condition of machining in particularly the turning process. This allows the definition of energy distribution for machining process and the identification of the main focus areas to reduce the energy used for the machine. This methodology includes the preparation of materials and tools, measure the energy on a lathe and machine the process performance. Experimental results will be retrieved amount of electrical energy consumption used in turning process that can be performed by direct measurement and calculation. Thus, it can then be analyzed by Analysis of Variance using a Design Expert to get optimum cutting conditions with regard to the criteria of minimum energy.*

Keywords: *Turning process, Energy consumption Low carbon Steel.*

I. PENDAHULUAN

Seiring dengan pertumbuhan ekonomi di Indonesia yang semakin pesat, maka pertumbuhan industri di bidang manufaktur juga semakin pesat. Pertumbuhan industri ini akan memicu kenaikan penggunaan energi listrik yang akan digunakan oleh perusahaan dalam menjalankan pabriknya. Semua pertumbuhan ini tentunya disertai dengan meningkatnya kebutuhan energi akibat bertambahnya jumlah rumah, beragam bangunan komersial serta industri. Bahkan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral melansir pertumbuhan konsumsi energi Indonesia lebih tinggi dibandingkan negara-negara lain di dunia. Sekretaris Ditjen Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi Kementerian ESDM, Djadjang Sukarna, menjelaskan, konsumsi energi yang tinggi ini menimbulkan masalah dan ketimpangan, yaitu terjadinya pengurasan sumber daya fosil seperti minyak dan gas bumi serta batu bara yang lebih cepat, jika dibandingkan dengan penemuan cadangan baru. Dengan kondisi demikian, dia menjelaskan, tidak ada cara lain untuk dapat memenuhi kebutuhan energi dalam negeri, selain dengan memanfaatkan energi baru terbarukan serta upaya melakukan konservasi energi.

Salah satu upaya pemerintah yang harus dilakukan adalah terus menggalakkan konservasi energi, yaitu penggunaan energi yang efisien. Upaya itu meliputi

¹ Penelitian Dosen Muda, Ditbinlitabmas, Dikti, 2014

² Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin Universitas Fajar

pemanfaatan energi yang efisien dan menerapkan manajemen energi di semua sektor, yaitu industri, transportasi, rumah tangga, dan komersial. Adapun sektor utama pengguna energi yang perlu dilakukan efisiensi, yaitu sektor rumah tangga, komersial, industri dan transportasi. Saat ini pengguna energi terbesar adalah **sektor industri** dengan pangsa 44,2% dari total energi di Indonesia. Oleh karena itu efisiensi energi di sektor ini sangatlah penting dan berdampak besar. Walaupun efisiensi energi pada sektor industri terus mengalami perkembangan dan perbaikan dalam beberapa tahun terakhir, namun masih terdapat banyak potensi penghematan energi yang dapat digali.

Industri menggunakan energi dalam jumlah besar baik untuk unit proses seperti pengolahan, manufaktur, pengemasan maupun untuk unit utilitas pendukungnya. Unit proses umumnya menggunakan banyak mesin dan membutuhkan panas dalam jumlah besar. Jenis energi yang digunakan pada umumnya adalah energi fosil seperti minyak bumi, gas dan batu bara. Karena jenis dan tipe industri sangat beragam, maka efisiensi energi sangat bergantung pada peralatan dan teknologi yang digunakan untuk proses produksi tersebut. Efisiensi pada sektor industri difokuskan pada dua langkah utama, yaitu: penggunaan teknologi proses yang hemat energi dan Manajemen energi. Dari dua langkah utama tersebut, kita fokuskan ke langkah pertama untuk menggunakan teknologi proses yang hemat energi dengan melakukan penelitian pada permesinan yang merupakan sebagian dari industri manufaktur yang banyak menggunakan energi listrik.

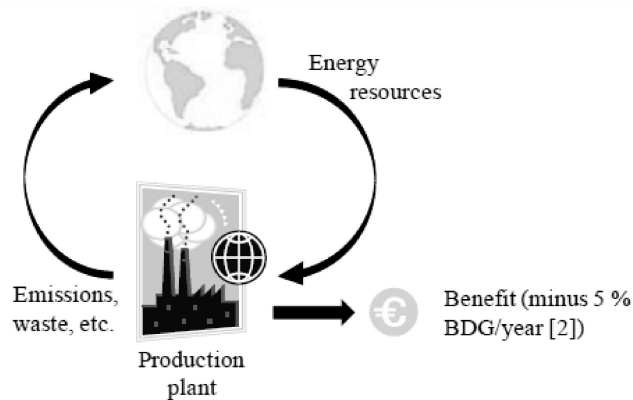
Berdasarkan uraian di atas maka, penelitian ini diarahkan untuk mengetahui seberapa besar konsumsi energi listrik (kW) yang digunakan dalam melakukan proses pembubutan dengan parameter permesinan yang akan dioptimalkan.

Pemesinan Berkelanjutan (*Sustainable Machining*)

Industri permesinan logam mengalami penekanan dalam meningkatkan hasil yang kompetitif, peraturan lingkungan yang lebih ketat, pasokan rantai permintaan untuk perbaikan kinerja lingkungan dan tingkat keterampilan jatuh dalam industri. Mengadopsi praktek produksi berkesinambungan menawarkan perusahaan logam mesin, dari semua ukuran, rute yang efektif biaya untuk meningkatkan ekonomi mereka, kinerja lingkungan dan sosial (yaitu tiga pilar keberlanjutan).

Piramida struktur konvensional pengetahuan produksi, isi tingkat struktur terorganisir dengan ide dan desain dasar produk baru, CAD pada tingkat produksi dengan CAM dan terendah tingkat Manufaktur Teknik. Prinsip keberlanjutan mempertimbangkan: biaya produksi, konsumsi energi, pengelolaan limbah, dampak lingkungan, keselamatan operasional dan kesehatan pribadi. Saat krisis industri tersebar di seluruh dunia, produksi massal, industri otomotif, dan sebagainya menghadapi kesulitan dalam mencari keuntungan. Solusi, untuk mengatasi situasi ini terletak pada inovasi dan kreasi produk, mengikuti aturan Produksi Manufaktur Berkelanjutan pada semua tingkat dan meningkatkan keberlanjutan pandangan atas pertumbuhan produksi (produk domestik bruto - PDB) (Gambar. 1).

3 Asmeati, Yanti, *Analisa Pengaruh Parameter Pemotongan terhadap Konsumsi Energi Listrik Pada Proses Pembubutan*



Gambar 1. Strategi pengembangan berkelanjutan pada perhitungan PDB negatif.

Dengan penerapan prinsip keberlanjutan dalam proses permesinan, perusahaan memiliki potensi untuk menghemat uang dan meningkatkan kinerja lingkungan mereka meskipun produksi tetap dalam kisaran yang sama atau menyusut. Ada sebuah fakta bahwa alasan krisis industri baru-baru ini tingginya konsumsi produk yang melebihi estimasi konsumsi pelanggan sebenarnya, akibatnya banyak produk yang tinggal di gudang. Sumber masalahnya adalah, perusahaan secara tradisional berfokus pada pertimbangan keuangan jangka pendek, dengan sedikit pemikiran ke arah jangka panjang. Namun, strategi bisnis jangka panjang sangat penting untuk mencapai pembangunan berkelanjutan (Pusavec dkk, 2009). Cara untuk membantu perusahaan meningkatkan ekonomi mereka, kinerja lingkungan dan sosial adalah dengan:

- meminimalkan limbah dan meningkatkan limbah re-use atau recycle (Balic dan Cus, 2007),
- menggunakan sumber daya seperti bahan, air dan energi lebih efisien,
- menghindari atau meningkatkan pengelolaan cairan pelumas, swarf, dan pelumas minyak.
- meningkatkan lingkungan, kesehatan dan kinerja keselamatan,
- mengadopsi *lean manufacturing* dan teknik rekayasa berkelanjutan (Zuperl dan Cus, 2008)
- memperbaiki kondisi kerja.

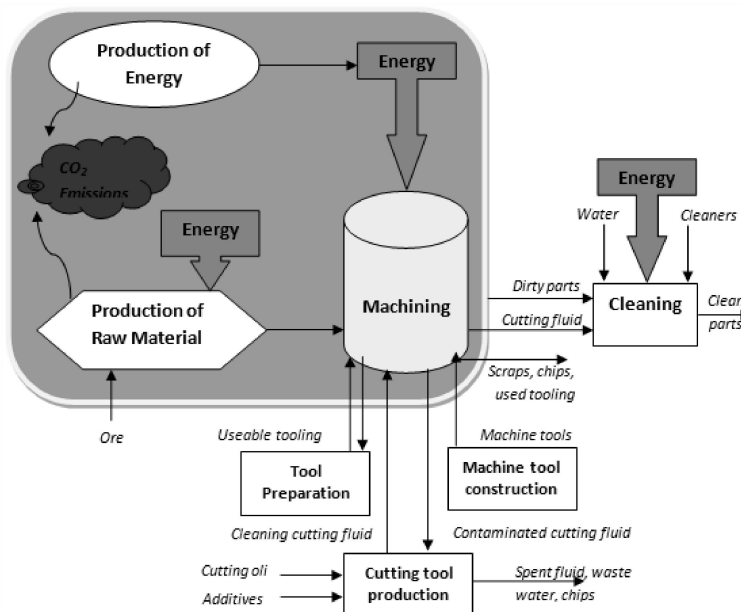
Konsumsi Energi (*Energy Consumption*)

Permesinan banyak digunakan di sebagian besar industri manufaktur maka merupakan permintaan utama untuk energi. Ada jumlah yang berlimpah pekerjaan penelitian yang dilakukan pada proses pemesinan tetapi isu-isu lingkungan dari proses pemesinan jarang diberi banyak perhatian kecuali untuk pekerjaan yang dilakukan oleh Gutowski dkk. (2006) yang mempelajari kebutuhan energi listrik dalam proses

penggilingan. Pendekatan mereka dapat digunakan untuk mengevaluasi konsumsi energi dalam proses pemesinan.

Dahmus dan Gutowski (2004) menyajikan diagram alir bahan untuk analisis lingkungan dari proses pemesinan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Kontributor utama emisi anggaran energi dan CO₂ adalah energi yang digunakan dalam proses mesin dan energi yang terkandung dalam bahan benda kerja. Energi yang dibutuhkan untuk proses pemesinan diambil dari jaringan listrik. Dalam menghasilkan energi (listrik) dari sumber-sumber pembangkit listrik yang berbeda, CO₂ dipancarkan oleh proses.

Permesinan adalah proses penghilangan material di mana alat pemotong mengeras digunakan untuk menghilangkan chip dari benda kerja. Ada berbagai jenis proses pemesinan seperti memutar, penggilingan, pengeboran dan reaming, tetapi mereka semua menjalani proses pemotongan yang sama yang menciptakan chip. Berbeda dengan alat mesin konvensional dikendalikan secara manual, alat mesin CNC dikontrol oleh komputer dan program komputer sehingga operasi mesin CNC serta konsumsi energi mereka ditentukan untuk proses pemesinan tertentu. Selama proses pemesinan, energi digunakan untuk menggerakkan komponen (misalnya Unit CNC kontrol, spindle, poros pakan, dan lain-lain) dari alat mesin CNC untuk mewujudkan serangkaian operasi (misalnya mengatur, pemuatan, memotong, mengganti alat otomatis, dan lain-lain). Profil energi listrik selama operasi alat mesin dipelajari dan diberikan untuk berbagai jenis proses pemesinan (Li dkk, 2011).



Gambar 2. Energi dalam manufaktur (Gutowski, 2004)

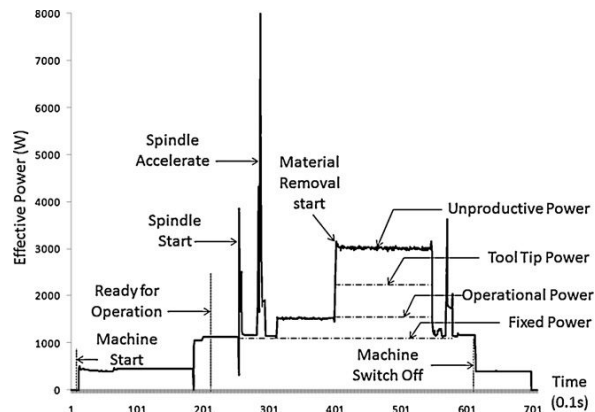
Penelitian menunjukkan bahwa permintaan listrik tidak statis melainkan 7 dinamis selama proses permesinan. Kurva daya (*power*) dapat dibagi menjadi tiga bagian: daya yang konstan, daya variabel dan daya puncak. Daya puncak (*peak power*) biasanya pendek dan hanya memberi sebagian kecil untuk konsumsi energi kumulatif, sehingga dapat diabaikan ketika menghitung total konsumsi energi. Dengan adanya pernyataan tersebut, maka kebutuhan daya secara umum dapat dibedakan menjadi variabel dan daya konstan (Gutowski dkk, 2006).

Gutowski dkk. melaporkan bahwa energi yang dibutuhkan untuk proses removal material bisa sangat kecil dibandingkan dengan total energi untuk operasi alat mesin. Dari hasil penelitian sebelumnya oleh Gutowski dkk. (2006), kebutuhan daya listrik, P , untuk mesin dapat dihitung dari persamaan sebagai berikut:

$$P = P_o + k \cdot v$$

(1)

dimana, P adalah power/daya [W] dikonsumsi oleh proses pemesinan, P_o adalah kekuatan [W] dikonsumsi oleh semua modul mesin untuk mesin beroperasi tanpa beban, k adalah kebutuhan energi spesifik [Ws/mm³] dalam operasi pemotongan, dan v adalah banyaknya material yang dihilangkan (MRR), di [mm³/s] .



Gambar 3. Profil dari daya/power proses pembubutan (Li dkk, 2011)

Seperti ditunjukkan dalam persamaan (1), kebutuhan energi untuk proses pemesinan tergantung pada daya yang dikonsumsi dan energi spesifik dalam operasi pemotongan. Energi spesifik representatif untuk bahan yang berbeda mesin diterbitkan oleh Kalpakjian dan Schmid (2006). Nilai untuk beradaptasi tergantung pada kombinasi perkakas dan benda kerja bahan/nilai yang digunakan.

Dengan demikian, dari persamaan (1) daya total untuk mesin dapat dibagi menjadi dua, yaitu daya tanpa pembebanan (P) dan daya permesinan ($k \cdot v$). Idle power adalah daya yang dibutuhkan atau diperlukan untuk fitur peralatan yang mendukung mesin. Sebagai contoh, kekuatan untuk memulai komputer dan fans, motor, pompa pendingin dan lain-lain. Daya yang tergambar pada peralatan mesin

menggunakan motor tiga fase, P , dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \cos \phi$$

(2)

dimana V adalah tegangan, I adalah arus [A] dan $\cos \phi$ adalah faktor daya.

Energi listrik yang dibutuhkan untuk proses pembubutan, E , dapat diperoleh dengan mensubstitusikan persamaan (1) kedalam persamaan (3).

$$E = (P + k \cdot v) t$$

(3)

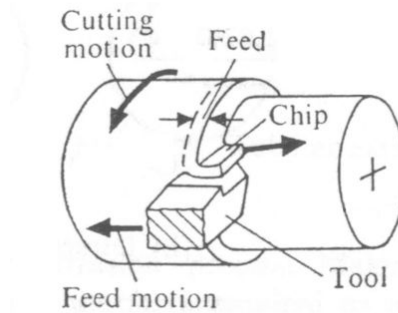
dimana t adalah waktu yang diperlukan untuk permesinan dalam satuan detik.

Proses Pembubutan

Permesinan adalah salah satu proses yang paling serbaguna dalam industri manufaktur untuk pengolahan, membentuk atau memotong berbagai jenis bahan benda kerja. Permesinan didefinisikan sebagai proses removal material yang diterapkan pada benda kerja untuk mendapatkan bentuk yang diperlukan. Berbagai bentuk dapat diproduksi dengan permesinan (Kalpakjian dan smith, 2006). Saat ini ada banyak penekanan yang diberikan untuk mengembangkan kemampuan mesin untuk mencapai bentuk bagus dan juga untuk mengurangi biaya metode mesin, alat dan peralatan. Dalam proses pemotongan logam bahan yang tidak diinginkan akan dihapus dari benda kerja dalam bentuk chip untuk memproduksi bagian selesai dimensi dan akurasi yang diperlukan.

Proses pembubutan adalah operasi yang sangat dasar dan umumnya menghasilkan permukaan silinder. Jenis permesinan yang digunakan untuk jenis operasi ini dikenal sebagai mesin bubut (Ghosh dan Malik, 1986). Pembubutan juga merupakan salah satu operasi yang paling umum digunakan dalam karya eksperimental dan pemotongan logam (Trent dan Wright, 2000), dimana alat ini berada dalam posting alat yang tetap dan akan bergerak dengan laju yang konstan sepanjang sumbu bar, memotong logam lapisan untuk membentuk permukaan atau profil yang lebih kompleks sebagai bagian sedang diputar. Pembubutan juga digunakan sebagai proses sekunder untuk menghasilkan permukaan akhir yang lebih baik setelah diolah oleh proses primer seperti pengecoran, penempaan, ekstrusi atau proses menggambar. Gambar. 4 menunjukkan proses pembubutan.

Dalam semua proses pemesinan, gerak relatif antara benda kerja dan alat potong yang diperlukan untuk menghasilkan permukaan. Gerakan utama biasanya gerakan utama yang disediakan oleh alat mesin menyebabkan gerakan relatif antara alat dan benda kerja sehingga wajah alat mendekati benda kerja. Umpan gerak ketika ditambahkan ke gerakan primer menyebabkan berulang atau menghilangkan chip yang terus menerus dan penciptaan permukaan mesin dengan karakteristik geometris yang diinginkan.



Gambar 4. Proses pembubutan dengan pergerakan pemotongan dan pemakanan

Kecepatan potong (V) adalah kecepatan benda kerja dalam kaitannya dengan stasioner alat bit pada permukaan titik pemotongan, biasanya dinyatakan dalam satuan m/menit atau ft/min. Laju pemakanan (f) adalah jarak yang ditempuh oleh alat dalam arah aksial per revolusi dari pekerjaan, diukur dalam mm/rev. Kedalaman potong (a_p) adalah ketebalan logam dihapus dari bar, diukur dalam mm. Ketiga produk parameter tingkat removal material (\dot{v}) [mm^3/min] selama pemotongan yang dapat dihitung sebagai berikut (Walsh, 2001):

$$\dot{v} = V \times f \times a_p \quad (4)$$

II. METODE PENELITIAN

A. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Produksi P.S. Teknik Mesin Universitas Fajar Makassar dan Bengkel Mekanik P.S. Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

B. Bahan dan Peralatan

Bahan atau material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah (St. 37). Alasan penggunaan bahan ini adalah bahan banyak digunakan oleh industri menengah, contohnya pembuatan engsel pagar/pintu.

Peralatan dan perlengkapan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

1. Mesin bubut konvensional dengan putaran maximum 2500 rpm.
2. Pahat bubut rata kanan berbahan karbida (carbide).
3. Jangka sorong untuk pengukuran bahan penelitian
4. Alat ukur clampmeter untuk mengukur penggunaan energi listrik.
5. Stopwatch untuk mengukur waktu proses permesinan.
6. Alat ukur surface tester untuk mengukur kekasaran permukaan hasil pembubutan.

C. Tahapan Pengambilan Data

1. **Tahap persiapan.** Tahapan ini diperlukan untuk menyiapkan hal-hal yang berkaitan dengan kebutuhan penelitian seperti pemilihan dan pengadaan bahan, peralatan pengujian, dan alat-alat bantu lainnya.
2. **Tahap pembuatan benda kerja.** Tahapan ini dilakukan untuk menyiapkan benda kerja sebelum proses pembubutan dimulai. Tahapan ini berupa pemotongan bahan dengan menggunakan mesin gergaji dengan ukuran pemotongan 300 mm berdiameter 5 mm sebanyak 5 potong.
3. **Tahap proses pembubutan**

Tahapan proses ini merupakan tahapan pokok dari penelitian dengan rincian sebagai berikut:

- a. Benda kerja dipasang pada chuck mesin bubut dengan menggunakan pengunci.
- b. Benda kerja dibubut pada bagian facing untuk mendapat kerataan dari hasil pemotongan gergaji sebelumnya.
- c. Memasang centre drill untuk membuat lubang pada bagian pusat benda kerja agar mudah dipasang pada pusat pada kepala lepas mesin bubut.
- d. Memasang pahat bubut rata kanan pada tool post mesin bubut dengan menggunakan tool holder (pemegang pahat).
- e. Mengatur parameter pemotongan (kecepatan potong = 540 rpm, kecepatan pemakanan = 0.10 mm/put dan kedalaman pemakanan = 0.5 mm) sesuai dengan data-data yang akan diteliti.
- f. Memasang alat ukur clamp meter pada kabel power mesin bubut (ikuti petunjuk manual book mesin bubut).
- g. Menyiapkan alat ukur waktu (stop watch) untuk mengukur waktu proses pemotongan.
- h. Mengoperasikan mesin bubut dimulai dengan mengubah switch ke posisi ON, lalu memindahkan handle pemutar spindel ke posisi spindel yang berputar searah jarum jam.
- i. Mengarahkan pahat bubut ke ujung benda kerja dan memutar handle pemutar tool ke arah x untuk menentukan titik sentuh benda kerja dan pahat bubut, lalu diaturlah posisi x (nol) dengan memutar alat pengukur yang terpasang di handle pemutar tool tersebut. Hal yang sama dilakukan untuk arah z dengan menyetting ke posisi 0 juga.
- j. Memposisikan pahat bubut pada posisi x -5 mm dan z 0.5 mm (kedalaman pemakanan).
- k. Memindahkan handle pergerakan arah x ke arah otomatis, sehingga pahat bubut bergerak secara otomatis hingga mencapai jarak 30 mm sambil memulai stop watch untuk menghitung waktu pemotongan.
- l. Jika pahat bubut sudah melakukan pemakanan sejauh 30 mm, pindahkan handle penggerak otomatis ke posisi normal sambil mematikan stop watch. Lalu arahkan pahat bubut ke posisi x -5 mm dan z 0 mm.

9 Asmeati, Yanti, *Analisa Pengaruh Parameter Pemotongan terhadap Konsumsi Energi Listrik Pada Proses Pembubutan*

- m. Langkah-langkah ini akan berturut-turut dilakukan di mulai dari tahapan *i* dengan kedalaman pemakanan yang sama.
- n. Untuk parameter pemotongan berikut dapat dilakukan untuk tahapan yang sama seperti diatas.
 - Kecepatan potong yang digunakan adalah 540, 900 dan 1500 (rpm)
 - Kecepatan pemakanan yang digunakan adalah 0.10, 0.15, dan 0.20 (mm/put).
 - Kedalaman pemakanan yang ditetapkan adalah 0.5 mm (konstan).



Gambar 5. Benda kerja sebelum proses pembubutan

4. **Tahap Pengumpulan data**

Tahapan ini dilakukan bersamaan dengan tahapan proses pembubutan. Adapun data yang dikumpulkan adalah waktu pemotongan yang diperoleh dari stopwatch dan penggunaan energi listrik yang diperoleh dari alat ukur clamp meter serta data hasil kekasaran permukaan dari pengukuran alat ukur surface tester.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

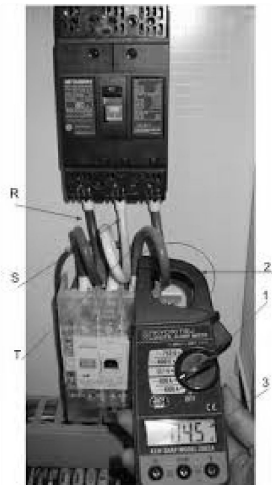
Dalam penelitian ini, jenis mesin bubut yang digunakan adalah mesin bubut konvensional dengan merek 'EMCO Maximat V13' yang memiliki 10 kW daya spindel dan maximum kecepatan spindel sebesar 2500 rpm. Adapun kecepatan potong yang digunakan adalah 540, 900 dan 1500 (rpm), serta kecepatan pemakanannya adalah 0.10, 0.15 dan 0.20 (mm/rev), sedangkan kedalaman pemakanannya dibuat konstan (tetap) sebesar 0.5 (mm).

Ada dua parameter respon yang digunakan sebagai data hasil proses pembubutan dalam penelitian ini, yaitu daya yang digunakan dan kekasaran permukaan hasil pembubutan.

a. Hasil Pengukuran Clampmeter

Dalam proses pengukuran daya (*power*) yang digunakan pada proses pembubutan, alat ukur yang digunakan adalah clamp meter. Clamp meter atau biasa disebut juga

tang meter, ditempatkan pada salah satu kabel dari tiga jenis kabel utama untuk mesin yang bersumber dari listrik dengan sistem tiga fasa seperti yang terlihat dalam gambar 6 berikut.



Gambar 6. Posisi alat alat clamp meter pada mesin bubut

Data hasil pengukuran daya yang digunakan diperoleh dengan cara mencatat nilai daya yang ditampilkan dari clamp meter selama waktu proses pemotongan. Data yang ditampilkan dalam tabel 1 merupakan rata-rata dari hasil pengamatan yang dilakukan sebanyak tiga kali.

Tabel 1. Hasil pengukuran daya (*power*) yang digunakan

No.	Kecepatan potong, V_c (put/min)	Kecepatan pemakanan, f (mm/rev)	Daya yang digunakan, P_c (Watt)	Waktu Pemotongan, t (s)
1	540	0.10	500	548
2	900	0.10	851	329
3	1500	0.10	1032	197
4	540	0.15	590	365
5	900	0.15	855	219
6	1500	0.15	1078	131
7	540	0.20	630	274
8	900	0.20	887	164
9	1500	0.20	1188	99

b. Hasil Pengukuran Clampmeter

Adapun pengukuran tingkat kekasaran permukaan dilakukan pada benda kerja hasil pembubutan dengan menggunakan alat yang dinamakan surface tester. Pengukuran kekasaran permukaan ini dilakukan sebanyak tiga kali dan diperoleh rata-rata hasil pengukuran seperti yang terlihat dalam tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil pengukuran tingkat kekasaran permukaan hasil pembubutan

No.	Kecepatan potong, V_c (put/min)	Kecepatan pemakanan, f (mm/rev)	Kekasaran Permukaan, R_a (μm)
1	540	0.10	17.00
2	900	0.10	16.25
3	1500	0.10	14.63
4	540	0.15	28.13
5	900	0.15	20.00
6	1500	0.15	22.50
7	540	0.20	37.50
8	900	0.20	35.00
9	1500	0.20	32.50

B. Pembahasan

Didalam pembahasan penelitian ini, akan dianalisa dengan menggunakan analisis *Design of Experiments* (DOE) dengan software *Design Expert* Versi 6.0.5. Analisis dengan DOE akan membantu para penggunanya dalam menganalisa data-data input dan respon yang diperoleh, dan kemudian menghasilkan formulasi untuk menentukan besaran respon, serta mampu menentukan hasil respon yang optimum.

Untuk mendapatkan pembahasan yang selanjutnya, maka dibahas satu persatu untuk tiap respon berikut.

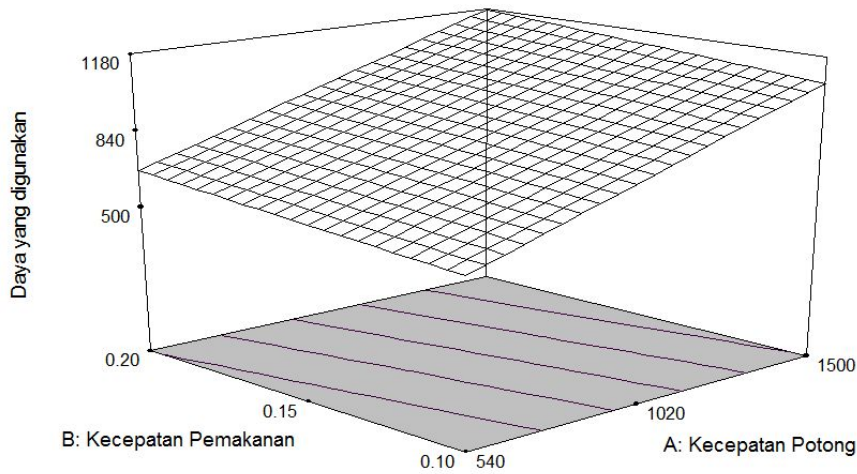
a. Daya yang digunakan (P_c)

Dengan menggunakan analisa DOE untuk data hasil pengukuran pada tabel 4.1, maka diperoleh Analysis of Variances (ANOVA) seperti pada tabel 3 dan model grafik 3D permukaan diperlihatkan pada gambar 7. Sedangkan formulasi yang didapatkan adalah:

$$P_c = +163.33333 + 0.53197 * V_c + 1073.33333 * f \quad (5)$$

Tabel 3. ANOVA untuk model linier pada Daya yang digunakan (P_c)

Source	Sum of square	Degree of freedom	Mean square	F Value	Prob. > F
Model	4.16E+005	2	2.08E+005	55.71	0.0001 <i>Significant</i>
A	3.99E+005	1	3.99E+005	106.81	<0.0001
B	17280.67	1	17280.67	4.62	0.0751
Residual	22434.72	6	3739.12		
Cor Total	4.39E+005	8			



Gambar 7. Model grafik 3D permukaan untuk Daya yang digunakan (Pc)

Berdasarkan hasil analisis DOE diatas, maka diperoleh penjelasan bahwa daya listrik akan semakin meningkat penggunaannya secara signifikan jika semakin kecepatan potong juga semakin bertambah, sedangkan kecepatan pemakanannya tidak signifikan peningkatannya. Hal ini sesuai dengan hasil riset yang dilakukan oleh Bhattacharya dkk (2009) dan Pusavec dan Kovac (2009) yang menyimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan potong maka akan meningkat pula daya yang dikonsumsi pada proses pembubutan AISI 1045 dan Hastelloy C-276.

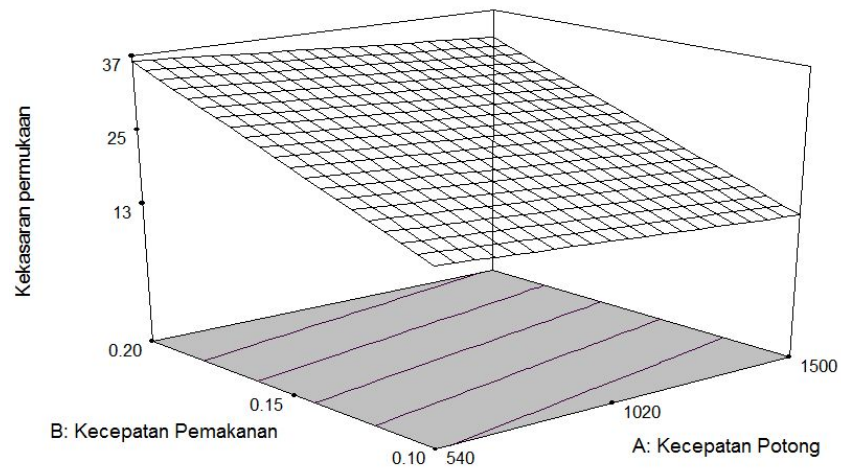
b. Kekasaran permukaan (Ra)

Demikian juga dengan analisa DOE untuk data hasil pengukuran kekasaran permukaan (Ra) pada tabel 4.4, maka diperoleh Analysis of Variance (ANOVA) seperti pada tabel 4 dan model graph 3D permukaan diperlihatkan pada gambar 8. Sedangkan formulasi yang didapatkan adalah:

$$Ra = +0.33333 - 4.14541E-003 * Vc + 190.41667 * f \tag{6}$$

Tabel 4. ANOVA untuk model linier pada kekasaran permukaan (Ra)

Source	Sum of square	Degree of freedom	Mean square	F Value	Prob. > F
Model	568.14	2	284.06	51.12	0.0002 <i>Significant</i>
A	24.25	1	24.25	4.36	0.0817
B	543.88	1	543.88	97.88	<0.0001
Residual	33.34	6	5.56		
Cor Total	601.47	8			



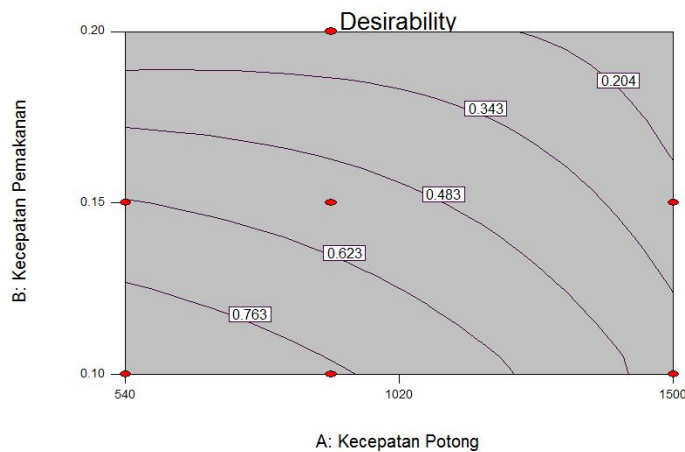
Gambar 8. Model graph 3D permukaan untuk kekasaran permukaan (R_a)

Begitu juga dengan hasil analisis DOE diatas, maka diperoleh penjelasan bahwa tingkat kekasaran permukaan hasil pembubutan akan semakin meningkat secara signifikan jika semakin kecepatan pemakanan juga semakin bertambah, lain halnya dengan kecepatan potong yang cenderung tidak memberikan pengaruh terhadap kekasaran permukaan benda kerja. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang telah dihasilkan oleh Noordin dkk. (2012) yang menyimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan pemakanan maka tingkat kekasaran permukaan akan semakin tinggi pula pada proses pembubutan AISI 420 (modifikasi).

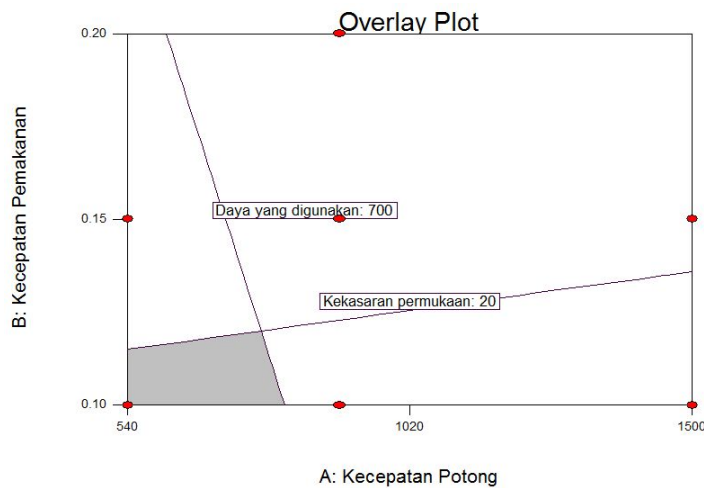
c. Penentuan parameter optimun

Dalam menentukan parameter pemotongan (kecepatan potong dan kecepatan pemakanan) yang optimun dari data hasil penelitian yang diperoleh, maka software DOE ini menginginkan agar peneliti memilih kecepatan potong dan kecepatan pemakanan yang rendah untuk mendapatkan daya listrik dan tingkat kekasaran permukaan yang minimum sebagaimana yang ditunjukkan dalam gambar berikut.

Berdasarkan grafik desirability diatas, maka kita dapat melakukan pemetaan (plotting) pada area yang optimal dalam range kecepatan potong (540, 900, dan 1500 rpm) dan kecepatan pemakanan (0.10, 0.15 dan 0.21 mm/put) untuk mendapatkan solusi yang merupakan garis pertemuan antara solusi untuk kriteria daya listrik (daerah sebelah kiri dari daya listrik 700 kW) dan solusi untuk kriteria kekasaran permukaan (daerah dibawah kekasaran permukaan 20 μm), seperti yang terlihat pada daerah abu-abu dalam *overlay plot* gambar 10.



Gambar 9. Grafik desirability data input untuk mendapatkan daya listrik dan tingkat kekasaran permukaan yang minimum.



Gambar 10. Grafik overlay data input untuk kriteria daya listrik yang minimum (700 Watt) dan kekasaran permukaan yang halus (20 µm)

IV. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

- Daya yang digunakan (P_c) dalam proses pembubutan hanya dipengaruhi oleh tingkat perubahan kecepatan potong (V_c) secara signifikan, sedangkan kecepatan pemakanan (f) tidak memberikan pengaruh yang berarti terhadap daya yang digunakan. Lain halnya dengan tingkat kekasaran permukaan (R_a) hasil pembubutan yang dipengaruhi oleh kecepatan pemakanan (f), sedangkan kecepatan

15 Asmeati, Yanti, *Analisa Pengaruh Parameter Pemotongan terhadap Konsumsi Energi Listrik Pada Proses Pembubutan*

potong (V_c) tidak memberikan efek perubahan pada tingkat kekasaran permukaan hasil pembubutan.

- Dengan menggunakan software DOE, diperoleh solusi yang optimun dengan penggunaan daya yang minimum (700 Watt) dan tingkat kekasaran permukaan yang minimum pula ($20 \mu\text{m}$) pada kondisi parameter pemotongan yang rendah.

V. DAFTAR PUSTAKA

Balic, J., Cus, F. Intelligent modeling in manufacturing, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 2007, 24(1), p. 340-348.

Bhattacharya, A., Das, S., Majumder, P., & Batish, A. (2009). Estimating the effect of cutting parameters on surface finish and power consumption during high speed machining of AISI 1045 steel using Taguchi design and ANOVA. *Production Engineering*, 3(1), 31-40.

Dahmus, J. B., and Gutowski, T. G. (2004). An environmental analysis of machining. *Proceedings of 2004 ASME International Mechanical Engineering Congress and RD&D Expo*, 1-10.

Ghosh, A., and Mallik, A. K. (1986). *Manufacturing Science*: Ellis Horword Limited.

Gutowski, T., Dahmus, J., and Thiriez, A. (2006). Electrical Energy Requirements for Manufacturing Processes. 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering.

Gutowski, T. G. (2004). Design and Manufacturing for the Environment. chapter in the *Handbook of Mechanical Engineering*(Springer-Verlag, in press).

Kalpakjian, S., and Schmid, S. R. (2006). *Manufacturing Engineering and Technology*. 5th ed. Prentice Hall, New Jersey.

Li, W., Zein, A., Kara, S., and Herrmann, C. (2011). An Investigation into Fixed Energy Consumption of Machine Tools. *Glocalized Solutions for Sustainability in Manufacturing: Proceedings of the 18th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering*, 268-273.

Noordin, M. Y., Kurniawan, D., Tang, Y. C., & Muniswaran, K. (2012). Feasibility of mild hard turning of stainless steel using coated carbide tool. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1-11.

- Nur, R., Noordin, M., Izman, S., & Kurniawan, D. (2014). The Effect of Cutting Parameters on Power Consumption during Turning Nickel Based Alloy. *Advanced Materials Research*, 845, 799-802.
- Pusavec, F., Kopac, J. Achieving and Implementation of Sustainability Principles in Machining Processes. *J. of Advances in Production Engineering & Management (APEM)*, 2009, vol. 3-4, pp. 58-69.
- Trent, E. M., and Wright, P. K. (2000). *Metal Cutting (Fourth ed.)*: Butterworth Heinemann.
- Walsh, R. A. (2001). *Handbook of Machining and Metalworking Calculations*: McGraw-Hill Professional.
- Zuperl, U., Cus, F. Machining process optimization by colony based cooperative search technique, *Journal of Mechanical Engineering*, 2008, 54(11), p. 751-758.