

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Sustainability

Dalam industri manufaktur, keberlanjutan telah menjadi masalah yang semakin penting, dan telah mencakup berbagai area seperti manufaktur, desain, dan rekayasa. Para produsen semakin memperhatikan keberlanjutan. Brundtland (1987) mendefinisikan pembangunan berkelanjutan sebagai "memenuhi kebutuhan masa kini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhan mereka." Selain itu, menurut Diesendorf (2000), pembangunan berkelanjutan adalah pembangunan ekonomi dan sosial yang melindungi dan meningkatkan keadilan sosial serta lingkungan alam.

Menurut penelitian lain, pembangunan berkelanjutan biasanya terdiri dari tiga komponen utama: ekonomi, lingkungan, dan sosial (Pusavec & Kopac, 2009). Produksi barang harus dilakukan secara berkelanjutan jika mereka ingin mencapai pembangunan berkelanjutan (Westkämper et al., 2001). Mengurangi jumlah energi yang dikonsumsi selama proses produksi adalah salah satu cara yang efisien untuk menghasilkan produk yang ramah lingkungan dan berkelanjutan.

2.2 Sustainable Manufacturing dan Sustainable Machining

2.2.1 Sustainable Manufacturing

Keberlanjutan memiliki berbagai aspek dan banyak definisi. Dalam manufaktur, optimalisasi efisiensi perusahaan, teknologi, proses, dan produk adalah bagian dari keberlanjutan. Dalam hal ini, efisiensi daerah mencakup aspek ekonomi, ekologi, dan sosial. Biaya bahan atau energi memengaruhi efektivitas ekonomi, tetapi pengurangan sumber daya meningkatkan efektivitas ekonomi dan ekologis.

Produksi berkesinambungan dapat dipahami sebagai proses penciptaan produk manufaktur yang berupaya menekan dampak negatif terhadap lingkungan, menghemat penggunaan energi serta sumber daya alam, menjamin keselamatan pekerja, masyarakat, dan konsumen, serta tetap mempertimbangkan aspek ekonomi. Produksi berkesinambungan dapat dipahami sebagai proses penciptaan produk manufaktur yang berupaya menekan dampak negatif terhadap lingkungan, menghemat penggunaan energi serta sumber daya alam, menjamin keselamatan pekerja, masyarakat, dan konsumen, serta tetap mempertimbangkan aspek ekonomi.

Dalam bentuk teknis, manufaktur berkelanjutan merupakan pendekatan sistematis dalam pembuatan dan distribusi produk maupun layanan inovatif dengan

cara meminimalkan penggunaan sumber daya (seperti bahan baku, energi, air, dan lahan), mengurangi atau menghapus penggunaan zat berbahaya, serta berorientasi pada tercapainya kondisi tanpa limbah (*zero waste*) guna menekan intensitas karbon sepanjang siklus hidup produk maupun jasa.

2.2.2 *Sustainable Machining*

Produksi berkelanjutan berfokus pada pengurangan pemanfaatan sumber daya alam, bahan baku, dan energi, sambil tetap menghasilkan produk yang mampu memenuhi kebutuhan serta keinginan masyarakat saat ini tanpa mengorbankan kemampuan generasi mendatang dalam memenuhi kebutuhan mereka (Pribadi et al., 2020). Upaya untuk mencapai hal ini dapat dilakukan melalui peningkatan aktivitas industri yang berkaitan dengan:

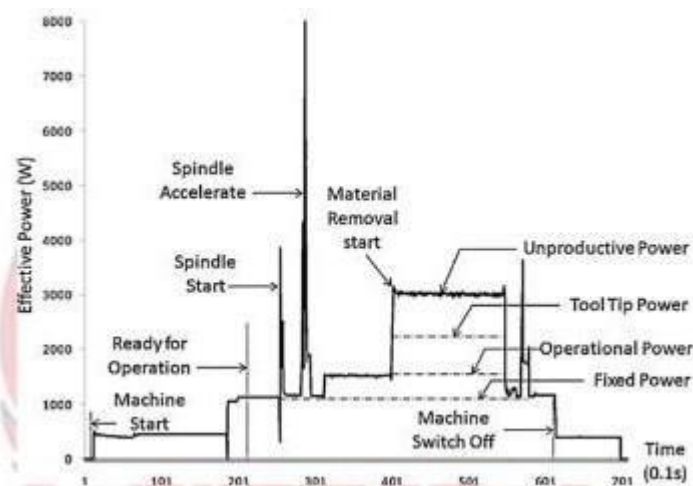
1. Biaya dan efisiensi waktu,
2. Produk dan kualitas proses, efektivitas,
3. Penggunaan bahan baku dan energi.

Pemesinan mekanik adalah industri manufaktur dengan presentase permintaan daya tertinggi. Meskipun banyak penelitian telah dilakukan tentang proses pemesinan, masalah lingkungannya jarang diperhatikan. Salah satu contohnya adalah penelitian yang dilakukan oleh Gutowski dkk (2006), yang mempelajari jumlah energi yang diperlukan untuk proses *frais*. Metode yang mereka gunakan dapat digunakan untuk mengevaluasi jumlah energi yang dikonsumsi selama proses permesinan.

Pemesinan merupakan proses penghilangan material dengan cara melepaskan *chip* dari benda kerja menggunakan alat potong yang telah dikeraskan. Berbagai jenis pemesinan, seperti pengeboran, *reaming*, bubut, dan *frais*, menghasilkan *chip* melalui prinsip pemotongan yang sama. Berbeda dengan mesin konvensional yang dioperasikan secara manual, mesin CNC dikendalikan oleh komputer melalui program yang dapat disesuaikan untuk kebutuhan pemesinan tertentu (Prayogo et al., 2022).

Dalam pelaksanaannya, proses pemesinan membutuhkan energi untuk menggerakkan komponen-komponen mesin CNC, seperti unit kontrol, *spindle*, poros pakan, dan sebagainya, guna mendukung berbagai operasi seperti pengaturan, pemuatan, pemotongan, maupun pergantian alat otomatis. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa kebutuhan energi listrik selama proses pemesinan bersifat dinamis, bukan statis. Kurva konsumsi daya umumnya terbagi menjadi tiga kategori, yaitu daya konstan, daya variabel, dan daya puncak. Daya puncak biasanya hanya berlangsung singkat dan memberikan kontribusi kecil terhadap total energi yang digunakan, sehingga sering diabaikan dalam perhitungan konsumsi energi keseluruhan. Dengan demikian, konsumsi daya lebih tepat diklasifikasikan

menjadi dua, yakni daya konstan dan daya variabel. Profil konsumsi daya pada proses bubut dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Profil konsumsi daya untuk proses bubut

Gutowski et al. (2006) menyatakan bahwa kebutuhan energi untuk mengoperasikan mesin perkakas dapat jauh lebih besar dibandingkan dengan energi yang diperlukan dalam proses pemindahan material. Selain itu, Gutowski (2004) menegaskan bahwa jejak energi pada proses utama dalam pembuatan material umumnya lebih tinggi dibandingkan dengan proses sekundernya. Hal ini menekankan pentingnya penerapan analisis siklus hidup dalam mengevaluasi produk. Meskipun demikian, pemilihan pemasok bahan baku biasanya ditentukan oleh pelanggan, sementara inovasi berkelanjutan mendorong terciptanya proses produksi sekunder yang lebih efisien. Berdasarkan penelitian Gutowski et al. (2006), kebutuhan daya listrik mesin (P) dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$P = P_o + P_t \dots \dots \dots (1)$$

Di mana, P adalah daya [watt] yang digunakan dalam proses pemesinan, P_o merupakan daya [watt] yang dikonsumsi oleh seluruh modul mesin saat beroperasi tanpa beban, k adalah kebutuhan energi spesifik [Ws/mm^3] pada proses pemotongan, dan v adalah laju penghilangan material (*Material Removal Rate/MRR*) [mm^3/s]. Berdasarkan persamaan tersebut, kebutuhan energi pada proses pemesinan dipengaruhi oleh besarnya daya yang digunakan serta nilai energi spesifik dalam operasi pemotongan. Nilai-nilai ini bervariasi tergantung pada jenis material benda kerja maupun material pahat yang digunakan. Dengan demikian, daya total mesin dapat dipisahkan menjadi dua komponen, yaitu daya idle (P_o) dan daya pemotongan (P_t). Daya *idle* mengacu pada energi yang diperlukan untuk mengoperasikan fitur pendukung mesin meskipun tanpa proses pemotongan.

Sebagai ilustrasi, daya yang digunakan oleh mesin perkakas dengan motor tiga fasa dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$P = V \cdot I \cdot \sqrt{3} \cos \phi \dots\dots\dots (2)$$

Di mana V, adalah tegangan dan I adalah arus [A], $\cos \phi = 0,8$ hingga $0,95$.

2.3 Mesin *Line boring* Hidrolik

Line boring adalah teknik yang digunakan untuk memperbesar atau memperluas diameter lubang pada komponen yang tidak bergerak atau tidak dapat dikerjakan pada mesin bubut. Biasanya, proses ini dilakukan di tempat, baik pada mesin berat atau bagian tertentu dari peralatan industri. Ini melibatkan pemanfaatan mesin bor khusus, mirip dengan mesin bubut, tetapi dengan pahat berputar yang memfasilitasi gerakan pemotongan. Dibawah ini merupakan gambar 2.2 mesin *line boring* hidrolik.



Gambar 2. 2 Mesin *line boring* hidrolik
(Sumber. Dokumentasi pribadi)

2.3.1 Bagian-Bagian Utama Mesin *Line Boring*

Untuk dapat digunakan secara maksimal, mesin *line boring* harus memiliki bagian-bagian utama yang standar. Ada beberapa bagian mesin *line boring* standar diantaranya :

a. Panel box

Panel box adalah bagian utama untuk mengatur dan memonitor seluruh operasi mesin di dalam panel box, operator dapat mengakses berbagai kontrol, seperti kecepatan putaran, daya motor, tekanan hidrolik, dan parameter lainnya yang diperlukan untuk proses *boring*. Dibawah ini merupakan gambar 2.3 panel box.



Gambar 2. 3 Panel box
(Sumber. Dokumentasi pribadi)

b. *Shaft line boring*

Shaft line boring digunakan untuk memperbaiki, menyelaraskan, atau memperbesar lubang pada poros (*shaft*) komponen mesin. Proses ini dilakukan untuk memperbaiki kerusakan atau keausan pada lubang poros, serta memastikan lubang tersebut sejajar dan presisi. Dibawah ini adalah gambar 2.4 *shaft line boring*.



Gambar 2. 4 Shaft line boring
(Sumber. Dokumentasi pribadi)

c. *Feeder line boring*

Feeder pada mesin *line boring* adalah komponen yang berfungsi untuk memberikan gerakan maju secara otomatis kepada alat potong atau batang *boring* selama proses pengeboran. Fungsi utama *feeder* adalah untuk memastikan bahwa batang *boring* atau alat potong bergerak secara terkontrol dan presisi sepanjang lubang yang sedang dikerjakan. Gerakan *feeder* ini memungkinkan pemotongan yang merata dan mencegah alat potong terlalu cepat atau terlalu lambat bergerak, yang bisa mempengaruhi hasil akhir lubang. Dibawah ini merupakan gambar 2.5 *feeder line boring*.



Gambar 2. 5 Feeder line boring
(Sumber. Dokumentasi pribadi)

d. Pompa hidrolik

Pompa hidrolik pada mesin *line boring* berfungsi untuk mengalirkan fluida hidrolik yang diperlukan untuk menggerakkan komponen-komponen mesin yang memiliki mekanisme berbasis tekanan fluida. Mesin *line boring* sendiri digunakan untuk proses pengeboran lubang yang akurat dan presisi pada berbagai komponen besar, pada mesin industri berat. Pompa hidrolik yang digunakan pada mesin ini memiliki peran yang sangat penting dalam menjaga kelancaran proses *line boring*. Dibawah ini merupakan gambar 2.6 pompa hidrolik.



Gambar 2. 6 Pompa hidrolik
(Sumber. Dokumentasi pribadi)

e. Motor hidrolik

Motor hidrolik pada mesin *line boring* adalah komponen yang digunakan untuk mengubah energi hidrolik (yang dihasilkan oleh pompa hidrolik) menjadi energi mekanik untuk menggerakkan berbagai bagian mesin, seperti poros/*shaft*, atau komponen lain yang diperlukan untuk melakukan proses *line boring*. Dapat dilihat dibawah ini adalah gambar 2.7 motor hidrolik.



Gambar 2. 7 Motor hidrolik
(Sumber. Dokumentasi pribadi)

f. Motor listrik

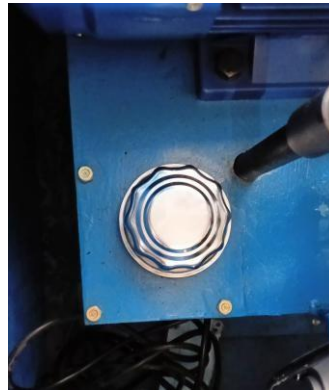
Motor listrik pada mesin *line boring* berfungsi untuk menyediakan tenaga mekanik yang dibutuhkan untuk menggerakkan komponen-komponen utama mesin, seperti poros selama proses *line boring*. Dengan mengubah energi listrik menjadi gerakan rotasi atau linier, motor listrik memungkinkan pengaturan kecepatan dan torsi yang diperlukan sesuai dengan jenis pekerjaan dan material yang sedang di *line boring*. Dibawah ini adalah gambar 2.8 motor listrik.



Gambar 2. 8 Motor listrik
(Sumber. Dokumentasi pribadi)

g. Oil tank

Oil tank pada mesin *line boring* berfungsi sebagai wadah penyimpanan fluida hidrolik yang digunakan dalam sistem hidrolik mesin. Mesin *line boring*, yang biasanya digunakan untuk pengeboran lubang dengan presisi tinggi pada komponen-komponen besar dan berat, sangat bergantung pada sistem hidrolik untuk menggerakkan berbagai komponen mesin. dalam memastikan kelancaran dan efisiensi sistem hidrolik. Dapat dilihat pada gambar 2.9 *oil tank* hidrolik dibawah ini.



Gambar 2. 9 Oil tank
(Sumber. Dokumentasi pribadi)

h. *Hose line boring*

Hose pada *line boring* berfungsi untuk mengalirkan fluida hidrolik bertekanan tinggi dari pompa ke komponen mesin *boring*, memastikan alat bekerja dengan stabil dan presisi. *Hose* ini juga memberikan fleksibilitas gerakan dan mendukung kinerja optimal alat selama proses berlangsung. Dibawah ini merupakan gambar 2.10 *hose line boring*.



Gambar 2. 10 Hose line boring
(Sumber. Dokumentasi pribadi)

2.4 Definisi *suspension spring equalizer*

Suspension spring equalizer adalahudukan spring pada unit vessel. *suspension spring equalizer*, komponen ini berfungsi seperti halnya sistem suspensi yang mengurangi kejutan yang terjadi karena tidak rataan permukaan jalan (medan operasi). Dapat dilihat pada gambar 2.11 *Suspension spring equalizer* dibawah ini.



Gambar 2. 11 Suspension spring equalizer
(Sumber. Dokumentasi pribadi)

2.5 Parameter yang diatur pada proses *line boring*

Setiap proses permesinan alur memiliki dua parameter utama: kecepatan putar poros (*speed*), gerak makan (*feed*). variabel lain, seperti bahan benda kerja dan jenis pahat, memiliki dampak yang signifikan, operator langsung dapat mengubah tiga parameter di atas pada mesin bubut.

- a. Baik sumbu utama maupun benda kerja selalu dihubungkan dengan kecepatan putar (n). Karena kecepatan putar diwakili sebagai putaran per menit (rpm). Di samping diameter mesin potong, harga kecepatan potong sangat dipengaruhi oleh bahan benda kerja dan bahan pahat. Persamaan berikut digunakan untuk menghitung kecepatan potong atau putaran *spindel*:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} \quad (3)$$

dimana ; V = Kecepatan potong (m/min)

d = Diameter benda kerja (mm)

n = Putaran poros (rpm)

- b. Laju pemakanan (*feed*) merupakan jarak yang ditempuh pahat setiap kali benda kerja melakukan satu putaran, dengan satuan mm/putaran. Pada proses *finishing* atau penghalusan permukaan, nilai laju pemakanan (f) ditentukan berdasarkan tingkat kehalusan permukaan yang ingin dicapai pada produk.

$$V_f = f \cdot n \quad (4)$$

dimana ; V_f = Laju pemotongan (mm/min)

f = gerak makan (mm/r)

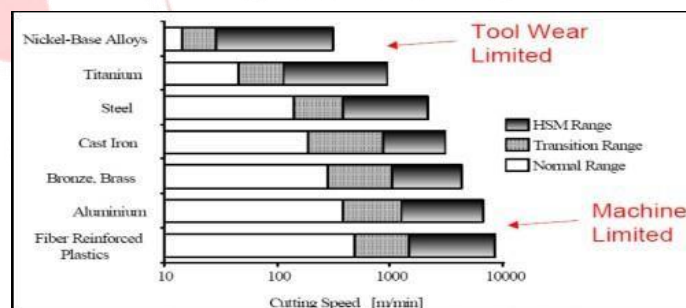
n = Putaran *spindle* (rpm)

2.6 Permesinan Laju Tinggi (*High-Speed Machining*)

Bergantung pada jenis bahan yang digunakan, konsep pemesian laju tinggi (*high-speed machining*) sebenarnya bergantung pada jenis bahan yang digunakan. Namun, dibandingkan dengan metode pemotongan konvensional, pemesian laju

tinggi memiliki kemungkinan untuk mengurangi biaya dan waktu pemesinan sambil menghasilkan produk yang lebih efisien, tepat, dan berkualitas tinggi (Fahrizal et al., 2022).

Dengan kata lain, besarnya laju pemotongan juga dipengaruhi oleh jenis material yang dikerjakan. Pada paduan baja, laju pemotongan ≥ 200 m/min sudah termasuk kategori pemotongan berkecepatan tinggi dalam proses pembubutan (Takatsu et al., 1983). Sementara itu, untuk aluminium, pemotongan baru dianggap berkecepatan tinggi apabila laju pemotongan melebihi 1000 m/min. Terdapat berbagai definisi mengenai proses pemesinan berkecepatan tinggi (*high speed machining*) yang dikemukakan para ahli, meskipun tidak semuanya sama, namun sebagian besar sepakat bahwa kecepatan potong merupakan parameter utama dalam penentuannya. Salah satu definisi yang diajukan oleh Solomon pada tahun 1931 menyatakan bahwa pemesinan berkecepatan tinggi adalah proses dengan kecepatan potong lima hingga sepuluh kali lebih tinggi dibandingkan pemesinan konvensional. Selain itu, menurut Schulz (1992), jenis material yang digunakan juga menjadi faktor penting dalam menentukan klasifikasi pemesinan kecepatan tinggi, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Kecepatan potong pada proses laju tinggi

2.7 Pemesinan Keras (*Hard Machining*)

Pemesinan keras, seperti proses bubut, dilakukan pada material logam dengan tingkat kekerasan lebih dari 45 HRC. Proses ini dapat dikerjakan tanpa menggunakan cairan pendingin apabila memakai pahat berbahan *Polycrystalline Cubic Boron Nitride* (PCBN) (Schulz & Moriwaki, 1992). Secara prinsip, metode pembubutan konvensional juga dapat diterapkan pada pembubutan keras. Namun, dalam pemesinan kering dibutuhkan pahat yang memiliki tingkat kekerasan lebih tinggi serta ketahanan aus yang lebih baik dibandingkan pahat pada bubut biasa, karena material yang dikerjakan memiliki sifat abrasif dan kekerasan yang tinggi (Vernon & Özel, 2003). Jenis logam yang dapat dikerjakan dengan pemesinan keras meliputi baja paduan, baja bantalan, baja *hot work* dan *cold work*, *high speed steel*, baja cetakan (*die steel*), hingga baja cor yang telah melalui proses pengerasan (Mohruni et al., 2018).

Proses bubut keras menawarkan solusi dalam efisiensi produksi dengan mengurangi jumlah tahapan proses, kebutuhan setup peralatan, serta waktu inspeksi, karena dapat dikerjakan menggunakan mesin bubut yang sama dengan proses bubut konvensional. Selain itu, mesin bubut keras juga memerlukan ruang yang lebih kecil dibandingkan dengan mesin gerinda.

Dalam penerapan proses bubut keras, industri perlu mempertimbangkan rasio biaya peralatan khususnya pahat potong terhadap umur pakainya agar tetap rendah. Material seperti *Cubic Boron Nitride* (CBN), keramik, dan cermet merupakan material paling keras setelah intan, sehingga sangat sesuai digunakan untuk proses ini. Sejak ditemukannya oleh *General Electric* bahwa kombinasi CBN dengan serbuk *Titanium Nitride* mampu memperpanjang umur pahat hingga lima kali lipat, penggunaan sisipan pahat CBN semakin banyak diminati.

2.8 Spesifikasi Geometrik

Produk yang dibuat selama proses produksi biasanya beragam atau bervariasi. Hanya dapat dihasilkan produk yang berbeda-beda dari segi karakteristiknya jika proses duplikasi produk yang sempurna tidak dapat dilakukan. Perbedaan kecil namun signifikan belum tentu menunjukkan bahwa proses produksi yang bersangkutan tidak berguna, tergantung pada sejauh mana masalah ini dievaluasi. Ini berarti bahwa perancang produk harus tahu bahwa ada toleransi saat menetapkan spesifikasi produk.

Toleransi didefinisikan sebagai batas maksimum dan minimum penyimpangan pada karakteristik produk yang timbul akibat ketidaksempurnaan dalam proses produksi. Spesifikasi toleransi dapat mencakup aspek material, fisik, maupun geometris sesuai dengan atribut yang diukur. Pada aspek geometri, hal ini meliputi ukuran, dimensi, bentuk, posisi, serta tingkat kekasaran. Apabila karakteristik geometris suatu komponen memiliki peran penting dari berbagai sudut pandang, maka batas toleransinya harus ditetapkan dengan jelas.

1. Geometri bisa penting bila ditinjau dari aspek fungsi komponen
 - a. Ketelitian gerakan dan/atau kecepatan yang diperlukan oleh komponen-komponen mesin yang melakukan gerakan-gerakan kinematik (rem, roda-gigi, ulir penggerak),
 - b. Berat, *volume* atau momen inersia komponen yang berputar dengan kecepatan tinggi yang memerlukan penyeimbangan secara dinamik,
 - c. Kekuatan dan tahanan kelelahan bagi komponen dengan beban dinamik kemudahan bergerak dan umur komponen.
2. Jika dilihat dari segi perakitan, geometri menjadi penting. Geometri bagian yang menempel harus dirancang dengan cara yang memungkinkan kondisi pasangan atau soal. Kondisi ini dapat berupa longgar (bebas bergerak), *clearance*

(sempit, agak dipaksakan, *fitting* transisi), atau paksa (dipaksa karena tidak dapat masuk secara wajar).

3. Dalam proses manufaktur, geometri memiliki peranan yang sangat penting. Untuk meningkatkan efisiensi produksi, waktu non-produktif perlu ditekan seminimal mungkin. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan menggunakan alat bantu cekam. Alat ini mempermudah proses pemasangan benda kerja pada mesin perkakas, sehingga waktu bongkar pasang dapat dikurangi. Beberapa bagian benda kerja biasanya sudah dipersiapkan sebelumnya, misalnya dengan pembuatan lubang atau permukaan acuan melalui mesin lain. Karena bagian tersebut berfungsi sebagai referensi posisi, maka penentuan toleransi sering kali diperlukan, mengingat benda kerja nantinya akan diposisikan atau “dirakit” menggunakan alat bantu cekam (lihat poin kedua di atas).

2.9 Standar Toleransi

Toleransi ukuran atau sering disebut toleransi dimensi merupakan selisih antara dua batas ukuran yang diperbolehkan, di mana dimensi atau jarak permukaan suatu komponen harus berada dalam rentang tersebut. Setiap komponen harus memiliki ukuran dasar yang ditetapkan, biasanya dinyatakan dalam bilangan bulat. Penetapan ukuran dasar ini bertujuan agar batas maksimum dan minimum, yang membentuk daerah toleransi, dapat dinyatakan sebagai penyimpangan atau deviasi dari ukuran dasar tersebut. Dengan mengurangi ukuran dasar terhadap batas tertentu, besar serta arah penyimpangan dapat diketahui.

Toleransi standar atau toleransi internasional adalah toleransi yang ditetapkan untuk setiap kualitas dan rentang ukuran nominal yang terkait, yang berlaku untuk diameter nominal hingga 500 mm. Dalam sistem ISO, terdapat 18 kelas toleransi yang ditetapkan, yaitu It 01, It 0, It 1 hingga It 16. Untuk kualitas 5 hingga 16, harga toleransi standar dapat dihitung menggunakan satuan toleransi, yaitu i (unit toleransi).

$$i = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001D$$

Di mana :

i = satuan toleransi, μm

D = diameter (nominal), mm

Harga D merupakan rata-rata geometrik dari diameter minimum $D_{\min}$ dan maksimum $D_{\max}$ pada setiap tingkat diameter, yaitu

$$D = \sqrt{D_{\min} \times D_{\max}}$$

Kualitas 01 hingga 4 untuk tugas yang membutuhkan ketelitian tinggi, seperti produk yang dibuat dengan mesin CNC. Kualitas 5 hingga 11 cocok untuk proses permesinan biasa, seperti mesin bubut dan *frais*. Kualitas 12 ke atas cocok

untuk pekerjaan kasar, seperti pengecoran, penempaan, dan pengeloran. Menurut Taufiq Rochim (2016)

Tabel 2. 1 Tingkatan diameter nominal s.d. 500 mm

Tingkatan Utama (Dalam mm)		Tingkatan Perantara (Dalam mm)	
Di atas	s.d	Diatas	s.d
3 6	3 6 10		
10	18	10	14
		14	18
18	30	18	24
		24	30
30	50	30	40
		40	50
50	80	50	65
		65	80
80	120	80	100
		100	120
		120	140
120	180	140	160
		160	180
		180	200
180	250	200	225
		225	250
		250	280
250	315	280	315
		315	355
		355	400
315	400	400	450
		450	500

Sumber Taufiq Rochim 2016

Selanjutnya, berdasarkan satuan toleransi i besarnya toleransi standar dapat dihitung sesuai dengan kualitasnya mulai dari 5 sampai dengan 16, dengan menggunakan tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Harga toleransi standar untuk kualitas 5 s.d 16.

	IT	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16	IT
Harga	7i	10i	16i	25i	40i	64i	100i	160i	250i	400i	640i	1000i	...

Sumber Taufiq Rochim 2016

2.10 Penerapan Standar ISO Pada *Sustainable Turning*

2.10.1 Pengenalan ISO

International Organization for Standardization (ISO) adalah badan internasional nonpemerintah yang didirikan pada 14 Oktober 1946. ISO bertujuan untuk menyatukan standar internasional guna mendukung perdagangan global, meningkatkan komunikasi teknis, dan memberikan panduan praktis dalam teknologi dan manufaktur.

ISO memiliki peran penting dalam sektor permesinan, terutama dalam menetapkan standar operasional, keamanan, dan efisiensi. Dalam penelitian ini, berbagai standar ISO akan digunakan untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan parameter permesinan pada proses *sustainable turning*.

2.10.2 ISO Terkait Parameter Permesinan

- a. ISO 513: Standar klasifikasi material alat potong dan rekomendasi penggunaan untuk berbagai material benda kerja.
- b. ISO 14955-1: Standar lingkungan untuk mesin perkakas, termasuk panduan evaluasi konsumsi energi. Standar ini mendukung penghematan energi selama operasi permesinan, relevan dengan tujuan penelitian untuk mengurangi konsumsi daya listrik.

2.10.3 ISO Terkait Kualitas Geometri Produk

Kualitas geometri hasil permesinan, seperti kehalusan permukaan dan presisi dimensi, sangat penting dalam proses *line boring*. Standar ISO yang dapat digunakan antara lain:

- a. ISO 1101: Standar terkait toleransi geometrik, mencakup toleransi ukuran, bentuk, orientasi, dan posisi.

2.10.4 ISO dan Keberlanjutan (*Sustainability*)

Proses *sustainable turning* bertujuan untuk meminimalkan konsumsi energi dan dampak lingkungan. Standar ISO berikut mendukung keberlanjutan dalam manufaktur:

- a. ISO 14040: Panduan untuk evaluasi siklus hidup produk (*Life Cycle Assessment*), yang mencakup analisis dampak lingkungan dari proses manufaktur.
- b. ISO 50001: Standar manajemen energi, yang memberikan panduan dalam meningkatkan efisiensi energi selama proses produksi.

2.10.5 Dampak ISO Pada Proses *Line Boring*

Mesin *line boring* sebagai salah satu alat utama dalam penelitian ini dapat dievaluasi berdasarkan standar ISO untuk memastikan:

- Konsumsi energi yang efisien.
- Hasil geometrik yang presisi dan memenuhi toleransi sesuai standar.

2.11 Penelitian Terdahulu

Penelitian sebelumnya telah dilakukan untuk mengoptimalkan parameter permesinan. Prayogo dan Lusi (2022) menggunakan metode *Taguchi*-GRA pada *Electrochemical Machining* (ECM) untuk memaksimalkan laju pelepasan material dan meminimalkan kekasaran permukaan. Fahrizal et al. (2022) meneliti optimasi parameter pembubutan baja karbon rendah untuk meminimalkan keausan pahat, sedangkan Pribadi et al. (2020) menggunakan metode *Taguchi* untuk meningkatkan kualitas kebulatan pada pembubutan internal baja S45C. Penelitian ini menjadi referensi untuk optimasi parameter pada proses *line boring* yang ramah energi. Dapat dilihat tabel 2.3 berikut.

Tabel 2. 3 Penelitian terdahulu

No	Judul Penelitian/Tahun	Pembahasan	Kerangka pemecah	Hasil
1	Optimasi parameter proses pemesinan ecm (<i>electrochemical machining</i>) skala laboratorium dengan metode <i>taguchi-grey relational analysis</i> (GRA) Galang Sandy Prayogo, Nuraini Lusi, 2022	Pemesinan elektrokimia (ECM) adalah metode pemesinan non konvensional yang unik dalam proses pembentukan benda kerja untuk parameter optimal karena memiliki keuntungan seperti tidak adanya keausan pada pahat (<i>tool</i>), sifat lapisan permukaan	Dalam penelitian ini akan dilakukan eksperimen tentang optimasi parameter proses pemesinan ECM seperti voltage, konsentrasi jenis cairan elektrolit, dan gap width terhadap respon kekasaran permukaan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa setting kombinasi variabel-variabel proses yang signifikan untuk memaksimalkan MRR dan meminimalkan kekasaran permukaan berdasarkan hasil optimasi dengan menggunakan metode <i>Taguchi</i> -GRA adalah

		setelah pengerjaan mirip dengan bahan inti dan kualitas serta akurasi permukaan meningkat bersamaan dengan peningkatan laju pelepasan material. Keuntungan lain dari permesinan elektrokimia, yaitu tentang ekologi sehingga menciptakan minat industri dalam berbagai elemen manufaktur yang terbuat dari bahan dengan sifat khusus seperti pada pembuatan <i>turbine blade</i>.	dan <i>material removal rate</i> (MRR). Metode penelitian yang digunakan adalah metode multirespon dengan DOE (<i>design of experiment</i>) <i>Taguchi</i> dan <i>Grey Relational Analysis</i> (GRA).	kombinasi faktor voltage pada 48 Volt, konsentrasi elektrolit pada 150 g/l, dan gap width pada 2 mm. Variabel proses yang memiliki kontribusi terbesar terhadap variasi respon adalah yaitu <i>voltage</i> sebesar 65, 18%, kemudian variable <i>gap width</i> sebesar 23, 55%, dan kontribusi oleh konsentrasi <i>elektrolit</i> oleh adalah sebesar 11, 22%.
2	Optimasi Parameter Pemesinan Untuk Minimasi Keausan Pahat Pada Pembubutan Baja Karbon Rendah Fahrizal¹, Edy Suprpto², Priyono³, Basri⁴, 2022	Metode optimasi merupakan salah satu metode yang digunakan untuk pengambilan keputusan dengan fungsi tujuan minimasi atau maksimasi.	Optimasi kecepatan potong, kedalaman potong, dan gerak makan mesin bubut bertujuan untuk	Hasil penelitian diperoleh bahwa keausan pahat minimal diperoleh pada kombinasi jumlah putaran 180 rpm, kedalaman potong 1,5 mm,

			mencari respon yang optimal dengan melakukan kombinasi antar parameternya	dan gerak makan 0,8 mm/menit. Berdasarkan hasil analisis variasi diperoleh kontribusi setiap faktor terhadap keausan pahat, masing-masing gerak makan memberikan kontribusi terbesar yaitu 35%, kemudian disusul kedalaman potong 10%, dan faktor kecepatan potong tidak memberikan kontribusi.
3	Optimasi Parameter Pemesinan Menggunakan Metode Taguchi Untuk Meningkatkan Kualitas Kebulatan Pada Pembubutan Internal Material S45C Joko Setia PribadIt*, Yulianto2, Bayu Aji Girawan3, 2020	Penggunaan parameter pemesinan yang tepat untuk memperbaiki kualitas secara umum diharapkan mengoptimalkan hasil proses pemesinan seperti penggunaan	Parameter yang dikendalikan yaitu kecepatan potong, kecepatan pemakanan, dan kedalaman pemotongan dengan masing-	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan potong dan kedalaman pemotongan secara signifikan memengaruhi kebulatan hasil pembubutan internal dengan tingkat

		desain eksperimen Taguchi.	masing tiga level pada proses pembubutan internal material baja S45C. Eksperimen dilakukan menggunakan matriks eksperimen Taguchi L9(34).	kepercayaan 90%. Parameter optimum yang diperoleh adalah kecepatan potong 200 m/min, kecepatan pemakanan 0,05 mm/rev, dan kedalaman pemotongan 0,25 mm.
--	--	----------------------------	---	---

POLITEKNIK SINAR MAS
BERAU COAL