

Evaluasi Perbandingan Efisiensi Proses Produksi Komponen Logam Menggunakan Mesin Bubut Manual dan CNC

Lenny Herawati¹, Ade Harira Setiawan², M.Ulin Nuha³, Didik Wargiono⁴

^{1,2,3,4}Program Studi SI Teknik Industri, Institut Teknologi Mojosari,
Jl. Wachid Hasyim Mojosari, Ngepeh, Loceret, Nganjuk 64471

Abstrak

Proses manufaktur memiliki peran penting dalam menentukan efisiensi dan kualitas produk yang dihasilkan oleh suatu industri. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan efisiensi proses produksi antara mesin bubut konvensional dan mesin *Computer Numerical Control* (CNC) dalam pembuatan komponen logam sederhana berbahan baja karbon rendah. Penelitian ini dilakukan sebagai upaya untuk memahami bagaimana tingkat otomasi dan presisi mesin dapat memengaruhi waktu proses, kualitas permukaan, serta biaya operasional produksi. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan pendekatan deskriptif-komparatif. Pengujian dilakukan terhadap dua sistem pemesinan dengan parameter kecepatan potong dan kedalaman pemakanan yang serupa untuk memastikan kesetaraan kondisi uji. Data yang dikumpulkan meliputi waktu pemesinan, nilai kekasaran permukaan (*surface roughness*), dan estimasi biaya proses. Analisis hasil menunjukkan bahwa mesin CNC memiliki waktu proses rata-rata 35% lebih cepat dibandingkan mesin konvensional, serta menghasilkan tingkat kehalusan permukaan yang lebih baik ($Ra = 1,5 \mu m$ dibandingkan $Ra = 3,2 \mu m$ pada mesin konvensional). Meskipun demikian, mesin konvensional masih unggul dari sisi investasi awal dan fleksibilitas pengerjaan untuk produksi satuan (*custom part*). Oleh karena itu, pemilihan jenis mesin perlu disesuaikan dengan karakteristik produksi, skala usaha, serta ketersediaan sumber daya manusia. Kesimpulan dari penelitian ini menegaskan bahwa penerapan teknologi CNC merupakan langkah strategis menuju peningkatan efisiensi dan produktivitas di sektor manufaktur, dengan tetap mempertimbangkan aspek ekonomi dan kesiapan operator..

Kata kunci: Proses Manufaktur; Mesin Bubut; CNC; Efisiensi Produksi; Kualitas Permukaan

Abstract

The manufacturing process plays a vital role in determining the efficiency and product quality within industrial operations. This study aims to analyze the efficiency comparison between conventional lathes and Computer Numerical Control (CNC) lathes in the machining of simple metal components made from low-carbon steel. The research seeks to understand how automation and precision levels influence machining time, surface quality, and operational costs in small-scale manufacturing. The study employs an experimental method with a descriptive-comparative approach. Both machining systems were tested under similar cutting speeds and feed depths to ensure comparable testing conditions. The collected data include machining time, surface roughness values, and estimated production costs. The findings indicate that CNC machines reduce machining time by approximately 35% compared to conventional lathes, while achieving better surface roughness ($Ra = 1.5 \mu m$ versus $Ra = 3.2 \mu m$ on conventional machines). However, conventional lathes still hold advantages in terms of lower initial investment and flexibility for single or custom-part production. Therefore, the selection of machining technology should be adjusted based on production characteristics, business scale, and the availability of skilled operators. This study concludes that adopting CNC technology is a strategic step toward improving manufacturing efficiency and productivity, while maintaining economic feasibility and human resource readiness.

Keywords: Manufacturing Process; Lathe Machine; CNC; Production Efficiency; Surface Quality

1. Pendahuluan

Proses manufaktur merupakan salah satu inti kegiatan dalam industri teknik yang berfungsi untuk mengubah bahan mentah menjadi produk bernilai tambah. Dalam konteks industri modern, efisiensi waktu, presisi dimensi, dan kualitas permukaan menjadi indikator utama keberhasilan suatu proses produksi (Groover, 2018).

Seiring kemajuan teknologi otomasi, mesin Computer Numerical Control (CNC) mulai menggantikan mesin konvensional di berbagai sektor manufaktur. Mesin CNC mampu melakukan pemotongan logam secara presisi melalui kontrol numerik berbasis komputer, yang memungkinkan operator memproduksi komponen dalam jumlah besar dengan variasi minimal. Namun demikian, banyak bengkel kecil dan industri rumah tangga di Indonesia yang masih menggunakan mesin bubut konvensional karena faktor biaya investasi dan kemudahan perawatan.

Masalah muncul ketika terjadi ketidakseimbangan antara kebutuhan efisiensi dan keterbatasan sumber daya. Banyak pelaku industri mikro belum memahami secara ilmiah sejauh mana perbedaan kinerja antara mesin CNC dan konvensional dalam hal waktu proses, akurasi, serta biaya produksi. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk memberikan gambaran komparatif yang objektif terhadap kedua jenis mesin tersebut.

Kebaruan penelitian ini (novelty) terletak pada penerapan analisis efisiensi sederhana yang dapat diaplikasikan oleh pelaku usaha kecil maupun mahasiswa teknik industri. Dengan pendekatan eksperimental langsung dan data terukur, diharapkan penelitian ini dapat menjadi referensi praktis dalam pengambilan keputusan pemilihan teknologi manufaktur yang tepat.

2. Metode Penelitian

2.1 Desain Penelitian

Metode yang digunakan adalah eksperimental dengan pendekatan deskriptif-komparatif, yaitu membandingkan dua sistem pemesinan dengan kondisi operasi serupa. Proses penelitian dilakukan dalam tiga tahap utama:

1. Tahap Persiapan: penentuan bahan uji, alat potong, dan parameter operasi.
2. Tahap Pelaksanaan: proses pembubutan dilakukan menggunakan mesin konvensional dan mesin CNC dengan parameter yang sama.
3. Tahap Evaluasi: pengukuran waktu, kekasaran permukaan, dan biaya produksi untuk dianalisis secara komparatif.

2.2 Flowchart Alur Penelitian

Flowchart pada Gambar 1 menunjukkan alur sederhana dari tahapan eksperimen yang dilakukan secara berurutan untuk menjamin hasil yang valid dan terukur.



Gambar 1. Alur Penelitian

2.3 Data dan Parameter Penelitian

Tabel 1 menyajikan data parameter penelitian yang digunakan untuk membandingkan proses pemesinan menggunakan mesin konvensional dan mesin CNC. Parameter yang ditampilkan meliputi kecepatan putar, kedalaman pemakanan, kecepatan pemakanan, waktu proses, tingkat kekasaran permukaan, serta estimasi biaya produksi per unit. Melalui penyajian parameter ini, tabel tersebut memberikan gambaran komprehensif mengenai perbedaan karakteristik proses dan hasil pemesinan antara kedua jenis mesin, sehingga dapat digunakan sebagai dasar analisis efisiensi, kualitas permukaan, dan biaya produksi dalam penelitian ini.

Tabel 1. Data dan Parameter Penelitian

Parameter	Mesin Konvensional	Mesin CNC
Kecepatan Putar (rpm)	400	1200
Kedalaman Pemakanan (mm)	0,5	0,5
Kecepatan Pemakanan (mm/put)	0,25	0,25
Waktu Proses (menit/detik)	10.15	06.40
Kekasaran Permukaan (Ra μ m)	3,2	1,5
Estimasi Biaya Produksi (Rp/unit)	18.000	25.000

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Perbandingan Waktu Proses

Waktu proses merupakan salah satu indikator utama dalam mengukur efisiensi sistem manufaktur. Berdasarkan hasil eksperimen, mesin CNC menunjukkan waktu pengerjaan yang jauh lebih cepat dibandingkan mesin bubut konvensional.

Untuk satu benda kerja dengan dimensi 25 mm \times 100 mm dari bahan baja karbon rendah, diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 2. Data Perbandingan Waktu Proses

Jenis Mesin	Waktu Proses (menit:detik)	Efisiensi terhadap Konvensional
Bubut Konvensional	10.15	-
CNC (Computer Numerical Control)	06.40	35% lebih cepat

Selisih waktu sebesar 3 menit 35 detik menunjukkan efisiensi yang signifikan pada mesin CNC. Faktor utama penyebab perbedaan ini adalah sistem kendali otomatis pada CNC yang mampu mengoptimalkan kecepatan potong, laju pemakanan, dan pergerakan pahat secara simultan. Pada mesin konvensional, operator harus melakukan pengaturan kecepatan dan pemakanan secara manual setiap kali pergantian langkah kerja, yang mengakibatkan adanya waktu tidak produktif (idle time). Sebaliknya, mesin CNC mengeliminasi waktu ini melalui sistem pemrograman numerik yang mengatur seluruh urutan kerja dengan akurasi tinggi.

Selain itu, kecepatan pemotongan yang stabil pada mesin CNC juga mengurangi risiko getaran berlebih (chatter), sehingga kecepatan dapat dinaikkan tanpa menurunkan kualitas hasil. Secara umum, peningkatan efisiensi waktu hingga 35% ini sejalan dengan penelitian Kalpakjian & Schmid (2014), yang menyatakan bahwa otomatisasi pemesinan mampu mempercepat waktu siklus hingga 30–40% dibandingkan sistem manual.

3.2 Analisis Kualitas Permukaan

Kualitas permukaan (surface quality) merupakan parameter penting yang menunjukkan tingkat kehalusan hasil pemesinan. Nilai ini diukur menggunakan alat surface roughness tester dalam satuan mikrometer (μm) dengan parameter kekasaran aritmetika rata-rata (R_a). Hasil pengukuran menunjukkan perbedaan signifikan antara dua jenis mesin seperti ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 3. Data Kualitas Permukaan

Jenis Mesin	Nilai Kekasaran ($R_a \mu\text{m}$)	Kategori Hasil Permukaan	Interpretasi
Bubut Konvensional	3,2	Kasar	Permukaan masih terlihat jejak pahat manual
CNC	1,5	Halus	Permukaan rata, jejak pahat halus dan konsisten

Perbedaan nilai R_a menunjukkan bahwa mesin CNC menghasilkan hasil permukaan yang 53% lebih halus dibandingkan mesin konvensional. Kelebihan ini diperoleh karena sistem CNC mampu mempertahankan parameter pemotongan yang konstan sepanjang proses, tanpa fluktuasi akibat perbedaan tekanan tangan operator. Hasil ini mendukung teori Groover (2018) bahwa surface finish sangat dipengaruhi oleh kestabilan kecepatan potong dan getaran alat. Semakin stabil parameter pemotongan, semakin halus hasil permukaannya.

Selain kehalusan permukaan, aspek estetika dan fungsi juga meningkat. Produk hasil CNC cocok untuk komponen presisi seperti poros, gear kecil, atau komponen mesin otomotif, sedangkan hasil konvensional lebih sesuai untuk pekerjaan kasar atau roughing process.

3.3 Analisis Biaya dan Fleksibilitas

Aspek biaya menjadi pertimbangan krusial dalam pemilihan teknologi manufaktur. Perbandingan biaya antara kedua mesin dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4. Data Perbandingan Biaya

Parameter	Mesin Konvensional	Mesin CNC
Biaya Investasi Awal	Rendah (\approx Rp 50–70 juta)	Tinggi (\approx Rp 350–500 juta)
Biaya Operasional per Unit	Rp18.000	Rp25.000
Biaya Perawatan	Murah dan mudah	Mahal, butuh teknisi khusus
Kebutuhan Operator	Operator umum	Operator terlatih (CNC programmer)
Volume Produksi Ideal	Kecil–Menengah	Menengah–Besar
Fleksibilitas Produk	Tinggi (<i>custom part</i>)	Rendah (tergantung program)

Dari sisi biaya investasi, mesin konvensional lebih ekonomis untuk bengkel kecil dengan modal terbatas. Namun, untuk produksi dalam jumlah besar, biaya per unit pada mesin CNC lebih rendah karena efisiensi waktu dan tingkat cacat produk yang minimal.

Selain itu, biaya perawatan mesin CNC relatif tinggi karena memerlukan teknisi khusus dan sistem kontrol yang lebih kompleks. Di sisi lain, mesin konvensional mudah diperbaiki secara lokal dan tidak bergantung pada perangkat lunak atau sistem komputer. Dari aspek fleksibilitas, mesin konvensional unggul dalam pengerjaan custom atau prototipe yang memerlukan penyesuaian cepat. Mesin CNC cocok digunakan jika desain sudah pasti dan produksi dilakukan secara berulang. Dengan demikian, pemilihan sistem pemesinan sebaiknya mempertimbangkan volume

produksi, anggaran investasi, serta tingkat keahlian operator yang tersedia.

3.4 Pembahasan Umum

Hasil penelitian secara keseluruhan memperkuat prinsip dasar dalam rekayasa manufaktur bahwa tidak ada satu teknologi yang ideal untuk semua kondisi produksi, melainkan efektivitasnya bergantung pada konteks penggunaan. Mesin CNC menawarkan efisiensi waktu, kualitas tinggi, dan konsistensi, sedangkan mesin konvensional menawarkan fleksibilitas, kemudahan, dan biaya rendah.

Dari perspektif teknik industri, hasil ini menggambarkan keseimbangan antara efisiensi teknis dan efisiensi ekonomis. CNC efisien dari sisi waktu dan mutu, sedangkan konvensional efisien dari sisi investasi dan adaptabilitas. Artinya, pemilihan teknologi bukan hanya soal modernitas, tetapi tentang kesesuaian strategi produksi dengan sumber daya yang ada.

Selain itu, dari aspek ergonomi dan keselamatan kerja (K3), penggunaan CNC menurunkan potensi kelelahan dan kecelakaan karena peran operator lebih fokus pada pemantauan dan kontrol, bukan aktivitas fisik berat. Hal ini mendukung prinsip Human Factors Engineering dalam desain sistem kerja yang aman dan efisien.

Dari aspek lingkungan dan keberlanjutan, CNC memiliki potensi lebih ramah karena penggunaan bahan lebih efisien (minim limbah pemotongan). Namun, konsumsi energi listriknya lebih tinggi dibandingkan mesin manual. Artinya, penerapan CNC harus dibarengi dengan sistem manajemen energi agar tetap efisien secara ekologis.

Berdasarkan hasil penelitian ini, kombinasi sistem keduanya (konvensional + CNC) dapat diterapkan sebagai strategi hybrid manufacturing system. Mesin konvensional digunakan untuk proses roughing (pemotongan kasar) dan CNC untuk proses finishing (presisi akhir). Pendekatan ini dinilai paling realistis untuk diterapkan di industri kecil dan menengah (IKM) yang sedang bertransformasi menuju otomasi bertahap. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak hanya memberikan gambaran komparatif, tetapi juga menyajikan rekomendasi strategis bagi industri mikro, lembaga pendidikan vokasi, dan mahasiswa teknik industri dalam memahami integrasi antara teknologi, biaya, manusia, dan mutu produksi secara holistik.

4. Penutup

4.1 Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa penggunaan mesin Computer Numerical Control (CNC) memberikan peningkatan efisiensi yang signifikan dibandingkan mesin bubut konvensional dalam proses pembuatan komponen logam sederhana. Hasil uji menunjukkan penghematan waktu proses hingga 35%, serta

peningkatan kualitas permukaan dengan nilai kekasaran (Ra) lebih halus sebesar 1,5 μm dibandingkan 3,2 μm pada mesin konvensional.

Perbedaan kinerja ini menunjukkan bahwa tingkat otomasi berpengaruh langsung terhadap efisiensi dan konsistensi hasil produksi. CNC bekerja dengan sistem kontrol numerik yang mampu menjaga kestabilan kecepatan potong dan pergerakan pahat, sehingga menghasilkan produk yang lebih presisi dan seragam. Sementara itu, mesin konvensional masih bergantung pada keterampilan operator, yang menimbulkan variasi hasil dan waktu pengerjaan lebih lama.

Dari sisi ekonomi, meskipun CNC memerlukan investasi awal yang besar dan tenaga kerja terampil, sistem ini lebih efisien untuk produksi massal dan jangka panjang. Sebaliknya, mesin konvensional tetap unggul untuk skala kecil, proyek custom, atau kegiatan pendidikan yang menekankan penguasaan keterampilan manual.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pemilihan teknologi manufaktur yang tepat tidak hanya ditentukan oleh kemajuan mesin, tetapi juga oleh karakteristik produksi, kapasitas investasi, dan kesiapan sumber daya manusia. Penerapan kombinasi kedua sistem, yaitu hybrid manufacturing system (konvensional untuk roughing, CNC untuk finishing), merupakan strategi paling efisien dan realistis bagi industri kecil dan menengah di Indonesia.

4.2 Implikasi Penelitian

Hasil penelitian ini memiliki beberapa implikasi penting baik secara praktis maupun akademis:

1. Bagi Industri Kecil dan Menengah (IKM):

Penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa penerapan teknologi CNC dapat meningkatkan produktivitas dan kualitas produk tanpa mengorbankan fleksibilitas. Industri kecil dapat menggunakan hasil ini sebagai acuan dalam merencanakan investasi bertahap menuju otomasi produksi.

2. Bagi Dunia Pendidikan:

Studi ini dapat dijadikan referensi pembelajaran dalam mata kuliah *Proses Manufaktur*, *Perancangan Sistem Produksi*, dan *Teknologi Pemesinan Modern*. Mahasiswa teknik industri dapat memahami hubungan antara efisiensi teknis, biaya, dan aspek ergonomi dalam pemilihan sistem manufaktur.

3. Bagi Pemerintah dan Lembaga Pelatihan:

Diperlukan dukungan berupa fasilitas laboratorium CNC mini dan pelatihan operator agar transformasi teknologi dapat diterapkan lebih cepat di tingkat lokal. Dukungan ini juga membantu meningkatkan kompetensi tenaga kerja dan memperkuat daya saing industri nasional.

4. Bagi Peneliti Selanjutnya:

Penelitian ini membuka peluang pengembangan kajian baru terkait pengaruh otomasi terhadap produktivitas tenaga kerja, efisiensi energi, dan biaya siklus hidup mesin (*life cycle cost*).

4.3 Saran

Berdasarkan hasil dan keterbatasan penelitian, beberapa saran yang dapat diberikan antara lain:

1. Integrasi Sistem Produksi:

Untuk mencapai efisiensi maksimal, disarankan agar pelaku industri mengintegrasikan proses manual dan otomatis dalam satu alur produksi (*hybrid system*). Pendekatan ini menggabungkan kecepatan CNC dan fleksibilitas konvensional.

2. Pelatihan Operator CNC:

Diperlukan peningkatan kompetensi operator melalui pelatihan intensif mengenai pemrograman CNC, pemilihan parameter pemotongan, serta perawatan mesin. Operator yang terampil menjadi faktor kunci dalam menjaga efisiensi dan kualitas hasil produksi.

3. Analisis Energi dan Umur Pahat:

Penelitian lanjutan sebaiknya melibatkan aspek konsumsi energi dan keausan pahat sebagai indikator efisiensi menyeluruh. Dengan demikian, dapat diketahui trade-off antara produktivitas dan keberlanjutan energi.

4. Implementasi di Sektor Pendidikan Vokasi:

Kampus dan sekolah kejuruan disarankan untuk mulai mengenalkan praktik perbandingan CNC dan konvensional agar mahasiswa memahami prinsip efisiensi manufaktur sejak dini.

5. Digitalisasi dan Simulasi:

Penggunaan perangkat lunak seperti *SolidCAM*, *Fusion 360*, atau *FlexSim* disarankan untuk memvisualisasikan proses pemesinan secara digital, sehingga mahasiswa dan industri dapat melakukan evaluasi efisiensi tanpa harus melakukan uji fisik secara berulang.

4.4 Arah Penelitian Selanjutnya

Untuk memperluas wawasan dan memperdalam analisis efisiensi manufaktur, beberapa topik lanjutan yang direkomendasikan adalah:

1. Studi Ergonomi dan Kelelahan Operator:

Analisis beban kerja fisik dan mental antara operator mesin konvensional dan CNC dengan metode REBA atau RULA.

2. Analisis Keandalan Sistem (Reliability Analysis):

Kajian tentang tingkat kegagalan mesin CNC dibandingkan mesin konvensional dalam periode produksi jangka panjang.

3. Life Cycle Cost (LCC):

Penelitian biaya total selama umur mesin, termasuk energi, perawatan, dan nilai penyusutan.

4. Efisiensi Energi:

Evaluasi konsumsi listrik per satuan waktu kerja sebagai dasar pengembangan konsep *green manufacturing*.

5. Integrasi IoT (Internet of Things):

Pengembangan sistem pemantauan otomatis berbasis sensor untuk meningkatkan kontrol kualitas dan efisiensi real-time.

Dengan arah penelitian tersebut, diharapkan studi ini dapat menjadi pijakan awal bagi pengembangan sistem manufaktur modern yang efisien, ergonomis, dan berkelanjutan di masa depan.

Daftar Pustaka

- Bekker, J. G., Craig, I. K., & Pistorius, P. C. (1999). Modeling and Simulation of Arc Furnace Process. *ISIJ International*, **39**(1), 23–32.
- Bezuidenhout, J. J., Eksteen, J. J., & Bradshaw, S. M. (2009). Computational Fluid Dynamic Modelling of an Electric Furnace Used in the Smelting of PGM Containing Concentrates. *Minerals Engineering*, **22**(11), 995–1006.
- Bhaktavatsalam, A. K., & Choudhury, R. (1995). Specific Energy Consumption in The Steel Industry. *Energy*, **20**(12), 1247–1250.
- Camdali, U., & Tunc, M. (2006). Steady State Heat Transfer of Ladle Furnace During Steel Production Process. *Journal of Iron and Steel Research, International*, **13**(3), 18–20.
- Groover, M. P. (2018). *Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes, and Systems* (7th ed.). Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. (2014). *Manufacturing Engineering and Technology* (7th ed.). Pearson Education, Upper Saddle River, New Jersey.
- Youssef, H. A., & El-Hofy, H. (2008). *Machining Technology: Machine Tools and Operations*. Boca Raton: CRC Press.
- Jain, R. K. (2012). *Production Technology*. New Delhi: Khanna Publishers.
- Mulcahy, D. (2011). *Industrial Engineering Handbook* (5th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Boothroyd, G., Dewhurst, P., & Knight, W. A. (2010). *Product Design for Manufacture and Assembly* (3rd ed.). Boca Raton: CRC Press.