

**IMPLEMENTASI DAN EVALUASI PENGGUNAAN
CONTROLLER MACH3 PADA CNC GRINDING 5 SUMBU
SERTA PENERAPAN METODE KENDALI *PROPORTIONAL*
INTEGRAL DERIVATIVE PADA MOTOR SPINDEL**

Tugas Akhir

Disusun sebagai salah satu syarat untuk
menyelesaikan pendidikan Sarjana Terapan Diploma IV

Oleh

Naufal Hilmi Hibatulloh

220441015



**PROGRAM STUDI TEKNOLOGI REKAYASA OTOMASI
JURUSAN TEKNIK OTOMASI MANUFAKTUR DAN
MEKATRONIKA
POLITEKNIK MANUFAKTUR BANDUNG**

2024

LEMBAR PENGESAHAN

Tugas Akhir yang berjudul

**IMPLEMENTASI DAN EVALUASI PENGGUNAAN *CONTROLLER*
MACH3 PADA CNC GRINDING 5 SUMBU SERTA PENERAPAN
METODE KENDALI *PROPORTIONAL INTEGRAL DERIVATIVE*
PADA MOTOR SPINDEL**

Oleh:

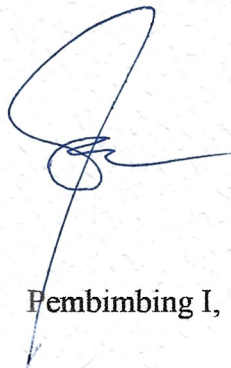
Naufal Hilmi Hibatulloh

220441015

Telah direvisi, disetujui, dan disahkan sebagai Tugas Akhir penutup program pendidikan

Sarjana Terapan (Diploma IV)

Politeknik Manufaktur Bandung



Pembimbing I,

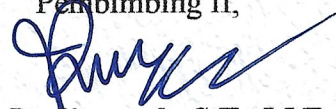
Ruminto Subekti, S.ST., M.T.

NIP 196510141989031002

Bandung, 7 Agustus 2024

Disetujui

Pembimbing II,

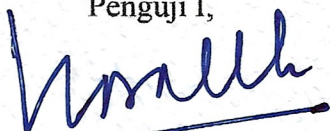


Hendy Rudiansyah, S.T., M.Eng.

NIP 198105072008101001

Disahkan

Penguji I,



Dr. Noval Lilansa,

Dipl.Ing (FH)., M.T.

NIP 197111231995121001

Penguji II,

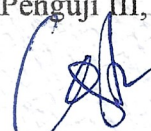


Nur Jamiludin

Ramadhan, S.Tr., M.T.

NIP 199402272020121005

Penguji III,



Sarosa Castrena Abadi

S.Pd., M.T.

NIP 198702252020121001

PERNYATAAN ORISINALITAS

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Naufal Hilmi Hibatulloh
NIM : 220441015
Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Implementasi Dan Evaluasi Penggunaan *Controller* MACH3 pada CNC *Grinding* 5 Sumbu Serta Penerapan Metode Kendali *Proportional Integral Derivative* Pada Motor Spindel

Menyatakan bahwa:

1. Tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri (orisinal) atas bimbingan para Pembimbing.
2. Dalam tugas akhir ini tidak terdapat keseluruhan atau sebagian tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin atau meniru dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan gagasan atau pendapat atau pemikiran dari penulis lain, yang saya akui seolah-olah sebagai tulisan saya sendiri, dan/atau tidak terdapat bagian atau keseluruhan tulisan yang saya salin, tiru, atau yang saya ambil dari tulisan orang lain tanpa memberikan pengakuan penulis aslinya (referensi).
3. Bila kemudian terbukti bahwa saya melakukan tindakan yang bertentangan dengan hal tersebut di atas, baik disengaja atau tidak, saya bersedia menerima akibatnya sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Bandung
Pada tanggal 14-07-2024
Yang Menyatakan

Naufal Hilmi Hibatulloh
NIM 220441015

PERNYATAAN HAK KEKAYAAN INTELEKTUAL (HKI)

Sebagai Civitas Akademika Politeknik Manufaktur Bandung, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Naufal Hilmi Hibatulloh
NIM : 220441015
Jurusan : Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika
Program Studi : Teknologi Rekayasa Otomasi
Jenjang Studi : Diploma 4
Jenis Karya : Tugas Akhir
Judul Karya : Implementasi Dan Evaluasi Penggunaan *Controller* MACH3 pada CNC *Grinding* 5 Sumbu Serta Penerapan Metode Kendali *Proportional Integral Derivative* Pada Motor Spindel

Menyatakan/menyetujui bahwa:

1. Segala bentuk Hak Kekayaan Intelektual terkait dengan tugas akhir tersebut menjadi milik Institusi Politeknik Manufaktur Bandung, yang selanjutnya pengelolaanya berada dibawah Jurusan dan Program Studi, dan diatur sesuai dengan ketentuan yang berlaku.
2. Memberikan kepada Politeknik Manufaktur Bandung Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty-Free Right) atas hasil tugas akhir saya tersebut. beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, maka Politeknik Manufaktur Bandung berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama-nama Dosen Pembimbing dan nama saya sebagai anggota penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di Bandung
Pada tanggal 14-07-2024
Yang Menyatakan

Naufal Hilmi Hibatulloh
NIM. 220441015

ABSTRAK

Politeknik Manufaktur (POLMAN) Bandung sebagai Lembaga Pendidikan Tinggi Vokasi mengimplementasikan sistem pembelajaran *Production Base Education* (PBE) membuat mahasiswa dilibatkan langsung dengan kegiatan produksi yang dilaksanakan di lingkungan kampus untuk memenuhi permintaan/order dari industri seperti yang dilakukan pada pengerjaan proyek *converter* permintaan dari PT. X. Salah satu evaluasi dari produksi yang telah dilaksanakan adalah dibutuhkannya pengayaan mesin yang berfungsi untuk melakukan proses lanjutan atau biasa dikenal dengan *fettling* pada produk hasil pengecoran dengan akurasi yang baik dalam melakukan proses permesinan guna mendapatkan hasil yang optimal. Terdapat beberapa cara pengerjaan *fettling* yang berkembang saat ini di antaranya menggunakan mesin *Computer Numeric Control* (CNC) dan *arm robot*. Di antara keduanya, penggunaan mesin CNC untuk melakukan proses permesinan pada produksi pesanan *converter* ini dinilai lebih efektif karena permesinan hanya dilakukan pada bagian tepi *parting line* produk coran sehingga pemrograman lintasan permesinan dapat dilakukan dengan metode yang lebih mudah. Dalam satu kesatuan yang utuh, mesin CNC terdiri dari sistem mekanik dan kendali yang menuntut akurasi dan konsistensi gerak kendali yang baik, serta fleksibilitas sistem dalam melakukan permesinan pada variasi desain yang beragam. Penggunaan perangkat lunak dan perangkat keras MACH3 memberikan keuntungan pengguna dengan kemudahan pengembangan dan keterjangkauan harga komponennya. Perangkat kontrol yang digunakan mampu mengakomodasi kemudahan proses untuk variasi desain benda kerja dengan kemampuannya dalam mengeksekusi program perintah berbasis *G-Code*. Data hasil pengujian yang terkumpul menunjukkan kesimpulan untuk komponen kendali yang digunakan dapat berfungsi secara optimal, komponen main kontrol BOB MACH3 memiliki tingkat kesuksesan transfer sinyal 100% dan tingkat akurasi output pulsa yang dihasilkan terhadap jarak perintah gerak memiliki nilai rata-rata 99.97% . Akurasi masing-masing sumbu gerak berdasarkan hasil pengujian performa unit kendali dengan 20 kali pengilangan maupun data pengujian proses mencapai tingkat akurasi lebih dari 99%. Pengujian tingkat konsistensi atau kepresisian menghasilkan nilai koefisien variasi dari setiap sumbu kurang dari 1% yang berarti sistem bekerja dengan konsisten dalam mencapai setiap koordinat yang diperintahkan pada setiap sumbu kerja. MACH3 hanya memiliki 5 pin input dan 5 pin output yang menjadi keterbatasan komponen. Keterbatasan IO tersebut diatasi dengan integrasi Arduino Nano menggunakan protokol modbus serial, menambah 13 pin digital dan 5 pin analog. Implementasi MACH3 untuk CNC 5 sumbu menunjukkan akurasi di atas 99% dan repetabilitas gerak sumbu kerja dari 20 pengulangan menunjukkan nilai di bawah 1% yang berarti sistem bekerja dengan konsisten dalam mencapai koordinat yang diperintahkan pada setiap sumbu kerja. Kestabilan kecepatan spindel memiliki respons sistem yang baik dengan nilai tuning PID $K_p = 0,02$, $K_i = 0,015$, dan $K_d = 0,5$ dan menghasilkan respons sistem dengan overshoot 23% dan undershoot 4% serta nilai error steady state 0.9%.

Kata Kunci : CNC 5 Sumbu, MACH3, Modbus Serial , *Fettling*, PID.

ABSTRACT

Bandung Polytechnic of Manufacturing (POLMAN) is a vocational education institution that implements a Production Based Education (PBE) learning system. This approach actively involves students in production activities on campus to fulfill industry orders, such as a converter project requested by PT. X. One key evaluation of the production process revealed the need for machine enhancement to perform advanced fettling on casting products with high machining accuracy for optimal results. Currently, fettling methods include the use of Computer Numeric Control (CNC) machines and robotic arms. Among these, CNC machines are considered more effective for machining the converter components since the machining process is limited to the casting's parting line, making the programming of the machining path simpler. CNC machines consist of mechanical and control systems that require precise and consistent control movements, along with system flexibility to handle various design requirements. MACH3 software and hardware are advantageous due to their ease of development and the affordability of components. The control system used can efficiently manage different workpiece designs by executing G-code-based command programs. Test data concluded that the control components function optimally, with the main MACH3 BOB control component achieving a 100% signal transfer success rate. The pulse output accuracy relative to the commanded motion distance averaged 99.97%. The accuracy of each motion axis, based on 20 refinement and process testing iterations, achieved an accuracy level above 99%. Consistency, or precision testing, resulted in a coefficient of variation of less than 1% for each axis, indicating that the system consistently reached the commanded coordinates for each axis. However, MACH3's limitation of only 5 input and 5 output pins was addressed by integrating an Arduino Nano via a serial Modbus protocol, adding 13 digital and 5 analog pins. The implementation of MACH3 in a 5-axis CNC demonstrated over 99% accuracy, and the repeatability of the axis motion across 20 repetitions showed a coefficient of variation below 1%, confirming the system's consistent performance. The spindle speed stability, tuned with PID values of $K_p = 0.02$, $K_i = 0.015$, and $K_d = 0.5$, produced a system penyetelane with a 23% overshoot, a 4% undershoot, and a steady-state error of 0.9%.

Keywords: CNC 5 Axis, MACH3, Modbus Serial, Fettling, PID.

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Politeknik Manufaktur Bandung (Polman Bandung) merupakan Pendidikan Tinggi Vokasi yang menerapkan sistem pembelajaran berbasis produksi atau dikenal dengan *Production Based Education* (PBE) dan *Modular Based Education* (MBE). Dengan sistem tersebut Polman Bandung menjalin kerjasama dengan perusahaan manufaktur sebagai mitra produksi sehingga tak jarang melakukan kegiatan produksi untuk memenuhi permintaan mitra seperti kegiatan produksi *converter gas* dari perusahaan mitra pada beberapa waktu ke belakang. Catatan evaluasi produksi pada proyek tersebut salah satunya adalah tingginya angka *rejection* sebesar 5% dari total produksi. Angka *rejection* tersebut berasal dari proses *fettling* produk yang masih dilakukan secara manual. Proses *fettling* pada pengerjaan produk *converter gas* ini merupakan proses pengerjaan lanjutan untuk membuang sisa logam proses pengecoran menggunakan kikir dan alat bantu lain berupa *router* dan amplas *belt* dengan konsep dasar pemolesan. Dengan metode pengerjaan manual yang telah berjalan, produk yang dihasilkan kurang konsisten sehingga diperlukan metode lain yang memiliki kemampuan untuk melakukan proses *fettling* dengan kualitas yang lebih akurat dan konsisten.

Dalam pelaksanaannya, proses pemolesan dilakukan menggunakan beberapa metode mulai dari metode manual menggunakan alat pemolesan berupa kikir, gerinda tangan, amplas, dan alat-alat lain yang mempunyai prinsip pengikisan [1]–[3]. Selain metode manual, proses pemolesan juga dilakukan menggunakan mesin modern seperti *Computer Numeric Control* (CNC) dan robot. Penelitian CNC Milling untuk proses *grinding* dengan melakukan pengaturan parameter mekanik pada *software* CAM/CAD [4]. Pengembangan CNC *grinding* banyak dilakukan untuk dapat mengakomodasi kebutuhan pemolesan benda kerja dengan geometri khusus [5], [6]. Kecepatan, akurasi, dan kemudahan pembuatan program gerak menjadi poin unggul dari penggunaan mesin CNC *grinding* [7]. Selain mesin CNC, penggunaan robot *grinding* menjadi metode lain untuk melakukan proses pemolesan. Penggunaan robot *grinding* memiliki keunggulan dari sisi fleksibilitas

dan cakupan kerja yang lebih luas sehingga banyak digunakan untuk pengerjaan benda kerja dengan kompleksitas geometri yang tinggi seperti benda kerja yang memiliki cekungan [8], [9]. Selain itu, robot *grinding* juga kerap kali digunakan untuk melakukan pemolesan pada benda kerja yang tidak memiliki desain digital seperti produk keramik tanah liat [10]. Kedua metode modern tersebut memiliki keunggulan dan kekurangan masing-masing. CNC *grinding* memiliki fleksibilitas dan cakupan kerja yang lebih terbatas namun unggul dari sisi kecepatan, akurasi, dan kemudahan operasional dibandingkan dengan robot *grinding* [7].

Pada tugas akhir ini, akan dibuat rancangan sistem kendali untuk mesin CNC Grinding 5 sumbu sebagai metode permesinan yang digunakan untuk proses *fettling*. MACH3 digunakan sebagai *controller* utama untuk mengendalikan komponen gerak berupa motor servo dengan sistem mekanik linear *transition* dan *rotary transition*. *Requirement* utama yang akan diupayakan pada sistem kendali yang dirancang ini adalah , akurasi, konsistensi, dan fleksibilitas sistem agar dapat diimplementasikan untuk variasi model benda kerja yang beragam sehingga pada penerapannya sistem yang dirancang dapat diimplementasikan untuk bentuk benda kerja yang beragam, tidak terpaku pada satu bentuk benda kerja. Untuk mencapai performa pemotongan yang baik maka diterapkan metode kendali *proporsional*, *integral*, *derivative* (PID) pada motor spindel guna mencapai kestabilan kecepatan yang baik.

I.2 Rumusan Masalah

Dengan kondisi dan latar belakang kebutuhan yang dihadapi, maka permasalahan yang menjadi fokus penyelesaian dapat diuraikan dalam poin-poin berikut:.

1. Bagaimana rancangan sistem kendali yang akan dibangun?
2. Apakah sistem yang dibangun dapat memenuhi akurasi, konsistensi gerak dan memenuhi kebutuhan lima sumbu gerak simultan untuk mencapai fleksibilitas dalam proses?
3. Bagaimana akurasi dari sistem kendali yang diterapkan pada sistem yang dibangun?

I.3 Batasan Masalah

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, fokus pembahasan akan mengacu pada nilai-nilai berikut, di antaranya:

1. Rancangan sistem kendali mengacu pada konsep CNC 5 sumbu. Hal tersebut didasari atas kemudahan proses komputasi untuk kebutuhan penyesuaian desain yang beragam pada CNC.
2. Pengambilan parameter mekanik dan pengaplikasian sistem kendali diterapkan pada *plant* mini CNC *Engraving* 3 sumbu yang dimiliki jurusan hal tersebut dikarenakan rancang bangun dari CNC *Grinding* 5 sumbu belum ada.
3. Pengujian gerak translasi dilakukan pada *plant* mini CNC *milling* 3 sumbu dan gerak rotasi pada sudut dua motor servo yang diberikan busur derajat.
4. Penerapan sistem kendali PID pada kendali kecepatan motor spindel dengan metode eksperimental menggunakan *controller* arduino nano.

I.4 Tujuan dan Manfaat

Pengerjaan tugas akhir ini diharapkan dapat mencapai tujuan yang tersusun sebagai berikut.

1. Terbangunnya sistem kendali CNC *Grinding* 5 sumbu dengan *controller* yang tepat, terjangkau, dan dapat memenuhi tuntutan kebutuhan sistem dalam proses.
2. Mewujudkan kemudahan komputasi dalam proses pemrograman sehingga sistem dapat beradaptasi dengan kebutuhan desain secara efektif dan tepat.
3. Membuktikan dan mengukur keberhasilan sistem kendali berdasarkan akurasi gerak dari komponen kerja yang dikendalikan.

Manfaat yang diharapkan dapat dirasakan dari terselesaikannya tugas akhir ini di antaranya :

1. Terwujudnya rancangan sistem kendali untuk CNC *Grinding* 5 sumbu.
2. Terwujudnya sistem kendali yang fleksibel terhadap proses desain benda kerja dengan kemudahan komputasi pemrograman, dan akurasi serta konsistensi gerak posisi.

3. Didapatkan sistem kontrol untuk kemudian dijadikan acuan pengembangan pada proses perancangan mekanik selanjutnya.

I.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan karya tulis ilmiah Tugas Akhir ini dibahas dengan penjabaran sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN, berisi uraian mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA, berisi gambaran umum tentang landasan teori untuk menjelaskan beberapa istilah dan ilmu terkait serta melihat hasil pencapaian penelitian terdahulu dengan kajian yang sama.

BAB III METODOLOGI PENYELESAIAN MASALAH, berisi langkah-langkah penyelesaian tugas akhir berupa gambaran umum sistem serta perancangan sistem.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN, berisi pembahasan hasil dari pengerjaan tugas akhir berupa data dan analisa

BAB V PENUTUP, berisi kesimpulan dan saran agar dapat dijadikan untuk pengembangan sistem selanjutnya.