

Retrofit EMCO 55 Menggunakan Pengendali Mach 3/4 Untuk Meningkatkan Fleksibilitas Pembelajaran CNC

Heru Sukanto, Purwadi Joko Widodo, Budi Santoso, R. Lullus Lambang G.H., Joko Triyono, Fitriani Imaduddin, Rahman Wijaya, Arifin Musthafa, Iwan Istanto*

Program Studi Sarjana Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret Surakarta, Indonesia

*Email: iwan.istanto@staff.uns.ac.id

Submitted: 3 November 2025, Revised: 27 November 2025, Accepted: 2 Februari 2026, Published: 1 Mei 2026

Abstrak

Penggunaan mesin CNC untuk menghasilkan produk dengan akurasi yang tinggi sangat penting dalam perkembangan industri saat ini. Mesin EMCO 55 adalah salah satu mesin bubut CNC yang populer pada masanya karena kehandalannya dalam menghasilkan produk dengan akurasi tinggi. Namun, seiring perkembangan teknologi, mesin ini mulai mengalami keterbatasan, terutama dalam hal sistem kontrol dan kompatibilitas dengan perangkat lunak modern. Retrofit mesin CNC adalah solusi yang semakin populer untuk mengatasi masalah ini. Retrofit dimulai dengan persiapan dan analisis awal dengan melakukan inspeksi menyeluruh terhadap kondisi mesin untuk mengevaluasi komponen mekanis, elektrik, dan sistem kontrol yang ada. Setelah itu dilakukan pembongkaran sistem kontrol lama dan memasang sistem kontrol baru serta mengatur konfigurasi perangkat lunak yang baru. Setelah semua komponen terpasang pengujian dan optimasi dilakukan agar mendapatkan hasil dan maksimal. Tahap terakhir dalam retrofit adalah finalisasi agar semua komponen terpasang dengan rapi dan aman sesuai dengan desain yang ditetapkan. Dari kegiatan ini dihasilkan mesin CNC dapat kembali berfungsi dengan baik dan kompatibel dengan software modern, memiliki antarmuka grafis yang intuitif, dan dapat terhubung ke sistem jaringan untuk mendukung pemantauan dan integrasi ke dalam ekosistem Industri 4.0

Kata kunci: CNC; Retrofit; Antar muka; Integrasi; Industri 4.0

Abstract

The use of CNC machines to produce products with high accuracy is crucial in today's industrial development. The Emco Concept 55 Turning Unit is one of the most popular CNC lathes of its time due to its reliability in producing products with high accuracy. However, as technology advances, these machines begin to experience limitations, particularly in terms of control systems and compatibility with modern software. CNC machine retrofits are an increasingly popular solution to address these issues. Retrofits begin with initial preparation and analysis, conducting a thorough inspection of the machine's condition to evaluate the existing mechanical, electrical, and control system components. After that, the old control system is dismantled and the new control system is installed, along with the new software configuration. Once all components are installed, testing and optimization are carried out to achieve optimal results. The final stage in the retrofit is finalization to ensure all components are installed neatly and securely. This activity results in the CNC machine being fully functional and compatible with modern software, having an intuitive graphical interface, and being able to connect to a network system to support monitoring and integration into the industry 4.0 ecosystem.

Keywords: CNC; Retrofit; Interface; Integrating; Industry 4.0

Cite this as: Sukanto, H., Widodo, P. J., Santoso, B., Lambang, R. L., Triyono, J., Imaduddin F., Wijaya, R., Musthafa, A., & Istanto, I. 2026. Retrofit EMCO 55 Menggunakan Pengendali Mach 3/4 Untuk Meningkatkan Fleksibilitas Pembelajaran CNC. Jurnal SEMAR (Jurnal Ilmu Pengetahuan, Teknologi, dan Seni bagi Masyarakat), 15(1). 126-134. doi: <https://doi.org/10.20961/semar.v15i1.110616>



Pendahuluan

Mesin EMCO 55 adalah salah satu mesin bubut CNC yang populer pada masanya karena kehandalannya dalam menghasilkan produk dengan akurasi tinggi. Namun, seiring perkembangan teknologi, mesin-mesin CNC generasi lama seperti Emco Concept 55 mulai mengalami keterbatasan, terutama dalam hal sistem kontrol dan kompatibilitas dengan perangkat lunak modern. Sistem kontrol yang digunakan pada mesin ini seringkali sudah tidak lagi didukung oleh produsen, sehingga menyulitkan pengguna dalam melakukan pemeliharaan dan pembaruan. Selain itu, antarmuka pengguna yang ketinggalan zaman membuat operasional mesin menjadi kurang efisien dan memerlukan keterampilan khusus yang mungkin sudah jarang dimiliki oleh operator saat ini.

Retrofit mesin CNC adalah solusi yang semakin populer untuk mengatasi masalah ini (Hassan Al-Maeni et al., 2020; Keshav Kolla et al., 2022; Pietrangeli et al., 2023; Salam et al., 2024). Retrofit melibatkan penggantian sistem kontrol lama dengan sistem yang lebih modern, seperti pengendali berbasis PC dengan perangkat lunak Mach 3 atau Mach 4. Mach 3/4 adalah perangkat lunak kontrol CNC yang banyak digunakan karena fleksibilitasnya, kemudahan penggunaan, dan kemampuannya untuk diintegrasikan dengan berbagai jenis mesin CNC. Dengan retrofit, mesin-mesin lama seperti Emco Concept 55 dapat ditingkatkan kemampuannya tanpa perlu mengganti seluruh mesin, sehingga menghemat biaya dan mempertahankan investasi awal (Aderoba et al., 2024). Retrofit pada mesin hobing dengan mengimplementasikan CNC dan PLC kontrol telah dilakukan oleh (Uday Mokashi, 2019). Selain itu, retrofit juga memungkinkan mesin untuk beroperasi dengan standar industri saat ini (Royandi & Hung, 2022), termasuk kompatibilitas dengan format file CAD/CAM modern dan kemampuan untuk melakukan proses yang lebih kompleks dengan bantuan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*) (Mo et al., 2023).

Perkembangan teknologi manufaktur yang semakin pesat menuntut lembaga industri pendidikan teknik untuk menyesuaikan kurikulumnya dengan kebutuhan industri modern. Salah satu elemen penting dalam pendidikan teknik manufaktur adalah penguasaan mesin CNC (Computer Numerical Control), yang telah menjadi tulang punggung proses produksi presisi di berbagai sektor industri. Namun, tidak sedikit institusi pendidikan yang masih menggunakan mesin CNC generasi lama seperti EMCO Compact 5/EMCO 55, yang walaupun kuat dari sisi mekanis, kini menghadapi keterbatasan fungsional akibat penggunaan kontroler yang sudah usang.

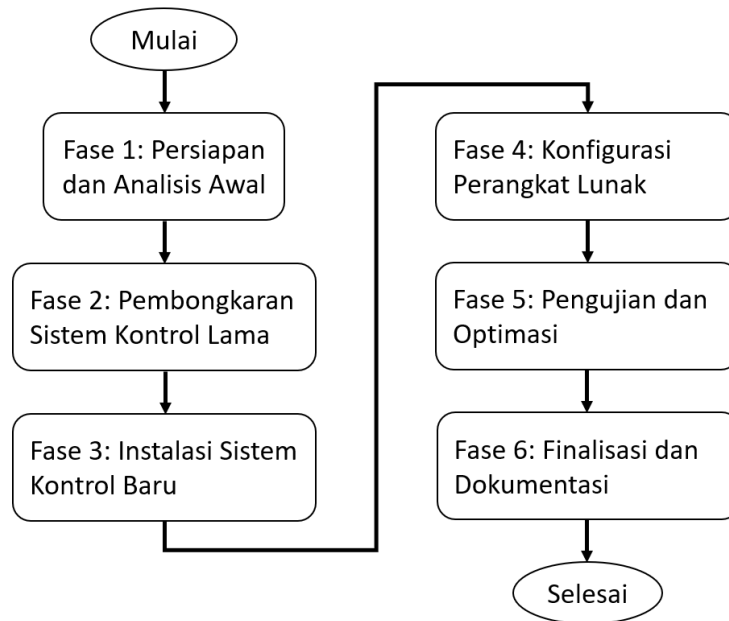
Kontroler bawaan pada EMCO 55 seperti EMCOTronic atau Siemens Sinumerik 810/820 memiliki sistem yang tertutup, antarmuka yang tidak ramah pengguna, serta tidak mendukung integrasi dengan perangkat lunak CAD/CAM atau G-code modern. Hal ini menciptakan kesenjangan antara keterampilan mahasiswa dan kebutuhan industri yang semakin mengarah ke otomasi dan integrasi digital (Industri 4.0) (Bhardwaj, 2023; Hassan Al-Maeni et al., 2020; Kwok & Gaasenbeek, 2023). Modernisasi sistem kontrol pada mesin CNC merupakan kunci untuk memperpanjang umur pakai dan relevansi mesin, terutama dalam konteks pendidikan. Salah satu metode ini dapat dilakukan dengan pendekatan mekatronik untuk mengembangkan kontroler pada mesin CNC (Al-Sharif et al., 2015).

Tujuan dalam pelaksanaan kegiatan pengabdian ini adalah untuk memutakhirkan proses pendidikan teknik agar lebih responsif terhadap dinamika industri dan teknologi masa depan dengan cara yang ekonomis, yaitu dengan melaksanakan retrofit pada mesin CNC EMCO 55. Proses retrofit pada mesin CNC EMCO 55 dilakukan dengan melakukan upgrade kontroler-misalnya menggantikan sistem lama dengan platform berbasis Mach3/Mach4, LinuxCNC, GRBL, atau kontroler open-source seperti Arduino dan Raspberry Pi—merupakan solusi yang efektif dan ekonomis (Breaz et al., 2020; Suryawanshi et al., 2020). Selain meningkatkan kompatibilitas dengan G-code terkini, upgrade ini memungkinkan integrasi antarmuka yang lebih intuitif, koneksi USB/ethernet, serta kemampuan pemantauan dan simulasi proses secara real-time (Keshav Kolla et al., 2022)

Metode Pelaksanaan

Tahapan yang dilakukan dalam retrofit CNC EMCO 55 ditunjukkan pada gambar 1.





Gambar 1. Diagram metode pelaksanaan retrofit CNC EMCO 55

Penjelasan lengkap tentang tahapan pelaksanaan kegiatan retrofit mesin CNC EMCO 55 adalah sebagai berikut:

1. Fase 1: Persiapan dan Analisis Awal

Retrofit mesin Emco Concept 55 Turning Unit dimulai dengan fase persiapan dan analisis awal. Pada fase ini, tim melakukan inspeksi menyeluruh terhadap kondisi mesin untuk mengevaluasi komponen mekanis, elektrik, dan sistem kontrol yang ada. Tujuannya adalah mengidentifikasi komponen yang masih dapat digunakan dan komponen yang perlu diganti atau ditingkatkan. Selain itu, tim juga merancang sistem kontrol baru berbasis PC dengan perangkat lunak Mach 3/4. Spesifikasi hardware yang dibutuhkan, seperti PC industri, breakout board, driver motor, dan power supply, ditentukan berdasarkan kebutuhan mesin. Diagram wiring dirancang untuk memastikan semua komponen dapat terhubung dengan benar. Setelah rancangan selesai, tim mengumpulkan komponen dan peralatan yang diperlukan, termasuk perangkat lunak Mach 3/4, driver motor, dan alat pendukung seperti multimeter dan oscilloscope. Fase ini memastikan bahwa semua persiapan teknis dan logistik telah selesai sebelum memulai proses retrofit.

2. Fase 2: Pembongkaran Sistem Kontrol Lama

Setelah persiapan selesai, tim melanjutkan ke fase pembongkaran sistem kontrol lama. Mesin dimatikan dan semua koneksi listrik dilepaskan untuk memastikan keamanan selama proses pembongkaran. Komponen elektronik lama, seperti panel kontrol, driver motor, dan kabel yang terhubung, dibongkar dengan hati-hati. Komponen yang masih dapat digunakan disimpan sebagai cadangan atau untuk keperluan lain. Setelah pembongkaran, area mesin dibersihkan dari debu dan kotoran yang mungkin mengganggu proses instalasi. Tim juga memeriksa kondisi mekanis mesin, seperti poros, bantalan, dan sistem transmisi, untuk memastikan bahwa mesin siap menerima sistem kontrol baru. Fase ini memastikan bahwa mesin berada dalam kondisi optimal sebelum pemasangan komponen baru.

3. Fase 3: Instalasi Sistem Kontrol Baru

Fase instalasi sistem kontrol baru merupakan tahap inti dari proses retrofit. Tim mulai dengan memasang breakout board pada PC industri dan menghubungkannya ke driver motor stepper/servo. Driver motor kemudian dihubungkan ke motor stepper/servo yang ada pada mesin. Power supply yang sesuai dengan kebutuhan sistem kontrol dan motor dipasang, dengan memastikan tegangan dan arus yang disuplai sesuai dengan spesifikasi komponen. Sensor dan limit switch baru dipasang untuk mendeteksi posisi dan gerakan mesin, dan dihubungkan ke breakout board. Setelah semua komponen terpasang, tim melakukan pengkabelan sesuai dengan diagram wiring yang telah dirancang. Pengujian awal dilakukan untuk memastikan semua komponen terhubung dengan benar dan berfungsi sebagaimana mestinya. Fase ini memastikan bahwa sistem kontrol baru terpasang dengan aman dan siap untuk dikonfigurasi.

4. Fase 4: Konfigurasi Perangkat Lunak

Setelah instalasi sistem kontrol baru selesai, tim melanjutkan ke fase konfigurasi perangkat lunak. Perangkat lunak diinstal pada PC industri, dan port serta pin dikonfigurasi sesuai dengan breakout board yang digunakan. Tim kemudian melakukan kalibrasi motor stepper/servo untuk memastikan gerakan mesin sesuai dengan perintah yang diberikan. Parameter seperti steps per unit, kecepatan, dan akselerasi diatur pada controller tambahan untuk mencapai kinerja optimal. Limit switch dikonfigurasi untuk mendeteksi batas gerakan mesin, dan prosedur homing diatur untuk memastikan mesin dapat kembali ke posisi nol dengan akurat. Fase ini memastikan bahwa mesin dapat beroperasi dengan presisi dan responsivitas yang tinggi.

5. Fase 5: Pengujian dan Optimasi

Fase pengujian dan optimasi dilakukan untuk memastikan mesin berfungsi dengan baik setelah retrofit. Tim melakukan pengujian fungsi mesin secara menyeluruh, termasuk gerakan linier, pemotongan, dan operasional lainnya. Kecepatan, akurasi, dan responsivitas mesin diuji untuk memastikan bahwa semua parameter telah diatur dengan benar. Jika diperlukan, tim melakukan optimasi parameter pada controller tambahan untuk mencapai kinerja optimal. Uji coba dilakukan dengan material yang berbeda untuk memastikan mesin dapat bekerja dengan baik pada berbagai kondisi. Selain itu, tim memberikan pelatihan kepada operator mesin mengenai penggunaan sistem kontrol baru, termasuk fitur-fitur controller tambahan dan cara mengatasi masalah yang mungkin terjadi. Fase ini memastikan bahwa mesin siap digunakan dalam produksi sehari-hari.

6. Fase 6: Finalisasi dan Dokumentasi

Fase terakhir adalah finalisasi dan dokumentasi. Tim memastikan bahwa semua komponen terpasang dengan rapi dan aman, serta tidak ada kabel yang longgar atau komponen yang tidak terpasang dengan benar. Dokumentasi lengkap mengenai proses retrofit dibuat, termasuk diagram wiring, parameter mesin, dan langkah-langkah troubleshooting. Dokumentasi ini disimpan untuk referensi di masa depan. Setelah semua proses selesai, mesin yang telah di-retrofit diserahkan kepada pengguna. Panduan penggunaan dan pemeliharaan mesin diberikan kepada operator untuk memastikan mesin dapat dioperasikan dengan baik. Fase ini menandai penyelesaian proyek retrofit dan memastikan bahwa mesin siap digunakan dalam produksi.

Hasil Dan Pembahasan

1. Perbaikan/Repair Sistem Perangkat Lunak

Persoalan utama mesin CNC Emco Turn 55 terletak pada sistem kontrol dan kelistrikan mesin, termasuk software yang mendukungnya. Mesin ini umumnya masih menggunakan kontroler bawaan lama, seperti PC Turn atau versi *old* lain yang berjalan di atas sistem operasional berbasis DOS atau Windows versi 32 bit. Antarmuka operator pada mesin ini juga terbatas pada layar kecil dan tombol manual, tanpa kemampuan integrasi dengan *software* desain dan manufaktur modern (CAD/CAM). Selain itu, koneksi yang tersedia umumnya hanya melalui port serial (RS-232) atau paralel, yang sekarang sudah tidak banyak digunakan. Dengan keterbatasan ini, Emco 55 tidak dapat menerima data G-code dari perangkat lunak desain seperti Fusion360, SolidWorks, atau Inventor, sehingga pemrograman harus dilakukan secara manual dan terbatas. Konfigurasi *control mainboard* mesin ditunjukkan pada Gambar 1.

Software dan *hardware* yang tidak dioperasikan dalam jangka waktu panjang sering mendatangkan masalah pada koneksi antar interface-nya, terutama untuk perangkat luar yang ditambahkan sebagai unit input (*external keyboard*). Mesin Emco turn 55 menggunakan eksternal input tipe Sinumerik 840D yang umum digunakan pada mesin bubut CNC. Konektivitasnya dengan mesin diakomodasi oleh software melalui *human interface usb*. Setelah melalui serangkaian pemeriksaan pada sistem, konektivitas antara *keyboard* eksternal Sinumerik 840D dan komputer berbasis Windows XP akhirnya berhasil dipulihkan melalui pendekatan pengaturan *human interface device (HID)*. Pada tahap awal, perangkat tidak terdeteksi secara otomatis oleh sistem operasi. Tidak muncul pemberitahuan tentang perangkat baru, dan proses pengenalan driver tidak berjalan sebagaimana mestinya. Hal ini mengindikasikan adanya hambatan pada komunikasi awal antara perangkat keras dan sistem operasi, yang kemungkinan disebabkan oleh perbedaan generasi teknologi atau ketidakcocokan pada lapisan driver.

Proses pemulihan dilakukan melalui penelusuran mendalam pada Device Manager, khususnya di bagian *Human Interface Device* dan mengatur ulang jalur *human interface*, sehingga sistem mulai menampilkan respon positif berupa aktivitas input yang dapat diterima sebagian. Kondisi ini menunjukkan bahwa jalur komunikasi fisik telah berfungsi dengan baik, meskipun identifikasi *driver* masih bersifat sementara. Keberhasilan tahap ini menandai langkah penting dalam proses pemulihan sistem kontrol CNC berbasis Sinumerik 840D, khususnya pada unit Emco Concept Turn 55. Dengan pemulihan konektivitas dasar ini, perangkat *keyboard* dapat dikenali oleh sistem Windows, sehingga proses selanjutnya dapat difokuskan pada pencarian atau instalasi driver yang benar-benar kompatibel untuk mengaktifkan seluruh fungsi tombol dan mode operasi pada keyboard kontrol CNC tersebut.



Gambar 2 Main power supply dan pegendali utama mesin CNC Emco 55.

Perangkat lunak yang tertanam dalam *mainboard* komputer juga ditambah kapasitas penyimpanan akses-nya untuk membantu mempercepat lalu lintas data antar aplikasi yang dijalankan. Pada lingkungan kerja Sinumerik 840D dan WinNC, peningkatan RAM memberikan efek positif terhadap kecepatan respons antarmuka dan kelancaran komunikasi data antara kontrol CNC dan komputer host. Proses pembacaan parameter, simulasi pergerakan sumbu, dan eksekusi program G-code dapat dijalankan dengan lebih lancar, terutama saat beberapa aplikasi pendukung (seperti *editor*, *diagnostic tool*, dan *driver interface*) aktif secara bersamaan. Proses *multitasking*, seperti membuka file CNC, menjalankan WinNC, dan mengaktifkan utilitas pemantauan, dapat dilakukan tanpa jeda respon yang terasa. Sistem menjadi lebih responsif terhadap instruksi input, baik dari keyboard Sinumerik eksternal maupun perangkat USB pendukung lainnya. Secara keseluruhan, peningkatan kapasitas RAM dari 8 GB menjadi 16 GB telah memperbaiki kemampuan sistem dalam menangani proses komputasi dan komunikasi kontrol CNC. Efisiensi kerja meningkat, potensi gangguan berkurang, dan kestabilan operasional pada konfigurasi Sinumerik 840D – Windows XP dapat dipertahankan tingkat performa yang lebih baik.

2. Perbaikan/Pergantian Sistem Pneumatik

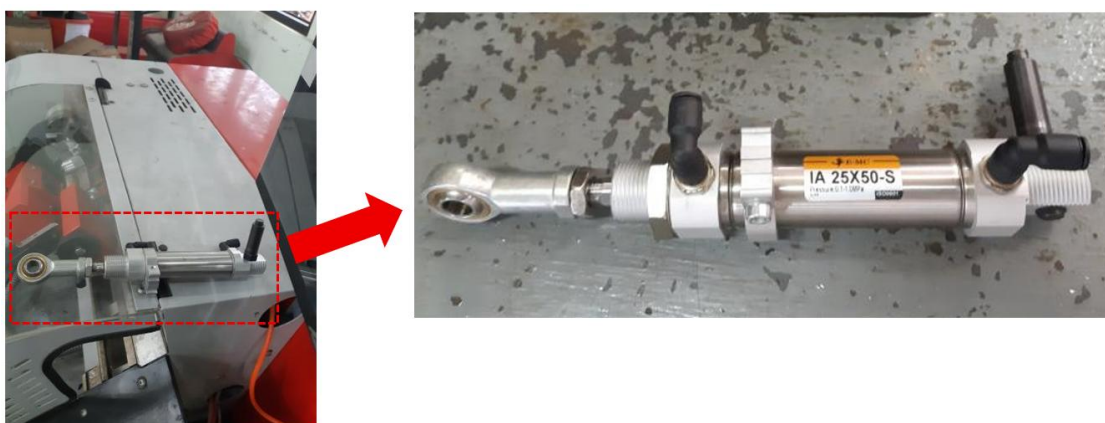
Dalam proses perbaikan dan pemulihan fungsi sistem pneumatik mesin Emco Concept Turning 55, telah dilakukan serangkaian tindakan teknis untuk mengatasi gangguan yang muncul akibat kebocoran dan penurunan kinerja komponen. Pada sistem pneumatik teridentifikasi mengalami kebocoran yang bersumber dari selang udara yang telah mengeras dan sejumlah *seal* yang tidak lagi mampu menahan tekanan udara kerja secara sempurna. Kebocoran tersebut menyebabkan berkurangnya efisiensi suplai udara dan mengakibatkan sistem kontrol pintu mesin tidak dapat beroperasi sebagaimana mestinya. Selang yang rusak diganti dengan selang jenis polyurethane yang lentur dan kuat berukuran standar 6 mm. Jenis selang ini bisa menghasilkan suaian yang pas/fit dengan hose yang terpasang pada katup atau silinder pneumatik. *Seal* katup pengendali arah aliran pada bagian exhaust yang mengalami *leakage* ditambah dengan lapisan *sealer* atau *seal tape* agar kebocoran yang melewati ulir bisa terbandung dengan baik. Gambar 3 memperlihatkan konfigurasi katup kendali sistem pneumatik. Jumlah katup seluruhnya sebanyak 3 buah dengan jenis katup 5/3 sebanyak 2 buah dan katup 3/2 satu buah. Katup 5/3 normally closed akan selalu menanggung

air pressure selama mesin CNC “on” sekalipun dalam kondisi *steady* sehingga perlu tindakan pencegahan kebocoran yang baik dan benar.

Sebagai bagian dari pekerjaan pemulihan, silinder pneumatik pintu mesin yang berfungsi untuk membuka dan menutup penutup ruang kerja telah diganti dengan unit baru. Penggantian dilakukan setelah dilakukan pemeriksaan menyeluruh terhadap kondisi silinder lama (Rexroth double acting cylinder, bore diameter 32 mm, stroke length 52 mm) yang menunjukkan tanda-tanda aus pada batang piston dan kerusakan pada perapat internal. Pemasangan silinder baru (E-MC double acting cylinder, bore diameter 30, stroke length 50) dilakukan dengan menyesuaikan spesifikasi mekanis dan dimensi sambungan agar tetap kompatibel dengan sistem kontrol dan rangka mekanik bawaan mesin. Gambar 4 memperlihatkan wujud fisik dari silinder pneumatik gerak ganda. Selain penggantian silinder, dilakukan pula pemeriksaan ulang terhadap seluruh jalur pneumatik, termasuk konektor, selang, dan fitting, untuk memastikan tidak ada kebocoran residual. Setiap sambungan diperkuat ulang, dan beberapa segmen selang yang mulai mengeras (meskipun belum menunjukkan rusak, pecah ataupun bocor) diganti agar distribusi udara dapat kembali stabil.



Gambar 3 Katup kendali arah aliran pada sistem pneumatik di mesin Emco Concept Turning 55.



Gambar 4 Silinder pneumatik double acting, 30 mm diameter bore with stroke length of 50 mm merk E-MC.

Sistem pneumatik diuji dengan suplai udara bertekanan dari kompresor independen yang difungsikan sebagai sumber udara utama. Kompresor ini diatur agar memberikan tekanan konstan dan berkesinambungan, sehingga kestabilan kerja sistem pneumatik dapat dipertahankan selama operasi mesin CNC berlangsung. Melalui pekerjaan perbaikan tersebut, fungsi aktuator pneumatik dan sistem pintu mesin berhasil dipulihkan, sementara tingkat kebocoran udara dapat diperbaiki hingga tidak muncul kebocoran udara. Hasil ini menunjukkan bahwa pemeliharaan dan penggantian komponen secara tepat pada sistem pneumatik memiliki peran penting dalam menjaga keandalan operasional mesin CNC serta memastikan keselamatan dan efisiensi selama proses produksi berlangsung.

3. Embeding Display dan Eksternal Keyboard

Sebagai bagian dari upaya peningkatan efisiensi ruang dan optimalisasi tampilan antarmuka operator, telah dilakukan modifikasi sistem tampilan dan kendali pada mesin CNC Emco Concept Turning 55 dengan cara menggabungkan monitor display dan eksternal keyboard Sinumerik 840D menjadi satu kesatuan yang terpadu dengan badan mesin. Langkah ini dilakukan untuk mengatasi keterbatasan ruang operasional dan memperbaiki ergonomi posisi kerja operator, yang sebelumnya masih terpisah antara unit monitor, keyboard, dan mesin utama. Dalam proses ini, monitor lama diganti dengan layar baru berukuran 11 inci yang memiliki konektivitas HDMI, sehingga mampu menampilkan grafis dengan kualitas lebih baik dan kompatibel dengan sistem komputer modern yang digunakan sebagai pengendali WinNC. Pemilihan ukuran 11 inci dipertimbangkan berdasarkan keseimbangan antara kejelasan tampilan visual dan kebutuhan untuk mempertahankan dimensi keseluruhan mesin agar tetap ringkas.



a. Konstruksi penopang keyboard external Sinumerik 840D b. Bracket untuk pemasangan display 11 inci.

Gambar 5. Konstruksi penopang input sistem pada CNC EMCO 55



a. Mesin CNC EMCO 55 sebelum retrofit b. Mesin CNC EMCO 55 setelah retrofit

Gambar 6 Komparasi mesin CNC EMCO 55

Pemasangan monitor dilakukan dengan penyesuaian body asli mesin, di mana rangka penopang baru dirancang menggunakan plat aluminium yang ringan namun kokoh. Struktur aluminium profil digunakan sebagai rangka utama untuk menopang keyboard Sinumerik 840D. Desain rangka dirancang sedemikian rupa agar tetap memberikan

kemudahan dalam perawatan, akses konektor, dan sirkulasi udara di sekitar perangkat elektronik. Setiap sambungan aluminium profil dikencangkan menggunakan bracket baut tanam M6 untuk memastikan kekakuan struktur tanpa menambah bobot berlebih pada mesin, sebagaimana tampak pada Gambar 5. Jalur kabel HDMI dan daya diatur rapi melalui sela-sela konstruksi sehingga tampilan keseluruhan menjadi lebih bersih dan profesional.

Dengan selesainya pekerjaan integrasi ini, tampilan fisik mesin CNC Emco Concept Turning 55 menjadi jauh lebih *compact* dan efisien dalam penggunaan ruang operasional. Area kerja operator kini lebih lapang, sementara jarak antara panel kendali dan bidang kerja mesin menjadi lebih ergonomis. Selain memberikan nilai estetika dan kemudahan penggunaan, integrasi ini juga berkontribusi terhadap peningkatan keamanan kerja, karena berkurangnya kabel eksternal yang menjuntai di sekitar mesin. Monitor HDMI yang baru memberikan tampilan visual lebih tajam dan stabil, memudahkan operator dalam memantau proses pemotongan maupun simulasi CNC secara real-time. Secara keseluruhan, modifikasi ini tidak hanya memperbarui tampilan fisik mesin, tetapi juga meningkatkan fungsionalitas dan kenyamanan penggunaan. Kombinasi antara monitor modern dan keyboard Sinumerik klasik menghasilkan sistem kendali yang tetap mempertahankan karakter asli mesin, namun dengan efisiensi dan estetika yang disesuaikan dengan kebutuhan laboratorium CNC masa kini. Dengan desain yang lebih ringkas, mesin kini dapat ditempatkan di area kerja yang lebih sempit tanpa mengurangi aksesibilitas, sekaligus memperkuat kesan profesional dan modern pada tampilan keseluruhan sistem kontrol CNC, seperti diperlihatkan pada Gambar 6.

4. Uji Coba Running Program CNC

Uji coba selanjutnya dilakukan dengan menjalankan program G-code standar yang mencakup perintah G00, G01, dan cycle command seperti G76. Pemotongan uji dilaksanakan menggunakan bahan lunak seperti lilin atau aluminium ringan untuk menghindari risiko kerusakan. Dari hasil pemotongan ini, ketelitian gerak, dimensi hasil akhir, serta kekakuan sistem selama pemotongan dapat dievaluasi. Hasilnya dibandingkan dengan rancangan CAD/CAM untuk memastikan kesesuaian sistem secara menyeluruh. Program CNC yang bisa dieksekusi untuk menguji kepresisian gerak seperti berikut ini:

```
%  
O0001 (Program uji dasar EMCO 55 Turning)  
G21 (Gunakan satuan mm)  
G90 (Mode pemrograman absolut)  
G92 X0 Z0 (Setel posisi awal koordinat pada X0 Z0)  
G00 X20 Z5 (Rapid move ke titik awal aman)  
M03 S1000 (Spindle berputar searah jarum jam dengan 1000 rpm)  
G01 Z0 F100 (Potong sejajar sumbu Z dengan kecepatan makan 100 mm/menit)  
G01 X10 F100 (Potong radial ke X10)  
G00 X20 Z5 (Kembali ke posisi aman)  
M05 (Matikan spindle)  
M30 (Akhiri program)  
%
```

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem kontrol baru mampu mengeksekusi perintah numerik secara akurat dan aman. Uji coba diawali dengan mempersiapkan mesin, termasuk memastikan sumbu X dan Z telah terkalibrasi dengan benar, serta seluruh sensor limit dan sistem referensi bekerja sebagaimana mestinya. Benda kerja lunak seperti lilin industri atau batang aluminium digunakan untuk menghindari kerusakan mesin selama pengujian awal. G-code sederhana kemudian dijalankan, dimulai dari perintah-perintah dasar seperti pergerakan cepat (G0), pemotongan linier (G1), hingga instruksi pengembalian ke posisi aman. Program dijalankan dalam mode “dry run” dan “single block” agar setiap perintah bisa diamati secara perlahan dan dievaluasi. Selama uji coba, perhatian diarahkan pada respon motor terhadap setiap perintah, suara mekanis yang timbul, dan kestabilan gerakan. Jika spindle mesin telah terintegrasi ke dalam sistem kontrol, pengujian variasi kecepatan juga dilakukan dengan memeriksa kesesuaian RPM aktual terhadap nilai perintah G-code. Setelah pemotongan aktual dilakukan, hasilnya diukur dan dibandingkan dengan desain untuk mengevaluasi ketepatan posisi dan dimensi. Jika ditemukan ketidaksesuaian, dilakukan penyesuaian ulang terhadap parameter kalibrasi. Semua temuan dan konfigurasi yang berhasil dicatat dalam log teknis sebagai bagian dari dokumentasi sistem, untuk menjamin replikasi dan peningkatan performa mesin di masa mendatang.

Kesimpulan

Dari sudut pandang kebutuhan teknologi saat ini, Emco 55 dalam kondisi asli tidak memenuhi tuntutan integrasi ke sistem digital modern. Mesin ini tidak mendukung koneksi USB atau Ethernet, tidak dapat diakses dari jaringan lokal laboratorium, dan tidak memungkinkan monitoring jarak jauh atau logging data. Selain itu, antarmukanya tidak dapat dikembangkan lebih lanjut karena sistemnya tertutup dan tidak fleksibel untuk pendidikan berbasis open source. Dalam konteks pengajaran dan pelatihan manufaktur berbasis digital, keterbatasan ini menjadi hambatan utama.

Melalui evaluasi ini, disimpulkan bahwa retrofit sangat layak dilakukan terhadap mesin CNC Emco 55. Secara struktural, komponen mekanik masih dapat digunakan tanpa perlu penggantian besar. Namun, sistem kontrol dan kelistrikan harus diganti dan disesuaikan dengan teknologi yang lebih terbuka dan fleksibel. Tujuannya adalah agar mesin dapat kembali berfungsi sebagai media pelatihan yang kompatibel dengan software modern, memiliki antarmuka grafis yang intuitif, dan dapat terhubung ke sistem jaringan untuk mendukung pemantauan dan integrasi ke dalam ekosistem Industri 4.0.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Sebelas Maret Surakarta, yang telah memberikan dukungan dana melalui LPPM UNS dan program Pengabdian Kepada Masyarakat Hibah Grup Riset (PKM HGRUNS) dengan nomor kontrak 370/UN27.22/PT.01.03/2025.

Daftar Pustaka

- Hassan Al-Maeni, S. S., Kuhnhen, C., Engel, B., & Schiller, M. (2020). Smart retrofitting of machine tools in the context of industry 4.0. *Procedia CIRP*, 88, 369–374. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.064>
- Keshav Kolla, S. S. V., Lourenço, D. M., Kumar, A. A., & Plapper, P. (2022). Retrofitting of legacy machines in the context of Industrial Internet of Things (IIoT). *Procedia Computer Science*, 200, 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.205>
- Kwok, T. H., & Gaasenbeek, T. (2023). A production interface to enable legacy factories for industry 4.0. *Engineering Research Express*, 5(4). <https://doi.org/10.1088/2631-8695/acfec>
- Breaz, R. E., Racz, S. G., Girjob, C. E., Tera, M., & Biris, C. (2020). Using open source software CNC controllers and modular multi-axis mechanical structure as integrated teaching environment for CAD/CAM/CAE training. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 968(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/968/1/012024>
- Pietrangeli, I., Mazzuto, G., Ciarapica, F. E., & Bevilacqua, M. (2023). Smart Retrofit: An Innovative and Sustainable Solution. In *Machines* (Vol. 11, Issue 5). MDPI. <https://doi.org/10.3390/machines11050523>
- Royandi, M. A., & Hung, J. P. (2022). Design of an Affordable Cross-Platform Monitoring Application Based on a Website Creation Tool and Its Implementation on a CNC Lathe Machine. *Applied Sciences (Switzerland)*, 12(18). <https://doi.org/10.3390/app12189259>
- Mo, F., Rehman, H. U., Monetti, F. M., Chaplin, J. C., Sanderson, D., Popov, A., Maffei, A., & Ratchev, S. (2023). A framework for manufacturing system reconfiguration and optimisation utilising digital twins and modular artificial intelligence. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2022.102524>
- Salam, A., Abdullah, S., Saleh Zalita, F. A., Elshibani, M. M. N., Saleh, N., & Alshamili, E. (2024). Improving Traditional Cutting Processes by Using CNC Machines. In *Azzaytuna University Journal* (Issue 52).
- Aderoba, O. A., Mpofu, K., Kareem, B., Dahunsi, O. A., Awopetu, O. O., & Daniyan, I. A. (2024). Upgrading the versatility of conventional machine tools using the mechatronic approach. *Cogent Engineering*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/23311916.2024.2365908>
- Suryawanshi, A. T., Sudhakar, D. S. S., & Patil, B. T. (2020). Low cost and open source software-based CNC router for machining contours. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 872(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/872/1/012084>
- Uday Mokashi, K. (2019). Overview of the Performance Enhancement of the CNC Hobbing Machine. *International Journal of Innovations Engineering Research and Technology*, 6.

