



# PENGEMBANGAN ALAT PEMBERSIH TERAK (*DROSS*) MESIN LASER CUTTING BERBASIS PNEUMATIK

Indra Koto<sup>a</sup>, Marco Benedetto Panjaitan<sup>b</sup>, Musyaffa Hirzy<sup>b\*</sup>, Jhon Samuel Siburian<sup>b</sup>, Novem Perdomuan Simamora<sup>b</sup>, Reza Hardi Wijaya<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Program Studi Pendidikan Teknik Otomotif, Universitas Negeri Medan, Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara, Medan 20371, Indonesia

<sup>b</sup>Program Studi Teknik Mesin, Universitas Negeri Medan, Jl. William Iskandar Ps. V, Kenangan Baru, Kec. Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara, Medan 20371, Indonesia

\*Corresponding authors at: [musyaffa.hirzy99@gmail.com](mailto:musyaffa.hirzy99@gmail.com) (Hirzy) Tel.: +62 878-9688-4790

## INFO ARTIKEL

### Riwayat artikel:

Diajukan pada 18 Desember 2025

Direvisi pada 07 Februari 2026

Disetujui pada 24 Februari 2026

Tersedia daring pada 28 Februari 2026

### Kata kunci:

Pemotongan laser, serat, sisa pemotongan, pneumatik.

### Keywords:

Laser cutting, fiber, dross, pneumatic.

## ABSTRAK

Proses pemotongan pada mesin CNC *laser cutting* menghasilkan residu berupa terak (*dross*) dan partikel logam yang menumpuk pada kisi-kisi meja mesin. Akumulasi ini dapat mengganggu kestabilan benda kerja, menurunkan kualitas tepi potong, serta meningkatkan risiko cacat produk. Pembersihan yang masih dilakukan secara manual menyebabkan waktu henti produksi lebih lama dan kurang konsisten, sehingga diperlukan sistem pembersihan yang lebih efisien, terintegrasi, dan mendukung keberlangsungan operasional mesin. Perancangan sistem pembersih meja CNC *laser cutting* semi-otomatis berbasis pneumatik bertujuan mengatasi penumpukan terak dan partikel pada kisi-kisi meja mesin *fiber laser cutting* yang menurunkan kualitas potong, dan meningkatkan frekuensi pembersihan manual. Metode yang digunakan adalah eksperimental dengan pendekatan rancang bangun (*design and build*), meliputi tahap perancangan CAD, pemilihan komponen pneumatik (silinder SC 80×175 dan katup 5/2), perakitan, hingga pengujian kinerja dengan membandingkan durasi pembersihan antara metode manual dan alat hasil rancangan pada satu batang *slat* meja. Penelitian mengenai proses *laser cutting* dan sistem pneumatik telah banyak dilakukan, namun kajian tentang perancangan sistem pembersih meja CNC *laser cutting* berbasis pneumatik terintegrasi dengan evaluasi efisiensi operasional masih terbatas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat pneumatik mampu menyelesaikan pembersihan dalam waktu rata-rata 242 detik, jauh lebih cepat dibandingkan metode manual yang membutuhkan 693,33 detik. Penggunaan alat ini memberikan peningkatan efisiensi waktu sebesar 66,66% secara keseluruhan, alat pembersih terak berbasis pneumatik ini terbukti efektif dalam mengurangi waktu henti (*downtime*) mesin serta menjadi solusi pembersihan yang lebih ergonomis dan aman bagi operator.

## ABSTRAK

*Dross and metallic particles produced by the laser cutting process in CNC machines build up on the machine table's slats, potentially impairing workpiece stability, lowering cut-edge quality, and raising the possibility of product flaws. There is a need for a more effective and integrated cleaning system because the existing manual cleaning procedures result in inconsistent and protracted production downtime. In order to reduce dross and particle accumulation that lowers cutting quality and increases the frequency of manual cleaning, this study focuses on designing a semi-automatic pneumatic-based cleaning system for CNC fiber laser cutting tables. A CAD-based system design, the selection of pneumatic components (SC 80×175 cylinder and 5/2 directional control valve), assembly, and performance testing by comparing the cleaning times of a single table slat using the suggested and manual methods were all part of the experimental design-and-build methodology. Despite extensive study on laser cutting techniques and pneumatic systems, there has been limited investigation into integrated pneumatic-based CNC laser cutting table cleaning systems with an evaluation of operating efficiency. The findings indicate that the suggested pneumatic system was effective in decreasing machine downtime and offering a more ergonomic and secure cleaning solution for operators, as it achieved an average cleaning time of 242 seconds, which was significantly faster than the manual method at 693.33 seconds. This resulted in a time efficiency improvement of 66.66%.*

## 1. PENGANTAR

Seiring berjalannya waktu dan berkembangnya ilmu pengetahuan, teknologi terus mengalami kemajuan. Perkembangan ini sejalan dengan meningkatnya kebutuhan manusia, sebab pada hakikatnya teknologi diciptakan untuk mempermudah dan menunjang kehidupan manusia. Suatu mesin membutuhkan suatu landasan atau sistem rangka yang berfungsi untuk menggabungkan semua komponen menjadi satu dan mampu menopang beban komponen (Istiqlalayah & Prabowo, 2020). Kecepatan aliran udara akan mempengaruhi nilai tekanan yang dihasilkan, karena semakin tinggi kecepatan laju alir udaranya maka akan semakin tinggi tekanan yang dihasilkan dalam suatu sistem (Junita dkk., 2024).

Penggunaan sistem pneumatik sudah lama sekali dalam membantu pelaksanaan mekanis pekerjaan sederhana, hingga sekarang memegang peranan yang sangat penting dalam bidang otomatisasi (Hasan dkk., 2023). Sistem pneumatik merupakan suatu sistem yang digunakan sebagai sistem otomasi saat ini dengan menggunakan udara sebagai penggerakannya (Tuapetel & Narwalutama, 2022). Dalam sistem pneumatik, media kerjanya berupa gas (umumnya udara) yang dimampatkan hingga tekanannya melebihi tekanan atmosfer sehingga energi tekanan dapat disalurkan melalui partikel-partikelnya (Bora dkk., 2019). Semua fluida memiliki kemampuan untuk berpindah tempat dan mengalami perubahan bentuk. Oleh karena itu, sistem pneumatik memungkinkan dilakukannya beragam proses konversi energi dengan penggunaan perangkat mekanis yang relatif sederhana dan terbatas (Bora dkk., 2019). Sistem pneumatika menawarkan solusi efektif untuk otomasi proses pemilahan barang dengan respons yang cepat dan kemampuan operasional tinggi dalam lingkungan industri yang berat, dimana udara bertekanan dimanfaatkan untuk menggerakkan aktuator dan pengendali (Arohman dkk., 2025). Sistem kontrol pneumatik memanfaatkan udara terkompresi sebagai media kerja untuk menggerakkan berbagai aktuator, seperti silinder atau katup, dalam rangka mengendalikan pergerakan mekanis suatu sistem otomatis (Hadimi., 2024). Modifikasi sistem kendali pneumatik pada alat *press tread* menunjukkan bahwa penggunaan udara bertekanan sebagai media penggerak dapat meningkatkan efektivitas operasi mekanis dalam proses produksi (Ismoyo dkk., 2021)

Mesin *laser cutting* adalah perangkat teknologi manufaktur yang menggunakan sinar *laser* bertenaga tinggi untuk memotong material. *Laser cutting* merupakan teknologi pemotongan *sheet* metal menggunakan media laser yang dipadukan sistem CNC (Nugraha dkk., 2023). Dalam proses pemotongan laser, istilah *dross* merujuk pada sisa material cair yang tidak sepenuhnya terhembus keluar dari zona potong dan kemudian membeku kembali pada bagian bawah tepi hasil pemotongan benda kerja. Perbedaan bentuk-bentuk *dross* serta kondisi tepi potong yang bebas *dross* belum memiliki definisi yang sepenuhnya seragam. Beberapa klasifikasi yang dijumpai dalam literatur membaginya ke dalam kategori tepi potong tanpa *dross*, *dross* berukuran kasar, hingga *dross* berbentuk butiran atau tetesan (Bach dkk., 2023). Mesin *cutting laser* berkerja dengan cara mengarahkan laser berkekuatan tinggi untuk memotong material dengan menggunakan pemrograman komputer untuk menjalankan (Taufana dkk., 2023). Sinar ini *laser* difokuskan ke satu titik kecil pada permukaan bahan, yang menyebabkan material tersebut meleleh, terbakar, atau menguap hingga terpotong dengan pola yang telah ditentukan dengan sangat presisi. Seluruh proses pembuatan pola tersebut dikendalikan oleh *Computer Numerical Control (CNC)*, sehingga mesin dapat mengikuti pola desain *digital* yang rumit dengan akurasi yang sangat tinggi.

Beberapa solusi yang telah ada sebelumnya umumnya berfokus pada penggunaan cairan kimia pencegah kerak atau metode pembersihan manual yang melelahkan. Namun, penggunaan bahan kimia seringkali tidak ramah lingkungan dan kurang efektif untuk kerak yang sudah mengeras secara ekstrem, sementara metode manual memiliki risiko keselamatan yang tinggi dan produktivitas yang rendah. Penelitian ini hadir untuk mengisi celah tersebut dengan mengusulkan pendekatan mekanis berbasis sistem pneumatik. Berbeda dengan solusi yang sudah ada, alat yang dirancang bangun ini menawarkan kekuatan pukul yang konsisten namun dengan kontrol jarak jauh, sehingga mengatasi kelemahan metode manual tanpa memerlukan bahan kimia tambahan.

Berdasarkan pengukuran, pembersihan manual membutuhkan waktu rata-rata 24 menit per siklus dengan frekuensi empat kali per hari, sehingga menyebabkan *downtime* sebesar 60 menit atau sekitar 17,14% dari total waktu operasional harian. Setelah penerapan sistem semi-otomatis, waktu pembersihan berkurang menjadi 8 menit per siklus, menghasilkan penghematan waktu sebesar 66,66%. Metode tersebut tidak hanya menyita waktu yang cukup panjang, tetapi juga berpotensi menimbulkan cedera atau kecelekaan kerja pada operator serta merusak bilah pada meja mesin *laser cutting*. Kondisi berhentinya operasi mesin akibat pembersihan manual di *workshop* Universitas Negeri Medan (UNIMED) yang secara langsung berdampak pada berkurangnya efisiensi jadwal praktikum maupun keterlambatan penyelesaian proyek. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan yang lebih inovatif, aman, dan efektif untuk mengatasi akumulasi terak. Rancang bangun ini ditujukan untuk menghasilkan alat pembersih terak pada meja mesin *laser cutting* dengan memanfaatkan mekanisme berbasis sistem pneumatik.

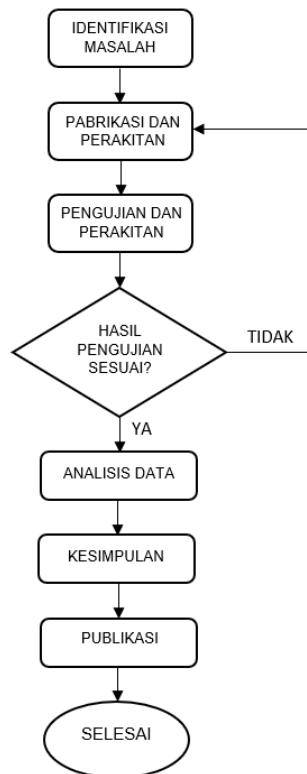
## 2. METODE

Perancangan ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan rancang bangun (*design and build*) yang terdiri dari tahap perancangan desain, pemilihan komponen pneumatik, perakitan, dan pengujian kinerja alat dalam membersihkan terak (*dross*). Tahapan perancangan dimulai dengan identifikasi karakteristik terak pada mesin *laser cutting* yang terdapat pada *workshop* Universitas Negeri Medan dengan mesin *laser cutting* tipe *fiber*. Alur tahapan penelitian yang digunakan dalam perancangan dan pembuatan alat ditunjukkan pada Gambar 1. Perancangan alat dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Design (CAD)* untuk memodelkan serta mensimulasikan dimensi alat *cutter* pengikis secara akurat. Pemodelan tiga dimensi memungkinkan analisis menyeluruh terhadap konfigurasi setiap komponen, termasuk kesesuaian ukuran, posisi, dan toleransi, sebelum alat direalisasikan. Dengan demikian, potensi gangguan mekanis dan ketidaksesuaian antarbagian dapat diidentifikasi sejak tahap awal perancangan. Sistem yang dikembangkan mengandalkan mekanisme berbasis pneumatik sebagai sumber penggerak utama yang menyalurkan tenaga ke poros pisau *slotting*. Poros ini berfungsi menjepit dan menggerakkan *slat* selama proses pengikisan berlangsung. Penerapan sistem pneumatik tersebut diharapkan mampu menghasilkan kinerja yang stabil dan berulang, sehingga meningkatkan efisiensi pembersihan serta mengurangi ketergantungan pada proses manual. CAD merupakan sebuah perangkat lunak yang dirancang untuk membantu proses perancangan secara digital. Dengan adanya CAD, seorang desainer dapat membuat, mengubah, menganalisis, sekaligus menyempurnakan rancangan teknis sehingga lebih efisien dan akurat.

Pengujian performa dilakukan dengan membandingkan efisiensi waktu pembersihan antara metode manual (menggunakan palu dan kikir) dengan alat yang dikembangkan. Kompresor dioperasikan pada tekanan 10 bar dengan tekanan kerja yang dijaga secara konstan

ialah 3,6 bar. Pengujian dilakukan pada 1 batang *slat* dengan tingkat ketebalan terak yang seragam. Data yang diambil meliputi durasi pembersihan (detik).

Bahan dan komponen utama yang digunakan dalam pembuatan alat pengikis kerak (*dross removal tool*) meliputi baja plat setebal 3 mm sebagai rangka, silinder pneumatik tipe SC 80×175 sebagai penggerak, serta selang pneumatik berdiameter 8 mm sepanjang 5 m sebagai media penyaluran fluida berupa udara bertekanan. Sistem pneumatik dilengkapi dengan *fitting* 1/4 dan 3/8 inci serta katup pneumatik tipe 5/2 model tuas. Proses pembuatan mengacu pada gambar kerja dengan dukungan mesin *laser cutting*, sedangkan *bearing* digunakan untuk menunjang kestabilan pergerakan mekanisme. Silinder pneumatik dengan tipe SC 80×175 dipilih karena memiliki diameter piston yaitu sebesar 80 mm yang cukup besar untuk menghasilkan gaya dorong yang kuat guna mengangkat atau mengikis terak (*dross*) yang keras dan memiliki berat yang sesuai agar dapat memindahkan alat pembersih terak meja *laser cutting* berbasis sistem pneumatik ini dari satu tempat ke tempat yang lain. Pemilihan katup kontrol arah tipe 5/2 dengan model tuas bertujuan agar operator memiliki kendali penuh secara manual atas siklus maju dan mundur batang aktuator, sesuai dengan tingkat ketebalan terak yang cukup beragam pada setiap bagian *slat* meja mesin *laser cutting*. Penggunaan baja plat setebal 3 mm dimaksudkan untuk memberikan stabilitas pada alat saat menerima beban reaksi dari proses pengikisan terak yang statis di atas *slat* meja, sehingga ketika alat pembersih terak meja *laser cutting* ini dirangkai, berat total keseluruhan bagiannya tidak cukup berat dan memudahkan operator untuk mengoperasikannya.



Gambar 1: Diagram alir proses perancangan

### 2.1. Perhitungan waktu efisiensi

Perhitungan waktu efisiensi dilihat pada persamaan 1.

$$C\% = \frac{A-B}{A} \times 100\% \quad (1)$$

Dimana:

C% = Waktu efisiensi

A = Waktu rata-rata palu terak (s)

B = Waktu rata-rata pneumatik (s)

$$C = 66,66\% = \frac{693,33 - 242}{693,33} \times 100\%$$

Persamaan 2 dan 3 menunjukkan perhitungan gaya pada pneumatik

Data diketahui

D = 80 mm = 0,08 m

d = 25 mm = 0,025 m

h = 175 mm = 17,5 cm

P = 3,6 bar = 360.000 N/m<sup>2</sup>

t = 1,8 s

Gaya efektif piston saat maju

$$F_{\text{maju}} = A \times P \quad (2)$$

Dimana:

F = Gaya efektif piston saat maju (N)

A = Luas permukaan silinder *pneumatic* (m<sup>2</sup>)

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2 = \frac{3,14}{4} \times D^2 = 1080,64N$$

Gaya efektif piston saat mundur

$$F_{\text{mundur}} = A \times P \quad (3)$$

Dimana:

F = Gaya efektif piston saat mundur (N)

A = Luas permukaan silinder *pneumatic* (m<sup>2</sup>)

$$A = \frac{\pi}{4} \times (D^2 - d^2) = 1631,88N$$

Perhitungan Konsumsi udara pada saat piston maju dan pada saat piston mundur masing-masing ditampilkan pada persamaan 4 dan 5.

$$V_1 = P \times \left(\frac{\pi}{4}\right) \times D^2 \times h = 3226,7 \text{ cm}^3 / 3,22 \text{ liter} \quad (4)$$

Dimana:

V = Konsumsi udara saat piston bergerak maju (m/s)

P = Tekanan kerja untuk *pneumatic* (N/m<sup>2</sup>)

D = Diameter piston (m)

h = Panjang langkah (cm)

Konsumsi udara saat piston mundur

$$V_2 = P \times \left(\frac{\pi}{4}\right) \times (D^2 - d^2) \times h = 2911,56 \text{ cm}^3 / 2,97 \text{ liter} \quad (5)$$

Dimana:

V = Konsumsi udara saat piston bergerak mundur (m<sup>3</sup>/s)

P = Tekanan kerja untuk *pneumatic* (N/m<sup>2</sup>)

D = Diameter piston (m)

h = Panjang langkah (cm)

Debit kompresor dapat dihitung dengan persamaan 6.

$$Q_s = \left(\frac{\pi}{4} \times D^2\right) \times v = 29,30 \text{ liter/menit} \quad (6)$$

Dimana:

$Q_s$  = Debit kompresor (liter/menit)

D = Diameter silinder (mm)

v = Kecepatan piston (mm/menit atau mm/detik)

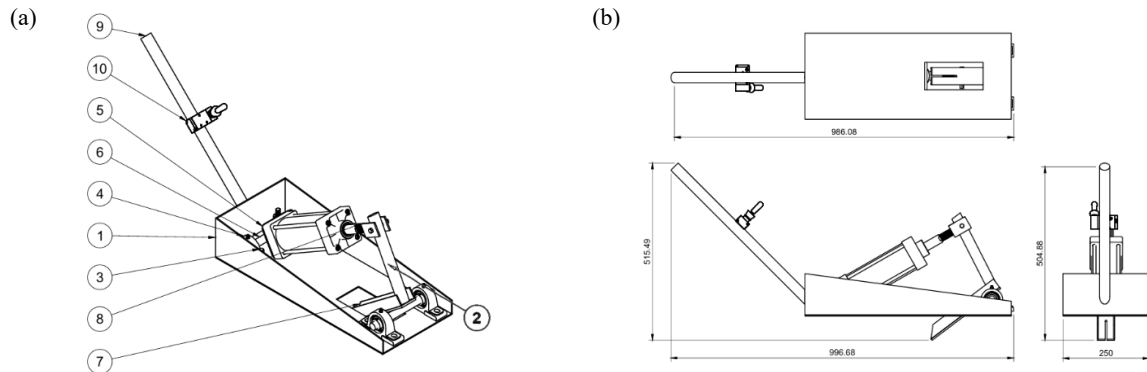
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Gambar Kerja

Gambar kerja adalah dokumen teknis yang berperan sebagai referensi utama dalam mengubah konsep perancangan menjadi wujud produk yang dapat diproduksi. Di dalamnya tercantum keterangan rinci mengenai geometri, dimensi, toleransi, serta spesifikasi material yang digunakan. Dokumen ini berfungsi sebagai media komunikasi teknis antara perancang dan pelaksana di bidang manufaktur. Penyajian informasi yang sistematis bertujuan meminimalkan terjadinya kesalahan penafsiran pada tahap produksi dan perakitan. Gambar kerja disusun dengan mengacu pada standar penggambaran teknik yang berlaku agar mudah dipahami. Keberadaan gambar kerja mendukung pengendalian mutu serta konsistensi hasil produksi. Oleh karena itu, gambar kerja memiliki peranan penting dalam meningkatkan efisiensi dan keberhasilan proses rekayasa. Gambar kerja alat pembersih meja CNC *laser cutting* disusun untuk menyajikan gambaran komprehensif mengenai bentuk, susunan, dan keterkaitan antar komponen utama sistem. Rancangan ini memperlihatkan rangka sebagai struktur pendukung, penempatan aktuator pneumatik, serta mekanisme penghubung yang berfungsi menghasilkan gerakan pembersihan pada area meja pemotongan. Penyusunan gambar kerja dimaksudkan untuk memberikan penjelasan teknis yang jelas terkait konfigurasi alat sebelum dilakukan proses perakitan dan pengujian. Selain itu, gambar kerja dilengkapi informasi dimensi serta orientasi komponen dari berbagai sudut pandang guna mendukung analisis dan proses manufaktur. Data tersebut dijadikan acuan dalam pembuatan serta pemasangan setiap komponen. Kejelasan detail yang disajikan berperan dalam mengurangi potensi kesalahan interpretasi selama proses perakitan. Dengan demikian, kesesuaian antara rancangan dan hasil realisasi alat dapat terjaga. Oleh karena itu, gambar kerja memiliki peranan penting dalam menunjang keberhasilan perancangan alat pembersih meja CNC *laser cutting*.

Beberapa pandangan pada gambar kerja menunjukkan dimensi utama alat serta orientasi komponen dari sudut yang berbeda untuk memudahkan analisis dan proses manufaktur. Pada Gambar 2(a), badan alat berperan sebagai rangka utama yang menopang seluruh

susunan komponen agar alat bekerja secara stabil. Lengan pisau *slotting* berfungsi menyalurkan gerakan dari mekanisme penggerak menuju pisau, sementara *pillow block bearing* digunakan untuk menopang poros sehingga pergerakan berlangsung lebih halus dan selaras. Untuk menjaga kinerja mekanis, *nipple gemuk (grease nipple)* disediakan sebagai jalur pelumasan pada bagian yang mengalami gesekan. Komponen tutup belakang aktuator berfungsi melindungi bagian dalam aktuator dari kotoran dan sisa material pemotongan, sedangkan batang as berperan sebagai penghubung yang meneruskan gerak antar komponen. Proses pembersihan dilakukan oleh pisau *slotting* yang bekerja mengangkat dan melepaskan terak pada meja *CNC laser cutting*. Gerakan pisau dihasilkan melalui batang aktuator yang digerakkan oleh sistem pneumatik. Selain itu, gagang alat disediakan untuk memudahkan penanganan saat pemasangan dan perawatan. Pengendalian aliran udara tekan dilakukan oleh katup kontrol arah 5/2, yang mengatur arah gerak aktuator agar proses pembersihan dapat berjalan secara berulang dan terkendali. Informasi ukuran dan tata letak komponen digunakan sebagai acuan dalam pembuatan rangka, pemasangan aktuator, dan penyesuaian alat terhadap meja *CNC laser cutting*. Dengan adanya gambar kerja ini, proses perakitan diharapkan dapat dilakukan secara lebih sistematis dan sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan. Daftar komponen alat pembersih meja *computer numerical control (CNC) laser cutting* dapat dilihat pada tabel 1.



**Gambar 2:** (a) Tampilan rancangan alat yang menunjukkan susunan dan penomoran komponen utama, (b) Tampilan proyeksi ortogonal yang meliputi tampak atas, tampak samping, dan tampak depan beserta dimensi utama alat.

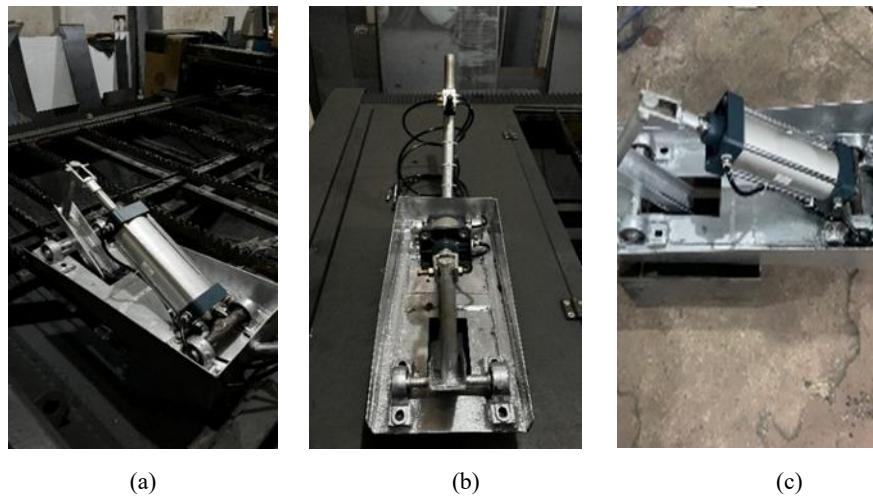
**Tabel 1:** Daftar komponen alat pembersih meja *computer numerical control (CNC) laser cutting*

NO	KETERANGAN
1	Badan alat
2	Lengan pisau <i>slotting</i>
3	<i>Pillow block bearing</i>
4	<i>Nipple gemuk/grease nipple</i>
5	Tutup belakang aktuator
6	Batang as
7	Pisau <i>slotting</i>
8	Batang aktuator
9	Gagang/ <i>handle</i> alat
10	Katup kontrol arah 5/2

### 3.2 Gambar Hasil Rangkaian

Perakitan alat pembersih meja *CNC laser cutting* menunjukkan penerapan sistem pembersihan semi-otomatis yang dipasang langsung pada meja mesin. Alat ini dirancang untuk mengurangi akumulasi terak dan partikel sisa pemotongan yang berpotensi menurunkan kestabilan benda kerja. Secara umum, sistem pembersih tersusun atas rangka dudukan, mekanisme pengarah, dan aktuator pneumatik yang membentuk satu kesatuan fungsional. Beberapa sudut pandang perakitan memperlihatkan penggunaan aktuator pneumatik sebagai penggerak utama yang menghasilkan gerakan linier selama proses pembersihan. Mekanisme ini memungkinkan jangkauan pembersihan yang lebih merata pada area meja pemotongan tanpa mengganggu struktur utama mesin *CNC laser cutting*. Susunan komponen yang kompak serta pemasangan langsung pada meja mesin menunjukkan bahwa alat dirancang dengan mempertimbangkan kemudahan instalasi, pengoperasian, dan perawatan.

Selain aspek konstruksi, hasil perakitan juga menunjukkan bahwa integrasi sistem pembersih dengan meja *CNC laser cutting* dilakukan tanpa memerlukan modifikasi besar pada struktur mesin. Hal ini mengindikasikan bahwa rancangan alat bersifat adaptif dan kompatibel terhadap konfigurasi meja pemotongan yang ada. Penggunaan aktuator pneumatik sebagai sumber penggerak memberikan keuntungan berupa respon gerak yang cepat, kestabilan operasional, serta kemudahan pengendalian dalam sistem semi-otomatis. Dari sisi fungsional, mekanisme pembersihan mampu bekerja secara berulang dengan pola gerak yang konsisten, sehingga potensi penumpukan terak dapat diminimalkan secara lebih efektif dibandingkan metode pembersihan manual. Dengan demikian, hasil perakitan alat ini tidak hanya menegaskan keberhasilan implementasi desain, tetapi juga menunjukkan potensi peningkatan efisiensi perawatan dan keberlanjutan kinerja mesin *CNC laser cutting* dalam jangka panjang. Gambar hasil rangkaian ditunjukkan pada Gambar 3.



**Gambar 3:** (a) Tampilan alat pembersih saat terpasang pada meja CNC *laser cutting* , (b) Tampak atas mekanisme utama alat pembersih meja, (c) Detail aktuator pneumatik sebagai penggerak alat pembersih.

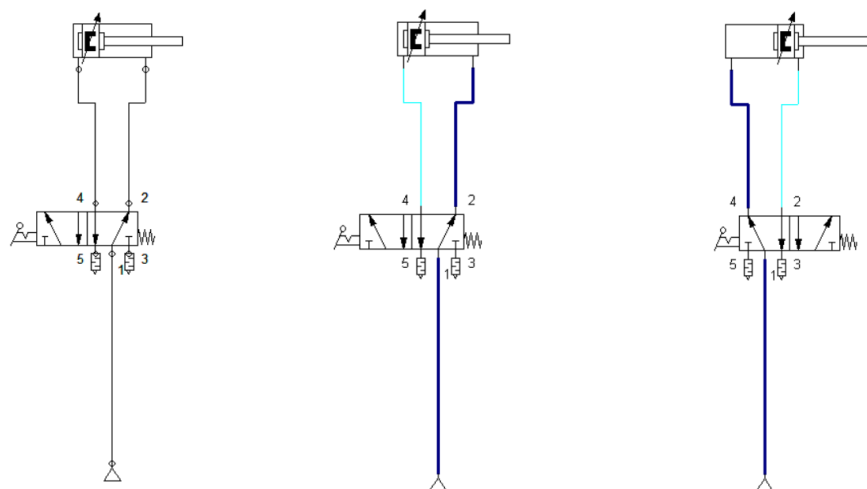
**3.3. Prinsip Kerja Alat Pembersih Meja Mesin CNC Laser cutting**

Alat pembersih terak meja mesin CNC *Fiber Laser cutting* ini bekerja dengan memanfaatkan udara bertekanan yang dihasilkan oleh kompresor sebagai sumber energi utama. Udara bertekanan tersebut dialirkan melalui selang pneumatik menuju katup kontrol arah tipe 5/2 yang berfungsi mengatur jalur aliran udara. Katup ini berperan penting dalam mengendalikan pergerakan aktuator, baik pada saat bergerak maju maupun kembali ke posisi awal, sehingga siklus kerja alat dapat berlangsung secara teratur.

Udara yang telah diatur oleh katup kontrol selanjutnya dialirkan ke dalam silinder pneumatik sebagai aktuator linear. Tekanan udara yang masuk ke ruang silinder mendorong piston sehingga batang aktuator bergerak secara linier. Gerakan ini menghasilkan gaya dorong yang digunakan sebagai penggerak utama mekanisme pembersihan pada meja mesin. Gaya yang dihasilkan oleh batang aktuator kemudian diteruskan ke mata pisau *slotting* melalui mekanisme lengan penghubung. Komponen ini berfungsi sebagai perantara yang menyalurkan gaya sekaligus menjaga kestabilan dan ketepatan gerakan pisau. Dengan adanya lengan penghubung, gerakan linear dari aktuator dapat dimanfaatkan secara optimal untuk menghasilkan aksi mekanis yang efektif. Pergerakan pisau *slotting* tersebut digunakan untuk menyisir dan mengangkat terak sisa proses pemotongan yang menumpuk pada permukaan slat meja mesin CNC *fiber laser cutting*. Kinerja mekanisme ini didukung oleh penggunaan *pillow block bearing* yang dilengkapi *grease nipple*, sehingga pergerakan komponen tetap halus, gesekan dapat diminimalkan, dan keandalan sistem terjaga selama proses operasi. Setelah proses pembersihan selesai, katup kontrol secara otomatis kembali ke posisi awal melalui mekanisme pegas pengembali. Kondisi ini menyebabkan aliran udara di dalam silinder berubah arah, sehingga piston dan batang aktuator bergerak kembali ke posisi semula. Dengan demikian, alat siap untuk melanjutkan proses pembersihan pada bagian slat meja berikutnya secara berulang dan konsisten. Gambar 4 dan 5 secara berurutan menampilkan *Flow chart* prinsip kerja alat pembersih meja mesin dan *Sirkuit rangkaian* alat pembersih meja mesin *computer numerical control (CNC) laser cutting*.



**Gambar 4:** *Flow chart* prinsip kerja alat pembersih meja mesin computer numerical control (CNC) *laser cutting*



**Gambar 5:** *Sirkuit rangkaian* alat pembersih meja mesin *computer numerical control (CNC) laser cutting*

### 3.4. Pengujian dan Analisis

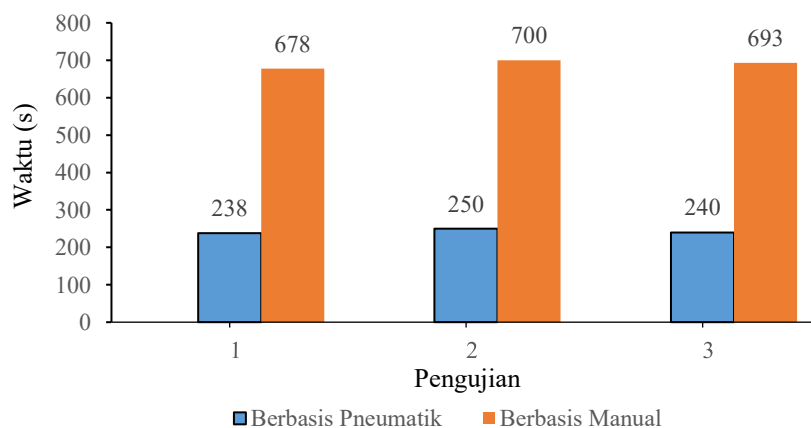
Pengujian merupakan proses yang dirancang secara sistematis untuk mengevaluasi apakah sistem atau komponen mampu memenuhi hasil yang diharapkan. Untuk mengetahui apakah sistem ini berfungsi dan sesuai perencanaan maka perlu dilakukan analisa pengujian. Data hasil pengujian akan dijadikan awal dalam mengambil kesimpulan. Pada tabel 2 ialah data waktu pembersihan meja CNC *laser cutting* tipe *fiber* antara berbasis pneumatik dan manual dengan masing-masing 1 batang slat. Berbasis pneumatik yang dimaksud pada tabel ialah alat yang sedang dirancang bangun, sedangkan berbasis manual yang dimaksud ialah menggunakan palu terak yang diketuk dan dilalukan secara berulang. Berdasarkan tiga kali percobaan, alat pneumatik secara konsisten mengungguli metode manual di setiap tahap pengujian. Pengujian dilaksanakan dengan membandingkan secara langsung metode pembersihan manual dan penggunaan alat pneumatik, yang masing-masing diulang sebanyak tiga kali. Jumlah pengulangan ini ditentukan untuk menjamin reliabilitas hasil serta mengurangi potensi kesalahan manusia, sehingga nilai rata-rata waktu yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar perhitungan efisiensi. Hal ini membuktikan bahwa mekanisme penggerak udara memberikan kestabilan tenaga yang tidak dimiliki oleh tenaga manusia yang cenderung mengalami penurunan kecepatan akibat kelelahan.

Berdasarkan hasil pengujian yang tersaji pada Tabel 2, aplikasi sistem pembersih terak berbasis pneumatik menunjukkan peningkatan efisiensi waktu yang signifikan dibandingkan metode manual. Hal ini dibuktikan dengan rata-rata waktu operasional sebesar 242 detik, yang secara drastis lebih singkat dibandingkan metode manual dengan rata-rata pencapaian 693,33 detik. Dapat dilihat juga uji percobaan pada gambar 6 yang dilakukan mulai percobaan pertama hingga ketiga yang dapat disimpulkan, bahwa setiap percobaan alat berbasis pneumatik atau alat yang sedang dirancang bangun ini selalu mengungguli dibandingkan dengan berbasis manual yaitu menggunakan palu terak. Berdasarkan hasil pengujian waktu alat antara berbasis pneumatik dan manual yang tertera pada tabel 2, terdapat selisih waktu rata-rata sebesar 451,33 detik antara metode manual dengan pneumatik. Hal ini dapat terjadi karena metode pneumatik memberikan gaya dorong yang konstan dan kontinu, sedangkan metode manual sangat bergantung pada kekuatan fisik operator yang cenderung menurun seiring waktu akibat faktor kelelahan. Peningkatan keselamatan kerja secara signifikan dapat dicapai melalui pengurangan kontak langsung tangan operator dengan bagian tajam pada palu terak. Dengan adanya gagang (*handle*) dan katup kontrol pada perangkat pembersih terak meja *laser cutting* memungkinkan operator mempertahankan jarak aman dari akumulasi serpihan terak yang telah terbentuk pada slat meja selama proses pemotongan berlangsung.

Penerapan sistem pembersih terak berbasis pneumatik memberikan dampak positif terhadap kesinambungan proses pembersihan dan kestabilan kinerja mesin. Mekanisme kerja yang terkontrol memungkinkan proses pembersihan dilakukan secara berulang dengan tingkat hasil yang konsisten, sehingga kondisi meja mesin tetap terjaga untuk mendukung proses pemotongan berikutnya. Kondisi ini berkontribusi terhadap terjaganya kestabilan benda kerja, mutu hasil potong, serta penurunan kebutuhan pembersihan manual. Dengan demikian, penggunaan alat pembersih berbasis pneumatik berperan dalam meningkatkan efisiensi operasional dan memperpanjang umur pakai meja mesin CNC *laser cutting*.

**Tabel 2:** Hasil pengujian waktu alat antara berbasis pneumatik dan manual

Pengujian	Waktu Berbasis Pneumatik (s)	Waktu Berbasis Manual (s)
1.	238	687
2.	250	700
3.	240	693
Rata-Rata	242	693,33



**Gambar 6:** Grafik pengujian dan perbandingan dalam pengujian alat

### 3.5. Waktu Efisiensi

Efisiensi adalah kecakapan dalam menuntaskan sebuah tugas secara optimal melalui dengan pemanfaatan sumber daya yang seminimal mungkin, baik itu dari segi aspek durasi, anggaran, maupun tenaga. Perkembangan industri manufaktur saat ini semakin meningkat dengan pesat, semakin berkembangnya industri maka perusahaan dituntut agar mampu untuk bertahan dan dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi dalam menjalankan proses produksi (Indrawan dkk., 2023). Penghematan waktu kerja merupakan sebuah prioritas

dalam melakukan suatu pekerjaan yang didasarkan pada kebutuhan untuk mendapatkan proses penyelesaian sebuah pekerjaan agar mendapatkan waktu yang efisien (Kurniawan dkk., 2025).

Hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan efisiensi waktu sebesar 66,66% membuktikan efektivitas desain alat dalam mengatasi kendala *downtime* mesin yang disebabkan oleh pembersihan manual di *workshop* Teknik Mesin Universitas Negeri Medan (UNIMED). Dengan demikian, percepatan proses pembersihan memungkinkan perpanjangan siklus operasi mesin, yang pada akhirnya secara signifikan menunjang produktivitas dan meningkatkan efisiensi alokasi waktu.

#### 4. KESIMPULAN

Pengembangan alat pembersih terak (*dross*) berbasis sistem pneumatik pada meja mesin CNC *laser cutting* berhasil direalisasikan dan menunjukkan kinerja yang efektif dalam mengurangi penumpukan residu hasil pemotongan. Penerapan mekanisme pneumatik memungkinkan proses pembersihan dilakukan secara lebih cepat, konsisten, dan terkontrol dibandingkan metode manual, sehingga berkontribusi terhadap penurunan waktu henti (*downtime*) mesin dan peningkatan efisiensi operasional. Dari aspek keselamatan dan ergonomi, penggunaan sistem pneumatik mampu meminimalkan kontak langsung operator dengan serpihan logam tajam serta mengurangi beban kerja fisik yang berlebihan. Hal ini memberikan nilai tambah dalam mendukung lingkungan kerja yang lebih aman dan produktif. Integrasi alat dengan meja mesin juga menunjukkan kompatibilitas yang baik tanpa memerlukan modifikasi struktural yang signifikan. Meskipun demikian, sistem yang dikembangkan masih bersifat semi-otomatis dan memerlukan kendali manual pada jarak dekat. Pengembangan lebih lanjut dapat diarahkan pada penerapan sistem kontrol jarak jauh atau otomatisasi penuh, serta optimasi desain rangka untuk mengurangi bobot alat tanpa mengurangi kekuatan mekanisnya. Dengan penyempurnaan tersebut, alat ini berpotensi menjadi solusi perawatan meja CNC *laser cutting* yang lebih adaptif, efisien, dan berkelanjutan dalam aplikasi industri.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arohman, A. W., Purwojatmiko, B. H., & Agustin, D. (2025). Desain Sistem Pneumatik untuk Otomatisasi Pemilahan Barang di Industri Otomotif. *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah Dan Teknologi Teknik Mesin*, 9(2).
- Bach, J., Zeuner, A. T., Wanski, T., Fischer, S. C. L., Herwig, P., & Zimmermann, M. (2023). Influence of the Dross Formation of the Laser-Cut Edge on the Fatigue Strength of AISI 304. *Metals*, 13(3).
- Bora, A., Rajput, K. S., Vikhe, S. J., & Shaikh, I. M. (2019). A Review on Pneumatic Operated Train Door System. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 472. www.irjet.net
- Hadimi. (2024). *Sistem kontrol pneumatik*. PT MAFY Media Literasi Indonesia.
- Hasan, I., & Hakim, L. (2023). Rancang Bangun Alat Pres Ban Sistem Pneumatik untuk Sepeda Motor. *Juni*, 10(1), 749–754
- Indrawan, R., Karuniawan, B. W., Bisono, F., Purnomo, D. A., Hamzah, F., & Jati Pratama, R. W. (2023). Rancang Bangun Support and Roll Feeder Steel Plate pada Mesin Laser Cutting. *Jurnal Teknik Mesin Sinergi*, 21(2), 274–285.
- Ismoyo, B., Ridwan, M., & Cahyono, A. (2021). Modifikasi Sistem Kendali Pneumatik Alat Press Tread Pada Building Section Mesin 02.03 Tire Motorcycle. In *Indonesian Journal of Engineering and Technology (INAJET)* (Vol. 4, Number 1).
- Istiqlalayah, H. (2021). Perancangan Rangka Mesin Pembuat Keripik Umbi Dengan Aplikasi Sistem Pneumatik. *Jurnal Mesin Nusantara*, 3(2), 112–121.
- Junita, B., Intang, A., & Ependi, S., Rusnadi. (2024). Pengaruh Kecepatan Aliran Udara Terhadap Penurunan Tekanan Pada Saluran Pipa 3 Inchi. *SINERGI Polmed : JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN*.
- Nugraha, A., Pradana, I. W., Nugroho, Y., & Nugroho, A. (2023). Analisis Proses Laser Cutting dengan Variasi Cutting Speed, Jarak Focusline, dan Gas Pressure Terhadap Kekerasan dan Kekasaran Material MS SPHC. *JMPM (Jurnal Material Dan Proses Manufaktur)*, 7(2), 160–169.
- Kurniawan, R., Yusnawati, Nurmawati, Dewiyana, Andriani, M. (2025). Optimalisasi Waktu Kerja Operator Dengan Menggunakan Metode Hungarian. *Jurnal Optimasi Teknik Industri*. 7(1), 17–24.
- Tauvana, A. I., Nulhakim, L., Widodo, & Saepurohman, F. (2023). Pengaruh Kecepatan dan Daya Pemotongan Mesin Cutting Laser Terhadap Material Thermoplastic Poly-Urethane. *Ramatekno*, 3(2).
- Tuapetel, J. V., & Narwalutama, R. (2022). Perencanaan Sistem Pneumatik Sebagai Penggerak Pada Pintu Gerbong Kereta. *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*.