

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Dalam penyusunan tugas akhir ini, sejumlah penelitian terdahulu digunakan sebagai referensi untuk mengidentifikasi permasalahan yang berkaitan erat dengan topik penelitian. Tinjauan pustaka tersebut digunakan sebagai pedoman dalam merancang alat pada tugas akhir ini.

Terdapat beberapa penelitian yang memiliki keterkaitan dengan perancangan yang akan dilakukan. Salah satunya adalah penelitian berjudul “Rancang Bangun Sistem Pengepresan Kaleng Minuman Otomatis Menggunakan Aktuator Pneumatik Berbasis Arduino Uno”, yang membahas penerapan aktuator pneumatik pada sistem pengepresan kaleng minuman secara otomatis. Pada penelitian tersebut, sistem menggunakan Arduino Uno sebagai pengendali, sensor proksimitas sebagai pendeteksi benda kerja, dan silinder pneumatik sebagai aktuator pengepres. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tekanan udara sebesar 10 bar diperlukan untuk menghasilkan pengepresan kaleng secara maksimal [1]. Penelitian tersebut relevan dengan tugas akhir ini karena sama-sama menggunakan sistem pneumatik dan mikrokontroler dalam proses pengepresan. Namun, penelitian tersebut masih berfokus pada pengepresan kaleng minuman dan belum menggunakan sensor *load cell* sebagai pemberi umpan balik gaya tekan.

Analisis mengenai pengendalian tekanan pneumatik juga dibahas dalam penelitian “*Pneumatic Pressure Control System with Microcontroller on Bullet Launcher*”. Penelitian tersebut menjelaskan penggunaan mikrokontroler untuk mengendalikan sistem tekanan pneumatik berdasarkan nilai yang diperoleh dari sensor. Sistem yang dikembangkan memanfaatkan sensor tekanan, *relay*, dan katup solenoid untuk mengatur kerja sistem pneumatik sesuai dengan nilai tekanan tertentu. Mikrokontroler berperan sebagai pusat pengolahan data sensor sekaligus pengendali aktuator pada sistem pneumatik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki nilai akurasi rata-rata sebesar 98,56% dan presisi sebesar 69,83% [2]. Referensi ini menunjukkan bahwa sistem pneumatik dapat dikendalikan secara

otomatis berdasarkan data sensor. Akan tetapi, sensor yang digunakan masih berupa sensor tekanan udara, sedangkan tugas akhir ini menggunakan sensor *load cell* untuk membaca gaya tekan aktual selama proses pengepresan.

Penelitian “Perancangan Sistem Kontrol dan Validasi Sensor *Load Cell* pada Mesin *Press* Kompaksi Berbasis Mikrokontroler Arduino” menjadi salah satu referensi yang paling relevan dalam hal pembacaan gaya tekan. Penelitian tersebut membahas penggunaan Arduino Nano dan sensor *load cell* pada sistem kendali mesin pres kompaksi. Sensor *load cell* digunakan untuk membaca gaya tekan dan memberikan umpan balik kepada sistem kendali mesin pres. Hasil pengujian kalibrasi *load cell* menunjukkan rata-rata galat sebesar 0,11%, sedangkan pengujian sistem kendali dalam menghasilkan gaya pengepresan menunjukkan galat sebesar 0,15% dengan akurasi sebesar 99,85% [3]. Keterkaitan penelitian tersebut dengan tugas akhir ini terletak pada penggunaan Arduino Nano dan sensor *load cell* sebagai pemberi umpan balik gaya tekan.

Untuk kalibrasi alat ukur berbasis *load cell*, penelitian “*Calibration of 40 Kg Capacity Digital Scale on Automatic Machine Measurement Mass and Dimension Based on Arduino Uno Using CSIRO-NML: 1995 Method*” memberikan dasar yang sesuai. Penelitian tersebut membahas proses kalibrasi timbangan digital berkapasitas 40 kg berbasis Arduino Uno pada mesin pengukuran massa dan dimensi otomatis. Pada sistem tersebut, *load cell* dikombinasikan dengan Arduino Uno untuk membentuk sistem pengukuran massa digital. Proses kalibrasi dilakukan menggunakan metode CSIRO-NML: 1995 untuk menjaga akurasi alat ukur karena hasil pembacaan sensor perlu dibandingkan dengan standar pengukuran yang telah diketahui. Hasil pembacaan massa dari *load cell* kemudian dianalisis melalui proses kalibrasi sehingga sistem pengukuran dapat memberikan nilai yang lebih akurat [4]. Penelitian ini relevan sebagai dasar metode kalibrasi sensor *load cell* pada tugas akhir ini, terutama untuk memastikan bahwa nilai gaya tekan yang diperoleh dari pembacaan sensor dapat diandalkan sebelum digunakan sebagai dasar bagi sistem untuk menghentikan proses penekanan dan memerintahkan silinder pneumatik kembali ke posisi awal.

Berdasarkan tinjauan terhadap beberapa penelitian di atas, penulis menyusun tugas akhir dengan judul “**IMPLEMENTASI *LOAD CELL* SEBAGAI UMPAN BALIK SISTEM KENDALI GAYA TEKAN PADA RANCANG BANGUN ALAT PRES MODUL LED AC DI VOCALITE**”. Adapun perbedaan antara penelitian terdahulu dan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian terdahulu lebih banyak diterapkan pada pengepresan kaleng, mesin pres kompaksi, pendeteksian beban, dan timbangan digital, sedangkan tugas akhir ini diterapkan pada proses pemasangan modul LED AC ke dalam *housing* plastik.
2. Sensor *load cell* umumnya digunakan untuk mengukur beban, sedangkan pada tugas akhir ini sensor tersebut digunakan sebagai pemberi umpan balik gaya tekan untuk mengendalikan kerja alat pres pneumatik.
3. Penelitian terdahulu umumnya berfokus pada pengepresan otomatis, pengukuran beban, atau kalibrasi sensor, sedangkan tugas akhir ini berfokus pada umpan balik gaya tekan secara *real-time* untuk menjaga konsistensi gaya tekan dan kedalaman pemasangan modul LED AC ke dalam *housing* plastik. Ketika gaya tekan mencapai nilai yang telah ditetapkan, sistem menghentikan proses penekanan dan memerintahkan silinder pneumatik kembali ke posisi awal.

2.2 Mesin Pres Pneumatik

Mesin pres merupakan mesin yang digunakan untuk memberikan gaya tekan pada benda kerja. Gaya tersebut dapat digunakan untuk membentuk, memadatkan, menyatukan, atau memasang suatu komponen. Berdasarkan sumber tenaganya, mesin pres dapat digerakkan dengan sistem mekanis, hidrolik, atau pneumatik. Pemilihan jenis penggerak disesuaikan dengan kebutuhan gaya, kecepatan proses, jenis benda kerja, dan tingkat ketelitian yang diperlukan.

Mesin pres pneumatik ini memanfaatkan udara bertekanan sebagai sumber tenaga. Udara dari kompresor dialirkan menuju silinder pneumatik melalui katup pengarah. Tekanan udara yang masuk ke dalam silinder akan mendorong torak sehingga batang silinder bergerak secara linear. Gerakan batang silinder tersebut

kemudian digunakan untuk memberikan gaya tekan pada benda kerja. Besarnya gaya tekan secara teoretis dipengaruhi oleh tekanan udara dan luas penampang torak. Hubungan antara gaya, tekanan, dan luas penampang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$F = P \times A$$

Keterangan:

- F = gaya tekan teoretis (N)
- P = tekanan udara (Pa)
- A = luas penampang torak (m²)

Mesin pres ini dapat digunakan untuk memasang komponen, menyatukan beberapa bagian produk, membentuk benda kerja, memberi tanda, dan melakukan pelubangan. Pada proses perakitan, penggunaan mesin pres pneumatik dapat mengurangi ketergantungan terhadap tenaga operator sehingga proses pengepresan dapat dilakukan secara berulang dengan hasil yang lebih konsisten.

Mesin pres pneumatik memiliki beberapa keunggulan, yaitu konstruksinya relatif sederhana, gerakannya cepat, perawatannya mudah, serta udara sebagai media kerja mudah diperoleh. Sistem pneumatik juga relatif bersih karena tidak menggunakan oli sebagai media utama penggerak. Selain itu, tekanan udara dan kecepatan gerak silinder dapat diatur sesuai dengan kebutuhan proses. Oleh karena itu, mesin pres pneumatik sesuai digunakan pada proses produksi yang membutuhkan gerakan berulang dengan gaya tekan ringan sampai menengah.

Meskipun demikian, mesin pres pneumatik juga memiliki beberapa keterbatasan. Udara memiliki sifat dapat dimampatkan sehingga gaya dan gerakan silinder dapat berubah apabila tekanan udara tidak stabil. Gaya yang dihasilkan juga umumnya lebih kecil dibandingkan dengan mesin pres hidrolik pada ukuran silinder yang sama. Selain itu, sistem pneumatik membutuhkan kompresor, sambungan *port* udara yang rapat, dan pengaturan tekanan yang tepat. Kebocoran pada sambungan atau perubahan tekanan udara dapat memengaruhi konsistensi hasil pengepresan.

Pada tugas akhir ini, mesin pres pneumatik digunakan untuk memasukkan modul PCB lampu LED arus bolak-balik ke dalam *housing* lampu. Proses pengepresan dimulai dengan menempatkan *housing* dan modul PCB padaudukan yang telah disesuaikan. Setelah tombol *start* ditekan, katup solenoid mengatur aliran udara menuju silinder pneumatik sehingga batang silinder bergerak turun dan menekan modul PCB.

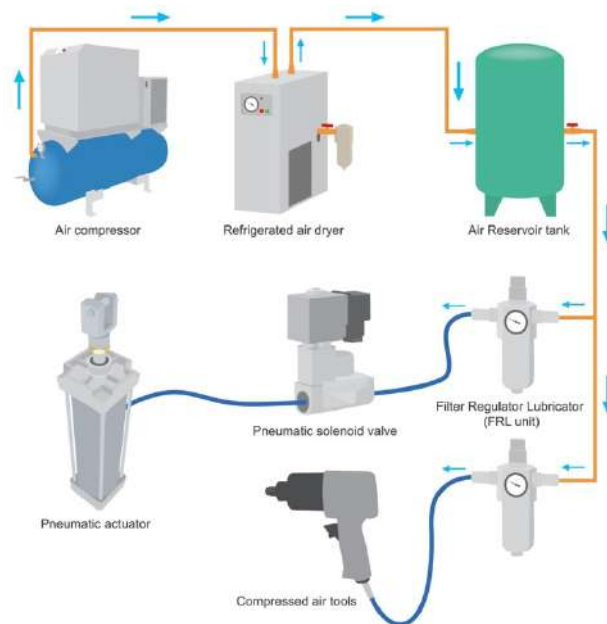
Selama proses pengepresan, gaya tekan dibaca menggunakan sensor *load cell*. Ketika gaya tekan telah mencapai nilai yang ditetapkan, sistem kendali akan mematikan katup solenoid sehingga batang silinder kembali ke posisi awal. Penggunaan sensor ini bertujuan untuk mencegah gaya tekan yang terlalu kecil maupun terlalu besar. Gaya yang terlalu kecil dapat menyebabkan modul PCB tidak terpasang hingga kedalaman yang ditentukan, sedangkan gaya yang terlalu besar dapat merusak modul PCB atau *housing* lampu.

Dengan adanya pengaturan tekanan udara dan pengukuran gaya tekan, mesin pres pneumatik yang dirancang diharapkan mampu menghasilkan gaya tekan yang konsisten. Konsistensi gaya tersebut diperlukan agar kedalaman pemasangan modul PCB ke dalam *housing* lampu selalu konsisten pada setiap siklus pengepresan.

2.3 Prinsip Kerja Sistem Pneumatik

Sistem pneumatik memanfaatkan udara bertekanan sebagai media untuk menghasilkan gerakan dan gaya mekanis. Udara bertekanan dihasilkan oleh kompresor, kemudian disaring dan diatur tekanannya sebelum dialirkan menuju katup pengarah. Katup tersebut mengatur arah aliran udara menuju silinder pneumatik sehingga batang silinder dapat bergerak maju atau mundur.

Pada alat yang dirancang, sistem pneumatik terdiri atas kompresor, *filter regulator*, katup solenoid 5/2, *speed controller*, silinder pneumatik *double-acting*, dan *silencer*. Setiap komponen memiliki fungsi yang saling berkaitan dalam mengatur tekanan, arah aliran, kecepatan gerakan, dan pembuangan udara.



Gambar 2-1 Alur Prinsip Kerja Sistem Pneumatik

2.3.1 Udara Bertekanan

Udara bertekanan merupakan udara yang dimampatkan sehingga memiliki tekanan lebih tinggi daripada tekanan udara di sekitarnya. Perbedaan tekanan tersebut dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan gaya dan gerakan pada aktuator pneumatik. Ketika udara bertekanan dialirkan ke dalam ruang silinder, udara akan mendorong permukaan torak sehingga torak dan batang silinder bergerak.

Satuan tekanan dalam Sistem Internasional (SI) adalah pascal (Pa). Namun, dalam sistem pneumatik, satuan yang sering digunakan adalah kilopascal (kPa), megapascal (MPa), dan bar. Hubungan antara beberapa satuan tekanan tersebut adalah sebagai berikut:

$$1 \text{ bar} = 100 \text{ kPa} = 0,1 \text{ MPa}$$

Kompresor berfungsi sebagai sumber udara bertekanan dalam sistem pneumatik. Kompresor bekerja dengan mengisap udara dari lingkungan, kemudian memperkecil volumenya sehingga tekanan udara meningkat. Udara bertekanan yang dihasilkan selanjutnya disalurkan menuju sistem pneumatik melalui selang atau pipa udara.

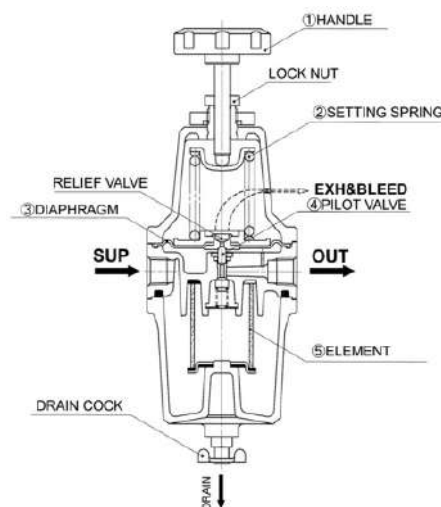
Tekanan udara yang dihasilkan kompresor harus disesuaikan dengan kemampuan dan kebutuhan setiap komponen pneumatik. Tekanan yang terlalu rendah dapat menyebabkan gaya silinder tidak mencukupi untuk melakukan proses pengepresan. Sebaliknya, tekanan yang terlalu tinggi dapat menghasilkan gaya berlebihan dan meningkatkan risiko kerusakan pada benda kerja maupun komponen pneumatik.

2.3.2 Tekanan Udara

Udara yang berasal dari kompresor tidak langsung dialirkan menuju katup solenoid. Udara tersebut terlebih dahulu melewati penyaring dan pengatur tekanan atau *filter regulator*. Komponen ini terdiri atas bagian penyaring dan pengatur.

Bagian penyaring berfungsi memisahkan debu, kotoran, dan uap air yang terbawa dalam udara bertekanan. Kotoran dan air perlu disaring karena dapat mengganggu pergerakan bagian dalam katup, mempercepat kerusakan komponen, dan menyebabkan sistem pneumatik tidak bekerja secara optimal. Bagian pengatur tekanan berfungsi menurunkan dan mempertahankan tekanan udara sesuai dengan kebutuhan sistem. Besarnya tekanan keluaran dapat diatur dengan memutar knop pengatur, kemudian nilainya dapat dilihat melalui manometer.

Pada alat yang dirancang, *filter regulator* ditempatkan setelah kompresor dan sebelum *port P* pada katup solenoid 5/2.



Gambar 2-2 Bagian Regulator Filter

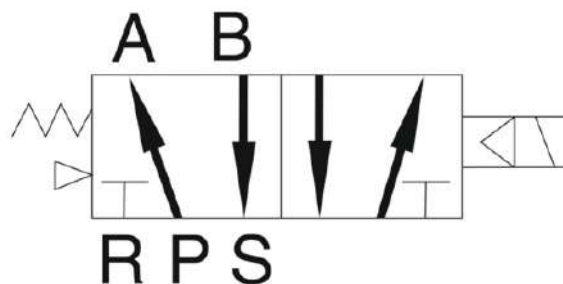
2.3.3 Aliran Udara

Arah aliran udara dalam sistem diatur menggunakan katup solenoid 5/2. Angka 5 menunjukkan bahwa katup memiliki lima *port*, sedangkan angka 2 menunjukkan bahwa katup memiliki dua posisi kerja. Kelima *port* tersebut terdiri atas *port* P, A, B, R, dan S.

Port P berfungsi sebagai masukan udara bertekanan dari *filter regulator*. *Port* A dan B berfungsi mengalirkan udara menuju kedua sisi silinder pneumatik. Sementara itu, *port* R dan S berfungsi membuang udara dari silinder ke lingkungan.

Katup solenoid 5/2 memiliki satu kumparan solenoid dan satu pegas pengembali. Ketika kumparan solenoid diberi tegangan, medan magnet yang dihasilkan akan menggeser bagian pengarah di dalam katup. Pergeseran tersebut mengubah arah aliran udara menuju silinder berbalik. Udara bertekanan kemudian masuk ke ruang tanpa batang, sedangkan udara dari ruang sisi batang dikeluarkan melalui *port* pembuangan. Kondisi tersebut menyebabkan batang silinder bergerak turun untuk melakukan proses pengepresan.

Setelah tegangan pada kumparan solenoid diputus, medan magnet menghilang dan pegas mengembalikan bagian pengarah ke posisi normal. Udara bertekanan kemudian dialirkan menuju ruang sisi batang silinder, sedangkan udara dari ruang tanpa batang silinder dibuang. Perubahan arah aliran tersebut menyebabkan batang silinder bergerak naik dan kembali ke posisi awal. Data tekanan udara digunakan sebagai informasi pendukung untuk memastikan pasokan udara tetap berada pada rentang kerja yang telah ditetapkan.



Gambar 2-3 Prinsip Kerja Katup Solenoid 5/2

2.3.4 Kecepatan Silinder

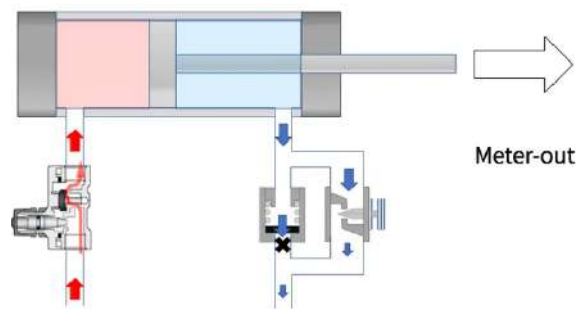
Kecepatan gerak batang silinder diatur menggunakan katup pengatur aliran atau *speed controller*. Komponen ini dipasang pada kedua *port* udara silinder pneumatik. Penggunaan dua *speed controller* memungkinkan kecepatan gerak turun dan naik batang silinder diatur secara terpisah.

Pengaturan kecepatan silinder pada alat ini menggunakan metode *meter-out*. Metode tersebut dilakukan dengan mengatur jumlah udara yang keluar dari silinder, sedangkan udara yang masuk dibiarkan mengalir dengan lebih bebas. Pembatasan udara keluar akan menghasilkan tekanan balik sehingga gerakan batang silinder menjadi lebih stabil.

Pada saat batang silinder bergerak turun, udara bertekanan masuk ke ruang tanpa batang. Udara dari ruang sisi batang kemudian keluar melalui *speed controller*. Besarnya bukaan *speed controller* pada sisi tersebut menentukan kecepatan gerak turun batang silinder.

Pada saat batang silinder bergerak naik, udara bertekanan masuk ke ruang sisi batang. Udara dari ruang tanpa batang kemudian keluar melalui *speed controller* yang dipasang pada sisi lainnya. Besarnya bukaan komponen tersebut menentukan kecepatan gerak naik batang silinder.

Apabila bukaan *speed controller* diperkecil, aliran udara keluar menjadi lebih sedikit sehingga gerakan batang silinder menjadi lebih lambat. Sebaliknya, apabila bukaannya diperbesar, udara dapat keluar lebih cepat sehingga gerakan batang silinder menjadi lebih cepat. Pengaturan kecepatan diperlukan agar bagian penekan tidak menghantam modul PCB dan *housing* lampu secara tiba-tiba.



Gambar 2-4 Pengaturan Kecepatan Silinder

2.3.5 Pembuangan Udara

Udara yang telah digunakan untuk menggerakkan silinder harus dikeluarkan dari sistem. Pada katup solenoid 5/2, pembuangan udara dilakukan melalui *port* R dan S. Ketika udara bertekanan masuk ke salah satu sisi silinder, udara dari sisi lainnya mengalir kembali menuju katup dan dikeluarkan melalui salah satu *port* pembuangan tersebut.

Udara yang keluar secara langsung dari *port* pembuangan dapat menghasilkan suara yang cukup keras. Oleh karena itu, peredam suara atau *silencer* dipasang pada *port* R dan S. Komponen ini bekerja dengan melewatkan udara buangan melalui bahan berpori sehingga kecepatan aliran dan suara udara yang keluar dapat dikurangi.

Selain mengurangi suara, *silencer* juga membantu mencegah debu atau kotoran dari lingkungan masuk ke dalam *port* pembuangan katup. Pada alat yang dirancang, digunakan dua *silencer* karena katup solenoid 5/2 memiliki dua *port* pembuangan, yaitu *port* R dan S.

Secara keseluruhan, aliran udara pada sistem dimulai dari kompresor menuju *filter regulator*, kemudian masuk ke *port* P pada katup solenoid 5/2. Katup mengarahkan udara melalui *port* A dan B menuju kedua sisi silinder pneumatik. Udara dari silinder selanjutnya dikeluarkan melalui *port* R dan S yang telah dilengkapi *silencer*. Sementara itu, kecepatan udara yang keluar dari kedua sisi silinder diatur menggunakan *speed controller* dengan metode *meter-out*.

2.4 Silinder Pneumatik *Double-Acting*

Silinder pneumatik *double-acting* merupakan aktuator pneumatik yang memanfaatkan udara bertekanan untuk menghasilkan gerakan linier dalam dua arah. Udara bertekanan dialirkan secara bergantian ke kedua sisi piston sehingga batang piston dapat bergerak maju dan mundur. Kedua gerakan tersebut sama-sama dihasilkan oleh tekanan udara, bukan menggunakan pegas pengembali.

Secara umum, silinder pneumatik *double-acting* terdiri atas tabung silinder, piston, batang piston, tutup depan, tutup belakang, *seal*, *cushion*, serta dua *port* udara. Tabung silinder menjadi tempat piston bergerak, sedangkan batang

piston berfungsi meneruskan gaya yang dihasilkan oleh piston menuju bagian penekan. *Seal* berfungsi mencegah kebocoran udara di antara piston, batang piston, dan tabung silinder. Sementara itu, kedua *port* udara digunakan sebagai jalur masuk dan keluar udara bertekanan.

Gaya maju terjadi ketika udara bertekanan dialirkan ke ruang silinder pada sisi belakang piston. Tekanan udara tersebut mendorong piston sehingga batang piston bergerak keluar dari tabung silinder. Pada waktu yang sama, udara pada ruang sisi batang piston dikeluarkan melalui *port* pembuangan katup solenoid. Pada alat pres pneumatik, langkah maju digunakan untuk menggerakkan bagian penekan menuju modul LED AC yang akan dipasang ke dalam *housing* lampu.

Gaya mundur terjadi ketika katup solenoid mengubah arah aliran udara. Udara bertekanan kemudian dialirkan ke ruang silinder pada sisi batang piston sehingga piston bergerak kembali ke arah belakang. Udara pada ruang sisi lainnya dikeluarkan melalui *port* pembuangan. Gaya mundur berfungsi untuk mengembalikan bagian penekan ke posisi awal setelah proses pengepresan selesai.

Gaya maju dan gaya mundur pada silinder pneumatik *double-acting* memiliki nilai yang berbeda karena luas penampang efektif pada kedua sisi piston tidak sama. Pada langkah maju, tekanan udara bekerja pada luas permukaan piston. Besarnya gaya maju secara teoretis dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$F_{\text{maju}} = P \times A_p$$

Luas penampang piston dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$A_p = \frac{\pi D^2}{4}$$

Dengan demikian, persamaan gaya maju dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F_{\text{maju}} = P \times \frac{\pi D^2}{4}$$

Pada saat mundur atau naik, keberadaan batang piston mengurangi luas permukaan piston yang menerima tekanan udara:

$$A_r = \frac{\pi D^2}{4}$$

Luas penampang efektif gerakan mundur dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$A_{\text{mundur}} = A_p - A_r$$

Oleh karena itu, gaya mundur dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$F_{\text{mundur}} = P \times (A_p - A_r)$$

Apabila luas piston dan luas batang piston dimasukkan ke dalam persamaan, gaya mundur dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F_{\text{mundur}} = P \times \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$$

Keterangan:

- F_{maju} = gaya maju silinder (N)
- F_{mundur} = gaya mundur silinder (N)
- A_p = luas penampang piston (m^2)
- A_r = luas penampang batang piston (m^2)
- A_{mundur} = luas penampang efektif pada langkah mundur (m^2)
- D = diameter piston (m)
- d = diameter batang piston (m)

Gaya maju memiliki nilai lebih besar daripada gaya mundur apabila menggunakan tekanan udara yang sama. Perbedaan tersebut terjadi karena luas penampang efektif pada langkah mundur telah dikurangi oleh luas penampang batang piston. Oleh karena itu, pada alat pres pneumatik, langkah maju digunakan sebagai gerakan pengepresan karena mampu menghasilkan gaya yang lebih besar. Sementara itu, langkah mundur digunakan untuk mengembalikan batang piston ke posisi awal.

Tekanan udara mempengaruhi besarnya gaya yang dihasilkan oleh silinder. Gaya silinder berbanding lurus dengan tekanan udara selama luas penampang piston tidak berubah.

Dalam perhitungan gaya silinder, tekanan dan luas penampang harus menggunakan satuan yang sesuai. Jika tekanan dinyatakan dalam pascal dan luas

penampang dinyatakan dalam meter persegi, hasil perhitungan gaya akan diperoleh dalam newton.

Gaya yang diperoleh dari persamaan tersebut merupakan teoretis. Gaya aktual yang dihasilkan silinder biasanya lebih kecil karena dipengaruhi oleh gesekan piston, kondisi *seal*, kebocoran udara, serta kerugian tekanan pada selang dan katup. Oleh karena itu, gaya pengepresan pada alat tetap diukur menggunakan sensor *load cell* agar gaya yang diterima modul LED AC dapat diketahui secara langsung dan dikendalikan sesuai dengan nilai yang telah ditentukan.

Pada alat ini digunakan silinder pneumatik *double-acting* tipe SC 50 × 150 merek AirTAC. Angka 50 menunjukkan diameter piston sebesar 50 mm, sedangkan angka 150 menunjukkan panjang langkah batang piston sebesar 150 mm. Silinder tersebut dipasang secara vertikal dengan arah batang piston ke bawah untuk melakukan proses pengepresan modul LED AC ke dalam *housing* lampu.

2.5 Prinsip Kerja Alat Pres Modul LED AC

Alat pres modul LED AC pada tugas akhir ini bekerja menggunakan sistem kendali berbasis Arduino Nano dengan sensor *load cell* sebagai umpan balik gaya tekan. Sistem tersebut mengendalikan silinder pneumatik *double-acting* melalui modul *relay* dan katup solenoid 5/2.

Proses pengepresan berlangsung secara otomatis sejak tombol *start* ditekan hingga batang silinder kembali ke posisi awal. Sistem diaktifkan menggunakan PSU Mean Well RD-35A yang menyediakan tegangan keluaran 5 V dan 12 V. Tegangan 5 V digunakan untuk menyuplai Arduino Nano, modul *relay*, HX711, sensor tekanan, dan LCD.

Sementara itu, tegangan 12 V digunakan untuk mengaktifkan koil katup solenoid. Selain sumber listrik, sistem pneumatik harus memperoleh suplai udara bertekanan dari kompresor yang telah diatur melalui *filter regulator*.

$$F_{\text{baca}} \geq F_{\text{set}}$$

Keterangan:

- F_{baca} = gaya yang terbaca oleh sensor load cell (N)
- F_{mundur} = nilai gaya tekan yang telah ditetapkan (N)

Ketika nilai gaya yang terbaca telah sama dengan atau lebih besar daripada nilai yang ditetapkan, Arduino Nano menonaktifkan modul *relay*. Kontak NO pada *relay* kembali terbuka sehingga aliran tegangan 12 V menuju koil katup solenoid terputus. Katup solenoid kemudian kembali ke posisi awal karena dorongan pegas yang terdapat pada katup.

Kembalinya katup solenoid ke posisi awal menyebabkan arah aliran udara berubah. Udara bertekanan dialirkan menuju sisi silinder yang digunakan untuk langkah mundur, sedangkan udara dari sisi lainnya dikeluarkan melalui saluran pembuangan. Perubahan arah aliran tersebut menyebabkan batang silinder bergerak naik dan kembali ke posisi awal. Kecepatan gerakan naik juga diatur menggunakan *speed controller* agar gerakannya tetap stabil.

Setelah batang silinder kembali ke posisi awal, operator mengambil hasil pengepresan dari dudukan. Hasil tersebut diperiksa berdasarkan posisi dan kedalaman masuknya modul PCB ke dalam *housing* lampu. Pemeriksaan juga dilakukan untuk memastikan bahwa modul PCB dan *housing* tidak mengalami kerusakan akibat gaya tekan yang diberikan.

Sensor tekanan pada alat digunakan untuk memantau tekanan udara yang masuk ke sistem pneumatik. Namun, yang mengatur untuk menghentikan langkah pengepresan dan mengembalikan silinder ke posisi awal tetap didasarkan pada gaya yang dibaca oleh sensor *load cell*. Dengan prinsip kerja tersebut, alat diharapkan dapat menghasilkan gaya tekan dan kedalaman pemasangan modul PCB yang konsisten pada setiap proses pengepresan. Data tekanan udara digunakan sebagai informasi pendukung untuk memastikan pasokan udara tetap berada pada rentang kerja yang telah ditetapkan. Apabila terjadi perubahan tekanan, kondisi tersebut dapat diketahui melalui hasil pembacaan sensor tanpa menjadikannya sebagai acuan utama penghentian proses.

2.6 Sistem Kendali Gaya Tekan

Pada alat ini, gaya tekan diukur secara langsung menggunakan sensor *load cell*. Hasil pengukuran tersebut menjadi dasar bagi Arduino Nano untuk menentukan kapan proses pengepresan harus dihentikan.

Sistem ini terdiri atas sensor *load cell*, modul HX711, Arduino Nano, modul *relay*, dan katup solenoid. Setiap komponen memiliki fungsi yang saling berkaitan, mulai dari mengukur gaya, mengolah sinyal, membandingkan hasil pembacaan, hingga mengendalikan gerakan silinder pneumatik.

Pengendalian berdasarkan gaya diperlukan karena tekanan udara yang sama belum tentu selalu menghasilkan gaya tekan yang sama. Gaya yang diterima benda kerja juga dapat dipengaruhi oleh gesekan silinder, posisi modul PCB, kondisi *housing*, dan perubahan tekanan udara. Oleh karena itu, pembacaan *load cell* digunakan agar gaya yang benar-benar diterima benda kerja dapat diketahui.

2.6.1 Sistem Kendali Umpan Balik

Pada alat tugas akhir ini, keluaran yang dibaca adalah gaya tekan yang diterima oleh modul PCB selama proses pengepresan. Ketika bagian penekan menyentuh modul PCB, gaya yang diberikan oleh silinder diterima oleh sensor *load cell*. Perubahan gaya tersebut menghasilkan sinyal listrik dengan nilai yang sangat kecil. Sinyal kemudian dikirimkan menuju modul HX711.

Modul HX711 berfungsi memperkuat sinyal dari *load cell* dan mengubahnya menjadi data digital. Data tersebut selanjutnya dikirimkan kepada Arduino Nano. Arduino Nano membaca nilai gaya secara terus-menerus dan membandingkannya dengan nilai gaya yang telah ditetapkan. Selama gaya masih berada di bawah nilai tersebut, proses pengepresan tetap berlangsung. Ketika gaya telah mencapai batas yang ditentukan, Arduino Nano menonaktifkan modul *relay* sehingga katup solenoid kembali ke posisi awal dan batang silinder bergerak naik.

Penggunaan sistem umpan balik membuat penghentian proses tidak hanya bergantung pada waktu gerakan atau tekanan udara. Proses pengepresan dihentikan berdasarkan gaya yang benar-benar diterima oleh modul PCB. Dengan demikian, risiko gaya tekan yang terlalu kecil atau terlalu besar dapat dikurangi.

2.6.2 *Setpoint* Gaya Tekan

Nilai gaya tekan yang ditetapkan atau *setpoint* merupakan nilai target yang harus dicapai selama proses pengepresan. Nilai tersebut digunakan sebagai batas bagi Arduino Nano untuk menentukan waktu penghentian gerakan turun silinder.

Penentuan *setpoint* harus disesuaikan dengan kebutuhan pemasangan modul PCB ke dalam *housing*. Nilai yang terlalu kecil dapat menyebabkan modul PCB tidak masuk hingga kedalaman yang diinginkan. Sebaliknya, nilai yang terlalu besar dapat menyebabkan kerusakan pada PCB, komponen elektronik, atau *housing* lampu.

Nilai *setpoint* yang digunakan perlu diperoleh melalui beberapa percobaan. Percobaan tersebut dilakukan untuk menentukan nilai gaya yang mampu memasukkan modul PCB dengan kedalaman yang sesuai tanpa menyebabkan kerusakan pada modul PCB maupun *housing*.

2.6.3 Konsistensi Gaya Tekan

Konsistensi gaya tekan menunjukkan kemampuan alat dalam menghasilkan gaya yang hampir sama pada setiap proses pengepresan. Pengujian dilakukan secara berulang dengan menggunakan nilai *setpoint*, tekanan udara, posisi benda kerja, dan jenis modul PCB yang sama.

Nilai gaya tertinggi pada setiap percobaan dicatat dan dibandingkan. Pencatatan nilai gaya tertinggi diperlukan karena gaya masih dapat bertambah sesaat setelah Arduino Nano menonaktifkan *relay*. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh waktu respons *relay*, katup solenoid, dan gerakan silinder.

Nilai rata-rata gaya dari beberapa percobaan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{F} = \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{n}$$

Keterangan:

- $\bar{F}$ = rata – rata gaya tekan (N)
- F_i = gaya tertinggi pada percobaan ke – i (N)
- n = jumlah percobaan

Selisih antara gaya tertinggi dan gaya terendah dapat dihitung dengan gaya tertinggi dari seluruh percobaan dikurang dengan gaya terendah dari seluruh percobaan. Semakin kecil rentang gaya yang diperoleh, semakin konsisten gaya tekan yang dihasilkan oleh alat. Sebaliknya, rentang yang besar menunjukkan adanya perbedaan gaya yang cukup besar antarpercobaan.

2.6.4 Konsistensi Kedalaman Pengepresan

Kinerja alat tidak hanya dinilai berdasarkan gaya tekan, tetapi juga berdasarkan kedalaman pemasangan modul PCB ke dalam *housing*. Kedalaman pengepresan menunjukkan posisi akhir modul PCB setelah menerima gaya tekan dari silinder pneumatik.

Pengujian dilakukan dengan mengukur kedalaman modul PCB pada setiap hasil pengepresan. Pengukuran harus dilakukan pada titik acuan dan menggunakan alat ukur yang sama agar hasil setiap percobaan dapat dibandingkan dengan tepat.

Nilai rata-rata kedalaman hasil pengepresan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\bar{h} = \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n}$$

Keterangan:

- $\bar{h}$ = rata – rata kedalaman pengepresan (mm)
- h_i = kedalaman pengepresan pada percobaan ke – i (mm)
- n = jumlah percobaan

2.6.5 Konsistensi Hasil Pengepresan

Konsistensi hasil pengepresan merupakan tingkat keseragaman hasil dari beberapa proses pengepresan yang dilakukan dengan kondisi yang sama. Pada alat *press* pneumatik modul LED AC, konsistensi hasil dinilai berdasarkan dua parameter, yaitu gaya tekan maksimum dan kedalaman pemasangan modul PCB ke dalam *housing*. Kedua parameter tersebut digunakan untuk mengetahui apakah alat mampu menghasilkan hasil pengepresan yang relatif sama pada setiap pengulangan.

Pengujian dilakukan dengan mengulang proses pengepresan menggunakan nilai *setpoint*, tekanan udara, posisi benda kerja, serta jenis modul PCB dan *housing* yang sama. Pada setiap percobaan dicatat nilai gaya maksimum yang terbaca oleh *load cell* dan kedalaman modul PCB setelah pengepresan selesai.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

Keterangan:

- $\bar{x}$ = nilai rata – rata
- x_i = hasil pengukuran
- n = jumlah percobaan

Untuk mengetahui perbedaan hasil pengepresan, dapat digunakan selisih nilai terbesar dan terkecil. Pada pengujian gaya tekan, nilai selisih menunjukkan perbedaan gaya maksimum dari setiap percobaan. Sedangkan pada pengujian kedalaman, selisih menunjukkan perbedaan kedalaman pemasangan modul PCB ke dalam *housing*. Semakin kecil nilai selisih, maka hasil pengepresan semakin konsisten.

Simpangan hasil pengukuran juga dapat digunakan untuk melihat penyebaran data terhadap nilai rata-rata. Semakin kecil penyimpangan yang diperoleh, semakin seragam hasil pengepresan. Dengan demikian, konsistensi alat dapat dinilai dari keseragaman gaya tekan maksimum dan kedalaman pemasangan modul PCB pada beberapa kali pengulangan.

2.7 Komponen Sistem Pneumatik

Sistem pneumatik pada alat *press* modul LED AC ini terdiri atas beberapa komponen yang saling terhubung untuk mengatur tekanan, arah aliran, dan kecepatan udara. Komponen utama yang digunakan meliputi silinder pneumatik, katup solenoid, *speed controller*, sensor tekanan, *filter regulator*, selang, dan sambungan pneumatik.

Setiap komponen dipilih sesuai kebutuhan alat, terutama berdasarkan ukuran sambungan, tekanan kerja, tegangan, dan fungsi dalam proses pengepresan.

2.7.1 Silinder Pneumatik SC 50 × 150



Gambar 2-5 Silinder Pneumatik SC 50 × 150

Silinder pneumatik merupakan aktuator yang mengubah energi udara bertekanan menjadi gerakan linier. Pada alat ini digunakan silinder pneumatik merek AirTAC tipe SC 50 × 150 *double-acting*. Silinder ini memiliki dua *port* udara sehingga gerakan maju dan mundurnya menggunakan udara bertekanan. Silinder ini terdiri atas tabung silinder, piston, batang piston, tutup depan, tutup belakang, *seal*, serta dua *port* udara.

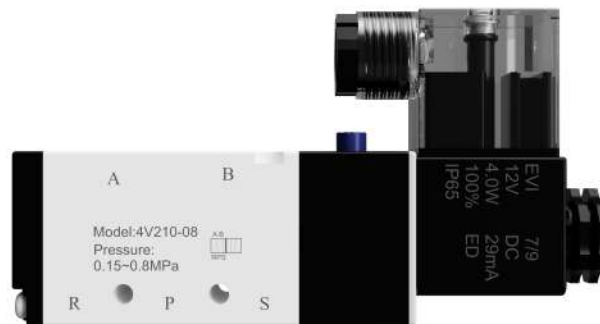
Ketika udara bertekanan masuk ke ruang belakang piston, batang piston bergerak keluar. Udara dari ruang sisi lainnya dikeluarkan melalui katup solenoid. Ketika arah aliran udara dibalik, udara masuk ke ruang sisi batang piston sehingga batang piston bergerak kembali. Pengaturan aliran udara pada kedua *port* digunakan untuk mengatur arah dan kecepatan gerak silinder selama proses pengepresan.

Pada alat ini, silinder dipasang secara vertikal dengan batang piston menghadap ke bawah. Gerakan turun digunakan untuk menekan modul PCB hingga masuk ke dalam *housing*, sedangkan gerakan naik digunakan untuk mengembalikan bagian penekan ke posisi awal setelah gaya yang ditetapkan tercapai. Dengan konfigurasi tersebut, gerakan silinder dapat dikendalikan secara lebih teratur sehingga proses pengepresan dapat dilakukan dengan posisi dan gaya yang sesuai kebutuhan sistem. Besarnya gaya tekan yang dihasilkan silinder dipengaruhi oleh tekanan udara yang diberikan pada silinder dan luas penampang piston. Oleh karena itu, pengaturan tekanan udara dan kecepatan gerak silinder harus disesuaikan.

Tabel 2-1 Spesifikasi Silinder Pneumatik SC 50x150

Spesifikasi	Keterangan
Merek	AirTAC SC 50 × 150
Sistem kerja	<i>Double-acting</i>
Diameter piston	50 mm
Panjang langkah	150 mm
Jumlah <i>port</i> udara	2 <i>port</i>
Rentang tekanan kerja	0,15–1,0 MPa
Tekanan pengujian maksimum	1,5 MPa

2.7.2 Solenoid Valve AirTAC 4V210-08



Gambar 2-6 Solenoid 4V210-08

Katup solenoid berfungsi mengatur arah aliran udara menuju silinder. Katup ini bekerja mengubah sinyal listrik menjadi gerakan mekanis pada bagian *spool*. Pada alat ini, katup solenoid dikendalikan oleh Arduino Nano melalui *relay*.

Katup solenoid tersebut memiliki 5 *port*. *Port P* berfungsi sebagai saluran masuk udara bertekanan dari *filter regulator*. *Port A* dan *B* dihubungkan ke kedua sisi silinder, sedangkan *port R* dan *S* digunakan sebagai saluran pembuangan udara.

Ketika koil dinonaktifkan, pegas mengembalikan *spool* ke posisi awal. Arah aliran udara kemudian berbalik sehingga batang silinder bergerak naik. Gerakan tersebut mengembalikan bagian penekan ke posisi awal setelah gaya tekan yang ditetapkan tercapai.

Tabel 2-2 Spesifikasi Solenoid 4V210-08

Spesifikasi	Keterangan
Merek	AirTAC 4V200-08
Jenis katup	5/2
Sistem penggerak	Satu koil
Tegangan koil	12 VDC
Rentang tekanan kerja	0,15–0,8 MPa
Tekanan pengujian maksimum	1,2 MPa
Ukuran <i>port</i> P, A, dan B	1/4 inci
Ukuran <i>port</i> R dan S	1/8 inci

2.7.3 Speed Controller SL8-02



Gambar 2-7 SL8-02 Speed Controller

Speed controller digunakan untuk mengatur aliran udara pada silinder. Pengaturan aliran udara dilakukan untuk menentukan kecepatan gerakan batang silinder saat bergerak turun maupun naik. Pada alat ini digunakan dua buah *speed controller* yang dipasang pada kedua *port* silinder pneumatik.

Metode yang digunakan pada alat ini adalah *meter-out*, yaitu mengatur aliran udara yang keluar dari ruang silinder. Metode tersebut membuat gerakan batang silinder lebih stabil karena udara buangan tidak langsung keluar seluruhnya. Pengaturan pada kedua *speed controller* memungkinkan kecepatan turun dan naik silinder diatur secara terpisah.

Speed controller terdiri atas sambungan berulir, sambungan selang, katup satu arah, dan bagian pemutar untuk mengatur aliran udara. Katup satu arah

membuat udara dapat mengalir bebas menuju silinder, sedangkan udara yang keluar dari silinder dibatasi sesuai dengan tingkat pembukaan katup pengatur.

Alat ini dapat diputar searah jarum jam untuk memperkecil aliran udara sehingga gerakan silinder menjadi lebih lambat. Sebaliknya, pemutaran berlawanan arah jarum jam memperbesar aliran udara sehingga silinder menjadi lebih cepat.

Pada alat ini, kecepatan turun diatur agar proses penekanan modul PCB ke dalam *housing* berlangsung secara terkendali, sedangkan kecepatan naik diatur agar silinder dapat kembali ke posisi awal dengan aman.

Tabel 2-3 Spesifikasi SL8-02

Spesifikasi	Keterangan
Tipe	SL8-02
Bentuk sambungan	<i>Elbow</i>
Jenis sambungan selang	<i>One-touch fitting</i>
Ukuran diameter luar selang	8 mm
Ukuran ulir	1/4 inci
Media kerja	Udara bertekanan
Metode pengaturan	<i>Meter-out</i>
Jumlah yang digunakan	1 buah

2.7.4 Sensor Tekanan WPT-83G



Gambar 2-8 Sensor Tekanan WPT-83G

Sensor tekanan merupakan transduser yang mengubah tekanan udara menjadi sinyal listrik. Pada alat ini, sensor tekanan dipasang pada cabang saluran udara setelah *filter regulator* dan sebelum *port P* katup solenoid.

Cara kerja sensor diawali ketika tekanan udara mengenai diafragma yang berada di dalam sensor. Perubahan bentuk diafragma dideteksi oleh elemen pengukur, kemudian diubah menjadi sinyal tegangan analog yang nilainya berubah mengikuti tekanan udara.

Sinyal keluaran sensor dihubungkan ke *pin* A0 Arduino Nano. Arduino Nano membaca sinyal tersebut melalui ADC, kemudian mengubahnya menjadi nilai tekanan berdasarkan program yang digunakan. Hasil pembacaan selanjutnya dapat ditampilkan pada LCD.

Tabel 2-4 Spesifikasi Sensor Tekanan WPT-83G

Spesifikasi	Keterangan
Tipe	WPT-83G
Tegangan kerja	5 VDC
Rentang pengukuran dalam MPa	0–1,2 MPa
Jenis sinyal keluaran	Analog
Ukuran sambungan	G1/4 inci

2.7.5 *Filter Regulator AFR-2000*



Gambar 2-9 AFR- 2000

Filter regulator digunakan untuk menyaring udara bertekanan sekaligus mengatur tekanan udara yang masuk ke rangkaian pneumatik. Pada alat ini digunakan *filter regulator* AirTAC AFR-2000 dengan *port* 1/4 inci. Udara bertekanan dari sumber udara terlebih dahulu melewati *filter regulator* sebelum diteruskan menuju katup solenoid.

Pengaturan tekanan dilakukan dengan memutar tuas atau knop regulator. Tekanan yang telah diatur dapat diamati melalui *pressure gauge* sehingga operator dapat menyesuaikan tekanan kerja sistem. Pengaturan tekanan ini juga berpengaruh terhadap gaya yang dihasilkan oleh silinder pneumatik, sehingga perlu disesuaikan dengan kebutuhan proses pengepresan.

Bagian utama *filter regulator* terdiri atas bodi, regulator, knop pengatur tekanan, *pressure gauge*, elemen filter, mangkuk filter, dan drain. Elemen filter berfungsi menyaring kotoran dan partikel dari udara, sedangkan mangkuk filter menjadi tempat menampung hasil penyaringan. *Drain* digunakan untuk membuang air atau kondensat yang terkumpul pada mangkuk filter.

Pada sistem alat *press* pneumatik, *filter regulator* dipasang sebelum katup solenoid. Susunan tersebut bertujuan agar udara yang masuk ke katup solenoid telah melalui proses penyaringan dan pengaturan tekanan terlebih dahulu. Dengan demikian, tekanan udara yang diteruskan menuju silinder dapat lebih terkontrol.

Tabel 2-5 Spesifikasi AFR-2000

Spesifikasi	Keterangan
Tipe	AirTAC AFR-2000
Jenis	<i>Filter Regulator</i>
Ukuran <i>port</i>	1/4 inci
Ukuran elemen filter	40 μ m
Fungsi	Menyaring dan mengatur tekanan udara
Media	Udara bertekanan
Tekanan kerja maksimum	9,9 bar
Rentang pengaturan tekanan	0,5–8,5 bar
Dilengkapi	<i>Pressure gauge</i> dan <i>drain</i>

2.8 Komponen Sistem Elektronik dan Kendali

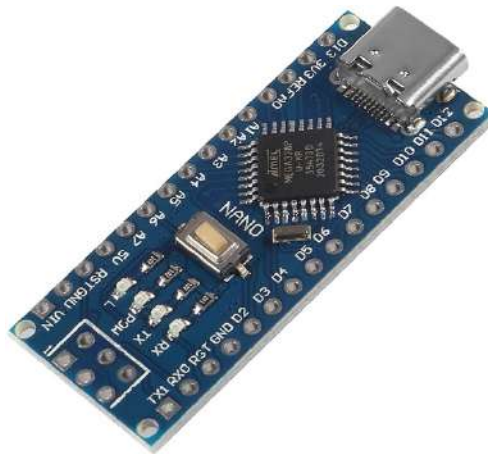
Sistem elektronik dan kendali berfungsi untuk mengatur, memproses, serta memantau proses kerja alat *press* pneumatik. Sistem ini menghubungkan sensor, mikrokontroler, *relay*, dan komponen antarmuka sehingga proses pengepresan dapat berjalan sesuai dengan kondisi yang telah ditentukan. Pada alat yang dirancang, sistem elektronik digunakan untuk membaca nilai gaya tekan dari *load cell*, membaca tekanan udara melalui sensor tekanan, mengolah data hasil pembacaan sensor, serta mengendalikan aktuator melalui *relay*.

Mikrokontroler berfungsi sebagai pusat pengendalian sistem karena menerima masukan dari sensor dan memberikan keluaran untuk mengatur komponen aktuator. Data yang diperoleh dari sensor terlebih dahulu diproses oleh mikrokontroler sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan kondisi proses pengepresan. Penggunaan sistem kendali berbasis mikrokontroler memungkinkan proses pengepresan dilakukan secara lebih terkontrol dan dapat membantu menjaga konsistensi gaya tekan yang diberikan pada modul LED AC.

Komponen elektronik yang digunakan pada sistem kendali antara lain Arduino Nano sebagai mikrokontroler, *load cell* dan modul HX711 sebagai sensor gaya, sensor tekanan Wisner WPT-83G sebagai pemantau tekanan udara, *relay* sebagai sakelar elektronik untuk mengendalikan *solenoid valve*, serta LCD 20×4 sebagai media untuk menampilkan informasi proses. Setiap komponen memiliki fungsi yang saling berkaitan sehingga membentuk sistem kendali yang terintegrasi.

Dalam proses kerjanya, sistem elektronik menerima data dari sensor sebagai masukan yang kemudian diproses oleh Arduino Nano. Data gaya tekan dari *load cell* digunakan untuk mengetahui besarnya gaya yang diberikan selama proses pengepresan, sedangkan sensor tekanan digunakan untuk memantau kondisi tekanan udara pada sistem pneumatik. Hasil pengolahan data tersebut menjadi dasar bagi Arduino Nano dalam menentukan tindakan kendali terhadap *relay* dan *solenoid valve*. Dengan adanya hubungan antara sensor, mikrokontroler, dan aktuator tersebut, proses pengepresan dapat berlangsung secara otomatis dan parameter proses dapat dipantau oleh operator melalui LCD 20×4 .

2.8.1 Arduino Nano



Gambar 2-10 Arduino Nano V3 USB *Type-C*

Arduino Nano merupakan papan mikrokontroler yang digunakan sebagai pusat pengendalian pada sistem elektronik alat *press* pneumatik ini. Arduino Nano berfungsi untuk menerima data masukan dari sensor, melakukan pengolahan data berdasarkan program yang telah dibuat, serta menghasilkan sinyal keluaran untuk mengendalikan komponen pada sistem.

Pada alat yang dirancang, Arduino Nano menerima data gaya tekan dari *load cell* melalui modul HX711 dan data tekanan udara dari sensor tekanan Wisner WPT-83G. Data tersebut kemudian diproses untuk memperoleh informasi mengenai kondisi gaya tekan dan tekanan udara selama proses pengepresan. Nilai gaya tekan digunakan sebagai salah satu parameter utama dalam pemantauan proses pengepresan agar gaya yang diberikan dapat dijaga sesuai dengan nilai yang telah ditentukan.

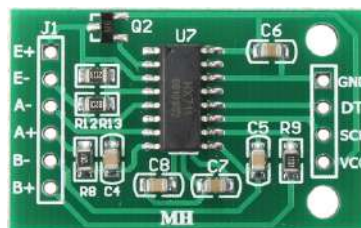
Arduino Nano juga berfungsi untuk mengendalikan *relay* yang digunakan sebagai penghubung antara sistem kendali dan *solenoid valve* 5/2. Melalui *relay*, Arduino Nano dapat mengatur kerja *solenoid valve* sehingga pergerakan silinder pneumatik dapat dikendalikan sesuai dengan program. Selain itu, Arduino Nano digunakan untuk mengirimkan data ke LCD 20×4 sehingga informasi kondisi proses, seperti nilai gaya tekan dan tekanan udara, dapat ditampilkan kepada operator.

Dengan fungsi tersebut, Arduino Nano menjadi komponen utama yang mengintegrasikan proses pembacaan sensor, pengolahan data, pengendalian aktuator, dan penyajian informasi pada alat *press* pneumatik.

Tabel 2-6 Spesifikasi Arduino Nano V3 *Type-C*

Spesifikasi	Keterangan
Mikrokontroler	ATmega328P
Tegangan kerja	5 VDC
Tegangan input	7–12 VDC
Pin digital I/O	22 pin (14 pin digital I/O)
Pin PWM	6 pin
Pin analog input	8 pin
Arus DC per pin I/O	20 mA
Memori Flash	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Kecepatan <i>clock</i>	16 MHz
Antarmuka komunikasi	UART, SPI, dan I ² C

2.8.2 Modul HX711



Gambar 2-11 Modul HX711

Modul HX711 ialah modul penguat sinyal dan pengubah sinyal analog menjadi data digital yang digunakan sebagai antarmuka antara *load cell* dan Arduino Nano. *Load cell* menghasilkan perubahan sinyal listrik yang sangat kecil

ketika menerima beban, sehingga sinyal tersebut perlu diperkuat dan diubah menjadi data digital agar dapat dibaca dan diproses oleh mikrokontroler.

Pada alat ini, modul HX711 digunakan untuk membaca sinyal dari *load cell* yang berfungsi mengukur gaya tekan pada proses pengepresan. HX711 memperkuat sinyal keluaran *load cell* dan melakukan proses konversi analog-ke-digital (*Analog to Digital Conversion* atau ADC). Data hasil konversi kemudian dikirimkan ke Arduino Nano melalui komunikasi digital untuk diolah menjadi nilai gaya tekan.

Penggunaan HX711 memungkinkan perubahan gaya yang diterima *load cell* dapat dibaca oleh Arduino Nano dengan lebih baik. Nilai hasil pembacaan tersebut selanjutnya digunakan sebagai parameter pemantauan gaya tekan pada proses pengepresan sehingga gaya yang diberikan dapat dikendalikan sesuai dengan kebutuhan sistem.

Tabel 2-7 Spesifikasi Modul HX711

Spesifikasi	Keterangan
IC	HX711
Resolusi ADC	24 bit
Jumlah <i>channel</i> input	2 <i>channel</i>
Tegangan	2,6–5,5 VDC
Kecepatan data keluaran	10 SPS atau 80 SPS
Pin Komunikasi	Serial melalui DOUT dan PD_SCK

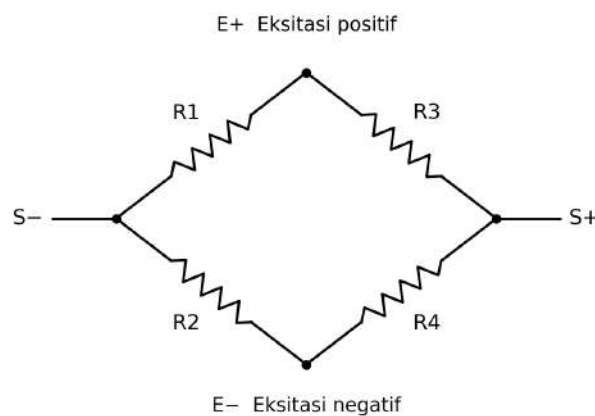
2.8.3 Strain Gauge Load Cell



Gambar 2-12 Strain Gauge Load Cell

Rangkaian dasar *load cell* berbasis *strain gauge* adalah *Wheatstone bridge*. Rangkaian ini memiliki empat lengan resistif yang membentuk dua cabang pembagi tegangan. Pada konfigurasi *full bridge* yang umum digunakan pada sensor gaya, keempat lengan berupa elemen *strain gauge* aktif. Elemen tersebut direkatkan pada bagian logam yang mengalami deformasi saat menerima gaya.

Susunan dasar jembatan ditunjukkan pada gambar berikut. R1 sampai R4 menyatakan elemen resistif pengukur; posisi pada gambar menunjukkan sambungan listriknya.



Gambar 2-13 Konfigurasi Dasar *Load Cell*

Terminal E+ dan E- memberikan tegangan eksitasi agar perubahan resistansi menghasilkan perubahan tegangan. Terminal S+ dan S- merupakan pasangan keluaran diferensial yang dihubungkan ke INA+ dan INA- pada HX711. S- merupakan terminal sinyal negatif dan memiliki fungsi berbeda dengan E- sebagai jalur eksitasi negatif.

Gaya yang diterima *load cell* menyebabkan elemen logam mengalami deformasi kecil dalam batas elastisnya. Kisi penghantar pada *strain gauge* ikut berubah bentuk karena melekat pada logam tersebut. Pada *strain gauge* logam, tarikan umumnya meningkatkan resistansi, sedangkan pemampatan menurunkannya. Susunan elemen dan sambungan jembatan dibuat agar perubahan akibat pembebanan menghasilkan perubahan keluaran yang dapat diukur.

Pada kondisi seimbang, tegangan $S+$ dan $S-$ idealnya sama sehingga selisihnya mendekati nol. Ketika gaya mengubah resistansi elemen pengukur, jembatan menjadi tidak seimbang dan menghasilkan tegangan diferensial. Dalam rentang kerja sensor, perubahan tegangan tersebut mendekati linear terhadap gaya yang diterima. Keluaran diferensial dinyatakan sebagai berikut:

$$V_{out} = V_{S+} - V_{S-}$$

Keterangan: V_{out} adalah tegangan keluaran diferensial, sedangkan V_{S+} dan V_{S-} adalah tegangan terminal sinyal terhadap $E-$, seluruhnya dalam volt.

Tegangan diferensial keluaran sensor yang berorde milivolt diteruskan ke HX711. Penguat internal memperbesar sinyal, kemudian ADC 24-bit mengubahnya menjadi data digital berupa *raw count*. Arduino Nano membaca hasil tersebut melalui DOUT dengan pulsa pembacaan pada PD_SCK. Besaran mekanis yang diterima sensor adalah gaya, sedangkan keluaran listriknya berupa tegangan yang selanjutnya dikonversi menjadi data digital.

Besaran yang digunakan dalam sistem kendali alat pres adalah gaya tekan dalam newton (N). Data *raw count* dari HX711 belum memiliki satuan gram atau newton. Hubungan antara data digital dan besaran yang digunakan ditentukan melalui kalibrasi dengan beban acuan. Jika kalibrasi menggunakan massa acuan dalam gram, hasil pengolahan awal dinyatakan sebagai ekuivalen massa, kemudian dikonversi menjadi gaya.

Kalibrasi diawali dengan proses *tare* pada kondisi tanpa beban pengujian dan saat sensor telah stabil. Pembacaan awal disimpan sebagai *offset* C_0 . Selanjutnya, beban acuan diberikan pada sensor untuk menentukan faktor kalibrasi:

$$K = \frac{C_{acuan} - C_0}{m_{acuan}}$$

Keterangan: K adalah faktor kalibrasi (*count/g*), C_{acuan} adalah pembacaan saat menerima beban acuan (*count*), C_0 adalah pembacaan saat *tare* (*count*), dan m_{acuan} adalah massa acuan (g).

Pembacaan ekuivalen massa diperoleh dengan mengurangi data digital terhadap *offset*, kemudian membaginya dengan faktor kalibrasi:

$$m_g = \frac{C - C_0}{K}$$

Keterangan: m_g adalah hasil pengukuran ekuivalen massa (g) dan C adalah pembacaan digital saat pengukuran (*count*).

Nilai ekuivalen massa dikonversi dari gram menjadi kilogram, kemudian dikalikan dengan percepatan gravitasi. Dengan pendekatan $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, gaya tekan dihitung sebagai berikut:

$$F = \frac{m_g}{1.000} \times g = m_g \times 0,00981$$

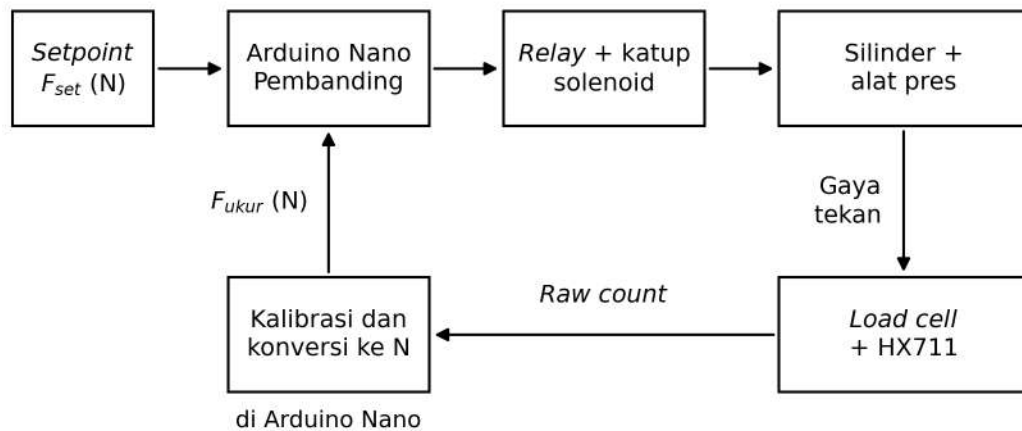
Keterangan: F adalah gaya tekan (N), m_g adalah ekuivalen massa (g), dan g adalah percepatan gravitasi (m/s^2).

Pengolahan sinyal sensor mencakup tahapan tegangan diferensial, data digital, ekuivalen massa hasil kalibrasi, dan gaya tekan. Pada aplikasi ini, gram menyatakan ekuivalen massa berdasarkan kalibrasi, sedangkan newton menjadi satuan gaya yang digunakan untuk dibandingkan dengan *setpoint*.

Secara mekanis, *load cell* ditempatkan pada jalur penerusan gaya penekanan modul LED AC ke dalam *housing*. Arah pembebanan dan dudukan mengikuti konstruksi sensor agar gaya diteruskan ke elemen pengukurnya.

Secara elektrik, *load cell* dihubungkan ke HX711 untuk dibaca oleh Arduino Nano. Hasil kalibrasi dalam newton digunakan sebagai umpan balik atau *feedback*. Arduino membandingkan gaya terukur dengan nilai acuan untuk mengendalikan *relay* dan katup solenoid. Hubungan ini membentuk sistem kendali loop tertutup karena tindakan pengendalian menggunakan hasil pengukuran proses.

Setpoint adalah gaya target yang ditetapkan sebelum pengepresan dan dinyatakan sebagai F_{set} . Adapun *feedback* adalah gaya hasil pengukuran selama pengepresan, dinyatakan sebagai F_{ukur} . Keduanya menggunakan satuan newton agar dapat dibandingkan secara langsung.



Gambar 2-14 Hubungan *setpoint*, proses pengepresan, dan *feedback* gaya tekan

Setelah tombol START ditekan dan siklus pengepresan aktif, *relay* mengaktifkan katup solenoid sehingga silinder menekan benda kerja. Penekanan dilanjutkan selama gaya terukur lebih kecil daripada *setpoint*. Kondisi penghentian penekanan adalah:

$$F_{ukur} \geq F_{set}$$

Ketika kondisi tersebut terpenuhi, Arduino Nano menonaktifkan *relay* sehingga tegangan kumparan solenoid terputus. Pegas pengembali katup 5/2 mengubah arah aliran udara dan silinder kembali ke posisi awal. Program perlu mempertahankan status akhir siklus sampai perintah START berikutnya agar penurunan gaya tidak memicu penekanan ulang. Tombol STOP digunakan untuk penghentian manual.

Nilai *setpoint* ditentukan melalui pengujian pemasangan sampai diperoleh gaya yang memenuhi kriteria tanpa merusak modul maupun *housing*, serta berada dalam rentang kerja sensor dan alat. Tekanan udara dalam bar atau pascal menggerakkan silinder, sedangkan *setpoint* gaya dalam newton menjadi acuan penghentian berdasarkan pembacaan *load cell*.

Rancangan ini menggunakan kendali aktif dan nonaktif (*on-off*) untuk mengakhiri penekanan pada batas gaya. Jeda pembacaan sensor dan respons

aktuator dapat menyebabkan gaya puncak melebihi *setpoint*. Pengujian perlu membandingkan keduanya untuk menilai hasil pengendalian.

Implementasi tersebut sesuai dengan judul “Implementasi *Load Cell* sebagai Umpan Balik Sistem Kendali Gaya Tekan pada Rancang Bangun Alat Pres Modul LED AC di Vocalite”. Umpan balik diwujudkan melalui penggunaan gaya terukur untuk menentukan tindakan pengendalian. Kendali gaya tekan diwujudkan melalui perbandingan hasil pengukuran terhadap *setpoint* sebagai dasar penghentian penekanan.

Peran *load cell* tersebut mendukung konsistensi pemasangan modul LED AC ke dalam *housing*. Keterkaitan gaya target dengan kualitas pemasangan dibuktikan melalui pengujian hasil pres. Karena *load cell* mengukur gaya, kedalaman pemasangan dan kondisi komponen tetap diperiksa untuk memastikan hasil proses memenuhi kriteria.

Hasil pembacaan *load cell* digunakan sebagai salah satu parameter utama dalam sistem kendali gaya tekan. Nilai gaya yang diperoleh dapat dibandingkan dengan nilai gaya target yang telah ditentukan sehingga sistem dapat mengetahui apakah gaya tekan yang diberikan sudah mencapai nilai yang diinginkan. Dengan adanya pemantauan gaya secara langsung, proses pengepresan dapat dilakukan dengan gaya yang lebih konsisten dan membantu mengurangi perbedaan hasil pengepresan akibat variasi gaya yang diberikan selama proses pemasangan modul LED AC ke dalam *housing*.

Tabel 2-8 Spesifikasi *Strain Gauge Load Cell*

Spesifikasi	Keterangan
Jenis sensor	<i>Bar load cell</i> (tipe batang)
Kapasitas maksimum	200 kg
Prinsip pengukuran	<i>Strain gauge</i>
Konfigurasi rangkaian	<i>Wheatstone bridge</i>
Jenis keluaran	Sinyal tegangan analog diferensial
Jumlah kabel	4 kabel
Pengolah sinyal	Modul HX711

2.8.4 Power Supply Mean Well RD-35A



Gambar 2-15 Mean Well RD-35A

Power supply merupakan komponen yang berfungsi mengubah tegangan listrik AC menjadi tegangan DC yang dibutuhkan oleh komponen-komponen pada sistem elektronik. Pada alat *press* pneumatik ini digunakan Mean Well RD-35A, yaitu *power supply switching* dengan dua keluaran (*dual output*) yang terdiri dari keluaran 5 VDC dan 12 VDC. Berdasarkan data teknis dari Mean Well, RD-35A memiliki masukan universal 88–264 VAC dan keluaran 5 V sebesar 4 A serta 12 V sebesar 1 A.

Keluaran 5 VDC digunakan untuk menyuplai komponen-komponen sistem kendali yang membutuhkan tegangan 5 V, seperti Arduino Nano, modul HX711, *load cell*, sensor tekanan Wisner WPT-83G, *relay* 5 V, dan LCD 20 × 4. Sementara itu, keluaran 12 VDC digunakan sebagai sumber tegangan untuk mengoperasikan *solenoid valve* 5/2 yang mengatur arah gerak silinder pneumatik.

Terminal COM pada Mean Well RD-35A digunakan sebagai jalur negatif bersama (*common*) dari keluaran PSU. Jalur COM dihubungkan ke terminal negatif dari rangkaian 5 V dan 12 V sesuai konfigurasi sistem, sehingga menjadi titik referensi bersama bagi Arduino Nano, sensor, modul HX711, LCD, serta rangkaian *solenoid valve*. Mean Well menjelaskan bahwa pada *power supply* dengan beberapa keluaran dan *common ground*, terminal COM berfungsi sebagai *common ground* untuk keluaran-keluaran tersebut.

Tabel 2-9 Spesifikasi Mean Well RD-35A

Spesifikasi	Keterangan
Merek	Mean Well
Tipe	RD-35A
Jenis	<i>Dual Output Switching Power Supply</i>
Daya nominal	35 W
Tegangan masukan	88–264 VAC
Frekuensi masukan	47–63 Hz
Keluaran CH1	5 VDC, 0–4 A
Keluaran CH2	12 VDC, 0–1 A
Fungsi keluaran 5 VDC	<i>Supply sistem kendali dan sensor</i>
Fungsi keluaran 12 VDC	<i>Supply solenoid valve</i>
Terminal COM	Jalur negatif (<i>common ground</i>) bersama

2.8.5 LCD 20 × 4 I²C PCF8574



Gambar 2-16 LCD 20 × 4

LCD 20 × 4 merupakan perangkat antarmuka yang digunakan untuk menampilkan informasi dari sistem kendali secara langsung kepada operator. LCD ini memiliki 20 karakter pada setiap baris dan 4 baris tampilan, sehingga dapat digunakan untuk menampilkan beberapa parameter sistem secara bersamaan.

Pada alat *press* pneumatik, LCD 20 × 4 digunakan sebagai media pemantauan proses pengepresan. Informasi yang ditampilkan meliputi gaya tekan, tekanan udara, target gaya, dan kondisi sistem. Nilai gaya tekan diperoleh dari *load*

cell yang diproses melalui modul HX711, sedangkan tekanan udara diperoleh dari sensor tekanan Wisner WPT-83G. Arduino Nano kemudian mengolah data tersebut dan mengirimkannya ke LCD untuk ditampilkan kepada operator.

LCD menggunakan modul antarmuka I²C PCF8574 sehingga komunikasi dengan Arduino Nano hanya memerlukan dua jalur komunikasi, yaitu SDA dan SCL, selain jalur *supply*. Penggunaan antarmuka I²C dapat mengurangi jumlah kabel dan penggunaan pin pada Arduino Nano dibandingkan koneksi LCD secara paralel.

Dengan adanya LCD, operator dapat mengetahui kondisi alat secara langsung selama proses berlangsung. Tampilan gaya tekan dan target gaya dapat digunakan untuk memantau pencapaian gaya pengepresan, sedangkan nilai tekanan udara dan kondisi sistem memberikan informasi mengenai keadaan sistem pneumatik dan proses kendali.

Tabel 2-10 Spesifikasi LCD 20 × 4

Spesifikasi	Keterangan
Jenis LCD	LCD karakter 20 × 4
Modul antarmuka	I ² C PCF8574
Tegangan kerja	5 VDC
Antarmuka komunikasi	I ² C
Jalur komunikasi	SDA dan SCL
Pengendali LCD	HD44780 atau kompatibel
Jumlah pin I ² C	2 pin (SDA dan SCL)

2.8.6 Relay 5 Volt Single Channel



Gambar 2-17 Relay 5 Volt Single Channel

Modul *relay* satu *channel* 5 V merupakan komponen yang digunakan sebagai sakelar elektronik untuk mengendalikan beban yang memiliki tegangan berbeda dengan rangkaian kendali. Pada alat *press* pneumatik, *relay* digunakan sebagai penghubung antara rangkaian kendali 5 VDC yang dikendalikan oleh Arduino Nano dengan beban berupa *solenoid valve* 12 VDC. Dengan menggunakan *relay*, Arduino Nano tidak perlu mengalirkan arus beban *solenoid valve* secara langsung.

Relay memiliki bagian kumparan (*coil*) dan kontak sakelar yang bekerja secara elektromagnetik. Ketika Arduino Nano memberikan sinyal 5 V ke modul *relay*, kumparan *relay* akan aktif sehingga kontak sakelar berubah posisi. Perubahan posisi kontak tersebut digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan rangkaian tegangan 12 VDC menuju *solenoid*. Dengan demikian, sinyal kendali dari Arduino Nano dapat digunakan untuk mengatur kerja *solenoid valve* tanpa menghubungkan rangkaian 5 V secara langsung dengan beban 12 V.

Pada alat yang dirancang, *relay* dikendalikan oleh Arduino Nano berdasarkan program sistem sehingga aktivasi *solenoid valve* dapat disesuaikan dengan proses pengepresan.

Kontak *relay* pada rangkaian digunakan untuk menghubungkan sumber +12 VDC dari *power supply* menuju *solenoid valve*, sedangkan jalur negatif *solenoid valve* terhubung ke COM.

Tabel 2-11 Relay 5 Volt Single Channel

Spesifikasi	Keterangan
Jenis	Modul <i>relay</i> satu <i>channel</i>
Tegangan kerja <i>coil</i>	5 VDC
Tegangan beban kontak	Maks. 30 VDC / 250 VAC
Arus beban kontak	Maks. 10 A
Terminal kontak	COM, NO, dan NC
Input kendali	Sinyal digital dari Arduino Nano
Indikator	LED indikator status <i>relay</i>
Fungsi pada alat	Mengontrol <i>solenoid valve</i> 12 VDC

2.8.7 Schneider Electric Harmony XB5AA31



Gambar 2-18 Schneider Electric Harmony XB5AA31

Tombol *start* merupakan komponen antarmuka yang digunakan operator untuk memberikan perintah awal kepada sistem kendali. Pada alat *press* pneumatik, digunakan tombol *start* Schneider Electric Harmony XB5AA31, yaitu tombol tekan berwarna hijau dengan diameter 22 mm, tipe *spring return*, dan memiliki satu kontak 1NO (Normally Open).

Pada kondisi normal, kontak 1NO pada tombol berada dalam keadaan terbuka sehingga tidak terdapat sinyal masukan ke Arduino Nano. Ketika tombol ditekan, kontak akan berubah menjadi tertutup dan memberikan sinyal masukan kepada sistem kendali. Arduino Nano kemudian memproses sinyal tersebut sebagai perintah untuk memulai siklus pengepresan sesuai dengan program yang telah ditentukan.

Setelah tombol dilepas, mekanisme *spring return* akan mengembalikan tombol ke posisi semula sehingga kontak kembali terbuka. Penggunaan tombol sesaat tersebut memungkinkan perintah *start* diberikan hanya sebagai sinyal pemicu awal tanpa harus mempertahankan tombol dalam kondisi ditekan selama proses pengepresan berlangsung.

Tabel 2-12 Spesifikasi Schneider Electric Harmony XB5AA31

Spesifikasi	Keterangan
Merek	Schneider Electric Harmony XB5
Tipe	XB5AA31
Jenis	<i>Momentary push button</i>

Warna	Hijau
Diameter	Ø22 mm
Mekanisme	<i>Spring return</i>
Kontak	1NO (<i>Normally Open</i>)

2.8.8 Schneider Electric Harmony XB5AA42



Gambar 2-19 Schneider Electric Harmony XB5AA42

Tombol *stop* berfungsi untuk menghentikan proses kerja alat *press* pneumatik. Pada alat yang dirancang digunakan Schneider Electric Harmony XB5AA42, yaitu tombol tekan berwarna merah dengan diameter 22 mm dan mekanisme *spring return*. Tombol ini digunakan dengan dua kontak NC (Normally Closed) melalui penambahan blok kontak sehingga dapat memberikan dua jalur sinyal yang bekerja secara terpisah.

Pada kondisi normal, kedua kontak NC berada dalam keadaan tertutup. Ketika tombol *stop* ditekan, kedua kontak tersebut akan berubah menjadi terbuka sehingga masing-masing jalur dapat menjalankan fungsi penghentian sesuai dengan rangkaian yang digunakan. Satu kontak NC digunakan pada rangkaian COM menuju *relay*, sehingga ketika tombol *stop* ditekan, jalur kendali *relay* terputus dan *solenoid valve* tidak dapat diaktifkan. Kontak NC lainnya digunakan sebagai masukan ke pin input Arduino Nano, sehingga Arduino dapat mendeteksi bahwa tombol *stop* telah ditekan dan menghentikan proses pengepresan melalui program kendali.

Penggunaan dua kontak NC memberikan fungsi penghentian secara bersamaan pada sisi rangkaian kendali dan sisi rangkaian aktuator. Dengan konfigurasi tersebut, penekanan tombol *stop* tidak hanya terdeteksi oleh Arduino Nano, tetapi juga secara langsung memutus jalur kendali menuju *relay*. Setelah tombol dilepas, mekanisme *spring return* mengembalikan tombol ke posisi semula sehingga kedua kontak kembali tertutup dan sistem dapat kembali ke kondisi siap bekerja sesuai logika program.

Tabel 2-13 Spesifikasi Schneider Electric Harmony XB5AA42

Spesifikasi	Keterangan
Merek	Schneider Electric Harmony XB5
Tipe	XB5AA42
Jenis	<i>Momentary push button</i>
Warna	Merah
Diameter	Ø22 mm
Mekanisme	<i>Spring return</i>
Kontak yang digunakan	2NC (<i>Normally Closed</i>)
Fungsi kontak 1	Memutus jalur menuju <i>coil/COM relay</i>
Fungsi kontak 2	Sinyal <i>stop</i> ke pin input Arduino Nano

2.8.9 Resistor 1 kΩ



Gambar 2-20 Resistor 1 kΩ

Resistor merupakan komponen elektronika pasif yang berfungsi untuk memberikan hambatan terhadap aliran arus listrik dalam suatu rangkaian. Pada alat *press* pneumatik, resistor dengan nilai 1 kΩ digunakan sebagai pembatas arus dan penyesuai sinyal pada rangkaian elektronik. Penggunaan resistor bertujuan untuk

menjaga arus yang mengalir pada komponen tetap berada dalam batas yang sesuai sehingga dapat membantu melindungi komponen dari arus yang terlalu besar.

Resistor 1 k Ω juga dapat digunakan pada bagian rangkaian yang membutuhkan pembatas arus, seperti rangkaian indikator atau jalur sinyal tertentu. Dengan adanya resistor, kondisi kerja komponen elektronik dapat dibuat lebih stabil dan risiko kerusakan akibat arus berlebih dapat dikurangi.

2.8.10 Dioda 1N4007



Gambar 2-21 Dioda 1N4007

Dioda 1N4007 merupakan komponen semikonduktor yang digunakan sebagai dioda *flyback* pada rangkaian *solenoid valve*. Pada alat *press* pneumatik, dioda ini dipasang secara paralel pada kumparan (*coil*) *solenoid valve* 12 VDC dengan arah pemasangan berlawanan terhadap tegangan kerja normal. Dioda berfungsi untuk melindungi komponen pengendali, khususnya kontak *relay*, dari tegangan induksi yang muncul ketika arus pada kumparan *solenoid* tiba-tiba diputus.

Ketika *solenoid valve* dalam kondisi aktif, kumparan menyimpan energi dalam bentuk medan magnet. Saat *relay* memutuskan aliran 12 VDC menuju kumparan, medan magnet tersebut runtuh dan menghasilkan tegangan induksi yang sesaat dapat bernilai tinggi serta berlawanan arah dengan tegangan sumber. Tegangan induksi tersebut dapat menimbulkan percikan pada kontak *relay* dan mempercepat kerusakan kontak sakelar.

Dioda 1N4007 memberikan jalur bagi arus induksi tersebut untuk mengalir kembali melalui kumparan sehingga tegangan lonjakan dapat ditekan. Dengan demikian, dioda *flyback* membantu mengurangi tegangan induksi pada saat *solenoid valve* dimatikan dan melindungi kontak *relay* yang digunakan untuk mengendalikan *solenoid valve* 12 VDC.

2.8.11 Kapasitor Elektrolit 100 μ F dan Kapasitor Keramik 100 nF



Gambar 2-22 Kapasitor Elektrolit 100 μ F dan Kapasitor Keramik 100 nF

Kapasitor merupakan komponen elektronika yang dapat menyimpan muatan listrik dan digunakan dalam rangkaian sebagai penyaring serta penstabil tegangan. Pada alat *press* pneumatik digunakan dua jenis kapasitor, yaitu kapasitor elektrolit 100 μ F dan kapasitor keramik 100 nF. Kedua kapasitor tersebut memiliki karakteristik yang berbeda sehingga digunakan untuk membantu meredam gangguan tegangan pada sumber supply.

Kapasitor elektrolit 100 μ F digunakan sebagai penyimpan muatan sementara dan membantu mengurangi perubahan tegangan atau *ripple* yang terjadi pada jalur *supply* daya. Kapasitor ini dapat membantu mempertahankan kestabilan tegangan ketika terjadi perubahan kebutuhan arus pada rangkaian, terutama saat beban seperti *relay* atau *solenoid valve* bekerja.

Sementara itu, kapasitor keramik 100 nF digunakan untuk meredam gangguan atau *noise* berfrekuensi tinggi pada jalur *supply*. Kapasitor ini memiliki respons yang baik terhadap perubahan tegangan dengan frekuensi tinggi sehingga dapat membantu menjaga kestabilan sinyal dan *power supply* pada rangkaian elektronik. Penggunaan kedua jenis kapasitor secara bersamaan memberikan fungsi penyaringan pada rentang gangguan yang berbeda. Kapasitor elektrolit 100 μ F berfungsi terutama untuk membantu meredam perubahan tegangan yang lebih lambat dan *ripple*, sedangkan kapasitor keramik 100 nF membantu meredam gangguan frekuensi tinggi. Dengan demikian, *supply* pada Arduino Nano dan komponen elektronik lainnya dapat menjadi lebih stabil selama alat beroperasi.

2.8.12 MCB Powell C88N 1 Fasa 16 A



Gambar 2-23 MCB Powell C88N 1 Fasa 16 A

MCB ini digunakan untuk melindungi rangkaian dari arus berlebih dan hubung singkat. MCB dipasang pada sisi masukan 220 VAC sebelum *power supply* Mean Well RD-35A. Ketika arus yang mengalir melebihi batas pengaman atau terjadi hubung singkat, MCB akan memutuskan aliran listrik sehingga dapat membantu melindungi komponen dan kabel pada rangkaian.

MCB juga dapat digunakan sebagai pemutus sumber listrik utama ketika dilakukan pemeriksaan, perawatan, atau perbaikan pada alat. Dengan mematikan MCB, sumber tegangan AC menuju *power supply* dapat diputus sehingga pekerjaan pada rangkaian dapat dilakukan dengan kondisi yang lebih aman.

Tabel 2-14 Spesifikasi MCB Powell C88N 1 Fasa 16 A

Spesifikasi	Keterangan
Merek	POWELL
Seri/Tipe	C88N
Standar	SNI
Jumlah kutub	1 Phase / 1 Pole
Arus nominal	16 A
Tegangan kerja	220–240 VAC

2.9 *Software Pendukung*

Perancangan dan pembuatan alat *press* pneumatik membutuhkan perangkat lunak untuk mendukung proses pemrograman sistem kontrol serta pembuatan desain mekanis. Perangkat lunak yang digunakan dalam perancangan alat ini terdiri atas Arduino IDE untuk membuat dan mengunggah program ke Arduino Nano serta Autodesk Fusion untuk membuat desain dan model tiga dimensi dari bagian mekanis alat.

2.9.1 *Arduino IDE*



Gambar 2-24 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk membuat, mengedit, mengompilasi, dan mengunggah program ke papan mikrokontroler Arduino. Pada alat *press* pneumatik, Arduino IDE digunakan sebagai perangkat lunak utama untuk membuat program yang mengatur proses pembacaan sensor, pengolahan data, serta pengendalian komponen keluaran.

Program yang dibuat melalui Arduino IDE digunakan untuk mengatur Arduino Nano dalam membaca data gaya tekan dari *load cell* melalui modul HX711 dan membaca tekanan udara dari sensor Wisner WPT-83G. Data hasil pembacaan tersebut kemudian diproses oleh mikrokontroler untuk menentukan kondisi sistem sesuai dengan logika program yang telah dirancang. Arduino IDE juga digunakan untuk mengatur keluaran Arduino Nano yang terhubung dengan modul *relay* sehingga kerja *solenoid valve* dapat dikendalikan selama proses pengepresan.

2.9.2 Autodesk Fusion



Gambar 2-25 Autodesk Fusion

Autodesk Fusion merupakan perangkat lunak desain berbasis CAD (*Computer-Aided Design*) yang digunakan untuk membuat perancangan dan pemodelan tiga dimensi (*3D*) suatu komponen maupun keseluruhan bagian mekanis. Pada alat *press* pneumatik, Autodesk Fusion digunakan untuk membantu merancang bagian mekanis seperti desain alat *press*, penempatan komponen utama seperti silinder pneumatik, desain box panel, serta komponen pendukung lainnya.

Proses perancangan dilakukan dengan membuat model tiga dimensi berdasarkan ukuran komponen yang telah ditentukan. Pemodelan tersebut digunakan untuk menyesuaikan bentuk, dimensi, dan posisi antarbagian sehingga setiap komponen dapat dirancang sesuai kebutuhan alat. Autodesk Fusion juga dapat digunakan untuk membuat desain yang lebih mudah dikembangkan dan dikoreksi apabila terdapat perubahan ukuran pada bagian mekanis.

Dalam perancangan alat ini, hasil pemodelan dari Autodesk Fusion digunakan sebagai acuan dalam proses pembuatan dan pemasangan komponen mekanis. Model tiga dimensi membantu memastikan hubungan antara silinder pneumatik, adaptor, *press pad*, danudukan *housing* sesuai dengan posisi yang direncanakan.