

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian terdahulu yang berkaitan dengan sistem pneumatik, pemantauan tekanan berbasis sensor, serta penggunaan mikrokontroler sebagai unit pengendali telah dikaji sebagai dasar dan pembanding dalam penyusunan tugas akhir ini. Kajian pustaka ini bertujuan untuk memetakan perkembangan teknologi yang relevan dan menunjukkan posisi penelitian yang diusulkan terhadap penelitian-penelitian sebelumnya.

Sohan dkk. [1] mengembangkan sistem pemantauan tekanan pneumatik berbasis Internet of Things (IoT) untuk sektor manufaktur menggunakan modul ESP8266 yang dipasangkan dengan transmitter tekanan Danfoss berkeluaran arus 4–20 mA untuk rentang tekanan 0–10 bar. Sinyal arus keluaran sensor dikonversi menjadi tegangan melalui resistor 230 ohm sebelum dibaca oleh pin analog mikrokontroler, kemudian data ditampilkan dan dinotifikasikan secara jarak jauh melalui aplikasi Blynk apabila tekanan berada di luar batas yang ditentukan. Penelitian tersebut membuktikan bahwa integrasi sensor tekanan dengan mikrokontroler dan sistem notifikasi dapat meningkatkan efisiensi operasional serta menekan biaya perawatan dibandingkan pemantauan tekanan secara manual menggunakan pressure gauge konvensional.

Zhao dkk. [2] meneliti permasalahan kendali pada aktuator silinder pneumatik jenis rod cylinder yang bekerja pada sistem servo, dengan menitikberatkan pada estimasi gaya gesek dan beban yang berubah-ubah menggunakan extended state observer (ESO) berbasis algoritma super-twisting. Kontroler finite-time yang diusulkan dirancang menggunakan teknik power integrator untuk menjamin kestabilan sekaligus meningkatkan

presisi dan kecepatan tanggap sistem. Hasil eksperimen pada penelitian ini menegaskan bahwa dinamika tekanan udara pada ruang

silinder pneumatik bersifat nonlinear dan sangat dipengaruhi oleh kompresibilitas udara, sehingga estimasi maupun pengukuran tekanan yang akurat menjadi kunci penting dalam perancangan sistem kendali pneumatik yang presisi.

Visnevskis dkk. [3] menyusun model simulasi yang disempurnakan untuk sistem pneumatik pada aktuator lunak (soft pneumatic actuator) yang digerakkan oleh katup solenoid 3/2 way dengan skema pengaturan lebar pulsa (pulse width modulation/PWM). Model tersebut dikembangkan menggunakan SimScape Fluids pada MATLAB dan mempertimbangkan dinamika perpindahan katup solenoid yang sebelumnya belum banyak diperhitungkan pada model-model terdahulu. Hasil perbandingan tanggapan lingkaran terbuka (open-loop) antara model yang diusulkan dengan data eksperimen menunjukkan bahwa akurasi model meningkat signifikan ketika dinamika katup solenoid turut disertakan, sehingga pengaturan waktu buka-tutup katup solenoid berpengaruh besar terhadap perilaku tekanan aktual pada sistem pneumatik.

Pandian dkk. [4] merancang observer tekanan untuk mengestimasi variabel tekanan pada kedua ruang (chamber) silinder aktuator pneumatik, mengingat pengukuran tekanan pada kedua sisi silinder secara bersamaan sulit dilakukan karena karakteristik dinamika silinder itu sendiri. Penelitian ini mengusulkan observer bergain kontinu serta observer sliding-mode yang memanfaatkan estimasi percepatan secara numerik, dan selanjutnya merancang kontroler sliding-mode yang sensitivitasnya terhadap galat estimasi turut dianalisis. Implementasi eksperimental yang dilakukan membuktikan bahwa pendekatan observer tekanan tersebut efektif dan mudah diterapkan untuk menggantikan atau melengkapi pengukuran tekanan langsung pada sistem aktuator pneumatik bertekanan tinggi.

Suwarno dkk. [5] merancang dan menganalisis secara metrologis sebuah instrumen ukur tekanan udara otomatis berbasis mikrokontroler Arduino Mega 2560 untuk rentang pengukuran 0–300 psi. Pengujian

dilakukan dengan membandingkan pembacaan ADC Arduino terhadap tekanan standar menggunakan modul tekanan militer sebagai acuan, sehingga diperoleh nilai presisi, akurasi, koreksi, dan ketidakpastian pengukuran alat yang dibuat. Hasil pengujian menunjukkan nilai presisi hingga 99,98% dan akurasi hingga 99,82%, yang mengindikasikan bahwa mikrokontroler berbasis Arduino dapat diandalkan sebagai unit pengolah sinyal sensor tekanan analog menjadi nilai tekanan digital dengan tingkat ketelitian yang memadai untuk aplikasi instrumentasi tekanan.

Berdasarkan kajian terhadap kelima penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan sensor/transduser tekanan yang dipadukan dengan mikrokontroler telah banyak diterapkan pada berbagai aplikasi, mulai dari pemantauan tekanan gas industri [1], estimasi tekanan pada aktuator pneumatik untuk kebutuhan kendali presisi [2], [4], pemodelan dinamika katup solenoid pada sistem pneumatik [3], hingga instrumentasi pengukuran tekanan yang teruji secara metrologis [5]. Namun demikian, penelitian-penelitian tersebut umumnya berfokus pada pemantauan (monitoring) atau kendali gerak (motion control), dan belum secara khusus membahas penerapannya pada mesin press berbasis pneumatik yang dilengkapi sistem proteksi tekanan otomatis untuk mencegah kerusakan produk maupun aktuator akibat tekanan berlebih. Hal inilah yang menjadi celah penelitian (research gap) yang coba dijawab melalui rancang bangun alat press housing lampu berbasis pneumatik dengan sistem proteksi tekanan menggunakan pressure transducer transmitter dan Arduino Nano pada tugas akhir ini.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Sistem Pneumatik

Sistem pneumatik adalah sistem yang memanfaatkan udara bertekanan sebagai media untuk menghasilkan dan mentransmisikan gaya guna melakukan kerja mekanis. Prinsip kerja sistem pneumatik didasarkan pada sifat kompresibilitas udara, di mana udara yang dimampatkan oleh kompresor disalurkan melalui saluran pipa/selang

menuju katup pengarah aliran (directional control valve) untuk selanjutnya menggerakkan aktuator seperti silinder pneumatik [2], [4]. Secara umum, energi listrik diubah menjadi energi mekanis putar oleh motor kompresor, kemudian energi tersebut dikonversi menjadi energi udara bertekanan (energi pneumatik) yang disimpan sementara di dalam tangki udara (air receiver tank) sebelum didistribusikan ke seluruh rangkaian kerja. Pada saat digunakan, energi pneumatik tersebut dikonversi kembali menjadi energi mekanis berupa gerak linear maupun rotasi pada aktuator, sehingga secara keseluruhan sistem pneumatik berperan sebagai media transmisi daya dari sumber energi menuju elemen kerja akhir.

Perkembangan pemahaman mengenai udara dan tekanan mulai mengalami kemajuan pada abad ke-17. Pada tahun 1643, ilmuwan Italia Evangelista Torricelli melakukan percobaan yang menunjukkan adanya tekanan atmosfer melalui penggunaan tabung berisi raksa. Penemuan tersebut menjadi salah satu dasar penting dalam pemahaman mengenai tekanan udara. Selanjutnya, pada tahun 1650, Otto von Guericke mengembangkan pompa vakum dan melakukan eksperimen yang menunjukkan besarnya pengaruh tekanan atmosfer.

Pada abad ke-18, penelitian mengenai sifat udara dan gas semakin berkembang. Pada tahun 1662, Robert Boyle telah merumuskan hubungan antara tekanan dan volume gas yang kemudian dikenal sebagai Hukum Boyle. Prinsip tersebut menjadi salah satu dasar dalam memahami perilaku udara yang digunakan dalam sistem pneumatik. Perkembangan ilmu mengenai gas dan tekanan selanjutnya mendorong terciptanya berbagai peralatan yang mampu menghasilkan dan memanfaatkan udara bertekanan.

Secara struktural, sebuah sistem pneumatik industri umumnya tersusun atas beberapa komponen utama yang saling berkaitan. Kompresor berfungsi sebagai unit pembangkit tekanan yang menghisap udara atmosfer dan memampatkannya hingga mencapai

tekanan kerja tertentu. Udara bertekanan yang dihasilkan kemudian melewati unit pengolah udara (air service unit), yang umumnya terdiri atas filter untuk menyaring kotoran dan uap air, regulator untuk menjaga tekanan kerja tetap stabil pada nilai yang ditentukan, serta lubricator untuk memberikan pelumasan pada komponen bergerak apabila diperlukan. Udara yang telah diolah selanjutnya disalurkan melalui jaringan pipa atau selang menuju katup kendali arah (directional control valve), termasuk di antaranya katup solenoid, yang bertugas mengatur arah aliran udara menuju ruang kerja aktuator [3]. Aktuator, baik berupa silinder kerja tunggal (single-acting cylinder) maupun kerja ganda (double-acting cylinder), merupakan elemen akhir yang mengonversi energi tekanan udara menjadi gaya dan gerakan mekanis yang dimanfaatkan untuk melakukan kerja, misalnya menekan, menjepit, atau memindahkan benda kerja [2], [4].

Sistem pneumatik banyak digunakan pada aplikasi industri karena memiliki keunggulan berupa konstruksi yang sederhana, bebas dari risiko pencemaran (bersih), biaya operasional yang relatif rendah, serta rasio daya terhadap berat yang tinggi [2]. Selain itu, sistem pneumatik juga relatif aman digunakan pada lingkungan kerja yang berisiko terhadap percikan api atau ledakan dibandingkan sistem elektrik maupun hidrolik, mudah dalam hal penyimpanan energi melalui tangki udara bertekanan, serta memungkinkan pengaturan gaya dan kecepatan aktuator secara sederhana melalui pengaturan tekanan dan laju aliran udara. Karakteristik inilah yang menjadikan sistem pneumatik sebagai pilihan yang umum digunakan pada mesin-mesin proses penekanan (pressing) di lingkungan manufaktur, termasuk pada proses perakitan komponen yang memerlukan gaya tekan terkendali seperti pemasangan housing lampu.

Secara umum, hubungan dasar antara tekanan udara dan gaya yang dihasilkan pada sistem pneumatik dinyatakan melalui persamaan berikut:

$$F = P \times A \quad (2.1)$$

F adalah gaya yang dihasilkan (N), P adalah tekanan udara kerja (Pa atau N/m²), dan A adalah luas penampang efektif piston yang menerima tekanan (m²). Persamaan (1) menunjukkan bahwa gaya tekan pada aktuator pneumatik berbanding lurus dengan tekanan udara kerja dan luas penampang piston, sehingga pengukuran maupun pengendalian tekanan yang akurat menjadi penentu utama besarnya gaya tekan yang dihasilkan pada proses press [2], [4].

Meskipun demikian, dinamika tekanan udara di dalam ruang silinder bersifat nonlinear dan dipengaruhi oleh kompresibilitas udara, gesekan piston, serta variasi beban, sehingga pengendalian dan pengukuran tekanan yang akurat menjadi aspek penting dalam perancangan sistem pneumatik yang presisi [2], [4]. Sifat kompresibilitas udara menyebabkan respons sistem pneumatik cenderung lebih lambat dan kurang presisi dibandingkan sistem hidrolik apabila tidak diimbangi dengan strategi pengendalian maupun pengukuran tekanan yang memadai, terutama pada aplikasi yang menuntut gaya tekan atau posisi akhir aktuator yang konsisten [2]. Oleh karena itu, penyediaan umpan balik tekanan yang akurat baik melalui pengukuran langsung menggunakan *pressure transducer transmitter* maupun melalui estimasi berbasis observer menjadi dasar penting bagi perancangan mekanisme kendali maupun proteksi pada sistem pneumatik, termasuk pada rancang bangun alat press housing lampu yang dibahas pada penelitian ini.

2.2.2 . Katup Solenoid

Katup solenoid berfungsi sebagai elemen pengarah aliran udara bertekanan menuju aktuator pneumatik. Salah satu jenis katup yang umum digunakan adalah katup solenoid 3/2 way, yaitu katup dengan tiga jalur (port) dan dua posisi kerja, yang dapat digunakan untuk mengatur aliran udara masuk maupun buang pada satu sisi aktuator. Pengaturan durasi buka-tutup katup solenoid dapat dilakukan melalui

teknik pulse width modulation (PWM), di mana lebar pulsa sinyal kendali menentukan proporsi waktu katup dalam kondisi terbuka sehingga memengaruhi laju aliran udara dan akumulasi tekanan pada sisi aktuator [3]. Dinamika perpindahan mekanis katup solenoid terbukti memberikan pengaruh yang signifikan terhadap respons tekanan aktual sistem, sehingga model maupun strategi kendali yang memperhitungkan karakteristik dinamis katup solenoid akan menghasilkan sistem pneumatik yang lebih representatif terhadap kondisi nyata [3].



Gambar 2. 1 Solenoid Valve

Besarnya proporsi waktu katup dalam kondisi terbuka pada satu periode sinyal PWM dinyatakan sebagai duty cycle, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$D = \frac{t_{on}}{T} \times 100\%$$

Keterangan: D adalah duty cycle atau rasio kerja sinyal PWM (%), t_{on} adalah durasi waktu katup dalam kondisi terbuka pada satu periode (detik), dan T adalah periode total satu siklus sinyal PWM (detik). Semakin besar nilai duty cycle, semakin lama katup solenoid berada dalam kondisi terbuka pada setiap periodenya, sehingga laju aliran udara rata-rata menuju aktuator meningkat dan tekanan pada ruang aktuator terakumulasi lebih cepat [3].

Gerakan buka-tutup katup solenoid terjadi karena adanya gaya

elektromagnetik yang dibangkitkan oleh kumparan (coil) ketika dialiri arus listrik, yang menarik plunger/inti besi untuk berpindah posisi.

Tabel 2. 1 Datasheet solenoid valve

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

2.2.3 Aktuator Pneumatik

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. 2 Datasheet Aktuator Pneumatik

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	<i>2 port</i>
Rentang tekanan kerja	0,15–1,0 MPa
Tekanan pengujian maksimum	1,5 MPa



Gambar 2. 2 Aktuator Pneumatik

2.2.4 Sensor/Transducer Tekanan (Pressure Transducer Transmitter)

Pressure transducer transmitter adalah perangkat yang mengubah besaran tekanan fluida (udara maupun cairan) menjadi sinyal listrik yang proporsional, umumnya berupa sinyal arus standar industri 4–20 mA maupun sinyal tegangan analog. Pada penerapannya, keluaran arus dari transmitter tekanan dapat dikonversi menjadi tegangan menggunakan resistor sensing (shunt resistor) berdasarkan hukum Ohm, sehingga sinyal tersebut dapat dibaca oleh pin analog mikrokontroler tanpa melebihi batas

tegangan input yang diizinkan [1]. Hukum Ohm yang digunakan untuk konversi tersebut dinyatakan sebagai berikut:

$$V = I \times R$$

Keterangan: V adalah tegangan hasil konversi (volt), I adalah arus keluaran pressure transmitter (ampere), dan R adalah nilai hambatan resistor sensing yang dipasang secara seri (ohm). Sebagai contoh, untuk rentang arus keluaran transmitter 4–20 mA dengan resistor sensing tertentu, diperoleh rentang tegangan yang proporsional dan berada dalam batas tegangan input analog mikrokontroler yang aman [1].



Tegangan analog hasil konversi tersebut selanjutnya dibaca oleh pin analog mikrokontroler dan diubah menjadi nilai digital melalui proses analog-to-digital conversion (ADC), dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Nilai Digital} = \left(\frac{V_{in}}{V_{ref}} \right) \times \text{Resolusi ADC}$$

$$\text{Nilai Digital} = \left(\frac{V_{in}}{V_{ref}} \right) \times (2^n - 1)$$

Keterangan: V_{in} adalah tegangan masukan pada pin analog (volt), V_{ref} adalah tegangan referensi ADC mikrokontroler (volt), dan Resolusi ADC adalah rentang nilai digital yang dapat dihasilkan, misalnya 1024 untuk ADC 10-bit. Nilai digital hasil pembacaan ini kemudian dipetakan menjadi nilai tekanan melalui hubungan linear berikut [1]:

$$P = \left[\frac{N_D - N_D(\min)}{N_D(\max) - N_D(\min)} \right] \times (P_{\max} - P_{\min}) + P_{\min}$$

Keterangan: P adalah nilai tekanan hasil konversi (bar atau psi), N_D adalah nilai digital hasil pembacaan ADC, $N_D(\min)$ dan $N_D(\max)$ berturut-turut adalah nilai digital minimum dan maksimum pada rentang pengukuran, sedangkan $P_{\min}$ dan $P_{\max}$ adalah nilai tekanan minimum dan maksimum yang sesuai dengan spesifikasi pressure transducer transmitter yang digunakan. Persamaan (10) memungkinkan nilai digital yang terbaca oleh Arduino Nano untuk langsung dikonversi menjadi nilai tekanan aktual secara real-time, yang selanjutnya menjadi dasar logika kendali dan proteksi tekanan pada sistem [1].

Sensor tekanan perlu dikalibrasi terhadap alat ukur tekanan standar (pressure gauge atau pressure module acuan), sehingga diperoleh hubungan linear antara nilai digital hasil pembacaan ADC dengan nilai tekanan sebenarnya [1], [5]. Hasil kalibrasi tersebut dievaluasi menggunakan beberapa parameter metrologis berikut. Nilai koreksi menyatakan selisih antara nilai acuan dengan nilai hasil pengukuran alat.

Tabel 2. 3 Datasheet Wisner Pressure Transducer

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
Jumlah terminal	3 Terminal
Sambungan ke Arduino Nano	<i>Pin</i> analog A0

2.2.5 Arduino Nano

Arduino Nano merupakan salah satu papan pengembangan (development board) berbasis mikrokontroler AVR berukuran kompak yang banyak digunakan sebagai unit pengolah data dan pengendali pada sistem instrumentasi maupun otomasi berskala kecil hingga menengah. Mikrokontroler jenis Arduino memiliki fitur ADC internal yang memungkinkan pembacaan sinyal tegangan analog dari sensor, termasuk sinyal keluaran pressure transducer transmitter yang telah dikonversi menjadi tegangan, untuk kemudian diolah menjadi nilai tekanan melalui persamaan konversi linear dan ditindaklanjuti sebagai basis logika kendali maupun proteksi sistem [1], [5].

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.

Kemudahan pemrograman melalui Arduino IDE, ukuran board yang ringkas, serta jumlah pin input/output yang memadai menjadikan Arduino Nano sebagai pilihan yang sesuai untuk diintegrasikan pada purwarupa alat press housing lampu berbasis pneumatik yang dilengkapi sistem proteksi tekanan pada penelitian ini.

Tabel 2. 4 Datasheet Arduino Nano

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

2.2.6 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 Datasheet AFR-2000

Spesifikasi	Keterangan
Tipe	AirTAC AFR-2000
Jenis	<i>Filter Regulator</i>
Ukuran <i>port</i>	1/4 inci
Ukuran elemen filter	40 μm
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>

2.2.7 Speed Controller



Gambar 2. 3 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.

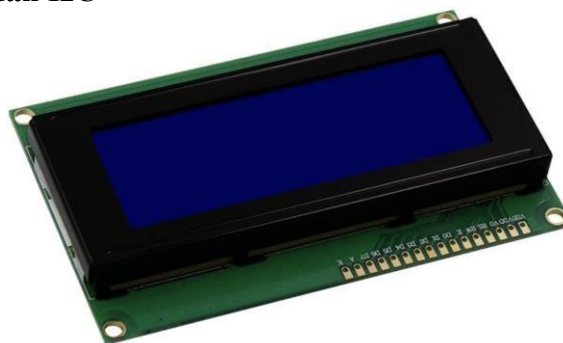
Alat ini dapat diputar searah jarum jam untuk memperkecil aliran udara sehingga gerakan silinder menjadi lebih lambat. Sebaliknya, pemutaran berlawanan arah jarum jam memperbesar aliran udara sehingga silinder menjadi lebih cepat.

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. 6 Datasheet Speed Controller

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

2.2.8 LCD 20 x 4 dan I2C



Gambar 2. 4 LCD 20 x 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. 7 Datasheet LCD

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)

2.2.9 Power Supply Meanwell dual output



Gambar 2. 5 Power Supply MeanWell

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. 8 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

2.2.10 Relay 1 channel 5 v



Gambar 2. 6 Relay 5V

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. 9 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