

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan dalam bidang sistem otomatisasi berbasis mikrokontroler, terutama dalam kontrol pompa udara dan air. Meskipun belum banyak penelitian yang secara langsung mengembangkan pompa senapan angin otomatis, beberapa studi berikut relevan dari segi metode kendali, penggunaan sensor tekanan, serta implementasi aktuator berbasis logika mikrokontroler.

Drost dkk. (2016) merancang sistem pengendalian aliran fluida pulsatif menggunakan Arduino Mega 2560 yang mengontrol motor pompa melalui *pulse width modulation (PWM)* dan *solid state relay*. Sistem ini digunakan untuk menciptakan tekanan yang stabil dan terkontrol secara presisi. Meskipun digunakan untuk penelitian medis, prinsip kontrol tekanan loop tertutup sangat relevan untuk dikembangkan pada pompa senapan angin otomatis.

Irwansyah & Dedi Irawan (2019) merancang sistem pengisian otomatis tabung udara pada sistem pneumatic menggunakan mikrokontroler ATmega328 dan sensor tekanan MPX5050GP. Pompa akan aktif atau mati berdasarkan nilai tekanan yang terbaca, dengan sistem histeresis agar tidak terjadi switching berulang. Pendekatan ini dapat diadopsi untuk menjaga kestabilan tekanan dalam pengisian senapan angin.

Yudha Pratama dkk. (2020) mengembangkan sistem monitoring tekanan tabung udara berbasis ESP32 dan sensor tekanan digital BMP280. Sistem ini tidak hanya menampilkan tekanan secara real-time melalui layar LCD, tetapi juga mengirimkan data ke aplikasi berbasis IoT. Hal ini menunjukkan potensi penggabungan sistem kendali dan pemantauan tekanan secara terintegrasi dalam pompa senapan angin otomatis.

Siti Rahmah & Hendri (2021) menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi tinggi permukaan air dan mengendalikan *Brushless Direct Current (BLDC)* secara otomatis. Logika kontrol ini memberikan inspirasi untuk mengganti sensor tinggi air dengan sensor tekanan pada senapan angin.

Agung Prabowo dkk. (2022) merancang pompa angin otomatis menggunakan sensor tekanan MPX5700AP dan Arduino Nano. Sistem ini bekerja berdasarkan pembacaan tekanan dalam ruang tertutup, dan pompa akan berhenti bekerja saat tekanan mencapai batas tertentu. Penelitian ini relevan karena menggunakan pendekatan otomatisasi tekanan yang serupa dengan prinsip kerja pompa senapan angin.

Dari berbagai studi terdahulu yang bisa dilihat pada Tabel 2.1, dapat disimpulkan bahwa otomatisasi pompa udara berbasis mikrokontroler memiliki potensi besar untuk diterapkan dalam pengisian senapan angin. Meskipun belum banyak riset yang langsung membahas pompa senapan angin, prinsip kerja dan sistem kendali dari pompa air/udara otomatis dapat diadaptasi dan disesuaikan. Dengan menggabungkan mikrokontroler, dan aktuator (motor pompa), sistem ini dapat meningkatkan efisiensi, keamanan, dan kenyamanan dalam pengoperasian senapan angin.

Tabel 2. 1 Tabel Penelitian Terdahulu

Penelitian Terdahulu	Sistem Kontrol dan Sensor	Kelebihan	Kekurangan
<i>Arduino Control of a Pulsatile Flow Rig (arXiv) Sita Drost dkk. (2016)</i>	Arduino Mega 2560 digunakan untuk mengontrol motor pompa melalui PWM dan solid-state relay, menciptakan tekanan fluida yang stabil dan presisi.	Memberikan tekanan stabil dan terukur secara kontinu. Akurat dan cocok untuk sistem tekanan tertutup.	Sistem kompleks, memerlukan tuning PID dan komponen mahal. Belum spesifik untuk senapan angin.
Rancang Bangun Sistem Pengisian Otomatis Tabung Udara Pneumatik Irwansyah & Dedi Irawan (2019)	Menggunakan sensor tekanan MPX5050GP dan mikrokontroler ATmega328. Kontrol pompa otomatis dengan sistem histeresis untuk menjaga kestabilan tekanan.	Mencegah switching berulang. Relevan untuk sistem tekanan seperti senapan angin.	Akurasi bergantung pada kalibrasi sensor. Tidak terhubung ke sistem monitoring eksternal.

Penelitian Terdahulu	Sistem Kontrol dan Sensor	Kelebihan	Kekurangan
Sistem Monitoring Tekanan Berbasis ESP32 dan BMP280 Yudha Pratama dkk. (2020)	Menggunakan ESP32 dan sensor tekanan digital BMP280 untuk memantau tekanan dan mengirim data ke aplikasi IoT.	Menampilkan tekanan real-time di LCD dan bisa terintegrasi dengan aplikasi. Cocok untuk sistem pemantauan tekanan senapan angin otomatis.	Sistem hanya monitoring, tidak mengontrol pompa secara langsung. Membutuhkan koneksi internet untuk fitur IoT..
Sistem Pompa Otomatis Berbasis Sensor Ultrasonik Siti Rahmah & Hendri (2021)	Menggunakan sensor ultrasonik untuk membaca tinggi permukaan cairan, dan Arduino untuk mengontrol pompa BLDC.	Sistem full otomatis. Efisien untuk kebutuhan rumah tangga dan irigasi.	Tidak cocok untuk udara. Tidak dirancang untuk tekanan spesifik seperti kebutuhan senapan angin.
Rancang Bangun Pompa Angin Mini Berbasis Arduino Agung Prabowo dkk. (2022)	Menggunakan sensor tekanan MPX5700AP dan Arduino Nano untuk membaca tekanan udara. Pompa dikendalikan otomatis berdasarkan nilai ambang batas.	Sistem mampu mematikan pompa saat tekanan target tercapai. Desain sederhana dan hemat daya..	Tidak memiliki sistem venting otomatis. Tidak dirancang untuk tekanan tinggi seperti pada senapan PCP.

2.2 Landasan Teori

Pada bagian ini berisi landasan teori yang akan digunakan sebagai dasar dalam proses pembuatan proyek akhir. Pada bagian ini, yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

2.2.1 *Foot Pump*

Foot pump adalah jenis pompa mekanis yang memanfaatkan gaya tekan dari kaki untuk menghasilkan udara bertekanan. Pompa ini umumnya digunakan dalam aplikasi pengisian angin pada ban atau perangkat pneumatik sederhana. Dalam sistem konvensional, tekanan dihasilkan melalui gerakan piston dalam silinder yang dikompresi dengan tenaga kaki pengguna. Namun, dalam proyek ini, *foot pump* akan dimodifikasi menjadi sistem otomatis yang digerakkan oleh motor *DC*. Pompa tetap mempertahankan desain piston-silinder, tetapi digerakkan oleh sistem mekanik berbasis rantai dan *gear box*. Transformasi ini bertujuan untuk menghilangkan keterlibatan langsung dari pengguna. *Foot pump* dipilih karena strukturnya yang kokoh, kemampuan menghasilkan tekanan tinggi, dan kemudahan integrasi mekanis. Keunggulan lainnya adalah fleksibilitas dalam pengaturan stroke dan tekanan maksimum yang dihasilkan. Sistem ini akan dilengkapi dengan kontrol digital untuk memastikan proses pengisian berjalan otomatis hingga tekanan target tercapai. Dalam penelitian von Ritgen dkk. (2013), *foot pump* bahkan digunakan untuk ventilasi darurat pada kuda besar, membuktikan kemampuannya menghasilkan tekanan tinggi secara manual, sehingga mendukung penerapannya pada sistem ini. Gambar *foot pump* dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 *Foot Pump*

2.2.2 Motor *DC*

Motor *DC* adalah komponen penggerak utama dalam sistem ini yang bekerja dengan arus searah. Motor *DC* dipilih karena kemampuannya memberikan torsi yang cukup besar pada kecepatan rendah. Prinsip kerja motor ini melibatkan interaksi medan magnet permanen pada stator dengan arus listrik yang mengalir di lilitan, menghasilkan gerakan rotasi. Dalam proyek ini, motor *DC* digunakan untuk menggantikan tenaga kaki dalam menggerakkan *foot pump*. Output torsi dari motor akan ditransmisikan ke pompa melalui sistem *gear box* dan rantai. Untuk mencapai tekanan hingga 3.000 *psi*, motor harus mampu menghasilkan torsi tinggi, dan ini biasanya memerlukan kombinasi motor dengan *gear box* berperbandingan besar. Motor juga harus kompatibel dengan relay agar dapat dikendalikan oleh mikrokontroler. Perhitungan kebutuhan torsi, efisiensi motor, dan konsumsi daya sangat penting dalam pemilihannya. Hal ini menunjukkan bahwa motor *DC* sangat relevan digunakan sebagai penggerak utama dalam proyek ini. Gambar motor *dc* dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Motor *DC*

2.2.3 *Pressure Gauge*

Pressure gauge merupakan alat yang digunakan untuk mengukur tekanan udara di dalam suatu sistem tertutup. Dalam sistem pompa senapan angin berbasis mikrokontroler, *pressure gauge* digunakan sebagai umpan balik utama untuk menentukan kapan proses pemompaan harus dihentikan.



Gambar 2. 3 *Pressure Gauge*

Apabila tekanan aktual telah melebihi ambang batas, maka Arduino akan mematikan motor untuk menghindari *overpressure*. Sebagai contoh, Lupinski dkk. (2020) mengembangkan pompa cairan berbasis Arduino dengan sensor tekanan *MPRLS* dan motor *DC*, yang mampu mempertahankan tekanan konstan hingga 97 *kPa*. Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi sensor tekanan dengan mikrokontroler efektif menjaga kestabilan tekanan pada sistem otomatis. Gambar *pressure gauge* dapat dilihat pada Gambar 2.3.

2.2.4 Rantai

Rantai adalah elemen transmisi daya mekanis yang digunakan untuk menyalurkan torsi dari motor ke sistem pompa. Dalam sistem ini, rantai berperan penting untuk mentransmisikan gerakan rotasi motor menjadi gerakan linier atau osilasi pada pedal *foot pump*. Rantai umumnya terbuat dari baja karbon atau baja tahan karat dan dirancang untuk menahan beban tarik tinggi. Sistem rantai terdiri dari mata rantai dan *sprocket* (roda gigi), yang bergerak secara sinkron saat motor berputar. Gambar rantai dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Rantai

Keuntungan penggunaan rantai dibanding sabuk karet adalah efisiensi transmisi yang tinggi dan ketahanan terhadap selip atau kehilangan daya. Dalam

sistem dengan beban berat dan gerakan berulang, rantai memberikan ketahanan yang lebih baik terhadap *deformasi*. Namun, rantai juga memerlukan pelumasan dan penyetelan tegangan secara berkala untuk menjaga kinerja optimal. Perancangan sistem rantai perlu memperhitungkan panjang rantai, jumlah mata rantai, dan diameter sprocket untuk menghasilkan rasio torsi dan kecepatan yang sesuai. Pemasangan yang tidak sejajar atau tegangan yang terlalu longgar dapat menyebabkan getaran dan kerusakan komponen.

2.2.5 Gear Box

Gear box adalah sistem mekanik yang terdiri dari beberapa roda gigi yang digunakan untuk mengatur rasio antara torsi dan kecepatan rotasi. *Gear box* sangat penting dalam sistem pompa karena motor *DC* yang digunakan biasanya memiliki kecepatan tinggi dan torsi rendah. Dengan menggunakan *gear box* berperbandingan tinggi (misalnya 50:1), kecepatan motor diturunkan tetapi torsi output meningkat, yang dibutuhkan untuk menggerakkan pompa. *Gear box* dapat berbentuk spur, *planetary*, atau *worm gear*, masing-masing dengan karakteristik efisiensi dan arah output yang berbeda. Dalam sistem ini, jenis *planetary gear* biasanya lebih disukai karena efisiensinya yang tinggi dan distribusi beban yang merata. Gambar *gear box* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 *Gear Box*

Gear box harus dirancang agar mampu menahan gaya tekan dan beban aksial dari sistem pompa. Perhitungan gear ratio melibatkan analisis gaya pada piston, panjang stroke, serta kecepatan siklus pompa yang diinginkan. Selain itu, *gear box* harus kompatibel dengan output shaft motor dan sistem penghubung ke mekanisme rantai. Pelumasan juga menjadi perhatian agar *gear box* tidak cepat aus saat bekerja pada tekanan tinggi.

2.2.6 Arduino

Arduino adalah *platform* mikrokontroler *open-source* berbasis chip ATmega yang memungkinkan pengguna mengontrol perangkat elektronik dengan pemrograman yang sederhana. Dalam sistem pompa otomatis, Arduino berperan sebagai pusat kendali yang menerima input dari *keypad*, serta memberikan output ke motor melalui *relay*. Arduino memiliki fitur *I/O* digital dan analog, serta antarmuka komunikasi serial seperti *UART*, *SPI*, dan *I2C*. Salah satu keunggulannya adalah ekosistem *library* yang luas, yang memudahkan pengembangan sistem prototipe. Pada proyek ini, Arduino akan menjalankan program logika kendali yang memutuskan kapan motor harus dinyalakan atau dimatikan, berdasarkan nilai tekanan aktual dibanding nilai target. Arduino juga dapat digunakan untuk menampilkan status sistem melalui LCD, menyimpan data log tekanan, dan bahkan terhubung ke perangkat nirkabel jika diperlukan. Fleksibilitas dan kemudahan pemrogramannya menjadikan Arduino sangat ideal untuk aplikasi sistem otomatisasi berbasis tekanan. Arduino Uno cukup memadai untuk aplikasi ini, namun jika jumlah sensor atau aktuator meningkat, maka Arduino Mega dapat dipertimbangkan. Drost dkk. (2016) menunjukkan penggunaan Arduino dalam sistem *pulsatile flow rig* yang mengendalikan gear pump. Sistem tersebut mampu menghasilkan aliran fisiologis dengan akurasi tinggi dan kesalahan kurang dari 3,6%. Hal ini membuktikan bahwa Arduino sangat andal dalam mengontrol sistem pompa otomatis berbasis feedback sensor. Gambar Arduino dapat dilihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2. 6 *Arduino*

2.2.7 Keypad

Keypad merupakan modul *input* yang terdiri dari tombol-tombol yang disusun dalam format matriks (misalnya 3x4 atau 4x4). Keypad digunakan sebagai antarmuka antara pengguna dan sistem, yang memungkinkan pengguna untuk

memasukkan nilai tekanan yang diinginkan, mengaktifkan atau menonaktifkan sistem, serta mengatur parameter lainnya. Arduino membaca input dari *keypad* dengan teknik pemindaian baris dan kolom, dan data input dapat diolah untuk menjalankan perintah tertentu. Dalam proyek ini, nilai tekanan target yang dimasukkan melalui *keypad* akan digunakan sebagai referensi untuk sistem kendali tekanan. Setelah tekanan tercapai, Arduino akan secara otomatis memutus aliran listrik ke motor. Penggunaan *keypad* memberikan keuntungan dari sisi fleksibilitas dan kontrol pengguna, serta menghindari kebutuhan perangkat lunak eksternal. Keypad juga dapat dipadukan dengan LCD untuk menampilkan input dan status sistem secara real-time. Keandalan tombol serta *debounce logic* menjadi faktor penting agar sistem tidak membaca input ganda secara tidak sengaja. Pemasangan *keypad* harus memperhatikan ergonomi dan kemudahan akses pengguna. Gambar *Keypad* dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2. 7 Keypad

2.2.8 Baterai (accu)

Baterai atau aki, atau bisa juga *accu* adalah sebuah sel listrik dimana di dalamnya berlangsung proses elektrokimia yang *reversibel* (dapat berbalikan) dengan efisiensinya yang tinggi. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia *reversibel* adalah di dalam baterai dapat berlangsung proses perubahan kimia menjadi tenaga listrik (proses pengosongan), dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia, pengisian kembali dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai, yaitu dengan melewati arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan di dalam sel.



Gambar 2. 8 Baterai 24 V

Baterai atau aki pada mobil berfungsi untuk menyimpan energi listrik dalam bentuk energi kimia, yang akan digunakan untuk mensuplai (menyediakan) listrik ke sistem starter, sistem pengapian, lampu-lampu dan komponen-komponen kelistrikan lainnya. Gambar baterai dapat dilihat pada Gambar 2.8.

2.2.9 Solid State Relay

Solid State Relay (SSR) adalah perangkat saklar elektronik yang berfungsi sama seperti *relay* konvensional, yaitu menghubungkan atau memutuskan arus listrik pada suatu rangkaian, namun bekerja tanpa komponen mekanis. SSR memanfaatkan komponen semikonduktor seperti transistor, thyristor, atau triac sebagai elemen switching sehingga proses kerja berlangsung lebih cepat, lebih senyap, dan memiliki umur pakai lebih lama dibandingkan relay elektromekanis (EMR). Karena tidak memiliki kontak fisik yang bergerak, SSR juga lebih andal untuk aplikasi dengan frekuensi switching tinggi serta mampu mengurangi percikan listrik (arcing) yang biasa terjadi pada kontak mekanis. Input pada SSR umumnya berupa sinyal tegangan rendah dari mikrokontroler atau rangkaian kendali lain, sedangkan output dapat mengendalikan beban listrik dengan tegangan dan arus yang jauh lebih besar. *Solid state relay* dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Solid State Relay

2.2.10 Relay

A Siemens 3TK17-13LC13 24V AC relay. The device has a transparent plastic housing and a black terminal block with six pins. The label on the side of the housing includes the Siemens logo, the model number 3TK17-13LC13, the voltage rating 24V AC, and the power rating 10A 277V AC RES. The terminal block is labeled with 1, 2, 3, 4, 5, and 6.

15

