

Sistem Kontrol Berat Pada *Two Stage Filling Gate Valve Hopper Bagging Pupuk* Untuk Meminimalisir Terjadinya *Underweight* Dan *Overweight*

Satriya Dewantoro¹, Ilham Agung Wicaksono^{2,*}, Slamet Budiprayitno³, Lutfir Rahman Aliffianto⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknologi Rekayasa Otomasi

Email: ¹satriyadewantoro@gmail.com, ²ilham.agung@its.ac.id, ³slametbp@its.ac.id, ⁴lrahman@its.ac.id

*Penulis Korespondensi

Abstrak

Perusahaan produsen pupuk menghadapi tantangan dalam proses produksi pupuk, khususnya pada proses pengantongan (*bagging*), di mana sering terjadi ketidaksesuaian berat produk (*underweight* atau *overweight*) yang berdampak pada biaya produksi. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan *Sistem Two Stage Filling Gate Valve Hopper* dengan menerapkan kontrol logika percabangan untuk meminimalisir kesalahan berat produk. Sistem ini dirancang menggunakan *pneumatic servo system* dengan kontrol logika percabangan, sehingga menghasilkan sistem yang lebih presisi dibandingkan sebelumnya. Hasil implementasi menunjukkan bahwa dengan melakukan logika percabangan, sistem mampu meningkatkan stabilitas dan akurasi sistem, mengurangi persentase kesalahan hingga 0.48%, serta menghilangkan kebutuhan kalibrasi manual yang berulang. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi dalam meningkatkan efisiensi proses pengantongan pupuk dan kualitas produk, sehingga memperkuat daya saing Perusahaan produsen pupuk di pasar industri pupuk.

Kata kunci: Efisiensi Pengantongan, Optimasi Proses Produksi, Sistem Pneumatik, *Two Stage Filling Gate Valve Hopper*

Abstract

Fertilizer production companies face challenges in the fertilizer production process, especially in the bagging process, where there is often a mismatch in product weight (*underweight* or *overweight*) that has an impact on production costs. This study aims to optimize the *Two Stage Filling Gate Valve Hopper System* by applying branching logic control to minimize product weight errors. This system is designed using a *pneumatic servo system* with branching logic control, resulting in a more precise system than before. The results of the implementation showed that by performing branching logic, the system was able to improve the stability and accuracy of the system, reduce the error percentage by 0.48%, and eliminate the need for repetitive manual calibration. Thus, this research contributes to improving the efficiency of the fertilizer bagging process and product quality, thereby strengthening the competitiveness of fertilizer producing companies in the fertilizer industry market.

Keywords: Bagging Efficiency, Production Process Optimization, Pneumatic System, *Two Stage Filling Gate Valve Hopper*

I. PENDAHULUAN

Pertanian merupakan sektor ekonomi yang memberikan berbagai manfaat, seperti ketahanan pangan dan layanan ekosistem[1]. Majunya dunia pertanian juga didukung dengan adanya persaingan industri khususnya industri pupuk yang mengharuskan para produsen untuk menghasilkan produk berkualitas dengan harga yang ekonomis. Untuk menghasilkan produk berupa pupuk yang berkualitas, maka diperlukan proses produksi di Departemen Produksi yang dimulai dari pengolahan bahan baku, yang kemudian diproses sampai menjadi pupuk yang siap dikantongi di Departemen Pengantongan. Proses produksi inilah yang memiliki pengaruh pada harga jual produk di pasaran, oleh karena itu banyak produsen pupuk berusaha menekan biaya produksi dengan memanfaatkan kemajuan teknologi pada sistem produksi.

Ketidakkonsistenan dalam berat produk merupakan permasalahan yang kerap terjadi dalam pengelolaan fasilitas pengemasan dan berdampak langsung pada efisiensi operasional serta mutu produk akhir. Berbagai studi sebelumnya telah mengidentifikasi isu terkait produk yang mengalami kelebihan maupun kekurangan berat. Misalnya, ditemukan adanya kelebihan berat produk di industri makanan, yang berimplikasi pada pemborosan bahan baku dan kerugian ekonomi[2]. Di sektor industri semen, juga

ditemukan variasi signifikan dalam berat produk yang dapat memengaruhi konsistensi kualitas [3]. Selain itu, kasus pengisian berlebih dan kurang pada kemasan makanan di Serbia menunjukkan bahwa ketidaktepatan dalam proses pengisian dapat mengurangi kepercayaan konsumen dan menimbulkan ketidaksesuaian terhadap standar yang berlaku[4]. Temuan-temuan tersebut menegaskan pentingnya sistem pengendalian berat yang andal dalam proses produksi dan pengemasan.

Berdasarkan fakta di lapangan, sudah diterapkan kemajuan teknologi pada sistem produksi terutama pada proses pengantongan (*bagging*) untuk menghasilkan produk yang berkualitas. Produk berkualitas merupakan produk yang mampu memenuhi harapan konsumen terhadap barang dan jasa yang ditawarkan[5]. Namun dapat dilihat pada realitanya, masih terdapat masalah berupa potensi kerugian pada saat proses pengantongan. Hal ini dapat dilihat dari hasil sampling berat produk dalam kemasan yang sering terjadi *underweight* atau *overweight* dari standard berat produk yang telah ditentukan. Masalah ini disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya dikarenakan oleh mekanisme sistem *pneumatic pada Two Stage Filling Gate Valve Hopper* sistem pengantongan yang masih menggunakan *Close Loop System* yang belum optimal, karena aktuatur dalam hal ini yaitu *Pneumatic Cylinder* hanya beroperasi dengan sistem on / off.

Maka dari itu agar masalah ini tidak menimbulkan kerugian yang besar dan berkelanjutan, maka perlu dilakukan optimasi pada *Close Loop System* agar aktuatur dapat beroperasi sesuai dengan *set point* yang telah ditentukan, sehingga dapat meminimalisir terjadinya *underweight* dan *overweight* pada proses pengantongan. *Close loop System* merupakan suatu sistem yang nilai atau angka keluarannya mempengaruhi hasil dan referensi yang jadi nilai masukan (*input*) pada sistem tersebut, dan sistem *close loop* ini memiliki umpan balik (*feedback*) terhadap referensi yang telah ditentukan sebelumnya[6]. Masalah ini memang tidak merugikan konsumen, tetapi secara tidak langsung akan merugikan perusahaan khususnya pada biaya produksi yang akan jauh melambung tinggi. Namun, dalam transaksi perdagangan konsumen mutlak untuk diberi perlindungan[7]. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengatasi masalah tersebut dengan merancang Sistem Kontrol Berat pada *Two Stage Filling Gate Valve Hopper* dengan sistem kontrol logika percabangan agar poses pengantongan yang saat ini sudah berjalan bisa lebih optimal sehingga meminimalisir potensi terjadinya berat produk yang *underweight* atau *overweight* pada proses pengantongan produk pupuk. Penggunaan *pneumatic servo system* pada ini sudah banyak diaplikasikan di industri karena murah, ringan, bersih, mudah dirakit, dan menciptakan rasio gaya/berat yang baik[8]. Selain itu, pneumatik juga memiliki keunggulan berupa biaya rendah, bersih, dan memberikan rasio daya terhadap berat yang tinggi [9].

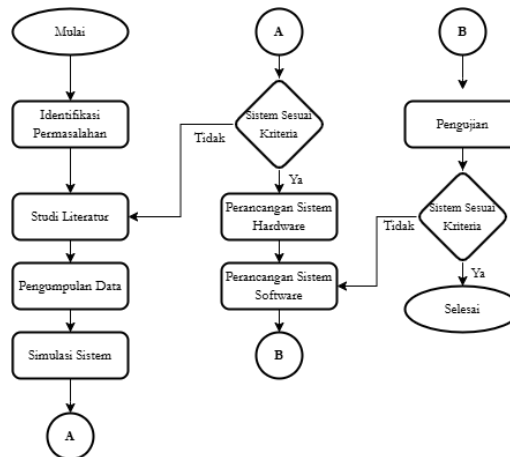
Dengan demikian, harapan dari penelitian ini tidak hanya menyelesaikan permasalahan yang telah ada, tetapi juga dapat meningkatkan ketepatan, stabilitas, dan responsibilitas sistem sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan optimasi dalam proses pengantongan. Berdasarkan data *sampling* pengujian penimbangan berat pupuk yang telah dikantongi (dikemas) didapatkan presentase eror dari sistem pengantongan dengan nilai rata-rata sejumlah 1,2%. Munculnya nilai presentasi eror dengan jumlah demikian, disebabkan pada saat proses sampling dilakukan kemudian terindikasi eror atau terjadinya *underweight* atau *overweight*, maka pada saat itu juga operator pengantongan yang ada di lapangan langsung melakukan proses kalibrasi sistem timbangan secara manual dan berkala pada saat proses sampling dilakukan. Kalibrasi ini bertujuan untuk memverifikasi bahwa suatu alat ukur sesuai dengan rancangannya[10]. Proses ini dilakukan berulang kali dan terus menerus oleh operator sehingga menyebabkan proses pengantongan yang tidak efisien dan tidak optimal.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian yang berjudul Sistem Kontrol *Two-Stage Filling Gate Valve Hopper* untuk Meminimalisir Terjadinya *Underweight* dan *Overweight* ini bertujuan memecahkan permasalahan ketidaksesuaian massa, baik kekurangan (*underweight*) maupun kelebihan (*overweight*) pada proses pengantongan pupuk. Upaya tersebut ditempuh dengan menerapkan logika kendali *if-else* ke dalam skema *Two-Stage Filling* sehingga aliran material dapat diatur secara bertahap dan lebih presisi. Melalui mekanisme kendali bersyarat ini, sistem secara otomatis mengoreksi laju pengisian berdasarkan masukan dari sensor beban, sehingga berat akhir setiap kantong pupuk berada dalam rentang toleransi standar yang telah ditetapkan. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan akurasi pengisian, tetapi juga berkontribusi pada efisiensi proses produksi dan pengurangan potensi pemborosan. Berikut ini merupakan diagram alir penelitian, dan juga desain dari arsitektur sistem,

2.1 Diagram Alir Penelitian

Proses penelitian Sistem Kontrol *Two Stage Filling Gate Valve Hopper* untuk Meminimalisir Terjadinya *Underweight* dan *Overweight* ditunjukkan Gambar 2.1 berikut ini,



Gambar 2. 1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dijelaskan sebagai berikut,

1) Identifikasi Permasalahan

Langkah awal yang dilakukan dalam penelitian ini ialah melakukan identifikasi permasalahan pada sistem yang dijadikan objek kajian, yaitu sistem *Two-Stage Filling Gate Valve Hopper*. Identifikasi ini bertujuan untuk mengetahui secara jelas sumber ketidaktepatan pengisian berat, baik berupa kekurangan (*underweight*) maupun kelebihan (*overweight*) pada proses pengantongan pupuk. Proses ini dilakukan melalui pengamatan langsung terhadap kinerja sistem, analisis data hasil pengisian sebelumnya, serta diskusi dengan operator lapangan guna memperoleh informasi mengenai kendala teknis yang sering terjadi. Hasil dari tahap ini menjadi dasar dalam perancangan sistem kontrol yang lebih efektif dan adaptif terhadap dinamika proses pengisian.

2) Studi Literatur

Setelah proses identifikasi permasalahan selesai dilaksanakan, langkah selanjutnya adalah melakukan studi literatur. Studi ini bertujuan untuk memperoleh landasan teori yang relevan guna mendukung perancangan sistem kontrol yang akan dikembangkan. Kegiatan ini mencakup penelusuran berbagai referensi ilmiah, seperti jurnal, buku, dan laporan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan sistem pengisian dua tahap (*two-stage filling*), metode pengendalian berat menggunakan logika if-else, serta penerapan aktuator dan sensor dalam sistem otomatisasi industri. Melalui studi literatur, peneliti dapat memahami prinsip kerja komponen yang digunakan, membandingkan pendekatan-pendekatan yang telah ada, serta mengidentifikasi celah penelitian yang dapat dijadikan dasar inovasi dalam pengembangan sistem yang lebih akurat dan efisien.

3) Pengumpulan Data

Setelah proses identifikasi permasalahan selesai dilakukan, langkah selanjutnya yang ditempuh adalah melakukan pengumpulan data. Tahapan ini bertujuan untuk memperoleh informasi kuantitatif dan kualitatif yang dibutuhkan sebagai dasar perancangan dan pengujian sistem kontrol. Data yang dikumpulkan meliputi hasil pembacaan sensor beban (*load cell*), waktu respon aktuator, serta parameter-parameter teknis lain yang berhubungan dengan proses pengisian material ke dalam kemasan. Proses pengumpulan data dilakukan secara sistematis melalui pengamatan langsung, pencatatan hasil uji coba sistem eksisting, dan dokumentasi kondisi lingkungan kerja. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis untuk mengidentifikasi pola, variasi, serta deviasi yang terjadi selama proses pengisian, sehingga dapat dijadikan acuan dalam pengembangan logika kontrol yang lebih presisi dan adaptif.

4) Simulasi Sistem

Setelah proses pengumpulan data dilakukan, langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi sistem. Simulasi ini bertujuan untuk menguji kinerja rancangan logika kontrol dalam kondisi yang

mendekati keadaan nyata sebelum diterapkan pada sistem fisik. Dengan menggunakan data yang telah diperoleh sebelumnya, simulasi dilakukan untuk memodelkan respons sistem terhadap berbagai skenario pengisian, termasuk kondisi *underweight* dan *overweight*. Melalui simulasi ini, peneliti dapat mengevaluasi efektivitas logika *if-else* yang diterapkan, menyesuaikan parameter kontrol, serta mengidentifikasi potensi kesalahan atau kelemahan dalam desain sistem. Hasil simulasi menjadi dasar pertimbangan dalam tahap implementasi, guna memastikan bahwa sistem yang dikembangkan mampu beroperasi secara optimal dan stabil sesuai dengan tujuan penelitian.

5) Perancangan *Hardware*

Jika hasil simulasi sistem menunjukkan bahwa kinerja sistem telah sesuai dengan kriteria yang ditetapkan, maka langkah selanjutnya yang dilakukan adalah merancang perangkat keras (*hardware*). Perancangan ini mencakup pemilihan dan konfigurasi komponen seperti mikrokontroler, sensor beban (*load cell*), aktuator pneumatik, serta sistem kontrol berbasis logika yang telah diuji pada tahap simulasi. Namun, apabila hasil simulasi belum memenuhi kriteria atau menunjukkan performa yang tidak stabil, maka langkah yang diambil adalah melakukan studi literatur kembali. Studi lanjutan ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mencari pendekatan alternatif dalam desain sistem, logika kontrol, atau metode pengendalian yang lebih tepat. Dengan demikian, proses pengembangan sistem dilakukan secara iteratif agar solusi yang dihasilkan benar-benar efektif, efisien, dan sesuai dengan kebutuhan lapangan.

6) Perancangan *Software*

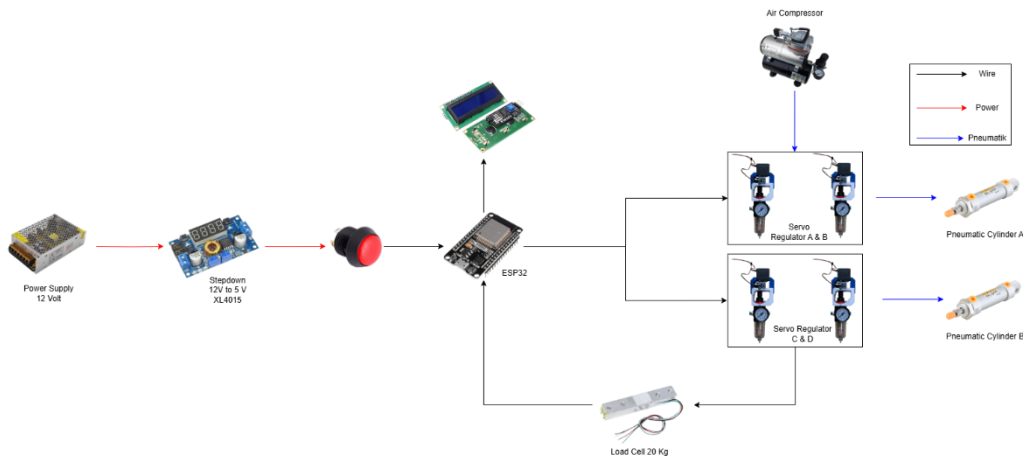
Setelah perancangan *hardware* selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah perancangan *software*. Perancangan *software* ini mencakup pengembangan program kendali yang akan diimplementasikan pada mikrokontroler untuk mengatur kerja seluruh komponen sistem, seperti pembacaan data dari sensor beban, pengendalian aktuator pneumatik melalui logika *if-else*, serta penerapan algoritma kontrol *two stage filling* yang dirancang. Selain itu, *software* juga dirancang untuk memungkinkan proses *monitoring* dan *debugging* agar sistem dapat dioperasikan dan dievaluasi dengan lebih mudah. Dengan adanya sinkronisasi antara *hardware* dan *software*, sistem diharapkan dapat berfungsi secara terpadu dan responsif terhadap dinamika proses pengisian.

7) Pengujian Sistem

Setelah terjadi sinkronisasi antara *hardware* dan *software*, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah pengujian keseluruhan sistem. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh komponen sistem dapat beroperasi secara terpadu dan sesuai dengan fungsinya masing-masing. Pengujian dilakukan dengan menjalankan sistem secara menyeluruh dalam kondisi nyata, mulai dari proses inisialisasi, pembacaan data berat oleh sensor, pengendalian aktuator berdasarkan logika kontrol, hingga evaluasi hasil akhir pengisian. Selama proses ini, dilakukan pengamatan terhadap kestabilan sistem, keakuratan pencapaian setpoint, serta kemampuan sistem dalam meminimalkan terjadinya *underweight* dan *overweight*. Hasil dari pengujian ini digunakan untuk menilai performa sistem secara umum dan menentukan apakah diperlukan penyempurnaan lebih lanjut sebelum sistem diimplementasikan secara penuh.

2.2 Desain Arsitektur Sistem

Pada Gambar 2.2 dapat dilihat bahwa arsitektur pada sistem ini terdiri dari komponen elektronik dan pneumatik. Sumber tegangan komponen elektronik pada sistem ini disuplai oleh sebuah *power supply* 12V yang kemudian diturunkan tegangannya menggunakan modul *step down* XL4015, lalu tegangan tersebut yang akan mengaktifkan kontroler berupa ESP32. Dalam hal ini, ESP32 berperan sebagai pengendali utama yang bertanggung jawab untuk memproses data input yang berasal dari *load cell*. Yang kemudian ESP32 akan memproses data ini dan menghasilkan output berupa sinyal PWM yang digunakan untuk mengatur posisi motor servo berdasarkan sudut yang sesuai. Berdasarkan sesuai sudut motor servo inilah, maka air pressure regulator akan membuka atau menutup katup sehingga tekanan udara yang didapatkan dari *air compressor* akan mengalir menuju *pneumatic cylinder* untuk bergerak berdasarkan besar kecilnya tekanan yang diterima. Dengan Bergeraknya *pneumatic cylinder* inilah *gate valve* akan terbuka sehingga pupuk akan jatuh dan mengalir ke *material scale* sehingga pupuk siap untuk dikantongi.



Gambar 2. 2 Desain Arsitektur Sistem

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Kalibrasi Load Cell

Kalibrasi *load cell* dilakukan untuk memastikan bahwa sensor tersebut dapat memberikan hasil pengukuran massa secara akurat dan konsisten sesuai dengan standar yang ditetapkan. Kalibrasi dilakukan dengan cara membandingkan pembacaan *load cell* terhadap nilai referensi yang telah diketahui, seperti beban standar atau alat ukur bersertifikasi. Pada proses kalibrasi ini digunakan beban seberat 1000 Gram berupa kotak *toolbox* yang berfungsi sebagai beban referensi.

Dalam proses kalibrasi sensor *load cell* berbasis modul HX711, pembacaan awal sensor masih berupa nilai digital mentah (*raw data*) yang belum merepresentasikan satuan berat secara langsung. Oleh karena itu, diperlukan suatu faktor kalibrasi (*calibration factor*) yang berfungsi untuk mengubah nilai mentah tersebut menjadi nilai berat dalam satuan gram atau kilogram. Faktor kalibrasi ini diperoleh melalui perbandingan antara massa yang diketahui secara pasti (*massa referensi*) dengan nilai mentah yang dihasilkan oleh sensor saat massa tersebut diletakkan pada *load cell*. Secara matematis, faktor kalibrasi dihitung dengan rumus berikut,

$$\text{Faktor Kalibrasi} = \frac{\text{Massa Referensi (gram)}}{\text{Nilai Mentah HX711}} \quad [1]$$

Rumus ini secara implisit diterapkan dalam program melalui pemanggilan fungsi berikut,
getNewCalibration(known_mass)

Fungsi tersebut ada pada pustaka HX711_ADC, yang menghasilkan nilai kalibrasi baru berdasarkan input massa yang diberikan. Nilai hasil perhitungan ini selanjutnya digunakan dengan *setCalFactor()* agar pembacaan sensor dapat langsung dikonversi menjadi berat yang aktual, dan dapat pula disimpan secara permanen ke dalam EEPROM untuk mempertahankan kalibrasi meskipun perangkat dimatikan.

Berikut pada tabel 3.1 merupakan nilai hasil kalibrasi load cell dengan beban 1000 Gram,

Tabel 3. 1 Data Hasil Kalibrasi Load Cell

Waktu	Referensi Berat	Berat Terdeteksi	Presentase Error
19:47:29:572	1000 Gram	1005,23 Gram	0,52 %
19:47:29:667	1000 Gram	1007,52 Gram	0,75 %
19:47:29:763	1000 Gram	1009,83 Gram	0,98 %
19:47:29:860	1000 Gram	1012,18 Gram	1,22 %
19:47:29:907	1000 Gram	1014,53 Gram	1,45 %
19:47:30:003	1000 Gram	1016,82 Gram	1,68 %
19:47:30:099	1000 Gram	1019,11 Gram	1,91 %
19:47:30:195	1000 Gram	1021,3 Gram	2,13 %
19:47:30:292	1000 Gram	1023,63 Gram	2,36 %
19:47:30:388	1000 Gram	1025,82 Gram	2,58 %
-	-	Rata - Rata	1.56 %

3.2. Pengujian Load Cell

Pengujian *load cell* dilakukan untuk mengevaluasi tingkat akurasi, linearitas, dan konsistensi sensor dalam mengukur berbagai massa atau beban. Dengan menguji *load cell* pada beberapa nilai beban yang berbeda, dapat diketahui sejauh mana sensor mampu memberikan hasil pengukuran yang mendekati nilai sebenarnya pada setiap variasi beban. Pengujian ini juga berguna untuk mengidentifikasi adanya penyimpangan atau kesalahan sistematis yang mungkin terjadi dalam rentang kerja sensor. Hasil dari pengujian ini akan menjadi dasar dalam menentukan keandalan *load cell* dalam aplikasi nyata serta menjadi acuan dalam proses kalibrasi lanjutan jika diperlukan. Dengan demikian, pengujian multibeban ini sangat penting guna menjamin performa sistem pengukuran yang stabil dan presisi. Pada tabel 3.2 menampilkan hasil dari pengujian *load cell* dengan beberapa beban yang bervariasi, dan didapatkan hasil presentase error rata-rata sebesar 1.94 %.

Tabel 3. 2 Data Hasil Pengujian Load Cell

Sampel	Berat Real	Berat Terdeteksi	Presentase Error
Sampel 1	770 Gram	785 Gram	1,95 %
Sampel 2	1260 Gram	1252,81 Gram	0,57 %
Sampel 3	2045 Gram	2083,82 Gram	1,90 %
Sampel 4	285 Gram	288,61 Gram	1,27 %
Sampel 5	360 Gram	372,69 Gram	3,53 %
Sampel 6	340 Gram	346,49 Gram	1,91 %
Sampel 7	405 Gram	421,28 Gram	4,02 %
Sampel 8	475 Gram	487,9 Gram	2,72 %
Sampel 9	550 Gram	563,88 Gram	2,52 %
Sampel 10	2000 Gram	2070,72 Gram	3,54 %
Sampel 11	5,335 Gram	5,457 Gram	2,29 %
Sampel 12	2065 Gram	2134 Gram	3,34 %
Sampel 13	2590 Gram	2677 Gram	3,36 %
Sampel 14	3080 Gram	3096 Gram	0,52 %
Sampel 15	1370 Gram	1402 Gram	2,34 %
Sampel 16	835 Gram	856 Gram	2,51 %
Sampel 17	880 Gram	880,5 Gram	0,06 %
Sampel 18	2050 Gram	2050,78 Gram	0,04 %
Sampel 19	865 Gram	869 Gram	0,46 %

Sampel 20	3005 Gram	3006,16 Gram	0,04 %
-	-	Rata - Rata	1.94%

3.3 Pengujian Motor Servo

Pengujian motor servo dilakukan untuk memastikan bahwa aktuator tersebut dapat berfungsi secara optimal sesuai dengan spesifikasi teknis yang ditetapkan. Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi respons servo terhadap sinyal kendali yang diberikan, baik dalam hal arah putaran, kecepatan, maupun sudut pergerakan. Selain itu, pengujian juga bertujuan untuk mengidentifikasi potensi gangguan seperti ketidakakuratan posisi, keterlambatan respon, atau kegagalan fungsi lainnya. Dengan melakukan pengujian secara menyeluruh, dapat dipastikan bahwa motor servo mampu bekerja secara andal dan presisi dalam sistem kendali otomatis yang dirancang.

Tabel 3. 3 Standar Nilai Pulse Pengujian Motor Servo

Nilai Pulse	Action
1500	Servo Diam
1500 - 2000	Servo Bergerak ClockWise (CW)
1000 - 1500	Servo Bergerak Counter ClockWise (CCW)

Pada pengujian motor servo 360 derajat, pengendalian arah dan kecepatan putaran servo dilakukan dengan memberikan sinyal berupa nilai pulsa (*pulse*) tertentu. Berdasarkan hasil pengujian, diketahui bahwa ketika nilai pulsa yang diberikan adalah 1500, motor servo berada dalam kondisi diam atau tidak bergerak. Jika nilai pulsa yang diberikan lebih besar dari 1500, maka motor servo akan berputar searah jarum jam (*ClockWise/CW*). Sebaliknya, apabila nilai pulsa kurang dari 1500, motor servo akan berputar berlawanan arah jarum jam (*Counter ClockWise/CCW*). Dengan demikian, nilai pulsa menjadi parameter penting dalam menentukan arah dan kondisi gerak motor servo 360 derajat secara presisi.

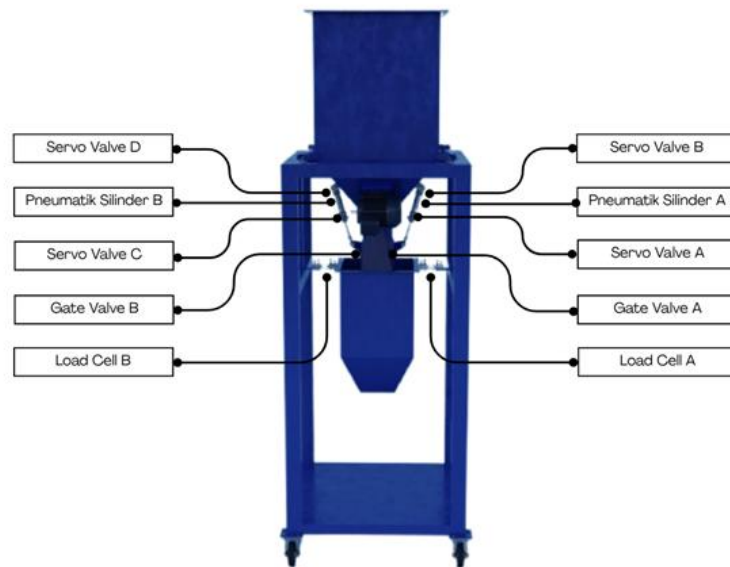
3.4 Perancangan Mekanik

Perangkat mekanik merupakan struktur utama yang akan menopang berdirinya sebuah sistem. Perancangan perangkat mekanik merupakan proses perencanaan, pengembangan, dan pemilihan komponen fisik yang akan digunakan untuk membangun sebuah sistem tersebut. Sebelum melakukan proses perancangan perangkat keras, maka hal pertama yang harus dilakukan adalah menentukan spesifikasi dan juga desain dari alat yang akan dibuat.

Sistem Kontrol Berat pada *Two-Stage Filling Gate Valve Hopper* yang dirancang untuk meminimalkan kondisi *underweight* dan *overweight*, memanfaatkan empat komponen utama. Yaitu *load cell*, *silinder pneumatik*, *servo regulator*, dan *speed sensor*. *Load cell* ditempatkan di *material scale* pada sisi kiri dan kanan guna memantau bobot pupuk secara real-time. Tepat di bawah *material scale* terpasang *gate valve* yang membuka dan menutup sesuai sudut gerak yang dihasilkan oleh silinder pneumatik. Kombinasi sensor aktuator ini memungkinkan sistem menyesuaikan aliran material secara presisi, sehingga setiap kantong memenuhi target berat yang ditetapkan.

Gambar 3 menunjukkan konfigurasi komponen utama dalam sistem pengisian material dua tahap yang digunakan dalam penelitian ini. Sistem ini terdiri dari dua jalur aktuasi pneumatik, masing-masing terdiri atas satu unit silinder pneumatik, satu gate valve, dan satu servo valve yang telah dimodifikasi dari air regulator. Komponen aktuator ini digunakan untuk mengendalikan laju aliran material dalam dua tahap, yaitu fast filling dan fine filling.

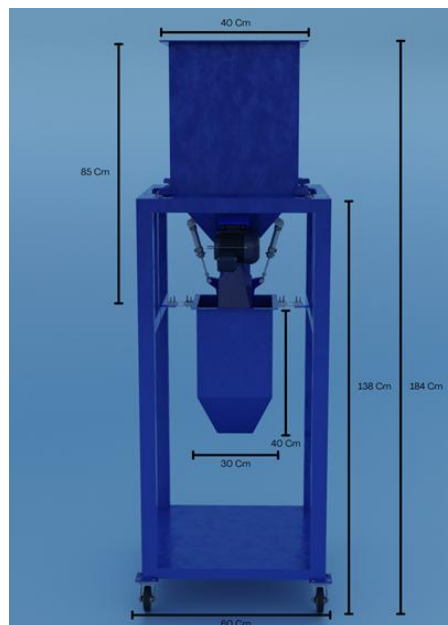
Pada sisi kanan sistem ditunjukkan susunan komponen untuk jalur pengisian A, yang meliputi *Servo Valve A*, *Servo Valve B*, *Pneumatik Silinder A*, *Gate Valve A*, dan *Load Cell A*. Sementara itu, pada sisi kiri sistem terdapat jalur pengisian B yang terdiri dari *Servo Valve C*, *Servo Valve D*, *Pneumatik Silinder B*, *Gate Valve B*, dan *Load Cell B*. *Servo Valve B* dan *Servo Valve D* masing-masing berfungsi sebagai pengatur tekanan pada jalur pneumatik untuk memperhalus proses menutupnya *gate valve A* dan B, khususnya saat *fine filling* dijalankan. Kedua *load cell* (*Load Cell A* dan *Load Cell B*) dipasang di bagian bawah hopper dan digunakan untuk mengukur berat total material yang telah ditampung. Nilai dari kedua *load cell* ini dijumlahkan dan dijadikan sebagai variabel masukan dalam sistem kendali untuk mengatur posisi servo secara presisi.



Gambar 3. 1 Perencanaan Desain Hardware

Konfigurasi ini memungkinkan sistem untuk melakukan pengisian material dengan dua tahap berbeda, di mana tahap pertama bertujuan mempercepat waktu pengisian dan tahap kedua bertujuan mencapai akurasi berat yang tinggi dengan kendali penutupan *gate* yang lebih halus.

Berikut ini merupakan desain dari Sistem Kontrol Berat pada *Two Stage Filling Gate Valve Hopper* yang akan dibuat,



Gambar 3. 2 Dimensi Hardware

3.5 Implementasi Pada Sistem

Tabel 3. 4 Implementasi Kontrol If-Else

Kondisi	Aksi	Hasil
If Berat Terdeteksi 0, Nilai Pulse = 1500 ms	Servo Diam	Gate Valve Tertutup
If Berat Terdeteksi 0 gram, else Nilai Pulse diatur ke 1700 ms	Servo Bergerak Clockwise	Gate Valve Terbuka 50%
If Berat Terdeteksi 1000, else Nilai Pulse diatur ke 1800 ms	Servo Bergerak Clockwise	Gate Valve Terbuka 70%
If Berat Terdeteksi 2000, else Nilai Pulse diatur ke 1900 ms	Servo Bergerak Clockwise	Gate Valve Terbuka 80%
If Berat Terdeteksi 3000, else Nilai Pulse diatur ke 2000 ms	Servo Bergerak Clockwise	Gate Valve Terbuka 100%
If Berat Terdeteksi 4000, else Nilai Pulse diatur ke 1400 ms	Servo Bergerak Counter Clockwise	Gate Valve Tertutup 50%
If Berat Terdeteksi 4500, else Nilai Pulse diatur ke 1100 ms	Servo Bergerak Counter Clockwise	Gate Valve Tertutup 90%
If Berat Terdeteksi 5000, else Nilai Pulse diatur ke 2000 ms	Servo Bergerak Counter Clockwise	Gate Valve Tertutup 100%

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan tujuan yang telah dirumuskan, penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan Sistem Kontrol Berat pada *Two-Stage Filling Gate Valve Hopper* berbasis *pneumatic-servo* menggunakan kontrol logika percabangan untuk meminimalkan terjadinya *underweight* dan *overweight* pada proses pengantongan pupuk. Pengujian kalibrasi *load cell* menunjukkan rata-rata eror sebesar 1,56 %, sedangkan uji multibeban menghasilkan eror rata-rata 1,94 %. Setelah logika *two-stage filling* diterapkan, eror akhir mampu ditekan mencapai 0.48 % dan kebutuhan kalibrasi manual berulang berhasil dihilangkan. Capaian ini menunjukkan bahwa integrasi ESP32, *load cell*, dan aktuator *pneumatic-servo* mampu meningkatkan akurasi, stabilitas, serta efisiensi proses produksi.

REFERENSI

- [1] A. Expósito and F. Velasco, "Exploring environmental efficiency of the European agricultural sector in the use of mineral fertilizers," *J. Clean. Prod.*, vol. 253, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.119971.
- [2] N. Beach, "Optimal sorting of product into fixed weight packaging Compac Sorting Equipment Ltd Industry Representatives :".
- [3] L. Rahman, A. H. M. Shamsuzzoha, and P. Engineering, "ICME05-AM-28 COMPARATIVE PERFORMANCE ANALYSIS OF SEMI-AUTOMATIC," vol. 2005, no. December, pp. 28–30, 2005.
- [4] N. Smigic and A. Rajkovic, "STATISTICAL PROCESS CONTROL IN 2 . Use of statistical process control," vol. 8, no. 3, pp. 323–334, 2006.
- [5] M. I. S. Sihombing and S. Sumartini, "Pengaruh Pengendalian Kualitas Bahan Baku dan Pengendalian Kualitas Proses Produksi terhadap Kuantitas Produk Cacat dan Dampaknya pada Biaya Kualitas (Cost of Quality)," *J. Ilmu Manaj. Dan Bisnis*, vol. 8, no. 2, p. 42, 2017, doi: 10.17509/jimb.v8i2.12665.
- [6] J. Putranto, N. Saidatin, H. S. Maulana, and D. A. Patriawan, "Analisis Ekperimental Sistem Kontrol Otomatis pada Pengisian Air Berbasis Rangkaian Close Loop dan Open Loop," *Senastitan Iii*, vol. 2(2), no. Senastitan Iii, pp. 1–6, 2023, [Online]. Available: <https://ejurnal.itats.ac.id/senastitan/article/view/3956>
- [7] A. H. Barkatullah, "Urgensi Perlindungan Hak-hak Konsumen Dalam Transaksi Di E-Commerce," *J. Huk. IUS QUIA IUSTUM*, vol. 14, no. 2, pp. 247–270, 2007, doi: 10.20885/iustum.vol14.iss2.art8.
- [8] T. No *et al.*, "PID Control for a Pneumatic Servo System," vol. 138, no. 1, pp. 12–17, 2019.
- [9] H. Qi, G. M. Bone, and Y. Zhang, "Position control of pneumatic actuators using three-mode discrete-valued model predictive control," *Actuators*, vol. 8, no. 3, 2019, doi: 10.3390/ACT8030056.
- [10] N. Fitrya *et al.*, "DALAM RUMAH TANGGA," vol. 1, no. 2, 2017.