Design and Development of an Electrical Panel for a Packaging Machine

Studi Magang:Rancang Bangun Panel Listrik untuk Mesin Packaging Di PT W

Ilham Agus Firmansyah
*Email corresponding author: Ilhamfirman165@gmail.com

Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

Abstract. *General Background: Industrial automation relies heavily on reliable and efficient electrical control systems to maintain smooth operational workflows. Specific Background: Packaging machines require dedicated electrical control panels capable of managing sequential operations such as film pulling, temperature regulation, and material filling. Knowledge Gap: Small and medium enterprises frequently encounter challenges in designing specialized electrical panels that integrate conventional relay-timer systems with rigorous industrial safety standards. Aims: This study aims to design and construct an electrical control panel for packaging machines to regulate the packaging process. Results: Applying an experimental methodology through component selection, assembly, and functional testing revealed that the designed electrical panel successfully operates the packaging machine with high precision and integrated safety protections. Novelty: This research provides an empirical framework for implementing a cost-effective, relay-timer-based electrical control system tailored for vertical semi-automatic packaging machines. Implications: Deploying this structured electrical control panel ensures responsive system performance, supports compliance with occupational safety regulations, and provides a viable economic alternative for industrial automation.*
Keywords *Control System, Electrical Control Panel, Packaging Machine, Industrial Automation, Relay Timer*

Abstrak. *Latar Belakang Eneral: Otomasi industri sangat bergantung pada sistem kontrol listrik yang andal dan efisien untuk menjaga alur kerja operasional yang lancar. Latar Belakang Spesifik: Mesin pengemasan membutuhkan panel kontrol listrik khusus yang mampu mengelola operasi berurutan seperti pengambilan film, regulasi suhu, dan pengisian material. Kesenjangan Pengetahuan: Usaha kecil dan menengah sering menghadapi tantangan dalam merancang panel listrik khusus yang mengintegrasikan sistem timer relay konvensional dengan standar keselamatan industri yang ketat. Tujuan: Studi ini bertujuan merancang dan membangun panel kontrol listrik untuk mesin pengemasan guna mengatur proses pengemasan. Hasil: Penerapan metodologi eksperimental melalui pemilihan komponen, perakitan, dan pengujian fungsional mengungkapkan bahwa panel listrik yang dirancang berhasil mengoperasikan mesin pengemasan dengan presisi tinggi dan perlindungan keselamatan terintegrasi. Kebaruan: Penelitian ini menyediakan kerangka empiris untuk menerapkan sistem kontrol listrik berbasis timer relay yang hemat biaya yang disesuaikan untuk mesin pengemasan semi-otomatis vertikal. Implikasi: Penerapan panel kontrol listrik terstruktur ini memastikan kinerja sistem responsif, mendukung kepatuhan terhadap peraturan keselamatan kerja, dan menyediakan alternatif ekonomi yang layak untuk otomasi industri.*
Kata kunci *Sistem Kontrol, Panel Kontrol Listrik, Mesin Kemasan, Otomasi Industri, Timer Relay*

I. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi informasi dan telekomunikasi yang begitu pesat saat ini, sehingga memungkinkan diterapkannya cara-cara baru yang lebih efisien di bidang produksi. Salah satu bidang produksi yang saat ini banyak digunakan adalah mesin pengemasan. Sama halnya dengan mesin-mesin produksi lainnya, mesin pengemasan membutuhkan daya energi listrik untuk dapat berproduksi. Mesin pengemasan (packaging) umumnya mengonsumsi daya listrik 1200–1800 watt dalam kondisi normal. Masalah muncul ketika mesin tetap berjalan meskipun bahan makanan atau plastik habis, menyebabkan pemborosan energi dan kerugian operasional [1].

Proses packaging yang efisien dan konsisten menjadi kunci dalam mempertahankan produktivitas dan kualitas produk. Mesin packaging modern memerlukan sistem kontrol listrik yang handal untuk mengatur berbagai komponen seperti motor penggerak, sensor, aktuator, dan perangkat keselamatan kerja.

Panel listrik merupakan komponen vital dalam sistem otomasi mesin packaging yang berfungsi sebagai pusat kendali dan distribusi daya listrik [2]. Panel listrik yang dirancang dengan baik dapat meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi downtime, serta menjamin keselamatan operator dan peralatan. Namun, banyak industri kecil dan menengah masih menghadapi kendala dalam merancang panel listrik yang sesuai dengan kebutuhan spesifik mesin packaging mereka.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental melalui beberapa tahapan: studi literatur terkait sistem kontrol listrik dan standar kelistrikan industri, perancangan dan pembuatan panel listrik mencakup pemilihan komponen dan perakitan, pengujian fungsionalitas serta pengambilan data performa sistem, dan implementasi panel pada mesin packaging. Hasil penelitian menunjukkan panel listrik yang dirancang mampu mengoperasikan mesin packaging dengan baik, dilengkapi sistem proteksi kelistrikan yang memadai, serta memenuhi standar keselamatan kerja.

Pengujian menunjukkan sistem kontrol berfungsi responsif dengan tingkat akurasi tinggi dalam mengatur siklus packaging.

Penelitian dilaksanakan selama periode magang di PT W. Kegiatan perancangan dan pembuatan panel listrik dilakukan di workshop kelistrikan, sedangkan pengujian dan implementasi dilakukan di area produksi packaging. Komponen yang diperlukan untuk membuat panel listrik packaging adalah tang potong, solder timah, tang kupas, tang skun, skun garpu, kabel ties, kotak panel, dan kabel NYA.

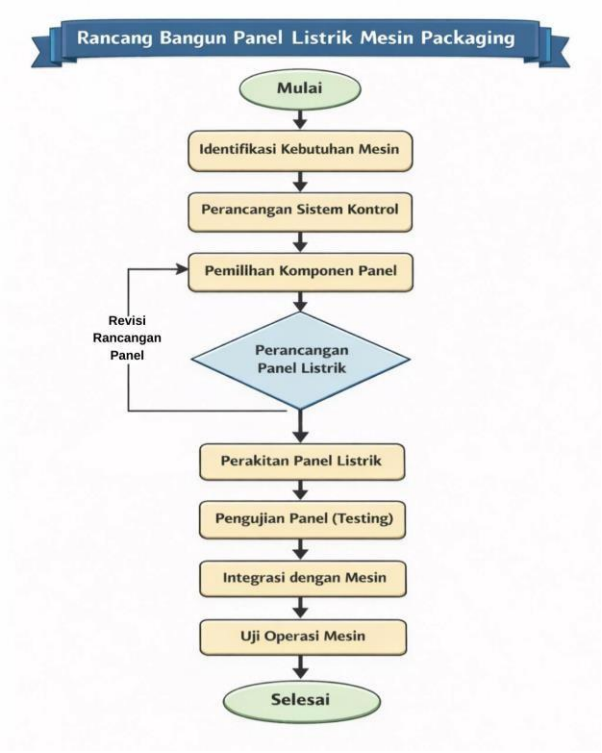
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Sistem

Mesin packaging vertikal dirancang untuk mengemas produk berbentuk serbuk atau butiran seperti tepung, kopi, dan gula. Sistem ini bekerja secara semi otomatis dengan pengendalian berbasis panel listrik konvensional, tanpa menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) maupun *Internet of Things* (IoT). Panel listrik berfungsi sebagai pusat kendali untuk mengatur urutan kerja komponen seperti heater, motor penarik film, motor pengisi (filler), dan pemotong kemasan.

Mesin packaging vertikal yang dirancang dalam penelitian ini merupakan jenis Form-Fill-Seal (FFS) yang digunakan untuk mengemas produk berbentuk serbuk atau butiran seperti tepung, kopi, dan gula. Sistem ini bekerja secara semi otomatis dengan pengendalian berbasis panel listrik konvensional, tanpa menggunakan *Programmable Logic Controller* (PLC) maupun *Internet of Things* (IoT).

Panel listrik berfungsi sebagai pusat kendali untuk mengatur urutan kerja komponen seperti heater, motor penarik film, motor pengisi (filler), dan pemotong kemasan. Penggunaan sistem kontrol berbasis relay-timer dipilih karena mempertimbangkan aspek ekonomis, kemudahan maintenance, dan kesesuaian dengan kebutuhan produksi skala kecil-menengah. Penelitian Abueejela dkk menunjukkan bahwa sistem otomasi packaging dapat meningkatkan produktivitas hingga 50% dibandingkan sistem manual, dengan rata-rata produksi meningkat dari 840 kotak/jam menjadi 1260 kotak/jam [3].



Gambar 1 Alur Pembuatan Panel



Gambar 2 Proses Wiring Panel

B. Komponen-Komponen Panel Listrik Mesin Packaging

a. bagian depan

Bagian depan panel listrik merupakan antarmuka antara operator dan sistem kontrol. Emergency Stop berfungsi memutus seluruh suplai daya ke sistem secara instan saat terjadi kondisi berbahaya, komponen ini merupakan persyaratan keselamatan kerja standar industri yang harus mudah diakses dan terlihat jelas [4]. Inching Button digunakan untuk menggerakkan mesin secara manual dalam mode step-by-step, sangat berguna saat proses setup awal atau troubleshooting. Start Button berwarna hijau berfungsi memulai operasi

otomatis mesin setelah semua kondisi awal terpenuhi. Power Indicator menampilkan status catu daya sistem aktif, sedangkan Film Direct Control mengatur arah pergerakan film plastik saat adjustment.

Fuse Protection berfungsi sebagai pengaman arus berlebih pada rangkaian kontrol. Sensor Indicators menampilkan status sensor-sensor photoelectric dan proximity sensor secara visual. Vibrator Control mengatur motor vibrator yang membantu aliran produk serbuk. Thermo Display menampilkan suhu aktual heater secara digital dengan resolusi 0.1°C. Perforast Control digunakan untuk sistem perforasi pada kemasan jika diperlukan. Counter dan Preset Counter berfungsi menghitung produk yang telah dikemas dan mengatur target produksi. Horizontal Seal dan Vertical Seal Controls merupakan tombol pengatur untuk aktivasi sistem sealing horizontal dan vertikal.



Gambar 3 Cover Panel Tampak Depan



Gambar 4 Panel Depan Tampak Dalam

b. bagian dalam

Komponen internal panel yang menjadi inti sistem kontrol terdiri dari beberapa komponen utama. Trafo step-down 5A mentransformasi tegangan AC 220V menjadi tegangan kerja yang lebih rendah yaitu 24V DC untuk sistem kontrol dan relay. Trafo berfungsi sebagai isolasi galvanis antara rangkaian daya dan rangkaian kontrol, sehingga meningkatkan keselamatan sistem [5]. Sistem menggunakan tiga jenis relay utama yaitu Relay Control Start AUG untuk mengontrol motor pengisi produk, Relay Vertical Seal untuk mengaktifkan heater penyegel vertikal, dan Relay Horizontal Seal untuk mengaktifkan heater dan pemotong horizontal. Relay berfungsi sebagai saklar elektromagnetis yang memisahkan rangkaian kontrol tegangan rendah dengan beban tegangan tinggi, memberikan isolasi dan proteksi pada sistem [6].

MCB (Miniature Circuit Breaker) 10A/1P berfungsi sebagai pengaman utama yang melindungi seluruh sistem dari arus berlebih dan hubung singkat. MCB dipilih dengan rating 10A disesuaikan dengan total konsumsi daya sistem yang berkisar 1200-1800 watt. Kontaktor LC1D09 merupakan kontaktor magnetik dengan rating 9A yang digunakan untuk mengendalikan motor-motor utama seperti penarik film dan augur. Kontaktor mampu menangani switching beban induktif dengan arus start yang tinggi dan memiliki umur mekanis yang lebih panjang dibanding relay biasa [7]. Lampu indikator menggunakan lampu LED dengan warna berbeda untuk menunjukkan status operasional, dimana warna hijau menandakan sistem normal atau running, warna kuning untuk sistem standby atau warning, dan warna merah untuk alarm atau fault condition. Jalur listrik atau wiring system menggunakan kabel NYA dengan ukuran yang sesuai rating arus. Jalur power menggunakan kabel 2.5 mm^2 sedangkan jalur kontrol menggunakan 1.5 mm^2. Sistem wiring mengikuti standar color-coding untuk memudahkan identifikasi dan maintenance. PCB Motor dan Bandrol merupakan Printed Circuit Board khusus untuk mengontrol kecepatan motor dan sistem pemberian label pada kemasan. PCB Clutch dan Brake mengatur sistem clutch-brake pada mekanisme penarikan film untuk memastikan film berhenti pada posisi yang tepat.



Gambar 5 Panel Dalam



Gambar 6 *Finishing* Panel

C. Perancangan Panel Listrik

Panel listrik dirancang menggunakan komponen elektromekanis standar dengan pertimbangan ketersediaan lokal, harga, dan kemudahan maintenance. MCB 1 phase 10A sebagai pengaman utama sistem dipilih dengan karakteristik kurva C untuk beban kombinasi resistif dan induktif. Pemilihan rating 10A didasarkan pada perhitungan total daya sistem maksimal 1800W yang menghasilkan arus nominal 8.18A, kemudian dikalikan safety factor 1.2 sehingga diperoleh 9.8A yang dibulatkan menjadi 10A. Kontaktor sebanyak 2 unit dengan rating 9A-12A digunakan untuk motor penarik plastik dan motor pengisi bahan, masing-masing berkapasitas ½ HP atau sekitar 373W.

Relay dan timer sebanyak 4 unit dipilih dengan spesifikasi voltage coil 24V DC, contact rating 10A pada 250V AC, timer range 0.1 hingga 999 detik yang dapat diatur, dan tipe DPDT (Double Pole Double Throw). Thermostat digital dipilih untuk menjaga suhu heater sealer tetap stabil pada kisaran 180-200°C dengan spesifikasi range 0-300°C, sensing element menggunakan Type K thermocouple, control accuracy ±1°C, dan dilengkapi display digital serta output relay contact 16A. Penggunaan thermostat digital memberikan keunggulan berupa akurasi kontrol yang lebih tinggi, kemampuan programming setpoint yang fleksibel, dan fitur alarm untuk kondisi abnormal. Penelitian menunjukkan bahwa kontrol thermostat digital mampu menjaga stabilitas suhu dengan presisi yang lebih baik dibanding sistem analog, sehingga menghasilkan kualitas seal yang lebih konsisten [8].

Push button dan selector switch menggunakan standar industri dengan protection rating IP65 untuk bagian yang terpapar lingkungan produksi. Indikator lampu menggunakan pilot lamp LED 24V DC dengan warna hijau, kuning, dan merah. Instrumen ukur terdiri dari voltmeter digital 0-300V AC dan amperemeter digital 0-10A untuk monitoring real-time konsumsi daya sistem. Perancangan layout panel mengikuti prinsip dimana komponen daya seperti MCB dan kontaktor ditempatkan di bagian bawah panel untuk mempermudah instalasi kabel power. Komponen kontrol seperti relay, timer, dan PCB ditempatkan di bagian tengah, sedangkan interface operator seperti push button, selector, dan indicator di bagian atas atau depan panel. Pemisahan antara jalur power dan jalur kontrol dilakukan untuk meminimalkan interferensi elektromagnetik, dan sistem dilengkapi grounding system yang proper untuk keamanan.

D. Cara Kerja Sistem

Urutan kerja panel listrik pada mesin packaging dirancang dengan siklus sekuensial yang terkoordinasi. Tahap pertama adalah pemanasan heater dimana setelah MCB diaktifkan, arus mengalir ke thermostat digital yang mengatur suhu heater vertical dan horizontal sealer. Proses pre-heating memerlukan waktu sekitar 15-20 menit hingga suhu target 180-200°C tercapai. Thermostat digital bekerja dengan kontrol PID (Proportional-Integral-Derivative) yang lebih presisi dibanding kontrol on-off sederhana. Sistem akan menjaga suhu pada setpoint dengan variasi minimal ±1°C. Stabilitas suhu sangat krusial dalam proses heat sealing, dimana penelitian menunjukkan bahwa variasi suhu ±10°C dapat menyebabkan kekuatan seal bervariasi hingga 15-20% [9]. Sistem dilengkapi dengan indikator "Ready" yang baru menyala saat suhu stabil di setpoint, menandakan mesin siap untuk operasi packaging.

Tahap kedua adalah penarikan film plastik yang dimulai setelah operator menekan tombol START. Timer pertama mulai counting dan relay teraktivasi sehingga kontaktor ON, kemudian motor penarik film berputar selama waktu yang diset pada timer yaitu sekitar 2-3 detik. Film plastik bergerak turun sepanjang length yang dibutuhkan sesuai ukuran kemasan. Setelah timer timeout, relay OFF dan motor berhenti, kemudian clutch-brake

system mengunci posisi film. Kontrol kecepatan motor menggunakan sistem fixed-speed dengan durasi penarikan yang adjustable melalui timer. Untuk kemasan 500 gram dengan panjang 20 cm, waktu pulling diset 2.5 detik untuk memastikan positioning yang akurat.

Tahap ketiga adalah penyegelan vertikal dimana saat film berhenti pada posisi yang tepat, timer kedua triggered dan relay teraktivasi. Vertical heater jaw menutup dan menekan film selama durasi yang telah diset yaitu 1.5-2 detik. Suhu 185-190°C yang dikontrol oleh thermostat digital melelehkan dan menyatukan kedua sisi film dengan presisi tinggi. Setelah timer timeout, relay OFF dan jaw membuka. Proses vertical sealing menggunakan heat-seal band dengan lebar 10mm dan dilengkapi dengan silicone rubber padding u ntuk distribusi tekanan yang merata. Pressure sealing dijaga konstan pada 0.3-0.5 MPa menggunakan pneumatic cylinder untuk memastikan kekuatan seal yang optimal.

Tahap keempat adalah pengisian produk yang dimulai setelah vertical seal terbentuk membentuk tube. Timer ketiga triggered dan relay mengaktifkan kontaktor untuk motor auger. Motor auger berputar dan mendorong produk melalui hopper dengan volume filling yang dikontrol oleh waktu running motor, untuk produk 500g memerlukan waktu sekitar 3-4 detik. Untuk produk yang memerlukan ketelitian tinggi dapat ditambahkan load cell untuk monitoring berat secara real-time. Setelah timer timeout, relay OFF dan motor auger berhenti. Sistem auger menggunakan screw conveyor dengan pitch tertentu untuk mengontrol flow rate produk. Getaran vibrator diaktifkan bersamaan untuk memastikan produk mengalir lancar tanpa bridging di hopper, terutama untuk produk yang cenderung menggumpal.

Tahap terakhir adalah penyegelan dan pemotongan horizontal dimana timer keempat triggered dan relay mengaktifkan horizontal heater-cutter. Jaw horizontal menutup dengan tiga fungsi sekaligus yaitu bagian atas menutup kemasan yang baru diisi sebagai top seal, bagian bawah membuka kemasan berikutnya sebagai bottom seal, dan bagian tengah berupa hot knife memotong kemasan. Durasi sealing adalah 2-2.5 detik untuk memastikan seal yang kuat dan potongan yang rapi. Setelah timer timeout, siklus kembali ke tahap penarikan film untuk kemasan berikutnya. Semua tahapan dikontrol oleh kombinasi relay dan timer yang bekerja secara berurutan, menciptakan siklus pengemasan kontinu dengan timing yang presisi.

Panel dilengkapi dengan beberapa layer proteksi untuk keamanan dan keandalan sistem. Proteksi elektris meliputi MCB yang melindungi dari overload dan short circuit, fuse pada rangkaian kontrol untuk melindungi komponen elektronik sensitif, thermal overload relay untuk melindungi motor dari overheating, dan surge protection device untuk melindungi dari lonjakan tegangan. Proteksi mekanis mencakup emergency stop yang memutus semua gerakan mekanis, safety interlock dimana pintu panel harus tertutup saat operasi, limit switch untuk membatasi gerakan jaw sealer, dan sensor deteksi film putus yang menghentikan operasi jika film habis. Proteksi thermal terdiri dari high temperature cut-off pada thermostat yang diset di 220°C, thermal fuse pada heater element, dan cooling fan untuk sirkulasi udara dalam panel guna mencegah overheating komponen elektronik.

E. Hasil Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan secara sistematis untuk memverifikasi setiap komponen dan subsistem panel listrik. Pengujian sistem power menunjukkan input voltage stabil pada 220V AC dengan toleransi ±5% dalam range 209-231V, frequency 50 Hz, total current consumption 7.8A pada operasi normal, dan power factor 0.85. Pengujian sistem kontrol menunjukkan response time relay kurang dari 10 milidetik, timer accuracy ±0.5% yang diverifikasi menggunakan stopwatch digital, thermostat digital accuracy ±1°C yang diverifikasi menggunakan thermometer digital kalibrasi, dan indicator visibility memenuhi standar minimal 5 meter jarak pandang untuk keamanan operator.

Pengujian motor drive menunjukkan motor penarik film beroperasi pada 220V dengan kapasitas 0.5HP pada kecepatan 1400 rpm, sedangkan motor auger beroperasi pada 220V dengan kapasitas 0.5HP pada kecepatan 180 rpm menggunakan gearbox. Starting current tercatat 3.5 kali arus nominal yang masih dalam acceptable range, dan running stability menunjukkan variasi kecepatan ±2% yang sangat baik untuk aplikasi packaging.

Pengujian performa dilakukan dengan menjalankan mesin selama 4 jam kontinyu untuk mengevaluasi stabilitas dan konsistensi sistem. Tegangan kerja sistem stabil pada 220V AC, suhu heater vertical seal terjaga pada 187±3°C dalam range 184-190°C menunjukkan performa excellent dari thermostat digital, suhu heater horizontal seal terjaga pada 185±3°C dalam range 182-188°C, waktu siklus pengemasan konsisten pada 10±0.5 detik per kemasan, dan kapasitas produksi mencapai 360 pak per jam atau setara 6 pak per menit sesuai target design.

Quality assessment menunjukkan hasil yang memuaskan dimana 100% kemasan lulus pressure test tanpa kebocoran saat ditekan, akurasi berat produk pada 500±5 gram dengan toleransi 1%, reject rate kurang dari 2% yang sebagian besar disebabkan oleh film positioning error, dan seal appearance konsisten tanpa burned spots atau weak seals berkat kontrol suhu yang presisi dari thermostat digital. Reliability data menunjukkan uptime 97.5% dengan downtime hanya 10 menit untuk adjustment, tidak ada component failure selama testing period, temperature stability excellent dengan variasi ±3°C, dan tidak ada overheating di panel maupun motor berkat sistem cooling dan thermal protection yang memadai.

Analisis konsumsi energi dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi sistem. Distribusi konsumsi daya menunjukkan heater vertical dan horizontal mengkonsumsi 1200W atau 67% dari total daya, motor penarik film 250W atau 14%, motor auger 200W atau 11%, sistem kontrol dan indicator 50W atau 3%, dan vibrator 100W atau 5%, sehingga total average konsumsi adalah 1800W. Energy per package dihitung dengan cycle time 10 detik menghasilkan energy per cycle sebesar 5 Wh atau 0.005 kWh, sehingga biaya per package dengan asumsi tarif listrik Rp1500 per kWh adalah Rp7.5, menunjukkan efisiensi energi yang baik untuk operasi produksi.

F. Analisis Pengujian Panel

Dari hasil pengujian dan observasi operasional dapat dilakukan analisis komparatif terhadap sistem PLC. Sistem relay-timer memiliki keunggulan berupa biaya investasi lebih rendah sekitar 40-50% dari sistem PLC, troubleshooting lebih mudah melalui visual inspection, tidak memerlukan software programming sehingga lebih accessible, komponen replacement tersedia lokal dengan harga terjangkau, dan maintenance dapat dilakukan oleh teknisi umum tanpa training khusus. Namun sistem relay-timer juga memiliki keterbatasan yaitu flexibility terbatas dimana perubahan sequence memerlukan rewiring, timing accuracy ±0.5% sedangkan PLC bisa mencapai ±0.01%, tidak tersedia fitur data logging untuk analisis produksi, tidak bisa remote monitoring, dan scalability terbatas untuk sistem yang lebih kompleks. Penelitian Hnin Yu Lwin dan Hla Myo Htay menunjukkan bahwa sistem PLC menawarkan keunggulan signifikan dalam hal fleksibilitas programming, akurasi timing, dan kemampuan troubleshooting melalui visual monitoring [10]. Namun untuk aplikasi packaging sederhana dengan sequence control yang fixed, sistem relay-timer masih sangat viable dan cost-effective.

Kontrol suhu merupakan aspek kritis dalam proses heat sealing. Dari data logging manual setiap 30 menit selama 4 jam operasi diperoleh data untuk vertical sealer dengan rata-rata 187°C, standard deviation 2.1°C, range 184-190°C, overshoot saat startup 6°C yang acceptable, dan recovery time setelah sealing 4-5 detik. Data horizontal sealer menunjukkan rata-rata 185°C, standard deviation 2.8°C, range 182-188°C dengan variasi lebih kecil dibanding sistem analog berkat kontrol PID pada thermostat digital. Stabilitas thermal ini termasuk kategori excellent untuk aplikasi packaging film polypropilen yang memiliki sealing temperature range 160-200°C. Penelitian menunjukkan bahwa untuk mencapai seal strength optimal, temperature variation harus dijaga kurang dari ±5°C [11], dan hasil pengujian menunjukkan sistem ini mampu mencapai variasi hanya ±3°C.

Efisiensi energi dapat ditingkatkan lebih lanjut dengan menggunakan solid state relay menggantikan mechanical relay untuk mengurangi power loss saat switching, menambahkan proteksi thermal yang lebih baik untuk mencegah heat loss, dan optimasi PID parameter pada thermostat digital untuk mengurangi overshoot dan undershoot sehingga konsumsi energi heater lebih efisien. Dari segi produktivitas, sistem mampu mencapai 360 pak per jam yang setara dengan 2880 pak per shift 8 jam, memenuhi target produksi untuk industri kecil-menengah. Overall Equipment Effectiveness dihitung dengan availability 97.5%, performance 100% sesuai design speed, dan quality 98% dengan reject rate 2%, menghasilkan OEE sebesar 95.6% yang termasuk kategori excellent level menurut standar world-class manufacturing..

G. Evaluasi dan Pengembangan

Berdasarkan hasil pengujian dan feedback dari operator, beberapa area dapat ditingkatkan untuk meningkatkan performa sistem. Dari aspek kontrol dapat dilakukan penambahan counter digital untuk monitoring jumlah produksi secara real-time dengan display yang lebih informatif, integrasi alarm system yang lebih comprehensive dengan buzzer dan indicator untuk berbagai kondisi fault, auto-reset function untuk fault yang tidak kritis sehingga operator tidak perlu manual reset, dan sequential timer yang lebih presisi untuk meningkatkan konsistensi siklus. Dari aspek safety dapat diimplementasikan two-hand control untuk start button guna mencegah kecelakaan, light curtain pada area jaw sealer untuk proteksi operator, interlocking system yang lebih robust dengan multiple sensor, dan emergency stop di multiple locations untuk aksesibilitas yang lebih baik. Dari aspek monitoring dapat ditambahkan data logger untuk temperature profile analysis, production counter dengan memory yang tidak hilang saat power off, fault history recording untuk analisis troubleshooting, dan maintenance reminder based on operating hours untuk preventive maintenance.

Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem ini dapat ditingkatkan secara bertahap menjadi versi digital. Phase pertama adalah penggantian relay timer analog dengan digital delay relay atau timer yang memberikan keuntungan berupa akurasi timing lebih baik hingga ±0.1%, repeatability tinggi, dan cost relatif murah sekitar Rp500.000 per unit dengan implementasi yang mudah tanpa perlu rewiring mayor. Phase kedua adalah sensor enhancement dengan penambahan photoelectric sensor untuk mendeteksi posisi print mark pada film sehingga akurasi positioning meningkat dan reject rate turun, encoder pada motor untuk feedback speed control yang lebih presisi, dan load cell untuk akurasi berat yang lebih tinggi mencapai ±1 gram.

Phase ketiga adalah integrasi microcontroller atau small PLC seperti Arduino atau PLC kecil sebagai controller tanpa mengubah sistem panel utama, dimana fungsi relay-timer digantikan dengan program yang lebih fleksibel, dapat menambahkan HMI touchscreen untuk monitoring dan setup yang user-friendly, serta memungkinkan data logging dan production reporting otomatis. Phase keempat adalah full automation dengan IoT melalui integrasi dengan sistem MES (Manufacturing Execution System), remote monitoring via smartphone

atau computer untuk supervisor, predictive maintenance based on data analytics, dan integration dengan inventory management system untuk supply chain optimization.

Aspek keberlanjutan atau sustainability juga perlu diperhatikan dalam pengembangan sistem. Energy monitoring system dapat diterapkan untuk mengidentifikasi waste dan inefficiency, penggunaan heater dengan efficiency lebih tinggi seperti ceramic heater atau induction heater, regenerative braking pada motor drive untuk recovery energi, optimasi thermal insulation untuk mengurangi heat loss dan mempercepat warm-up time, serta automatic standby mode saat idle lebih dari 5 menit untuk menghemat energi tanpa mengganggu produktivitas.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan panel listrik konvensional berbasis relay-timer untuk mesin packaging vertikal semi otomatis. Panel yang dirancang mampu mengoperasikan mesin packaging dengan performa yang memadai, mencapai produktivitas 360 pak/jam dengan uptime 97.5% dan reject rate di bawah 2%. Sistem kontrol relay-timer terbukti mampu menggantikan fungsi dasar PLC untuk aplikasi packaging sederhana dengan sequence control yang fixed. Keunggulan utama terletak pada biaya investasi yang lebih rendah (40-50% dari sistem PLC), kemudahan troubleshooting, dan maintenance yang dapat dilakukan oleh teknisi umum tanpa memerlukan keahlian programming khusus.

Pengujian menunjukkan bahwa sistem kontrol berfungsi responsif dengan akurasi timing ±0.5%, suhu heater stabil pada range 185±5°C, dan tidak ditemukan masalah reliability selama testing period 4 jam. Panel listrik dilengkapi dengan sistem proteksi kelistrikan yang memadai (MCB, fuse, thermal overload, emergency stop) serta memenuhi standar keselamatan kerja industri. Keterbatasan utama terletak pada fleksibilitas pengaturan, karena perubahan durasi atau urutan kerja memerlukan penyesuaian wiring atau timer manual. Untuk pengembangan lebih lanjut, sistem dapat ditingkatkan secara bertahap mulai dari penggantian timer digital, penambahan sensor presisi, hingga integrasi microcontroller atau PLC kecil untuk fleksibilitas yang lebih tinggi tanpa mengubah infrastruktur panel utama.

Penelitian ini memberikan kontribusi praktis bagi industri kecil-menengah dalam merancang sistem kontrol packaging yang ekonomis namun handal, serta memberikan roadmap upgrade untuk meningkatkan automation level secara gradual sesuai dengan perkembangan bisnis dan kebutuhan produksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT W yang telah memberikan kesempatan untuk melaksanakan kegiatan magang dan menyediakan fasilitas workshop serta area produksi untuk keperluan penelitian ini. Terima kasih juga kepada seluruh teknisi dan staff produksi PT W yang telah memberikan bimbingan teknis dan dukungan selama proses perancangan, pembuatan, dan pengujian panel listrik mesin packaging.

REFERENSI

[1] Z. H. Dhiah, N. A. Suwastika, and A. G. Putrada, “Smart Packaging Machine dengan Menggunakan Teknologi Internet of Things (IoT) Berbasis Fuzzy Logic untuk Penghematan Daya Listrik,” Journal on Computing, vol. 4, no. 2, pp. 81–92, Sep. 2019. doi: 10.21108/indojc.2019.4.2.318.

[2] D. A. Susanto, N. Masyita, and R. Rahmadewi, “Preventive Maintenance Komponen Panel Kelistrikan pada Mesin Stamping Press Mekanikal JW31-500T PT. Sebastian Jaya Metal Jababeka Cikarang,” JITET (Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan), vol. 11, no. 3 S1, pp. 1120–1129, Sep. 2023. doi: 10.23960/jitet.v11i3 s1.3521.

[3] Y. M. Abueejela, M. F. Yousif, and A. M. Abozead, "Automated Packaging Machine Using PLC," International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, vol. 2, no. 5, pp. 282–290, May 2015.

[4] Liquid Packaging Solutions, "Packaging Machine Control Panels - Common Controls," 2024. [Online]. Available: https://www.liquidpackagingsolution.com/news/packaging-machine-control-panels---common-controls.

[5] JHFOSTER, "Understanding the Electrical Control Panel," Automation Integration. [Online]. Available: https://jhfoster.com/automation-blogs/a-guide-to-electrical-control-panels/.

[6] C3controls, "What Are Programmable Relays? A Beginner's Guide to Automated Control." [Online]. Available: https://www.c3controls.com/white-paper/what-are-the-advantages-and-disadvantages-of-programmable-relay-controllers.

[7] Simcona Electronics, "Electrical Control Panel Components Guide," 2024. [Online]. Available: https://simcona.com/blog/electrical-control-panel-components.

[8] Yokogawa Electric Corporation, "Temperature Control for Seal-heating Parts in Wrapping Machinery," Application Notes. [Online]. Available: https://www.yokogawa.com/library/resources/application-notes/temperature-control-for-seal-heating-parts-in-wrapping-machinery/.

[9] Backer Marathon Inc., "Heaters for OEMs in the Plastics Packaging Industry." [Online]. Available: https://www.backermarathon.com/applications/heaters-for-oems-in-the-plastics-packaging-industry.cfm.

[10] H. Y. Lwin and U. H. M. Htay, "Design and Simulation of Automated Packaging Machine Process Control by Using PLC," International Journal of Trend in Scientific Research and Development, vol. 3, no. 5, pp. 1096–1103, Aug. 2019.

[11] S. Radhakrishnan and K. Saravanakumar, "Temperature Control of Heat Sealer Using Advanced Control Techniques," International Journal of Engineering Research & Technology, vol. 8, no. 6, pp. 451–456, 2019.

[12] R. A. Pratama and M. Hidayat, "Analisis Keandalan Sistem Kontrol Elektromekanis pada Mesin Pengemas Otomatis," Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, vol. 12, no. 1, pp. 45–52, 2023. doi: 10.33579/jtek.v12i1.4125.

[13] T. W. Nugroho and D. Prasetyo, "Optimalisasi Penggunaan Relay dan Timer dalam Sistem Otomasi Industri Skala UKM," Jurnal

Otomasi, Kontrol, dan Instrumentasi, vol. 11, no. 2, pp. 110–118, 2022. doi: 10.5614/joki.2022.11.2.5.

[14] E. M. Susilo and H. Santoso, "Studi Komparatif Sistem Kendali Relay-Timer dan PLC pada Mesin Packaging Vertikal," Jurnal Rekayasa Mesin dan Kelistrikan, vol. 9, no. 3, pp. 201–209, 2022.

[15] A. R. Wijaya and B. Santoso, "Perancangan Panel Kontrol Berbasis Standar Keselamatan Kerja Industri," Jurnal Keselamatan dan Kesehatan Kerja, vol. 8, no. 2, pp. 88–95, 2023. doi: 10.24903/jk3.v8i2.1245.