PENURUNAN RISIKO KECELAKAAN KERJA PADA MESIN PNEUMATIK *PRESS* BERBASIS PLC MELALUI TEKNOLOGI RETROFIT

Nur Muhammad Malikul 'Adil[1*], Firmansyah Sulistiyono[1]
[1] *Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Pemeliharaan Mesin, Politeknik Negeri Subang*
Email korespondensi: nur.malikuladil@polsub.ac.id

Abstrak. Kecelakaan kerja di Indonesia pada tahun 2025 mencapai angka 319,382 kasus, dan 90.6% diantaranya terjadi ketika proses pekerjaan sedang berlangsung. Sektor yang mendominasi terjadinya kecelakaan kerja adalah industri manufaktur. Dari total kecelakaan kerja, sekitar 10-15% kecelakaan kerja di industri manufaktur terjadi pada mesin press, dan 24% penyebab kecelakaan kerja pada mesin press adalah karena kondisi mesin press yang tidak aman untuk dioperasikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi risiko kecelakaan kerja melalui metode *Severity Frequency Occurrence and Avoidance* (SFOA) yang mengacu kepada standar ISO 12100. Penurunan tingkat risiko dilakukan dengan teknologi retrofit melalui penambahan perangkat, sehingga operator mesin dapat terhindar dari kecelakaan kerja. Jenis mesin press yang dijadikan objek penelitian adalah mesin *press* dengan sistem pneumatik sebagai perangkat penggerak dan *Programmable Logic Controller* (PLC) sebagai perangkat kendali, karena sistem pneumatik dengan kendali PLC adalah jenis mesin *press* yang paling banyak digunakan di industri manufaktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi penurunan tingkat risiko kecelakaan kerja, dari risiko tinggi dan menengah menjadi risiko rendah melalui penambahan perangkat *double push button*, *safety guard*, dan *tombol emergency tambahan*.

Kata kunci: Mesin Pneumatik *Press*, *Programmable Logic Controller*, Matriks risiko, Tekonlogi Retrofit

Abstract. *Accident rate in Indonesia in 2025 was around 319,382 cases, and 90.6% of them occurred during performing the job. Manufacturing industry has the top accident rate among other industrial sectors. From those accident cases, around 10-15% of accidents occurred at press machines, and 24% of them were caused by machine malfunction, which means machine is not safely operated. This research aims to reduce the risk level through Severity Frequency Occurrence and Avoidance (SFOA) method that refers to ISO 12100. Risk reduction can be performed through technology retrofits by installing additional devices, therefore the machine operator can work safely. Pneumatic PLC-based press machine is chosen as the research object due to this machine types is the most common press machine used in manufacturing industries. The result shows that risk level goes down from high and medium risk to low risk by installing double push button, safety guard, and additional emergency button.*

Keywords: *Pneumatic Press Machine, Programmable Logic Controller, Risk matrix, technology retrofit.*

*Penulis Korespondensi
Diterima : 18 Agustus 2026. Disetujui : 19 September 2026. Dipublikasikan : 30 September 2026

1. Pendahuluan

Industri manufaktur adalah sektor yang memiliki peran penting dalam perkembangan ekonomi Indonesia (Saputra et al., 2023; Sugiharti et al., 2017). Sektor ini diperkirakan memberi kontribusi sebesar 20.27% dari total pertumbuhan ekonomi (Wolok et al., 2023). Oleh karena itu, nominal keuntungan dari perusahaan manufaktur harus berbanding lurus dengan ongkos produksi yang telah dikeluarkan demi terjaganya sustainabilitas ekonomi. Hal ini menuntut kualitas produk manufaktur, produktivitas, serta tingkat keselamatan dan kesehatan kerja harus selaras (Butler et al., 2017). Berdasarkan

data pada laman resmi BPJS Ketenagakerjaan, terdapat sekitar 319,382 kasus kecelakaan kerja pada tahun 2025, dan Industri manufaktur adalah sektor dengan jumlah kecelakaan kerja terbanyak.

Untuk penyelarasan faktor kualitas, produktivitas, dan keamanan operasional produksi, diperlukan adanya keseimbangan antara kemampuan manusia, proses produksi yang tepat, dan kesiapan teknologi (Sunmola & Javahernia, 2021). Faktor kesiapan teknologi diawali oleh tingkat keamanan teknologi ketika dioperasikan oleh manusia (Chinniah et al., 2017; Machmood & Shevtshenko, 2015; Shutske et al., 2023).

Idealnya, teknologi atau mesin harus memiliki sertifikasi keamanan dari pihak ketiga yang berwenang sebelum mesin diimplementasikan pada lini produksi. Namun, sertifikasi dari pihak ketiga membutuhkan dana yang sangat besar, bisa mencapai 30% dari harga mesin itu sendiri, sehingga banyak pihak mengabaikan sertifikasi keamanan dari pihak ketiga. Oleh karena itu, analisis risiko keamanan mesin secara mandiri oleh pihak internal perlu dilaksanakan untuk meminimalisis potensi terjadinya kecelakaan kerja. (Malikul'Adil et al., 2025)

Identifikasi tingkat keamanan teknologi diawali dari pendefinisian potensi kecelakaan yang terjadi ketika teknolgi dioperasikan, seperti potensi terjepit, tertabrak, dan lain sebagainya. Tingkat bahaya suatu teknologi merupakan kombinasi antara tingkat keparahan ketika potensi bahaya terjadi dan kemungkinan potensi bahaya itu terjadi. Tingkat bahaya ditampilkan dalam bentuk matriks Risiko (Ihainen, 2019).

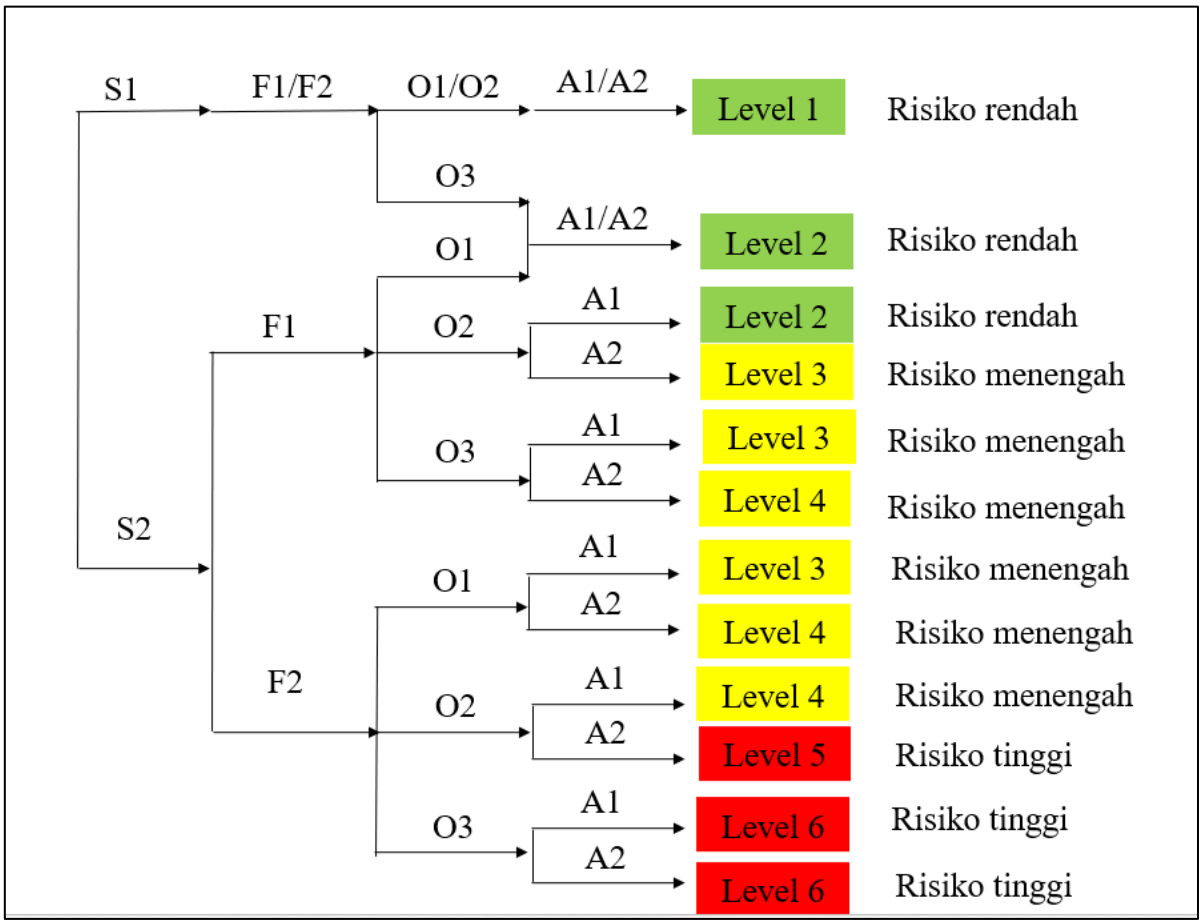
Terdapat beberapa metode untuk identifikasi tingkat bahaya suatu teknologi, diantaranya adalah metode SFOA, yang merupakan kombinasi dari *Severity of harm* (S) atau tingkat keparahan suatu peristiwa, *Frequency of Exposure* (F) atau intensitas operator bertemu dengan sumber bahaya, *Probability of Occurrence of hazardous event* (O) atau tingkat kemungkinan terjadinya kecelakaan, dan *Possibility of Avoiding hazardous event* (A) atau tingkat kemungkinan operator menghindari kecelakaan kerja (Chinniah & Bourbonniere, 2006). Tabel 1 menunjukkan pendefinisian nilai SFOA.

Tabel 1. Pendefinisian nilai SFOA

Indeks	Kategori	Definisi
S1	Ringan	Kecelakaan ringan, seperti tergores, terluka sedikit, lecet, dan hanya membutuhkan penanganan ringan oleh orang umum dengan kotak P3K yang tersedia, tidak menghilangkan lebih dari 2 hari kerja.
S2	Berat	Kecelakaan berat, seperti patah tulang hinga kematian. Membutuhkan penanganan khusus dari tim medis. menghilangkan lebih dari 2 hari kerja.
F1	Jarang	Bertemu sumber bahaya dengan intensitas kurang dari sama dengan 2 kali atau kurang dari 15 menit dalam 1 shift bekerja
F2	Sering	Bertemu sumber bahaya dengan intensitas lebih dari 2 kali atau lebih dari 15 menit dalam 1 shift bekerja
O1	Rendah	Potensi bahaya hampir tidak mungkin terjadi dan tidak pernah ada riwayat kejadian sebelumnya
O2	Sedang	Potensi bahaya mungkin terjadi
O3	Tinggi	Potensi bahaya sangat mungkin terjadi dan sudah pernah ada Riwayat kejadian sebelumnya.
A1	Mungkin	Operator masih mungkin menghindari kecelakaan kerja dalam kondisi khusus, misalnya menghindari benda bergerak dengan kecepatan yang relatif lambat (kurang dari 0.25 m/s)

Indeks	Kategori	Definisi
A2	Tidak mungkin	Operator tidak mungkin menghindar dari potensi bahaya jika potensi bahaya itu terjadi

Kombinasi SFOA yang telah didefinisikan akan membentuk matriks risiko yang menunjukkan tingkat risiko. Terdapat tiga kategori tingkat risiko, yaitu tingkat risiko tinggi (*high risk*), tingkat risiko menengah (*medium risk*), dan tingkat risiko rendah (*low risk*). Tingkat risiko rendah *(low risk*) diidentifikasi pada level 1 atau 2, tingkat risiko menengah (*medium risk*) diidentifikasi pada level 3 atau 4, sedangkan tingkat risiko tinggi (*high risk*) diidentifikasi pada level 5 atau 6. Gambar 1 menunjukkan mekanisme pembuatan matriks bahaya berdasarkan SFOA yang telah didefinisikan.



Gambar 1. Pembuatan tingkat risiko bahaya

Jika tingkat bahaya menunjukkan tingkat bahaya menengah (*medium risk*) atau tingkat bahaya tinggi (*high risk*), maka diperlukan tindakan untuk menurunkan tingkat bahaya tersebut. Terdapat 5 hierarki untuk menurunkan tingkat bahaya, dimulai dari yang paling efektif hingga yang paling tidak efektif, yaitu eliminasi sumber bahaya, rekayasa kendali, pemberian tanda peringatan bahaya di sekitar sumber bahaya, pelatihan dan penerbitan prosedur pengoperasian dan pemeliharaan mesin, hingga penyediaan alat pelindung diri (Laughery & Wogalter, 2010).

Mengeliminasi sumber bahaya adalah hal yang sangat sulit untuk dilakukan karena merupakan fungsi utama mesin, sehingga rekayasa kendali adalah pilihan yang umum dilakukan. (Ram et al., 2024; Tsuji & Kohama, 2020; Ždánsky & Medvedik, 2019) menambah *safety light curtain* untuk mengidentifikasi objek yang mendekat ke sumber bahaya. (Zlatanski et al., 2018) menginstal *safety radar* untuk menangkap objek di sekitar sumber bahaya pada radius yang telah ditentukan. (Oberer-Treitz et al., 2013) menambah pagar pengaman secara mekanik (*safety fence*) yang diberi sensor *limit switch* dan terintegrasi dengan sistem kendali. Jika pagar tertutup, mesin akan bekerja, sedangkan jika pagar terbuka, mesin akan berhenti.

Dari ketiga jenis rekayasa kendali kendali tersebut (*safety light curtain, safety radar, dan safety fence*) yang paling banyak digunakan adalah penerapan safety fence karena harga yang murah dan instalasi yang mudah. (Malikul'Adil et al., 2025; Malikul'Adil et al., 2025). Selain rekayasa kendali, terdapat pula penelitian yang meninjau hierarki tentang pelatihan keselamatan kerja dan SOP (Antwi-Afari et al., 2023; Denadai et al., 2021), serta analisis tingkat efektivitas dari penggunaan alat pelindung diri (Nikulin & Romanov, 2017).

Di era industri 4.0, implementasi otomasi menjadi pilar utama untuk menjaga kualitas, meningkatkan produktivitas, dan memastikan mesin dapat beroperasi dengan aman (Brecher et al., 2021; Galin & Meshcheryakov, 2019; Singh & Namekar, 2020). Penambahan perangkat keamanan tambahan pada teknologi otomasi harus diintegrasikan dengan sistem kendali nya. Sistem kendali yang banyak dipakai pada di industri manufaktur adalah sistem kendali Programmable Logic Controller (PLC) (Al Fahim et al., 2023; Basile et al., 2012; Hudedmani et al., 2017), dan sistem penggerak yang paling banyak digunakan pada teknolgi otomasi adalah sistem pneumatik (Adil & Kariem, 2019), serta salah satu proses yang berpotensi besar menyebabkan kecelakaan kerja adalah prosess *press*.(Tiway et al., 2025)

Risiko kecelakaan kerja yang paling serius pada mesin press adalah kehilangan organ tubuh yang terjepit selama proses press, baik itu karena kelalaian manusia, ataupun karena perangkat mesin yang belum memenuhi standar keamanan yang baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengurangi risiko kecelakaan kerja pada mesin press dengan sistem kendali PLC melalui hierarki rekayasa kendali, yaitu melalui teknologi retrofit.

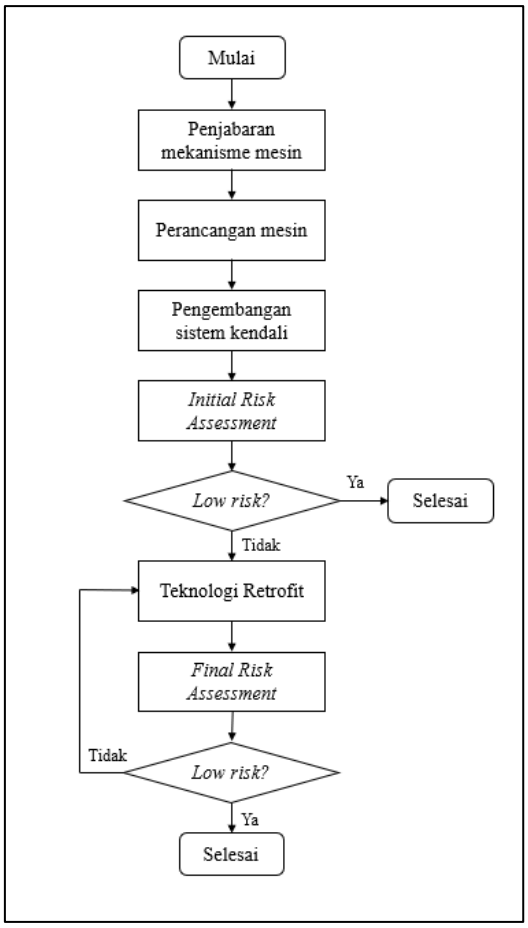
2. Metodologi

Alur penelitian meliputi penjabaran mekanisme *press* secara umum, dilanjutkan dengan perancangan mesin press yang umum digunakan di industri. Sistem kendali dibuat untuk memenuhi mekanisme tersebut Rancangan awal yang telah dibuat, akan ditinjau tingkat bahaya nya melalui metode SFOA untuk mendapatkan tingkat bahaya awal. Tahap *initial risk assessment.*

Ketika tingkat bahaya awal menunjukkan level menengah atau tinggi, maka diperlukan modifikasi rancangan dengan perangkat tambahan untuk menurunkan tingkat bahay nya. Perangkat tambahan yang masuk kedalam bagian mesin *press* harus diintegrasikan dengan sistem kendali yang telah dibuat. Tahap ini disebut dengan teknologi retrofit.

Teknologi retrofit dilakukan untuk mengurangi tingkat bahaya tersebut melalui integrasi perangkat tambahan. Rancangan teknologi retrofit akan dievaluasi untuk mengetahui tingkat bahaya terbaru setelah adanya perubahan.

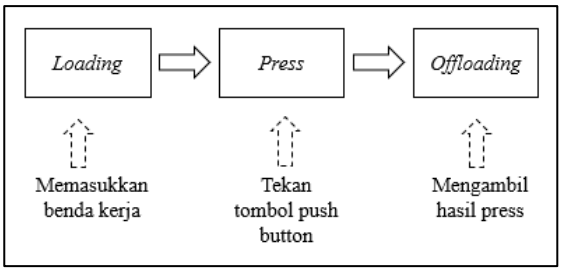
Evaluasi menggunakan instrument SFOA yang mengacu kepada ISO 12100, Mesin *pneumatic press* yang digunakan memiliki spesifikasi tekanan udara dalam rentang 1-10 bar. Penilaian risiko dilakukan secara kualitatif melalui pemberian skor pada matriks risiko. Gambar 2 menunjukkan alur penelitian secara rinci.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

2.1 Mekanisme Mesin

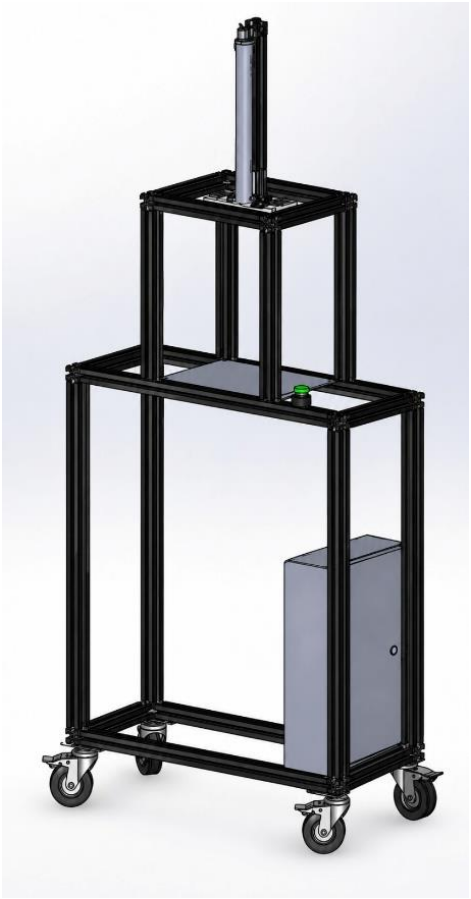
Secara umum, semua teknologi otomasi memiliki mekanisme yang sejenis, baik itu mesin *press*, mesin *packing*, mesin *cutting*, mesin *printing*, ataupun mesin lainnya, yaitu dimulai dari memasukkan bahan kerja (*loading*), memproses bahan kerja (*press*), dan mengambil bahan kerja (*offloading*) (Mandlik et al., 2021; Marde et al., 2017; Vitharana et al., 2020; Zhang et al., 2015). Ketika operator meletakan benda kerja di area *press*, operator akan mulai menekan tombol *push button*, maka pneumatik silinder akan bergerak turun untuk melakukan proses press dengan durasi yang ditentukan. Setelah proses press selesai, operator akan melepaskan *push button* dan pneumatic silinder akan kembali ke posisi semula. Gambar 3 menunjukkan mekanisme mesin yang dibutuhkan sebagai landasan *design requirement & objective* (DR&O)



Gambar 3. Mekanisme mesin *press*

2.2 Perancangan mesin

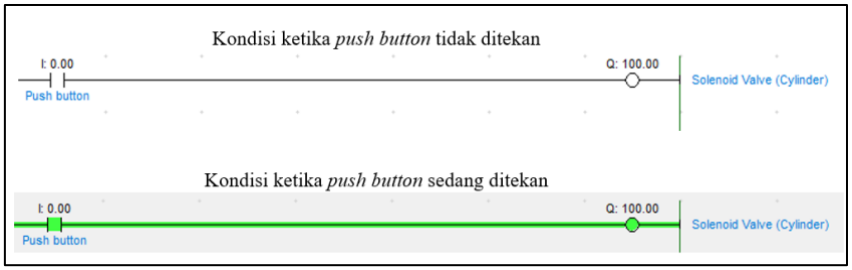
Rancangan mesin *press* harus mampu memenuhi persyaratan mekanisme yang telah dijabarkan, yaitu ketika benda kerja berada pada area *loading*, operator akan menekan tombol *push button* untuk mengaktifkan pneumatik silinder agar bisa bergerak memberi tekanan selama prosess *press*. Ketika push button dilepas, silinder akan Kembali ke kondisi awal nya dan operator dapat mengambil benda kerja. Gambar 4 menunjukkan rancangan awal mesin press.



Gambar 4. Rancangan awal mesin *press*

2.3 Pengembangan sistem kendali

Sistem kendali PLC memanfaatkan bahasa pemrogramman ladder diagram untuk menghubungkan input dan output (Pessen, 1989). Tombol *push button* dibuat dengan skema normally opened agar ketika operator menekan push button, aliran listrik akan terhubung dan mengaktifkan pergerakan pneumatik silinder. Gambar 5 menunjukkan diagram ladder untuk proses *press*.



Gambar 5. Diagram ladder pada perangkat kendali PLC

2.4. *Initial risk assessment*

Initial risk assessment dilakukan pada rancangan awal mesin. Berdasarkan standar ISO 12100 tabel B2, terdapat beberapa potensi bahaya yang bisa mengakibatkan terjadinya kecelakaan kerja, diantaranya adalah bahaya tangan terjepit, bahaya tangan masuk ke area press, dan bahaya terkena aliran Listrik(Akter, 2025). Dari ketiga jenis bahaya yang telah diidentifikasi, dibuatlah analisis SFOA untuk penentuan matriks risiko. Tabel 2 menunjukkan matriks risiko pada setiap potensi bahaya beserta rekomendasi teknlogi retrofit.

Tabel 2. Penilaian matriks risiko awal berdasarkan ISO 12100

No	Potensi bahaya	Ilustrasi	S	F	O	A	Level	Rekomendasi
1	Salah satu tangan operator terjepit ketika pneumatik silinder sedang melakukan *press*		S2	F2	O2	A2	Level 5 (Risiko tinggi)	1. Menambahkan tombol *push button*, sehingga proses press akan terjadi hanya jika kedua tangan menekan tombol *push button*. 2. Memisahkan antara lokasi *loading*/*offloading* dan *press*
2	Tangan orang lain masuk melalui area samping mesin dan tertabrak pneumatik silinder yang bergerak		S2	F2	O1	A2	Level 4 (Risiko menengah)	1. Menambahkan akrilik bening di sekitar mesin press agar tidak ada tangan yang masuk dari arah samping, dan proses *press*

No	Potensi bahaya	Ilustrasi	S	F	O	A	Level	Rekomendasi
								masih bisa terpantau karena dapat terlihat dari luar
3	Operator terkena sengatan aliran listrik karena ada kabel menjuntai dan terbuka di area *push button*		S2	F1	O2	A2	Level 3 (Risiko menengah)	1. Menambahkan penutup untuk menutup area kabel *push button* agar tidak ada lagi konduktor yang terbuka
4	Ketika tiba-tiba terjadi listrik mati atau sambungan kabel/selang udara mendadak putus dan adanya *chaos*, tidak ada *tombol emergency* yang tersedia		S2	F1	O2s	A2	Level 3 (Risiko menengah)	1. Menambah tombol emergency yang mudah di akses manusia

Berdasarkan hasil matriks penilaian risiko, terdapat empat potensi bahaya dengan tingkat bahaya tinggi dan menengah. Hasil penilaian ini mewajibkan adanya tindak lanjut untuk mengurangi level risiko nya. Mengacu kepada hierarki penurunan risiko, tindakan mengengeliminasi sumber bahaya (silinder dan listrik) adalah tindakan yang tidak memungkinkan karena dua kompnen tersebut adalah perangkat utama dari keberfungsian mesin *press*. Oleh karena itu, teknologi retrofit sebagai hierarki kedua adalah pilihan yang harus dijalankan.

2.5 Teknologi retrofit

Berdasarkan rekomendasi matriks penilaian risiko pada tabel 2, terdapat setidaknya tiga hal yang harus dilakukan dalam melaksanakan teknologi retrofit, yaitu pembaharuan mekanisme mesin, perbaikan rancangan mesin, dan modifikasi sistem kendali.

2.5.1 Pembaharuan mekanisme mesin

Salah satu tujuan dari pembaharuan mekanisme adalah untuk memisahkan area *press* dan area *loading*/*offloading* sesuai rekomendasi pada matriks penilaian risiko. Area *loading* adalah tempat yang dapat diakses oleh operator secara langsung, sedangkan area *press* adalah area yang harus terbebas dari kegiatan manusia secara langsung. Perpindahan benda kerja dari area *loading* menuju area *press* ataupun dari area *press* menuju area *offloading* dilakukan oleh aktuator untuk mengurangi potensi kecelakaan kerja karena tangan terjepit. Penambahan mekanisme berdampak kepada penambahan aktuator yang secara tidak langsung merubah rancangan mesin. Gambar 6 menunjukkan mekanisme tambahan mesin *press*.

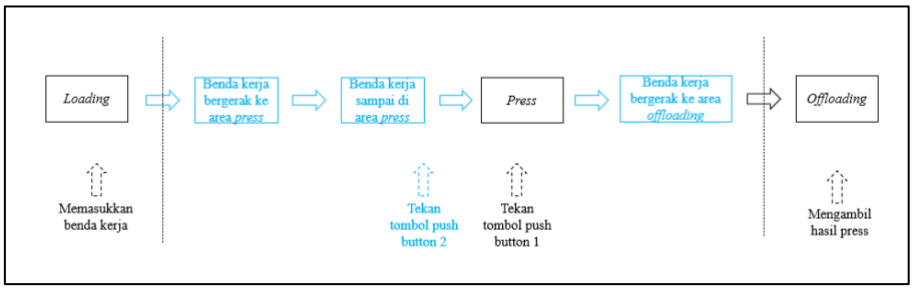
2.5.2 Perbaikan rancangan mesin

Mekanisme tambahan pada mesin press secara tidak langsung mengharuskan adanya pembaharuan rancangan mesin secara keseluruhan untuk mengakomodir mekanisme terbaru. Aktuator penggerak

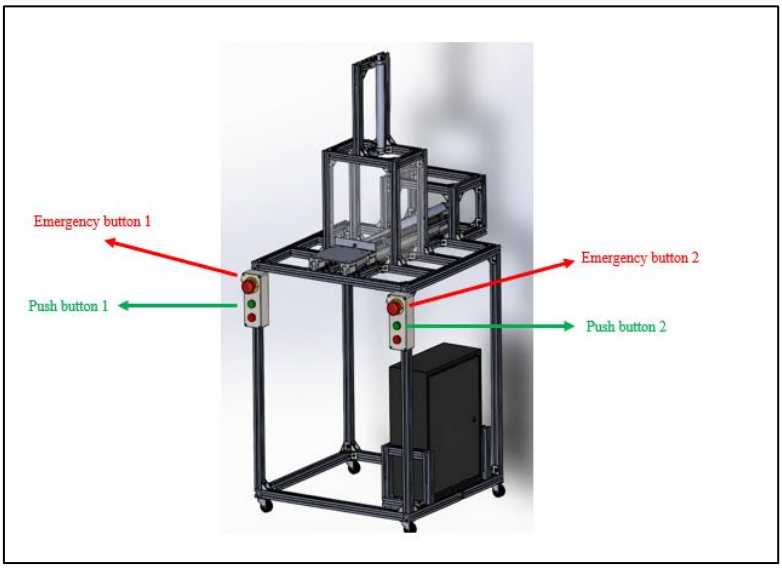
tidak hanya berfungsi untuk melakukan prosess saja, tetapi juga memindahkan benda kerja dari area *loading* menuju area *press,* dan membawa benda kerja dari area *press* menuju area *offloading*. Gambar 7 menunjukkan rancangan mesin *press* hasil teknologi retrofit.

2.5.3 Modifikasi sistem kendali

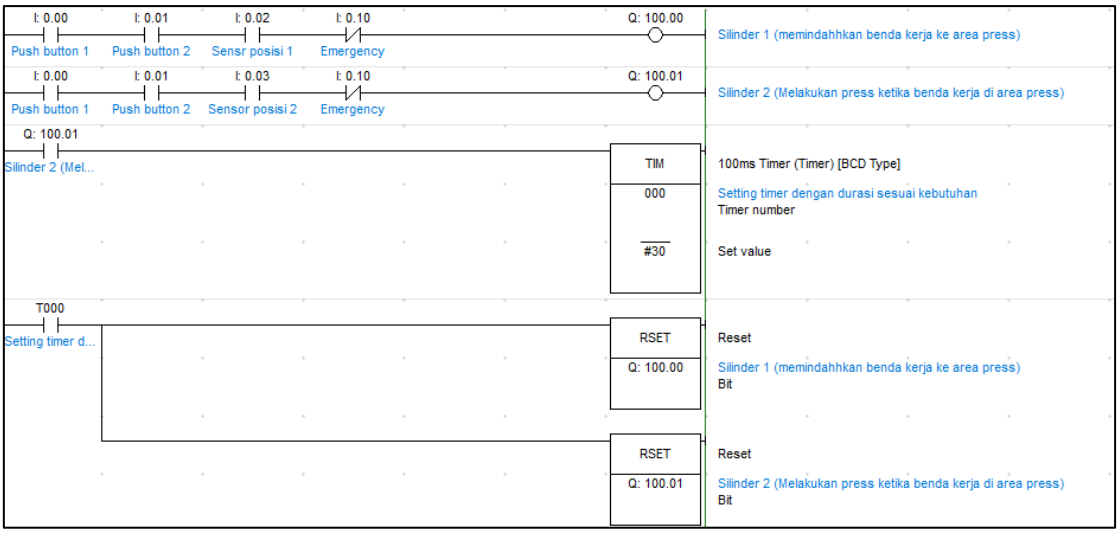
Berdasarkan rekomendasi dari matriks risiko, diperlukan adanya perangkat tambahan, yaitu *push button* kedua untuk dirangkai secara seri dengan *push button* pertama guna mengaktifkan gerakan pneumatik silinder. Diperlukan juga tambahan *Emergency button* untuk mematikan mesin jika terjadi kondisi darurat. Selain itu, diperlukan juga tambahan pneumatik silinder untuk membawa benda kerja dari area *loading* menuju area *press*, dan dari area press mmenuju area *offloading*. Gambar 8 menunjukkan modifikasi diagram *ladder* untuk diunggah pada perangkat PLC.



Gambar 6. Pembaharuan mekanisme mesin



Gambar 7. Rancangan baru mesin *press*



Gambar 8. Modifikasi diagram ladder PLC

3. Hasil dan Pembahasan

Teknologi retrofit diharapkan bisa menjadi alternatif solusi untuk menurunkan risiko bahaya ketika eliminasi sumber bahaya tidak memungkinkan untuk ditindaklanjuti karena merupakan bagian inti dari keberfungsian mesin. Indikator keberhasilan penurunan risiko kecelakaan kerja ditandai dengan penurunan tingkat matriks risiko dari risiko tinggi/menengah menjadi risiko rendah melalui pembuatan analisis matriks risiko (*risk assessment*)

3.1 *Final risk assessment*

Final risk assessment dilakukan dengan tujuan untuk mengevaluasi level risiko teknologi setelah retrofit. Teknolgi retrofit menyebabkan terjadi beberapa perubahan, baik itu perubahan mekanisme, pembaharuan rancangan mesin, ataupun modifikasi sistem kendali. Upaya-upaya tersebut dilakukan untuk menurunkan level matriks risiko. Dalam konteks keselamatan kerja, indikator keberhasilan teknologi retrofit ditandai dengan penurunan tingkat risiko. Tabel 3 menunjukkan penilaian matriks risiko setelah teknologi retrofit.

Tabel 3. Penilaian matriks risiko setelah teknologi retrofit berdasarkan ISO 12100

Potensi bahaya	Tindak lanjut	S	F	O	A	Level baru
Salah satu tangan operator terjepit ketika pneumatik silinder sedang melakukan *press*	1. Menambah tombol *push button* dan *emergency button* 2. Menambahkan Pneumatik silinder untuk menarik benda kerja dari area *loading* menuju area *press*, dan mebawa kembali ke area *offloading*.	S2	F1	O1	A1	Level 2 (Risiko rendah)
Tangan orang lain masuk melalui area samping mesin dan tertabrak pneumatik silinder yang bergerak	1. Menambah akrilik bening di sekitar area *press*.	S2	F1	O1	A1	Level 2 (Risiko rendah)

Operator terkena sengatan aliran listrik karena ada kabel menjuntai dan terbuka di area *push button*	1. Menambah perangkat isolator di area push button	S2	F1	O1	A1	Level 2 (Risiko rendah)
Ketika tiba-tiba terjadi listrik mati atau sambungan kabel/selang udara mendadak putus dan adanya *chaos*, tidak ada *tombol emergency* yang tersedia	1. Menambah 1 tombol *emergency*	S2	F1	O1	A1	Level 2 (Risiko rendah)

Dalam upaya peningkatan keselamatan kerja, terkadang ada konsekuensi yang harus ditanggung, diantaranya adalah adanya tambahan mekanisme yang lebih banyak, yang berdampak kepada *cycle time* proses yang lebih lambat. Namun, keselamatan kerja adalah tanggung jawab bersama yang harus ditaati oleh semua pihak.

4. Simpulan dan Saran

4.1. Simpulan

Berdasarkan hasil studi dan investigasi matriks penilaian risiko mesin press berbasis PLC. Metode teknologi retrofit mampu menurunkan matriks risiko bahaya dari level bahaya tinggi atau level bahaya menengah menjadi level bahaya rendah, sehingga mesin akan lebih aman untuk dioperasikan.

4.2. Saran

Penambahan perangkat sebagi bagian dari penurunan risik kecelakaan kerja memberikan efek samping, diantaranya ada penambahan mekanisme dan proses kerja. Dampak dari penambahan proses adalah penambahan *cycle time* yang berkorelasi dengan penurunan prduktivitas. Diperlukan adanya analisis perbandingan antara kerugian akibat penurunan produktivitas berbanding dengan kerugian yang ditimbulkan akibat terjadinya kecelakaan kerja.

Daftar Pustaka

Adil, N. M. M., & Kariem, M. A. (2019). Numerical Study of Friction Behavior In Pneumatic Seal Cylinder. *Mesin*.

Akter, A. (2025). *Review on International Machinery Safety Requirements*. Hame University of Applied Sciences.

Al Fahim, A., Rahman, M. M., Hridoy, M. W., & Uddin, K. R. (2023). Development of a PLC Based Automation Cell for Industry. *Journal of Integrated and Advanced Engineering (JIAE)*, *3*(2), 87–100.

Antwi-Afari, M. F., Li, H., Chan, A. H. S., Seo, J., Anwer, S., Mi, H.-Y., Wu, Z., & Wong, A. Y. L. (2023). A science mapping-based review of work-related musculoskeletal disorders among construction workers. *Journal of Safety Research*, *85*, 114–128. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jsr.2023.01.011

Basile, F., Chiacchio, P., & Gerbasio, D. (2012). On the implementation of

industrial automation systems based on PLC. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, *10*(4), 990–1003.

Brecher, C., Müller, A., Dassen, Y., & Storms, S. (2021). Automation technology as a key component of the Industry 4.0 production development path. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *117*(7), 2287–2295.

Butler, W., Ahmed, S., & Russell, L. A. (2017). The Relationships Between Productivity, Safety, and Quality. *Joint CIB W099 & TG59 International Safety, Health, and People in Construction Conference*, 524.

Chinniah, Y., Aucourt, B., & Bourbonnière, R. (2017). Safety of industrial machinery in reduced risk conditions. *Safety Science*, *93*, 152–161. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ssci.2016.12.002

Chinniah, Y., & Bourbonniere, R. (2006). Automation safety. *Prof Saf*, *51*(12), 26–33.

Denadai, M. S., Alouche, S. R., Valentim, D. P., & Padula, R. S. (2021). An ergonomics educational training program to prevent work-related musculoskeletal disorders to novice and experienced workers in the poultry processing industry: A quasi-experimental study. *Applied Ergonomics*, *90*, 103234. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.apergo.2020.103234

Galin, R., & Meshcheryakov, R. (2019). Automation and robotics in the context of Industry 4.0: the shift to collaborative robots. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *537*(3), 032073.

Hudedmani, M. G., Umayal, R. M., Kabberalli, S. K., & Hittalamani, R. (2017). Programmable logic controller (PLC) in automation. *Advanced Journal of Graduate Research*, *2*(1), 37–45.

Ihainen, H. (2019). *Machine safety: Risk assessment and safety design*. SaAMK.

Laughery, K. R., & Wogalter, M. S. (2010). The safety hierarchy and its role in safety decisions. *Advances in Human Factors, Ergonomics and Safety in Manufacturing and Service Industries*, 1010–1016.

Machmood, K., & Shevtshenko, E. (2015). Analysis of machine production processes by risk assessment approach. *Journal of Machine Engineering*, *15*(1), 112–124.

Malikul'Adil, N. M., Ashari, F., Aryanto, D. D., & Thomas, F. (2025). Reducing Risk Level of Automation Technology by Integrating Additional Device: An Evidence from Auto Plasma Cutting Machine. *International Conference on Applied Science and Technology on Engineering Science 2025 (ICAST-ES 2025)*, 358–366.

Malikul'Adil, N. M., Saputro, R. D. A., & Ashari, F. (2025). Mechanical Hazard Simulator of PLC-Based Automation Technology According to ISO 12100. *Jurnal E-Komtek*, *9*(2), 593–600.

Mandlik, S. B., Abhishek, P., Aishwarya, A., & Anuja, M. (2021). A automatic packaging machine. *International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology*, *8*(3), 342–347.

Marde, R. K., Khode, N. P., & Kate, K. N. (2017). Design and Fabrication of Auto Loader and Auto Catcher for Press Automation. *INTERNATIONAL JOURNAL OF ENGINEERING DEVELOPMENT AND RESEARCH*, *5*(2), 1696–1699.

Nikulin, A., & Romanov, A. (2017). Control over the use of personal protective equipment by employees, head protection. *Ecology, Environment and Conservation*, *23*(1), 384–389.

Oberer-Treitz, S., Dietz, T., & Verl, A. (2013). Safety in industrial applications: From fixed fences to direct interaction. *IEEE ISR 2013*, 1–4. https://doi.org/10.1109/ISR.2013.6695745

Pessen, D. W. (1989). Ladder-diagram design for programmable controllers. *Automatica*, *25*(3), 407–412. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0005-1098(89)90008-3

Ram, K., Aggarwal, S., Tamburo, R., Ancha, S., & Narasimhan, S. (2024). Robot Safety Monitoring using Programmable Light Curtains. *ArXiv Preprint ArXiv:2404.03556*.

Saputra, A. D., Salsabilla, S., Zalva, R., Maharani, A., & Yanuardi, R. (2023). The role of the manufacturing on the Indonesian economy. *Indonesian Journal of Multidisciplinary Sciences (IJoMS)*, *2*(1), 157–166.

Shutske, J. M., Sandner, K. J., & Jamieson, Z. (2023). Risk assessment methods for autonomous agricultural machines: A review of current practices and future needs. *Applied Engineering in Agriculture*, *39*(1), 109–120.

Singh, S., & Namekar, S. (2020). A review on automation of industries. *Int. J. Eng. Appl. Sci. Technol*, *4*, 298–300.

Sugiharti, L., Purwono, R., Primanthi, M. R., & Padilla, M. A. E. (2017). Indonesian productivity growth: Evidence from the manufacturing sector in Indonesia. *Pertanika Journal of Social Science and Humanities, 25*(S), 29–44.

Sunmola, F. T., & Javahernia, A. (2021). Manufacturing process innovation deployment readiness from an extended people, process, and technology framework viewpoint. *Procedia Manufacturing*, *55*, 409–416.

Tiway, M. F. H., Ratriwardhani, R. A., Ayu, F., & Sahri, M. (2025). Analisis Kecelakaan Kerja pada Divisi Metal Stamping di PT. XYZ Menggunakan Metode Systematic Cause Analysis Technique (SCAT). *Jurnal Keselamatan Kesehatan Kerja Dan Lingkungan*, *6*(2), 167–177.

Tsuji, S., & Kohama, T. (2020). A General-Purpose Safety Light Curtain Using ToF Sensor for End Effector on Human Collaborative Robot. *IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering*, *15*(12), 1868–1874.

Vitharana, S. S., Madhumali, W., Herath, G., Fernando, W. S. P., & Marabedda, D. H. (2020). *Design and Fabrication of an Automatic Ruler Printing Machine*.

Wolok, E., Yapanto, L. M., Lapian, A. L. C. H. P., Wolok, T., & Aneta, A. (2023). Manufacturing Industry Strategy in Increasing the Acceleration of Economic Growth in Indonesia.

International Journal of Professional Business Review: Int. J. Prof. Bus. Rev., *8*(4), 3.

Ždánsky, J., & Medvedik, M. (2019). Performing safety functions to monitor the protected area using a light curtain. *2019 International Conference on Applied Electronics (AE)*, 1–6.

Zhang, X., Ju, H., Guo, D., & Liu, R. (2015). Design of an auto-removing mechanism based on a PLC control system. *2015 8th International Congress on Image and Signal Processing (CISP)*, 1293–1297.

Zlatanski, M., Sommer, P., Zurfluh, F., & Madonna, G. L. (2018). Radar sensor for fenceless machine guarding and collaborative robotics. *2018 IEEE International Conference on Intelligence and Safety for Robotics (ISR)*, 19–25.