

Implementasi *Leadframe Pusher* untuk Mereduksi Downtime Mesin *Chemical Deflash* Menggunakan Metode *DMAIC*

Jhon Petra Pandapotan Hasibuan*, Ir. Budi Baharudin, S.T., M.T*

*Politeknik Negeri Batam,

Program Studi Teknik Mesin

Jl. Ahmad Yani, Batam Centre, Batam 29461, Indonesia

¹E-mail: jhonhasibuan515@gmail.com

ABSTRAK

Gangguan operasional berulang ditemukan pada lini produksi *wet area* PT X, khususnya pada mesin *Chemical Deflash* di area *loading*. Gangguan tersebut berupa terpicunya alarm "*Loader Frame On-Chain Missing*" secara terus-menerus yang dipicu oleh posisi *leadframe* yang tidak presisi, yaitu tersisa miring (*slanted*) di tepi jalur panduan tetap (*fixed LF track guide*), sehingga sensor produk gagal mendeteksinya dan mengakibatkan mesin berhenti secara tidak terencana. Berdasarkan data historis periode September – November 2025, alarm ini menyumbang total durasi *downtime* sebesar 3.311 menit dari total 5.495 menit, atau setara 60,25% dari keseluruhan *downtime* mesin. Guna menangani permasalahan tersebut secara sistematis, penelitian ini menerapkan kerangka kerja *DMAIC* (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) yang dikombinasikan dengan *Fishbone Diagram* berbasis *5M+1E* dan *Pareto Chart* sebagai instrumen analisis. Proses investigasi mengungkap bahwa keterbatasan rancangan mesin (*machine design limitation*), yakni tidak adanya mekanisme pendorong aktif (*active pusher*) pada jalur *loading*, menjadi akar penyebab utama dari permasalahan ini. Sebagai respons atas temuan tersebut, dilakukan pemasangan *Leadframe Pusher* yang dilengkapi slot khusus pada tepi *fixed track guide*. Fokus utama penelitian ini adalah penurunan durasi *downtime* akibat alarm tersebut, dengan hasil penurunan durasi sebesar 90,88% (melampaui target $\geq 70\%$), sedangkan total *downtime* mesin secara keseluruhan mengalami penurunan sebesar 71,87%. Frekuensi *occurrence* juga menurun sebesar 83,60% sebagai indikator pendukung.

Kata kunci: *Leadframe Pusher*; *Chemical Deflash*; *Downtime*; *DMAIC*; *Fishbone Diagram*; *Pareto Chart*; *Semikonduktor*

ABSTRACT

Repeated operational disruptions were identified in the wet production line at PT X, specifically in the loading area of the Chemical Deflash machine. These disruptions stem from the persistent triggering of the "Loader Frame On-Chain Missing" alarm, caused by leadframes remaining in a slanted position on the edge of the fixed LF track guide, which prevents the product sensor from detecting them and leads to unplanned machine stoppages. Based on historical data from September to November 2025, this alarm contributed a total downtime duration of 3,311 minutes out of 5,495 total machine downtime minutes, equivalent to approximately 60.25% of total machine downtime. To systematically address this issue, the study applies the DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve, Control) framework combined with a 5M+1E-based Fishbone Diagram and Pareto Chart as analytical instruments. Investigation revealed that a machine design limitation — specifically the absence of an active pusher mechanism in the loading section — constitutes the primary root cause. In response, a Leadframe Pusher equipped with a dedicated slot on the fixed track guide edge was installed. The primary focus of this study is the reduction of downtime duration attributed to this alarm, achieving a reduction of 90.88% (exceeding the $\geq 70\%$ target), overall machine downtime duration decreased by 71.87%, while occurrence frequency declined by 83.60% as a supporting indicator.

Keywords: *Leadframe Pusher*; *Chemical Deflash*; *Downtime*; *DMAIC*; *Fishbone Diagram*; *Pareto Chart*; *Semiconductor*

1 PENDAHULUAN

Industri semikonduktor merupakan sektor manufaktur kritis yang menjadi fondasi bagi hampir seluruh perangkat elektronik modern, mulai dari telepon pintar, komputer, kendaraan listrik, hingga instrumen medis. Di Indonesia, pertumbuhan industri semikonduktor mendorong fasilitas produksi lokal untuk terus menjaga efisiensi dan keandalan proses manufaktur guna memenuhi standar kualitas global. PT X sebagai salah satu fasilitas produksi semikonduktor di Indonesia menjalankan proses *wet* yang mencakup *Chemical Deflash* dan *Plating*. Proses *Chemical Deflash* berperan membersihkan *mold flash* yaitu sisa material resin yang merembes dan mengeras di luar rongga cetakan pada permukaan *leadframe* pasca proses *molding* menggunakan tekanan larutan kimia, sedangkan *leadframe* merupakan komponen logam tipis yang berfungsi sebagai penghubung antara *chip* semikonduktor dan *package* produk akhir. Ketepatan posisi *leadframe* dalam jalur proses menjadi faktor kritis yang menentukan keberhasilan proses produksi secara keseluruhan.

Permasalahan berulang yang ditemukan pada area *loading* mesin *Chemical Deflash* adalah seringnya terpicu alarm "*Loader Frame On-Chain Missing*". Alarm ini terjadi ketika *leadframe* tidak berhasil mencapai posisi yang tepat pada *conveyor chain*, melainkan tersisa dalam kondisi miring (*slanted frame*) di tepi *fixed LF track guide* sehingga tidak terdeteksi oleh *product sensor*. Kondisi ini memaksa mesin berhenti secara otomatis dan mengharuskan operator melakukan intervensi manual sebelum proses dapat dilanjutkan. Berdasarkan data historis periode September – November 2025, alarm ini tercatat penyebab dominan *downtime* di mesin *Chemical Deflash* dengan total durasi 3.311 menit dari keseluruhan 5.495 menit total durasi *downtime* mesin, atau setara 60,25% dari total *downtime* mesin. *Downtime* yang tidak terencana ini menyebabkan terganggunya alur produksi [5], ketidakefisienan pada aliran proses [8], dan potensi kerusakan *leadframe* akibat penanganan berulang.

Berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan *downtime* di industri manufaktur. Integrasi *Lean Manufacturing* dengan metode *Six Sigma* melalui pendekatan *DMAIC* (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) telah terbukti efektif mengurangi *downtime* melalui analisis akar masalah dan peningkatan berkelanjutan [5][8][9].

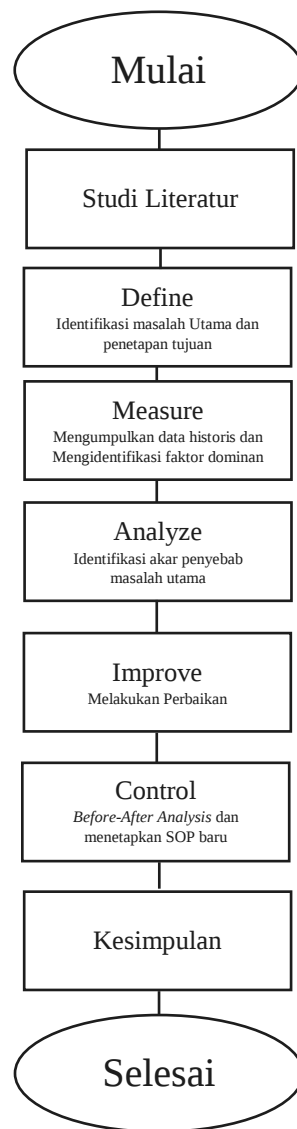
Dalam proses identifikasi akar penyebab *downtime*, *Pareto Chart* dan *Fishbone Diagram* merupakan alat bantu analisis yang paling banyak digunakan. *Pareto Chart* untuk memprioritaskan faktor-faktor penyebab berdasarkan kontribusinya terhadap total *downtime* [6][8], sehingga upaya perbaikan dapat diarahkan secara tepat sasaran. *Fishbone Diagram* merupakan salah satu alat analisis yang digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab masalah secara sistematis melalui kerangka *5M+1E: Man, Machine, Method, Material, Measurement, dan Environment* [6]. Kombinasi kedua alat ini dalam kerangka *DMAIC* memberikan pendekatan yang komprehensif untuk mengidentifikasi dan menyelesaikan permasalahan *downtime* [8] yang kompleks di industri manufaktur [6].

Meskipun penerapan *DMAIC* untuk penurunan *downtime* telah banyak diteliti, kajian spesifik mengenai *downtime* yang disebabkan oleh *machine design limitation* pada proses *Chemical Deflash* di industri semikonduktor masih sangat terbatas. Permasalahan *slanted frame* pada jalur *loading* yang memicu alarm berulang belum mendapat penanganan teknis yang terstruktur dan terdokumentasi secara ilmiah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan : (1) mengidentifikasi akar penyebab alarm "*Loader Frame On-Chain Missing*", (2) merancang dan mengimplementasikan *Leadframe Pusher* sebagai solusi teknis, serta (3) mengukur efektivitasnya dalam menekan durasi *downtime* mesin *Chemical Deflash* di *wet area* PT X dengan target penurunan $\geq 70\%$. Data *occurrence* disajikan sebagai indikator pendukung.

Penelitian ini memiliki batasan sebagai berikut : (1) ruang lingkup terbatas pada alarm akibat kondisi *slanted frame* di area *loading* mesin *Chemical Deflash* lini *wet area* PT X, dan tidak mencakup jenis alarm atau mesin lainnya; (2) data yang digunakan adalah data historis *downtime* dari sistem pencatatan produksi periode September 2025 – Februari 2026; (3) evaluasi efektivitas dilakukan berdasarkan perbandingan data sebelum dan sesudah implementasi (*before-after analysis*) tanpa desain eksperimen terkontrol, dan tanpa mengontrol variabel volume produksi antar periode.

2 METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di lini produksi *wet area* PT X, dengan objek penelitian mesin *Chemical Deflash* pada area *loading*. Pendekatan yang digunakan adalah *DMAIC* (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) untuk mengatasi tingginya durasi *downtime* akibat alarm "*Loader Frame On-Chain Missing*" pada mesin *Chemical Deflash* yang mengganggu keberlangsungan proses produksi. Tahapan *DMAIC* tersusun secara sistematis sebagaimana diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

A. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan sebagai landasan teoritis dan pembanding sebelum pelaksanaan penelitian lapangan. Kajian dilakukan terhadap referensi ilmiah yang relevan, mencakup penerapan metode *DMAIC* di berbagai sektor industri manufaktur, penggunaan *Fishbone Diagram 5M+1E* sebagai alat analisis akar penyebab, serta prinsip *Pareto Chart* dalam memprioritaskan faktor-faktor penyebab *downtime*.

Hasil studi literatur menunjukkan bahwa integrasi *Lean Manufacturing* dengan metode *Six Sigma* melalui pendekatan *DMAIC* telah terbukti efektif mengurangi *downtime* di berbagai sektor industri melalui analisis akar masalah yang sistematis dan perbaikan berkelanjutan (*Continuous Improvement*). [1][2][8][9]. Penelitian terdahulu juga membuktikan keefektifan *DMAIC* dalam meningkatkan kualitas proses produksi [3] dan menekan *downtime* secara signifikan [9]. Temuan-temuan ini memperkuat dasar pemilihan *DMAIC* sebagai kerangka kerja utama dalam penelitian ini, sekaligus menjadi acuan dalam penetapan target penurunan durasi *downtime* sebesar $\geq 70\%$.

B. Define

Pada tahap *Define* masalah utama diidentifikasi berdasarkan observasi lapangan, yaitu alarm "*Loader Frame On-Chain Missing*" pada area loading mesin *Chemical Deflash* terjadi secara berulang dengan total durasi 3.311 menit selama September – November 2025, menjadikannya penyebab dominan *downtime* di *wet area*. Target penelitian ditetapkan : menurunkan durasi *downtime* akibat alarm "*Loader Frame On-Chain Missing*" yang disebabkan kondisi *slanted frame* secara signifikan dengan standar penurunan $\geq 70\%$, dengan data *occurrence* sebagai indikator pendukung.

C. Measure

Data historis *downtime* dikumpulkan dari sistem pencatatan produksi dan dikategorisasi berdasarkan jenis alarm. *Pareto Chart* digunakan untuk memvisualisasikan dan memprioritaskan penyebab yang berkontribusi terhadap 80% total durasi *downtime* berdasarkan prinsip 80/20 [6]. *Baseline* kinerja mesin ditetapkan berdasarkan total durasi *downtime* periode September – November 2025 sebagai acuan evaluasi efektivitas perbaikan.

D. Analyze

Pada tahap *Analyze*, *Fishbone Diagram* berbasis *5M+1E* digunakan untuk memetakan seluruh faktor yang berpotensi menyebabkan kondisi *slanted frame* secara komprehensif. Setiap cabang — *Man*, *Machine*, *Method*, *Material*, *Measurement*, dan *Environment* — diinvestigasi melalui observasi langsung di lapangan untuk menilai peluang risiko masing-masing faktor terhadap kejadian *slanted frame*. Setiap faktor kemudian dievaluasi berdasarkan kemampuannya menjelaskan pola kejadian yang bersifat berulang dan sistematis. Faktor yang tidak mampu menjelaskan pola tersebut akan dieliminasi secara bertahap disertai alasan yang terukur berdasarkan hasil observasi. Faktor yang tersisa setelah proses eliminasi sistematis selanjutnya divalidasi lebih lanjut menggunakan *Why-Why Analysis* untuk mencari hubungan sebab-akibat secara bertingkat hingga diperoleh akar permasalahan yang paling mendasar, sebelum dikonfirmasi sebagai *root cause*. Hasil verifikasi dan konfirmasi *root cause* akan diuraikan pada bab Analisa Data dan Pembahasan.

E. Improve

Berdasarkan *root cause* yang teridentifikasi pada tahap *Analyze*, tahap *Improve* dirancang melalui penyusunan *plan of action* sebagai panduan pelaksanaan perbaikan. *Plan of action* mencakup identifikasi solusi teknis yang dapat mengatasi keterbatasan desain mesin pada jalur loading, perancangan komponen tambahan yang dapat diintegrasikan dengan sistem mekanik yang sudah ada tanpa modifikasi besar, pemilihan material yang sesuai dengan kondisi operasional di *wet area*, proses fabrikasi, serta Implementasi pada mesin *Chemical Deflash*. Detail rancangan teknis, pemilihan material, dan mekanisme kerja solusi yang dipilih akan diuraikan secara lengkap pada bab Hasil dan Pembahasan.

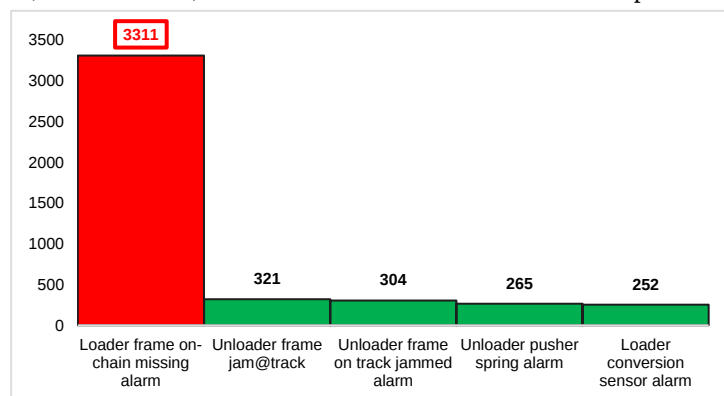
F. Control

Tahap *Control* dirancang untuk memverifikasi efektivitas dan keberlanjutan solusi yang telah diimplementasikan pada tahap *Improve*. Rencana pengendalian yang akan dilaksanakan mencakup: (1) pemantauan durasi *downtime* akibat alarm “*Loader Frame On-Chain Missing*” yang disebabkan kondisi *slanted frame* secara berkala selama periode Desember 2025 – Februari 2026, (2) pengumpulan data *occurrence* sebagai indikator pendukung, (3) evaluasi efektivitas melalui *before-after analysis* dengan membandingkan data durasi *downtime* periode September – November 2025 (*before*) dan periode Desember 2025 – Februari 2026 (*after*), (4) perencanaan *SOP* baru sebagai bentuk pengendalian berkelanjutan berdasarkan solusi yang diimplementasikan pada tahap *Improve*. Hasil pemantauan, evaluasi, serta *SOP* yang disusun akan diuraikan pada bab Hasil dan Pembahasan.

3 ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

A. Define

Pada tahap *Define*, masalah utama diidentifikasi berdasarkan observasi lapangan dan data historis produksi. Mesin *Chemical Deflash* di *wet area* PT X tercatat mengalami total *downtime* sebesar 5.495 menit dengan 5.304 kejadian selama periode September – November 2025. Dari keseluruhan *downtime* tersebut, alarm “*Loader Frame On-Chain Missing*” menjadi penyumbang terbesar dengan total durasi 3.311 menit dan 1.293 kejadian, atau setara 60,25% dari total durasi *downtime* mesin dapat dilihat di Gambar 2.



Gambar 2 Top 5 Alarm Penyebab Downtime Mesin Chemical Deflash Periode September – November 2025

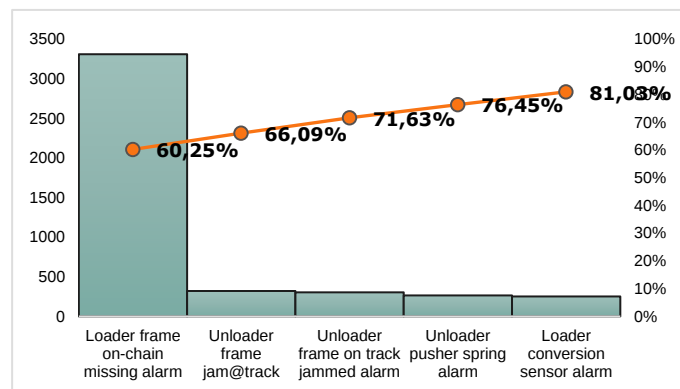
Rincian data alarm per bulan disajikan pada Tabel 1, yang memperlihatkan tren peningkatan frekuensi dan durasi dari September – November 2025. Data pada Tabel 1 menunjukkan bahwa durasi alarm meningkat dari 1.117 menit pada September 2025 menjadi 1.331 menit pada November 2025, dengan puncak *occurrence* mencapai 493 kejadian pada November 2025. Kondisi ini menjadi dasar penetapan target penurunan durasi *downtime* sebesar $\geq 70\%$ sebagai standar keberhasilan penelitian.

Tabel 1 Data Alarm “Loader Frame On-Chain Missing” Periode September – November 2025

Bulan	Occurrence (Kejadian)	Durasi (Menit)
September 2025	403	1.117
Oktober 2025	397	863
November 2025	493	1.331
Total	1.293	3.311

B. Measure

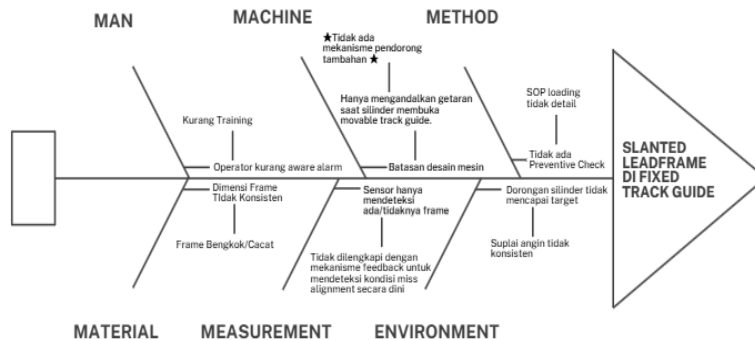
Pada tahap *Measure*, data historis *downtime* dikumpulkan dan dikategorisasi berdasarkan jenis alarm. *Pareto Chart* digunakan untuk memvisualisasikan kontribusi masing-masing alarm terhadap total durasi *downtime* berdasarkan prinsip 80/20 [6][8]. Hasil analisis *Pareto Chart* pada Gambar 3 menunjukkan bahwa alarm “Loader Frame On-Chain Missing” mendominasi dengan kontribusi kumulatif sebesar 60,25% dari total durasi *downtime* seluruh alarm. Dua alarm berikutnya — *Unloader Frame Jam@Track* dan *Unloader Frame on Track Jammed*— masing-masing berkontribusi sebesar 321 menit dan 304 menit, sehingga secara kumulatif ketiga alarm teratas mencapai 71,63% dari total *downtime*. Dengan demikian, alarm “Loader Frame On-Chain Missing” ditetapkan sebagai prioritas utama perbaikan sesuai prinsip *Pareto* [6].



Gambar 3 Diagram Pareto Durasi Alarm Mesin Chemical Deflash Periode September – November 2025

C. Analyze

Pada tahap *Analyze*, *Fishbone Diagram* berbasis *5M+1E* digunakan untuk memetakan seluruh faktor penyebab potensial [6][7][8], penyebab kondisi *slanted frame* secara komprehensif. Investigasi dilakukan melalui observasi langsung di lapangan. Hasil analisis pada Gambar 4 mengidentifikasi beberapa faktor kontribusi dari berbagai dimensi, antara lain : (1) *Man* : operator kurang aware terhadap alarm dan kurangnya *training* terkait penanganan kondisi *slanted frame* ; (2) *Machine* : tidak adanya mekanisme pendorong aktif pada jalur *loading* serta ketergantungan hanya pada getaran silinder saat membuka *movable track guide*; (3) *Method* : *SOP loading* yang tidak cukup detail dan tidak adanya *preventive check* berkala; (4) *Material* : dimensi *frame* yang tidak konsisten dan adanya *frame* bengkok/cacat; (5) *Measurement* : sensor hanya mendeteksi ada/tidaknya *frame* tanpa mekanisme *feedback* posisi; serta (6) *Environment* : suplai angin (pneumatik) yang tidak konsisten menyebabkan dorongan silinder tidak mencapai target.



Gambar 4 Fishbone Diagram Penyebab Alarm “Loader Frame On-Chain Missing”

Berdasarkan hasil *Fishbone Diagram*, dilakukan eliminasi sistematis terhadap setiap faktor berdasarkan observasi lapangan. Faktor *Man* dieliminasi karena alarm terbukti terjadi secara konsisten bahkan saat operator berpengalaman bertugas, sehingga faktor kompetensi individu tidak dapat menjelaskan kejadian yang bersifat berulang dan sistematis. Faktor *Material* dieliminasi karena alarm juga terjadi pada *frame* dengan dimensi normal dan tidak cacat, menunjukkan bahwa kondisi *slanted* bukan semata-mata disebabkan oleh kualitas *frame*. Faktor *Environment* dieliminasi karena alarm tetap terjadi meskipun suplai pneumatik dalam kondisi tekanan normal, sehingga inkonsistensi suplai angin bersifat kontributif namun bukan penyebab utama. Faktor *Method* dieliminasi karena ketidakdetailan *SOP* hanya mempengaruhi kecepatan respons operator, bukan pemicu langsung kondisi *slanted*. Faktor *Measurement* dieliminasi karena keterbatasan sensor bersifat konsekuensi dari kondisi *slanted*, bukan penyebabnya. Meskipun keterbatasan sensor berkontribusi terhadap lamanya deteksi kondisi *slanted*, akar permasalahan tetap tidak adanya mekanisme yang mencegah kondisi tersebut terjadi sejak awal. Perbaikan pada sistem sensor tanpa mengatasi ketiadaan *active pusher* tidak akan mencegah kejadian *slanted frame* berulang. Untuk memperkuat konfirmasi root cause, dilakukan analisis lanjutan menggunakan metode *Why-Why Analysis* terhadap faktor *Machine* yang telah teridentifikasi:

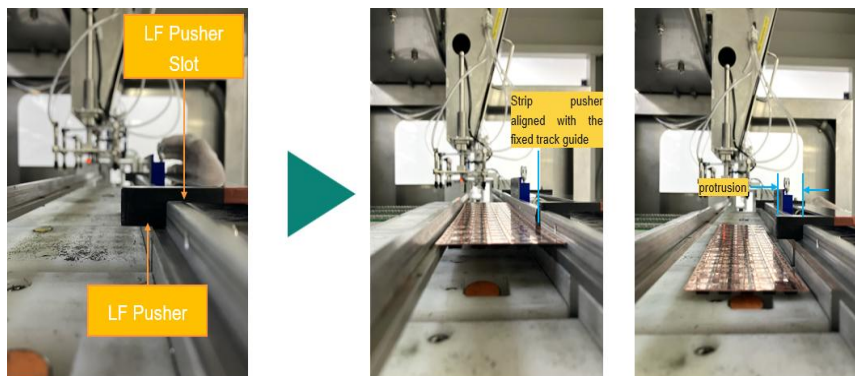
- **Why 1:** Mengapa alarm “Loader Frame On-Chain Missing” terpicu? → Karena *leadframe* tidak terdeteksi oleh *product sensor* pada *conveyor chain* selama proses transfer menuju *CD In*.
- **Why 2:** Mengapa *leadframe* tidak terdeteksi oleh *product sensor*? → Karena *leadframe* tertinggal dalam posisi *slanted* di tepi *fixed LF track guide*.
- **Why 3:** Mengapa *leadframe* tertinggal dalam posisi *slanted*? → Karena getaran yang dihasilkan oleh silinder saat membuka *movable track guide* tidak cukup kuat untuk mendorong *leadframe* mencapai posisi yang tepat pada *conveyor chain*.
- **Why 4:** Mengapa hanya mengandalkan getaran silinder yang tidak cukup tersebut? → Karena tidak ada mekanisme pendorong tambahan pada jalur *loading*.
- **Why 5:** Mengapa tidak ada mekanisme pendorong tambahan? → Karena keterbatasan desain mesin (*machine design limitation*) yang tidak dilengkapi mekanisme pendorong aktif (*active pusher*) pada jalur *loading*.

Analisis ini menegaskan bahwa akar penyebab bersifat struktural pada desain mesin, sejalan dengan hasil konfirmasi *root cause* melalui *Fishbone Diagram*, sekaligus memperjelas mekanisme kegagalan secara berurutan dari gejala (sensor tidak mendeteksi) hingga akar penyebab (keterbatasan desain mesin). Dengan demikian, faktor *Machine* — yaitu ketiadaan mekanisme pendorong aktif pada jalur *loading* — dikonfirmasi sebagai *root cause* utama yang bersifat struktural dan konsisten memicu kondisi *slanted frame* pada setiap siklus *loading*. Ketidadaan *active pusher* menyebabkan *leadframe* hanya mengandalkan getaran mekanis untuk meluncur ke *conveyor chain*, sehingga rentan tertinggal dalam kondisi miring.

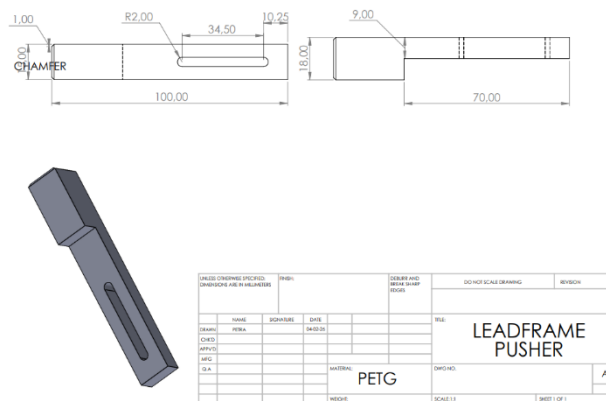
D. Improve

Berdasarkan *root cause* yang telah teridentifikasi pada tahap *Analyze*, disusun *plan of action* sebagai panduan pelaksanaan perbaikan. Pada bulan Desember 2025, dilakukan identifikasi solusi teknis berdasarkan *root cause* yang telah dikonfirmasi, dilanjutkan dengan perancangan komponen *Leadframe Pusher* beserta *slot* pada tepi *fixed track guide*, pemilihan material yang sesuai kondisi operasional *wet area*, fabrikasi komponen menggunakan metode *3D printing*.

Solusi teknis yang dirancang adalah implementasi *Leadframe Pusher* pada area *loading* mesin *Chemical Deflash*. Sebuah *slot* dibuat pada tepi *fixed track guide* untuk memfasilitasi gerakan maju-mundur *pusher*. *Leadframe Pusher* dirancang dan dicetak menggunakan metode *3D printing* [4] dengan filamen *PETG* (*Polyethylene Terephthalate Glycol*) yang dipilih berdasarkan ketahanannya terhadap paparan larutan kimia dan kelembaban pada area *Chemical Deflash* [10]. Pemilihan *PETG* didasarkan pada tiga pertimbangan utama: ketahanan kimia terhadap larutan deflash, ketahanan terhadap kelembaban tinggi di *wet area*, serta kemudahan fabrikasi ulang dengan biaya rendah. Dibandingkan *PLA* yang rentan terdegradasi pada lingkungan lembab, *PETG* memiliki sifat *moisture resistance* yang lebih baik. Dibandingkan *ABS* yang memerlukan *enclosure* dan rentan *warping*, *PETG* lebih mudah dicetak dan menghasilkan dimensi yang lebih konsisten. Secara prinsip kerja, *Leadframe Pusher* tidak memiliki aktuator independen, melainkan memanfaatkan gerakan silinder pneumatik *fixed track guide* yang sudah ada. Saat silinder pneumatik menggerakkan *fixed track guide* maju, *Leadframe Pusher* yang terpasang pada slot di tepi *track guide* ikut bergerak maju secara bersamaan dan mendorong *leadframe* masuk ke *conveyor chain* dengan posisi yang tepat. Saat silinder kembali ke posisi awal, *pusher* ikut mundur ke *retract position* sehingga tidak menghalangi aliran *leadframe* berikutnya. Dengan demikian, solusi ini tidak memerlukan modifikasi sistem pneumatik maupun penambahan aktuator baru. Mekanisme *Leadframe Pusher* beroperasi dalam dua posisi: (1) *retract position*, yaitu posisi sejajar dengan track saat tidak aktif agar tidak menghalangi aliran *leadframe*; dan (2) *pushing position*, yaitu posisi mendorong *leadframe* secara aktif agar masuk ke *conveyor chain* dengan posisi yang tepat.



Gambar 5 *Leadframe Pusher* dan Slot pada *Fixed Track Guide*



Gambar 6 Drawing *Leadframe Pusher*

E. Control

Pemantauan dilakukan selama periode Desember 2025 – Februari 2026 untuk memverifikasi efektivitas dan keberlanjutan solusi. Evaluasi menggunakan *before-after analysis*, membandingkan data *downtime* periode September – November 2025 (*before*) dengan periode Desember 2025 – Februari 2026 (*after*) pasca pemasangan *Leadframe Pusher*. Selama periode pemantauan Desember 2025 – Februari 2026, lini produksi *wet area* PT X beroperasi dalam kondisi normal, kecuali *shutdown* rutin pada periode Natal yang berlangsung dalam durasi terbatas. Kondisi operasional ini sebanding dengan periode *baseline* September – November 2025, sehingga perbedaan hasil *downtime* yang terukur dapat diatribusikan kepada implementasi *Leadframe Pusher* sebagai variabel intervensi utama. Hasil pemantauan selengkapnya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2 Data Alarm “Loader Frame On-Chain Missing” Setelah Perbaikan

Bulan	Occurrence (Kejadian)	Durasi (Menit)
Desember 2025	85	119
Januari 2026	74	106
Februari 2026	53	77
Total	212	302

Data pada Tabel 2 memperlihatkan tren penurunan yang konsisten pada kedua indikator. Durasi *downtime* akibat alarm menurun dari 119 menit pada Desember 2025 menjadi 77 menit pada Februari 2026, sementara *occurrence* turun dari 85 menjadi 53 kejadian pada periode yang sama. Dibandingkan dengan kondisi *before* yang mencapai total 3.311 menit dan 1.293 kejadian, perbaikan ini menghasilkan penurunan durasi *downtime* alarm sebesar :

$$\% \text{ Reduction} = \frac{3.311 - 302}{3.311} \times 100\% = \frac{3.009}{3.311} \times 100\% = 90,88\%$$

Nilai ini melampaui target penurunan $\geq 70\%$ sesuai tujuan yang ditetapkan pada tahap *Define*. Perbandingan total *downtime* mesin sebelum dan sesudah implementasi ditampilkan pada Tabel 3.

Rata-rata durasi per kejadian mengalami penurunan dari $\pm 2,56$ menit menjadi $\pm 1,42$ menit per kejadian, meskipun metrik ini berada di luar cakupan target penelitian yang telah ditetapkan pada tahap *Define*.

Tabel 3 Perbandingan Alarm “Loader Frame On-Chain Missing” Sebelum dan Sesudah Perbaikan

Kondisi	Occurrence (Kejadian)	Durasi (Menit)	% Reduction (Occurrence)	% Reduction (Durasi)
Sebelum Implementasi	1.293	3.311	83,60%	90,88%
Sesudah Implementasi	212	302		

Sebagai dampak positif yang lebih luas, total *downtime* mesin *Chemical Deflash* secara keseluruhan juga mengalami penurunan signifikan. Total durasi *downtime* mesin turun dari 5.495 menit menjadi 1.546 menit, dengan perhitungan :

$$\% \text{ Reduction} = \frac{5.495 - 1.546}{5.495} \times 100\% = \frac{3.949}{5.495} \times 100\% = 71,87\%$$

Nilai total keseluruhan durasi *downtime* juga menunjukkan penurunan yang drastis. Perbandingan lengkap sebelum dan sesudah implementasi disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4 Perbandingan Total Downtime Mesin *Chemical Deflash* Sebelum dan Sesudah Perbaikan

Kondisi	Total Occurrence (Kejadian)	Total Durasi (Menit)	% Reduction (Occurrence)	% Reduction (Durasi)
Sebelum Implementasi	5.304	5.495	61,18%	71,87%
Sesudah Implementasi	2.059	1.546		

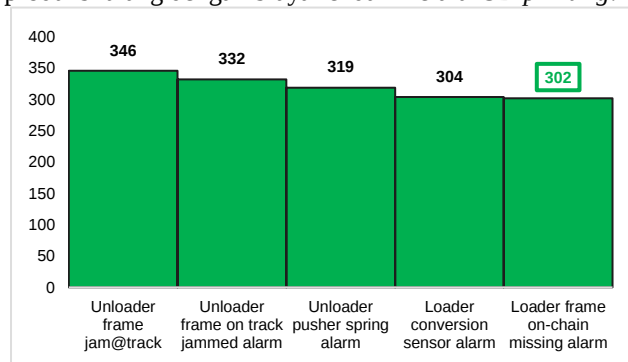
Sebagai indikator pendukung, frekuensi *occurrence* alarm “Loader Frame On-Chain Missing” mengalami penurunan dari 1.293 menjadi 212 kejadian (83,60%) dan frekuensi *occurrence* total dari 5.304 menjadi 2.059 kejadian (61,18%). Gambar 7 menunjukkan pergeseran posisi alarm tersebut pada *Top 5 alarm* periode Desember 2025 – Februari 2026; alarm ini turun dari peringkat pertama menjadi peringkat kelima dengan durasi 302 menit, sehingga posisi tertinggi bukan lagi *alarm* tersebut. Keempat alarm yang kini mendominasi peringkat teratas merupakan alarm yang sebelumnya telah ada pada periode *baseline*, sehingga pergeseran peringkat ini mencerminkan perubahan proporsi akibat penurunan signifikan bukan munculnya permasalahan operasional baru.

Salah satu keterbatasan penelitian ini adalah tidak terkontrolnya variabel volume produksi antar periode *baseline* dan periode pemantauan, sehingga penurunan durasi dan *occurrence* alarm secara teoritis juga dapat dipengaruhi oleh perubahan volume produksi atau permintaan. Namun, apabila penurunan tersebut murni disebabkan oleh volume produksi yang lebih rendah, maka seluruh alarm pada mesin

Chemical Deflash seharusnya mengalami penurunan secara proporsional. Pada kenyataannya, total durasi dan *occurrence downtime* mesin secara keseluruhan hanya turun masing-masing 71,87% dan 61,18%, sementara alarm "*Loader Frame On-Chain Missing*" turun jauh lebih besar, yaitu 90,88% (durasi) dan 83,60% (*occurrence*). Penurunan yang tidak proporsional ini mengindikasikan adanya pengaruh spesifik dari implementasi *Leadframe Pusher* terhadap alarm tersebut, di luar efek umum penurunan volume produksi. Meskipun demikian, karena data volume produksi tidak dapat diakses selama periode penelitian, pengaruh *Leadframe Pusher* terhadap penurunan ini tidak dapat diklaim secara mutlak dan perlu divalidasi lebih lanjut melalui penelitian dengan kontrol variabel produksi yang lebih ketat.

Penurunan durasi dan frekuensi alarm secara konsisten ini dapat dijelaskan secara mekanistik melalui prinsip kerja *Leadframe Pusher*. Sebelum implementasi, posisi *leadframe* pada *conveyor chain* semata-mata bergantung pada getaran silinder saat membuka *movable track guide*, sehingga hasil akhirnya tidak konsisten dan rentan meninggalkan *leadframe* dalam kondisi *slanted*. Setelah *Leadframe Pusher* terpasang, gerakan maju silinder *fixed track guide* yang sama kini juga menggerakkan *pusher* untuk secara aktif mendorong *leadframe* ke posisi yang tepat pada setiap siklus *loading*, sehingga faktor ketidakpastian akibat getaran digantikan oleh dorongan mekanis yang terukur dan berulang. Hal ini menjelaskan mengapa penurunan durasi dan *occurrence* alarm terjadi secara konsisten dari bulan ke bulan selama periode pemantauan.

Standard Operating Procedure (SOP) baru ditetapkan, mencakup (1) *OJTI* tentang *alignment Leadframe Pusher* (2) Pemeriksaan *alignment Leadframe Pusher* terhadap *slot fixed track guide* dilakukan setiap pergantian shift oleh operator untuk memastikan posisi *pusher* tetap presisi sesuai dengan *OJTI*; dan (3) penjadwalan untuk perawatan berkala meliputi pengecekan fisik *pusher* dari keausan dan keretakan serta penggantian komponen apabila ditemukan kerusakan. Selama periode pemantauan Desember 2025 – Februari 2026, kondisi fisik *Leadframe Pusher* tetap utuh tanpa ditemukan tanda keausan maupun keretakan, mengindikasikan bahwa material *PETG* memiliki durabilitas yang memadai untuk kondisi operasional *wet area* dalam jangka pendek. Evaluasi kondisi fisik *pusher* secara berkala tetap dijadwalkan sesuai *SOP* yang telah ditetapkan sebagai langkah antisipasi untuk jangka panjang. Prosedur ini ditetapkan untuk menjaga konsistensi kinerja *Leadframe Pusher* dalam jangka panjang. Penerapan solusi serupa direkomendasikan pada mesin *Chemical Deflash* lainnya di *wet area* PT X yang memiliki konfigurasi *loading* sama, karena *Leadframe Pusher* tidak memerlukan modifikasi sistem pneumatik maupun aktuator tambahan dan dapat diproduksi ulang dengan biaya rendah melalui *3D printing*.



Gambar 7 Top 5 Alarm Penyebab Downtime Mesin *Chemical Deflash* Periode Desember 2025 – Februari 2026

4 KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengidentifikasi, menganalisis, dan menyelesaikan permasalahan *downtime* berulang pada mesin *Chemical Deflash* di *wet area* PT X menggunakan kerangka kerja *DMAIC*. Berdasarkan seluruh tahapan yang telah dilaksanakan, dapat ditarik 3 kesimpulan utama sebagai berikut :

1. Alarm "*Loader Frame On-Chain Missing*" terbukti sebagai penyebab dominan *downtime* mesin *Chemical Deflash* pada periode September – November 2025, dengan total durasi 3.311 menit (60,25% dari keseluruhan *downtime* mesin) dan 1.293 kejadian. Melalui analisis *Fishbone Diagram (5M+1E)* dan eliminasi sistematis berbasis observasi lapangan, akar penyebab utama permasalahan ini diidentifikasi sebagai *machine design limitation*, yaitu tidak adanya mekanisme pendorong aktif (*active pusher*) pada jalur *loading*, yang mengakibatkan *leadframe* rentan tertinggal dalam kondisi *slanted* di tepi *fixed LF track guide*.
2. Implementasi *Leadframe Pusher* yang dilengkapi slot khusus pada *fixed track guide* menunjukkan pengaruh yang efektif sebagai solusi teknis. Mekanisme ini menjamin posisi *leadframe* yang konsisten setiap siklus *loading*, sehingga kondisi *slanted frame* dapat diminimalkan dan durasi alarm dapat ditekan secara signifikan.

3. Evaluasi *before-after analysis* selama periode Desember 2025 – Februari 2026 menunjukkan penurunan durasi *downtime* akibat *alarm* sebesar 90,88% dan secara keseluruhan, total *downtime* mesin *Chemical Deflash* juga berhasil diturunkan sebesar 71,87% (dari 5.495 menit menjadi 1.546 menit) dan melampaui target $\geq 70\%$ yang ditetapkan. Sebagai indikator pendukung, frekuensi *occurrence alarm* turut menurun dari 1.293 kejadian menjadi 212 kejadian (83,60%). *SOP* baru telah ditetapkan untuk menjaga keberlanjutan hasil perbaikan. Mengingat variabel volume produksi tidak terkontrol penuh selama periode penelitian, hasil ini menunjukkan pengaruh kuat *Leadframe Pusher* terhadap penurunan *downtime*, namun tidak diklaim sebagai satu-satunya faktor penyebab secara mutlak.

5 DAFTAR PUSTAKA

- [1] Afrilian, D., Pradana, H. R., Aribino, N. F., & Prasetyo, Y. (2025). Pengaruh otomatisasi sistem mesin *marking* terhadap *downtime* mesin *marking* dengan metode DMAIC pada PT XYZ. *Journal of Management and Innovation Entrepreneurship (JMIE)*, 2(3). <https://doi.org/10.70248/jmie.v2i3.2278>
- [2] Daniyan, I., Adeodu, A., Mpofu, K., Maladzi, R., & Kana-Kana Katumba, M. G. (2022). Application of lean Six Sigma methodology using DMAIC approach for the improvement of bogie assembly process in the railcar industry. *Heliyon*, 8(3), e09043. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e09043>
- [3] Gangidi, P. R. (2019). Application of Six Sigma in semiconductor manufacturing: A case study in yield improvement. In *Applications of Design for Manufacturing and Assembly*. IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.81058>
- [4] Jayakrishna, K., et al. (2023). An Overview of Extensive Analysis of 3D Printing Applications in the Manufacturing Sector. *Journal of Engineering*, 2023, Article 7465737. <https://doi.org/10.1155/2023/7465737>
- [5] Martina, T., Anastasia, V., Purnama, I., & Kusumadewi, A. (2026). *Efforts to reduce single needle sewing machine downtime using the DMAIC method on line hangers 1–6 at PT Dekatama Centra*. *Sainteks: Jurnal Sain dan Teknik*, 8(1). <https://doi.org/10.37577/sainteks.v8i01.1080>
- [6] Rahman, F., Herlina, F., Maulana, Y., Trianiza, I., & Arief, S. (2025). Crawler Crane Failure Cause Analysis Using Fishbone Diagram, Pareto Principle, and Failure Mode Effect Analysis: A Comprehensive Approach to Minimize Downtime and Improve Operational Reliability. *Journal of Innovation and Technology*, 2025(1). <https://doi.org/10.61453/joit.v2025no04>
- [7] Rahmanto, A. A., Irfani, R., & Suryawan, L. A. (2025). Analisis faktor yang menyebabkan *downtime* pada mesin *injector* freon di divisi refrigerator PT. XYZ. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 9(1), 113–120. <https://doi.org/10.30588/jeemm.v9i1.2162>
- [8] Rochmad, I., Girsang, H., & Sudrajat, K. M. (2025). *Increasing production output by reducing downtime using the DMAIC method in the fiber cement roofing industry*. *JENIUS: Jurnal Terapan Teknik Industri*, 6(2), 214–221. <https://doi.org/10.37373/jenius.v6i2.1772>
- [9] Salazar, D. D., & Noroña, M. I. (2021). A DMAIC approach in improving wafer hairline crack detection process at chip probe and in reducing overall manufacturing downtime. *Proceedings of the Second Asia Pacific International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*, Surakarta, Indonesia, 2922–2933.
- [10] Yalçın, M. M., et al. (2025). Investigation of the Effect of Exposure to Liquid Chemicals on the Strength Performance of 3D-Printed Parts from Different Filament Types. *Polymers*, 17(12), 1637. <https://doi.org/10.3390/polym17121637>