



# OPTIMASI KOMPONEN *PUSHER* PADA *FIXTURE* *WAVE PALLET SOLDER*

Fauzan Fathurachman<sup>1</sup>, Vika Rizkia<sup>1\*</sup>, dan Marwah Masruroh<sup>1</sup>

Program Studi Diploma Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus UI, Depok, 16425

E-mail address: [vika.rizkia@mesin.pnj.ac.id](mailto:vika.rizkia@mesin.pnj.ac.id)

## Abstrak

Selama bertugas sebagai *Process Engineer* lini *Manual Insertion (MI)* PT XYZ, ditemukan tingkat cacat *component shifting* sebesar 12,06% pada proses *wave soldering* PCBA Model X. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi akar penyebab kegagalan unit *pusher* eksisting dan merancang optimasi desain baru tanpa komponen ulir. Metode yang digunakan meliputi investigasi *Root Cause Analysis (RCA)*, pemodelan 3D, dan validasi mekanika elemen mesin. Hasil RCA menunjukkan cacat dipicu kegagalan termal-mekanis akibat CTE mismatch antara *pallet* aluminium dan baut *stainless steel* pada suhu 250°C yang mendegradasi batas luluh baut menjadi 350 MPa, memicu mulur plastis, dan hilangnya *preload*, sehingga getaran konveyor menyebabkan *vibrational self-loosening* pada mur. Sebagai solusi, dilakukan rekonstruksi desain menggunakan poros Pin T Terbalik (40,00 mm), pengunci positif C-Clip DIN 6799 Seri 2,3, hulu Nylon, dan *thermal gap* 0,50 mm dengan kontrol toleransi ISO h7/H7. Validasi teoretis membuktikan *thermal gap* sukses menyerap pemuaian Nylon (0,432 mm), gaya jepit konstan 4,81 N, serta *Factor of Safety (FoS)* mencapai 27,7 (statis) dan 17,2 (dinamis). Kesimpulannya, desain optimasi *pusher* ini terbukti andal terhadap getaran transversal dan siklus termal ekstrem untuk mengeliminasi *component shifting* secara mutlak.).

Kata-kata kunci: *Process Engineer*, *Manual Insertion*, *component shifting*, *wave soldering*, *Root Cause Analysis*, DIN 6799.

## Abstract

During a tenure as a *Process Engineer* in the *Manual Insertion (MI)* line at PT XYZ, a 12.06% *component shifting* defect rate was observed during the PCBA Model X *wave soldering* process. This study aims to identify the root cause of the existing *pusher* unit failure and design an optimized new model without threaded components. The methods utilized include *Root Cause Analysis (RCA)*, 3D modeling, and machine element validation. The RCA revealed that the defect was triggered by thermo-mechanical failure due to a CTE mismatch between the aluminum *pallet* and the *stainless steel* bolt at 250°C, degrading the bolt's yield strength to 350 MPa, causing plastic deformation, *preload* loss, and *vibrational self-loosening* of the nut under conveyor vibration. As an engineering solution, the design reconstruction applied an inverted T-Pin shaft (40.00 mm), a positive locking C-Clip (DIN 6799 Series 2.3), a Nylon head, and a 0.50 mm *thermal gap* under ISO h7/H7 tolerance control. Theoretical validation proved the *thermal gap* successfully absorbed the Nylon's expansion (0.432 mm), maintaining a constant 4.81 N clamping force with a *Factor of Safety (FoS)* of 27.7 (static) and 17.2 (dynamic). In conclusion, this optimized *pusher* design is proven reliable against transversal vibrations and extreme thermal cycles to absolutely eliminate *component shifting*.

Keywords: *Process Engineer*, *Manual Insertion*, *component shifting*, *wave soldering*, *Root Cause Analysis*, DIN 6799.



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

PENGAHULUAN

Dalam lini perakitan sirkuit elektronik atau Printed Circuit Board Assembly (PCBA), proses penyolderan massa komponen merupakan salah satu tahapan otomatisasi yang paling kritis. PT XYZ memanfaatkan teknologi mesin wave solder untuk melakukan penyolderan massal pada produk PCBA Model X [2]. Guna memastikan seluruh komponen elektronik tetap berada pada koordinat geometris yang presisi dan tidak bergeser sebelum jembatan metalurgi timah cair membeku seutuhnya, digunakan alat bantu penekaman khusus berupa selective pallet atau tooling fixture [2], [4]. Di atas fixture inilah dipasang sebuah unit penahan mekanis aksial yang dikenal sebagai unit pusher.

Namun demikian, kondisi operasional riil di lini produksi PT XYZ saat ini masih dihadapkan pada kendala kualitas yang persisten. Ditemukan tingginya persentase cacat berupa pergeseran posisi komponen (component shifting defect) pada PCBA Model X pasca-proses melewati terowongan solder [3]. Fenomena component shifting ini berdampak langsung pada penurunan nilai First Pass Yield (FPY) perusahaan, serta memicu pembengkakan biaya pengerjaan ulang (rework cost) karena produk yang cacat harus ditangani secara manual oleh teknisi khusus [1].

Secara mekanis, unit pusher eksisting (desain lama) di PT XYZ menggunakan sistem sambungan ulir konvensional baut-mur M4 berbahan Stainless Steel untuk menjepit pegas tekan heliks dan menahan hulu penekan (head pusher) berbahan Nylon pejal [15]. Investigasi awal di lapangan memperlihatkan bahwa keandalan jepitan dari metode sambungan ulir ini menurun drastis ketika fixture bergerak di atas rel konveyor dinamis yang menghasilkan getaran mekanis kontinu [2]. Kondisi ini diperparah saat fixture memasuki area solder pot dan berinteraksi langsung dengan gelombang cairan timah panas bersuhu puncak 250°C [4]. Terpaan panas ekstrem ini menimbulkan fenomena ketidakcocokan ekspansi termal (CTE mismatch) yang masif antara material pelat top pallet Aluminium dan baut Stainless Steel, yang menginduksikan tegangan tekan internal di luar batas elastis material sehingga baut mengalami deformasi plastis atau mulur permanen [12], [13].

Begitu fixture mendingin kembali, mulur permanen tersebut menyisakan celah kelonggaran non-rotasional yang menyalakan gaya pratekan (preload loss) sambungan ulir. Tanpa adanya gaya gesek statis penahan, paparan getaran transversal konveyor dengan mudah memicu kegagalan pelonggaran mandiri (vibrational self-loosening), di mana mur M4 berputar balik secara mandiri dan mengeliminasi gaya jepit efektif pegas hingga berada di bawah level aman [10], [11]. Gaya penahan yang drop ini terbukti gagal membendung gaya angkat hidrodinamis dari aliran cairan timah panas, sehingga menjadi pemicu utama terjadinya cacat component shifting [15].

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

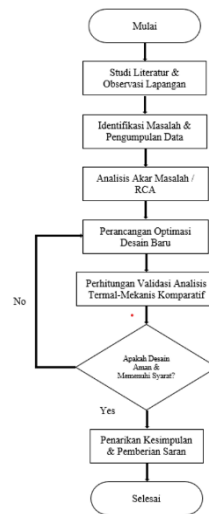


## Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

### METODE PENELITIAN

#### Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Root Cause Analysis (RCA) dan perancangan rekayasa (engineering redesign) untuk mengidentifikasi penyebab pelanggaran unit pusher dan mencegah cacat component shifting pada fixture PCBA Model X di mesin wave solder PT XYZ. Tahapan penelitian dimulai dari identifikasi masalah melalui studi lapangan dan tinjauan pustaka, kemudian dilanjutkan dengan pengumpulan data operasional, analisis akar masalah komprehensif menggunakan Diagram Fishbone dan 5-Whys analysis. Berdasarkan temuan tersebut, penelitian diteruskan dengan tahapan perancangan optimasi desain (rekayasa CAD 3D), serta diakhiri dengan perhitungan validasi analisis termal-mekanis komparatif untuk membuktikan keandalan desain baru secara matematis dalam mengeliminasi kegagalan sistem.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Identifikasi Cacat dan Analisis Root Cause (RCA)

Berdasarkan data kuantitatif QC periode 2 Februari hingga 2 Mei 2026, tercatat total volume produksi mencapai 19.500 unit dengan kejadian cacat *component shifting* sebanyak 2.352 unit (tingkat kegagalan stabil di angka ~12,06%). Berdasarkan dekonstruksi masalah melalui Diagram Fishbone dan analisis lintas elemen, ditemukan interkorelasi sistemik sebagai berikut:

- Man: Penyetelan torsi mur M4 bersifat subjektif berdasarkan perasaan operator (*feeling*), memicu ketidakseragaman beban kompresi awal pegas [15].
- Machine: Unit menerima paparan getaran transversal konveyor frekuensi tinggi [2] dan gaya angkat hidrodinamis (*upward force*) dari aliran fluida timah cair bersuhu 250°C [4], [15].
- Method & Material: Metode klem bersifat non-positif karena bergantung murni pada gaya gesek ulir baut-mur [7], [8]. Ketika suhu naik dari 25°C ke 250°C ( $\Delta T = 225$  K), terjadi *CTE mismatch* antara pelat Aluminium ( $\alpha = 23 \times 10^{-6}/K$ ) dan baut *Stainless Steel* ( $\alpha = 16 \times 10^{-6}/K$ ) [17].

### Analisis Kegagalan Termal-Mekanis Sistem Lama

Metode Pemuaian ketebalan pelat Aluminium akibat panas dihitung dengan persamaan ekspansi linear:

$$\Delta L_{\text{pallet}} = 23 \times 10^{-6}/K \cdot 3 \text{ mm} \cdot 225 \text{ K} = 0,0155 \text{ mm}$$

Sedangkan pemuaian panjang baut *Stainless Steel* pada area jepitan setebal 3 mm adalah:

$$\Delta L_{\text{baut}} = 16 \times 10^{-6} / \text{K} \cdot 3 \text{ mm} \cdot 225 \text{ K} = 0,0108 \text{ mm}$$

Selisi pemuaian bersih (*CTE mismatch*) memicu deviasi sebesar:

$$\Delta L_{\text{deviasi}} = 0,0155 \text{ mm} - 0,0108 \text{ mm} = 0,00472 \text{ mm}$$

Batas ruang mekanis yang kaku memaksa deviasi mikrometer ini menjadi tegangan termal tekan internal berdasarkan Hukum Hooke [8], [13]:

$$\sigma_{\text{thermal}} = \frac{0,00472 \text{ mm}}{3 \text{ mm}} \cdot 200.000 \text{ MPa} = 315 \text{ MPa}$$

Total tegangan kerja aktual ( $\sigma_{\text{total}}$ ) merupakan akumulasi dari tegangan tarik awal pengencangan ( $\sigma_{\text{tarik}} \approx 100 \text{ MPa}$ ) dan tegangan termal ( $\sigma_{\text{thermal}} = 315 \text{ MPa}$ ), yaitu sebesar 415 MPa [8]. Di sisi lain, temperatur ekstrem 250°C mendegradasi batas luluh elastis (*yield strength*) baja tahan karat komersial secara drastis dari 450 MPa menjadi hanya sekitar 350 MPa [13]. Akibatnya terjadi kegagalan:

$$\sigma_{\text{total}} (415 \text{ MPa}) > \sigma_{\text{yield pada } 250^\circ\text{C}} (350 \text{ MPa})$$

Hal ini membuktikan secara matematis bahwa baut mengalami deformasi plastis (mulur permanen) di dalam terowongan mesin solder [13]. Saat mendingin, baut menyisakan kelonggaran permanen (*embedding loss*) yang menghilangkan gaya pratekan sambungan ulir hingga 0% [10], [12]. Getaran transversal konveyor mengeliminasi koefisien gesek ulir hingga mencapai titik bebas gesekan (*frictionless state*), sehingga torsi heliks spiral dari pegas memicu *vibrational self-loosening failure* [10], [11].

### Rekonstruksi Desain Optimasi Unit Pusher Baru

Optimasi radikal dieksekusi dengan mengeliminasi seluruh komponen ulir dan menerapkan penguncian mekanis positif [8], [11]. Desain baru terdiri atas:

1. Body Pusher / Pin T Terbalik (*Stainless Steel*): Dirancang sebagai poros bertingkat pejal dengan diameter bagian besar 7,00 mm (panjang 20,00 mm) sebagai penopang internal anti-tebuk [14]. Bagian poros kecil (batang utama) memiliki diameter nominal 3,50 mm dengan panjang vertikal 40,00 mm (penerapan DFM angka bulat) yang berfungsi sebagai batang pemandu pegas (*spring guide axis*) [9], [16]. Alur coakan radial (*groove*) dibuat dengan diameter inti  $d_1 = 2,30 \text{ mm}$  dan lebar alur  $m = 0,64 \text{ mm}$  sesuai standar DIN 6799 [5], [8].
2. Head Pusher (*Material Nylon*): Geometri internal diubah menjadi lubang bertingkat (*stepped bore*). Lubang pemandu atas berdiameter 3,60 mm ditoleransi menggunakan kelas ISO H7 dengan tingkat kekasaran permukaan N7 [6], [15].
3. Analisis Celah Gerak Hubungan Poros-Lubang: Pasangan Poros  $\varnothing 3,50 \text{ h7}$  (Batas Atas = 3,500 mm; Batas Bawah = 3,488 mm) dan Lubang  $\varnothing 3,60 \text{ H7}$  (Batas Atas = 3,612 mm; Batas Bawah = 3,600 mm) menghasilkan jenis suaian longgar lurus (*sliding clearance fit*) [5], [6]. Berdasarkan perhitungan, batasan celah gerak konstan berada pada rentang minimum 0,100 mm hingga maksimum 0,124 mm, menjamin kelancaran translasi aksial tanpa gejala miring (*wobbling*) [6], [15].

### Validasi Kuantitatif Parameter Desain Baru

Analisis Ekspansi Termal Linier (Celah Anti-Macet): Lonjakan suhu aktual  $\Delta T = 225 \text{ K}$  mengakibatkan pemuaian linear aksial komponen bawah sepanjang 30 mm. Pemuaian *Nylon* ( $\alpha = 80 \times 10^{-6} / \text{K}$ ) adalah  $\Delta L_{\text{nylon}} = 0,540 \text{ mm}$ , sedangkan poros baja ( $\alpha = 16 \times 10^{-6} / \text{K}$ ) adalah  $\Delta L_{\text{poros}} = 0,108 \text{ mm}$ . Selisih pemuaian bersih (*CTE mismatch*) bernilai [12], [13]:

$$\Delta L_{\text{deviasi}} = 0,540 \text{ mm} - 0,108 \text{ mm} = 0,432 \text{ mm}$$

Karena desain baru mengintegrasikan ruang celah kompensasi panas (*thermal gap*) sebesar 0,50 mm tepat di bawah posisi *C-Clip* 1, maka deviasi pemuaian dapat diserap seutuhnya ( $0,432 \text{ mm} < 0,50 \text{ mm}$ ), sehingga risiko kemacetan aksial (*jamming*) berhasil dieliminasi total [13], [14].

Analisis Mekanika Pegas (Retensi Gaya Cengkeram): Konstanta kekakuan pegas heliks tekan eksisting ( $k$ ) dihitung dengan parameter modulus geser  $G = 70.000 \text{ MPa}$ , diameter kawat  $d = 0,5 \text{ mm}$ , diameter lilitan  $D = 5,0 \text{ mm}$ , dan lilitan aktif  $N_a = 10$  [5]:





**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumpukan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

$$k = \frac{70.000 \cdot 0,5^4}{8 \cdot 5^3 \cdot 10} = 0,4375 \text{ N/mm}$$

Pada kondisi operasional (Kondisi B), masuknya PCBA menambah defleksi total kompresi pegas menjadi 11 mm ( $x_2$ ). Gaya jepit operasional aktual ( $F_2$ ) yang ditransmisikan adalah [5], [7]:

$$F_2 = 0,4375 \text{ N/mm} \cdot 11 \text{ mm} = 4,81 \text{ Newton}$$

Gaya jepit konstan sebesar 4,81 N (setara penahanan massa ~480 gram) ini terbukti secara mekanis kuat menahan komponen dari terjangan gelombang solder cair [4], namun tetap berada di bawah batas kritis yang dapat merusak struktur sirkuit PCBA [6].

Analisis Kekuatan Mekanis Sistem Pengunci (Factor of Safety): Batas kapasitas beban aksial maksimal (*Thrust Load Capacity* /  $F_{izin}$ ) klem *C-Clip* DIN 6799 ukuran poros 3,5 mm adalah sebesar 100 N. Pada *C-Clip* 2 (kondisi statis menggantung), total beban aktual adalah 3,6 N, menghasilkan tingkat keamanan [5], [8]:

$$FoS_{C\text{-clip } 2} = \frac{100 \text{ N}}{3,6 \text{ N}} \approx 27,7$$

Pada *C-Clip* 1 (kondisi operasional dinamis), memikul beban pegas ( $F_2 = 4,81 \text{ N}$ ) ditambah beban kejutan getaran konveyor ( $F_{vibe} \approx 1,0 \text{ N}$ ) [2]. Total beban aksial operasional ( $F_{aktual2} = 5,81 \text{ N}$ ) menghasilkan tingkat keamanan [5], [8]:

$$FoS_{C\text{-clip } 1} = \frac{100 \text{ N}}{5,81 \text{ N}} \approx 17,2$$

Merujuk standar rekayasa elemen mesin, komponen dinyatakan memiliki keandalan tinggi dan aman beroperasi secara kontinu jika nilai FoS berada jauh di atas angka 2,0 [8]. Dengan nilai FoS 27,7 (statis) dan 17,2 (dinamis), sistem pengunci *C-Clip* baru terbukti mutlak aman dari risiko patah geser atau terlepas dari alur poros [10], [16].

## Pembahasan

Dari hasil investigasi *Root Cause Analysis* (RCA), analisis tegangan termal-mekanis, dan validasi perhitungan elemen mesin yang telah dilakukan, diperoleh fakta-fakta sebagai berikut:

1. Ditemukan tingginya persentase cacat *component shifting* sebesar 12,06% pada perakitan PCBA Model X. Kondisi ini diakibatkan oleh hilangnya gaya pratekan (*preload loss*) pada unit *pusher* eksisting saat beroperasi melintasi rel konveyor dinamis di dalam mesin *wave solder* bersuhu ekstrem 250°C.
2. Hasil perhitungan tegangan termal membuktikan terjadinya akumulasi tegangan total sebesar 415 MPa pada baut *Stainless Steel* eksisting akibat fenomena *CTE mismatch* dengan pelat *pallet* Aluminium. Angka ini secara fatal melampaui batas luluh material yang telah terdegradasi menjadi 350 MPa pada suhu 250°C, yang mengonfirmasi terjadinya deformasi plastis (mulur permanen) sebagai awal mula hilangnya daya jepit.
3. Hasil validasi matematis pada desain baru menunjukkan bahwa penyediaan *thermal gap* sebesar 0,50 mm berhasil menyerap pemuaian ekspansif material *Nylon* sebesar 0,432 mm (bebas macet). Selain itu, mekanisme pegas dan pengunci *C-Clip* terbukti mampu menahan gaya jepit konstan sebesar 4,81 N dengan nilai *Factor of Safety* (FoS) mencapai 17,2 pada kondisi dinamis, mengonfirmasi keandalannya terhadap getaran ekstrem.

Dari fakta-fakta tersebut, faktor *Machine*, *Method*, dan *Material* pada *fishbone diagram* terkonfirmasi saling berinteraksi secara sistemik sebagai akar penyebab kegagalan (*root cause*). Paparan suhu 250°C memicu *CTE mismatch* yang menghasilkan himpitan tegangan termal melebihi batas kekuatan desain material. Akibatnya,



baut mengalami deformasi plastis, gaya pratekan lenyap total, dan getaran konveyor secara berkelanjutan memicu *vibrational self-loosening* pada mur pengunci hingga *pusher* gagal menahan posisi komponen. Adapun faktor *Man* (kesalahan dan kelelahan operator) merupakan faktor sekunder yang memperburuk inkonsistensi penysetelan gaya jepit awal, namun kelemahan ini berhasil dieliminasi secara mutlak pada desain baru yang jarak kompresinya dikunci secara permanen

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis *Root Cause Analysis* (RCA), pemodelan rekonstruksi geometri CAD, serta validasi kalkulasi termal-mekanis pada unit *pusher fixture* PCBA Model X di PT XYZ, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Terdapat lima pilar faktor dugaan penyebab lepasnya unit *pusher* dan tingginya persentase cacat *component shifting* yang diidentifikasi melalui *fishbone diagram*, yaitu faktor *Man* (subjektivitas torsi dan risiko *human error*), *Machine* (getaran rel konveyor dan suhu ekstrem terowongan), *Method* (sistem klem non-positif baut-mur), *Material* (fenomena *CTE mismatch* dan degradasi batas luluh logam), dan *Design* (konstruksi kaku non-kompensasi serta ketiadaan *spring guide*).
2. Rangkaian kegagalan utama terkonfirmasi sebagai rantai mekanis yang berurutan, di mana paparan suhu puncak 250°C memicu ketidakcocokan ekspansi termal (*CTE mismatch*) antara pelat *top pallet* Aluminium dan baut *Stainless Steel* sebagai pemicu awal timbulnya akumulasi tegangan total sebesar 415 MPa. Nilai ini melampaui batas luluh material baja yang telah terdegradasi panas (350 MPa), sehingga baut mengalami deformasi plastis (mulur permanen) dan melenyapkan gaya pratekan jepitan secara total ketika mendingin. Celah kelonggaran ini berinteraksi langsung dengan getaran transversal konveyor mesin solder yang mengeliminasi gaya gesek kontak ulir, sehingga memicu kegagalan pelonggaran mandiri (*vibrational self-loosening*) pada mur pengunci yang berujung pada lepasnya *pusher* dan mengakibatkan cacat *component shifting* yang stabil di angka 12,06%.
3. Rekonstruksi desain optimasi unit *pusher* baru secara ilmiah terbukti berhasil menyelesaikan seluruh akar masalah tersebut melalui penerapan mekanisme pengunci klem radial positif *C-Clip* (DIN 6799) yang mengeliminasi komponen ulir, penyediaan *thermal gap* 0,50 mm yang aman menyerap selisih pemuaian bersih material Nylon-baja sebesar 0,432 mm untuk mencegah kemacetan aksial (*jamming*), serta pengaplikasian batas suaian longgar presisi ISO h7/H7 untuk menjamin kelancaran gerak aksial dengan retensi gaya jepit operasional yang stabil dan konstan pada level 4,81 N serta tingkat keamanan mekanis (*Factor of Safety*) dinamis ekstrem yang sangat tinggi sebesar 17,2.

## SARAN

1. Melakukan simulasi komputasi numerik lanjutan berbasis metode elemen hingga (*Finite Element Analysis/FEA*) untuk memvisualisasikan sebaran konsentrasi tegangan (*Von Mises stress profile*), peta perpindahan posisi (*displacement map*), serta evaluasi siklus fatik (*fatigue life cycle*) pada struktur lekukan alur coakan poros Pin T akibat beban kejut termal-mekanis siklik jangka panjang.
2. Mengevaluasi substitusi material alternatif pada komponen *head pusher* dengan meneliti pengaruh penggunaan material polimer tingkat tinggi (*high-performance engineering plastics*) seperti *Polyether Ether Ketone* (PEEK) atau *Polytetrafluoroethylene* (PTFE/Teflon) sebagai pengganti material Nylon standar, guna menekan laju pemuaian linier aksial dan keausan gesek pada diameter lubang dalam akibat paparan suhu kontinu 250°C.
3. Merancang alat bantu pemantauan fungsional berkala berupa alat ukur batas aus khusus (*Go/No-Go Gauge Maintenance*) untuk memeriksa tingkat penipisan diameter inti alur poros Pin T dan ketebalan klem *C-Clip* DIN 6799 setelah melewati ribuan siklus produksi perakitan, guna mencegah terjadinya kegagalan geser klem secara mendadak di dalam lini manufaktur PT XYZ

Politeknik Negeri Jakarta

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT XYZ yang telah memberikan dukungan dan izin pengambilan data di lapangan, serta kepada pihak manajemen, staf mutu, dan seluruh teknisi lini produksi PT XYZ yang telah bersedia meluangkan waktu untuk berdiskusi dan berbagi pengalaman teknis yang sangat bermanfaat dalam proses penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] SRA Soldering Products, How to Solder Electronics: 15 Rules for Successful Soldering. Walpole, MA, USA: SRA Soldering Products, 2020. [Online]. Available: <https://www.sra-solder.com/>.
- [2] Sierra Circuits, "Making Sense of Wave Soldering," Sierra Circuits Blog, 2022. [Online]. Available: <http://www.protoexpress.com/blog/making-sense-wave-soldering/>.
- [3] H. Lau, Ed., Solder Joint Reliability: Theory and Applications. New York, NY, USA: Van Nostrand Reinhold, 1991.
- [4] Advanced Mechatronics Solutions, Inc., HW-450 Wave Soldering Machine Brochure. San Diego, CA, USA: AMS, Inc., 2019. [Online]. Available: <https://www.ams-fa.com/product/wave-soldering-machine/>.
- [5] V. B. Bhandari, Design of Machine Elements, 4th ed. New Delhi, India: McGraw-Hill Education, 2017.
- [6] I. Suchy, Handbook of Die Design, 2nd ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2006.
- [7] R. S. Khurmi, A Textbook of Engineering Mechanics (SI Units). New Delhi, India: S. Chand & Company Ltd., 2008.
- [8] R. S. Khurmi and J. K. Gupta, A Textbook of Machine Design (S.I. Units), 14th ed. New Delhi, India: Eurasia Publishing House (Pvt.) Ltd., 2005.
- [9] Misumi Corporation, Coil Springs Product Catalog. Tokyo, Japan: Misumi Group Inc., 2024. [Online]. Available: <https://th.misumi-ec.com/en>.
- [10] B. Eccles, "Self-loosening of threaded fasteners," Fastener + Fixing Technology, vol. 61, no. 12, pp. 22-23, 1992. [Online]. Available: <https://www.boltscience.com/>.
- [11] B. Eccles, "The loosening of prevailing torque nuts," Fastener + Fixing Technology, no. 60, p. 96, Nov. 2009. [Online]. Available: <https://www.boltscience.com/>.
- [12] A. Tashk, "Thermal Effect on Bolt Preload," LinkedIn Articles, 2024. [Online]. Available: <https://www.linkedin.com/pulse/thermal-effect-bolt-preload-ardavan-tashk-5rxqc/>.
- [13] W. D. Callister, Jr. and D. G. Rethwisch, Materials Science and Engineering: An Introduction, 10th ed. New York, NY, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2018.
- [14] F. D. Jones, Ed., Jig and Fixture Design, 1st ed. New York, NY, USA: The Industrial Press, 1920.
- [15] A. A. Dowd and F. W. Curtis, Tool Engineering: Jigs and Fixtures, 1st ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1922.
- [16] H. Radhwan, M. S. M. Effendi, M. F. Rosli, Z. Shayfull, and K. N. Nadia, "Design and Analysis of Jigs and Fixtures for Manufacturing Process," IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 551, no. 1, p. 012028, 2019. doi: 10.1088/1757-899X/551/1/012028.

Hak Cipta:

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

[17] The Engineering ToolBox, "Linear Thermal Expansion Coefficients," The Engineering ToolBox, 2018.  
[Online]. Available: [https://www.engineeringtoolbox.com/linear-expansion-coefficients-d\\_95.html](https://www.engineeringtoolbox.com/linear-expansion-coefficients-d_95.html).

**Hak Cipta :**

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
  - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
  - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

