

Implementasi Lean Six Sigma untuk Optimalisasi SMT: Studi Kasus Solder Tidak Cukup pada PCB Melengkung

Yazid Fiksy Pangestu¹, Djoko Setyanto¹, Hadi Sutanto¹, Rudi Eduard¹

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Indonesia

Article Info	Abstract
<i>Article history:</i> Received 3 Desember 2024 Accepted 24 Maret 2025 <i>Keywords:</i> Kaizen, flexible packaging company, improve	<i>This research aims to optimize Surface Mount Technology (SMT) processes by addressing solder issues on warped printed circuit boards (PCBs). Warped PCBs were identified as a key factor affecting solder quality, impacting product connectivity and reliability. Using Lean Six Sigma, root causes such as printer machine settings, mechanical stress, and PCB material quality were identified. Solutions like adjusting process parameters and controlling material quality reduced the solder defect rate by 94.51%. This study highlights Lean Six Sigma's effectiveness in improving SMT process efficiency and soldering quality, particularly for curved PCBs. Adding vertical Kapton tape and adjusting squeegee pressure and paste thickness further enhanced solder quality.</i>

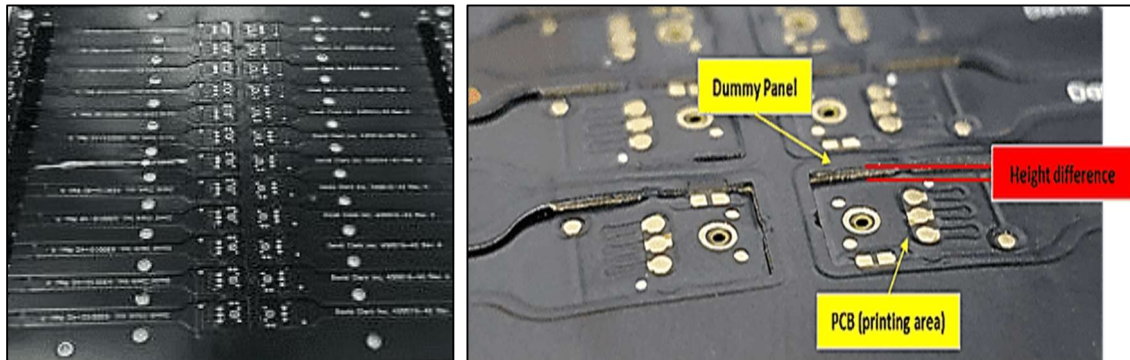
Info Artikel	Abstrak
<i>Histori Artikel:</i> Diterima: 3 Desember 2024 Disetujui: 24 Maret 2025 <i>Kata Kunci:</i> Kaizen, perusahaan flexible packaging, meningkatkan	Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses Surface Mount Technology (SMT) dengan mengatasi masalah solder pada papan sirkuit tercetak (PCB) yang melengkung. PCB yang melengkung diidentifikasi sebagai faktor utama yang memengaruhi kualitas solder, berdampak pada konektivitas dan keandalan produk. Dengan menggunakan metodologi Lean Six Sigma, penyebab utama seperti pengaturan mesin printer, stres mekanik saat penanganan, dan kualitas material PCB ditemukan. Solusi yang diterapkan, seperti penyesuaian parameter proses dan pengendalian kualitas material, berhasil mengurangi tingkat cacat solder sebesar 94,51%. Penelitian ini menunjukkan efektivitas Lean Six Sigma dalam meningkatkan efisiensi proses SMT dan kualitas solder, terutama untuk PCB yang melengkung. Penambahan pita Kapton vertikal dan penyesuaian tekanan squeegee serta ketebalan pasta solder lebih lanjut meningkatkan kualitas solder secara keseluruhan.

1. PENDAHULUAN

Sebuah Industri, baik industri manufaktur yang memproduksi barang maupun jasa yang melayani pelanggan, harus memastikan bahwa produk dan layanannya berkualitas baik kualitas produk dan layanan, serta kinerja yang baik, agar dapat memuaskan pelanggan secara efektif. Kepuasan pelanggan LSS (*Lean Six Sigma*) merupakan strategi yang dapat digunakan untuk meningkatkan bisnis dan industri. Lean sendiri dimulai dari system produksi *Toyota*, yang terutama menekankan pada pemborosan dalam proses. *Six sigma* berawal dari *Motorola* dan berfokus pada pengurangan variasi yang terjadi pada proses untuk meningkatkan efisiensi (Karunia, 2016).

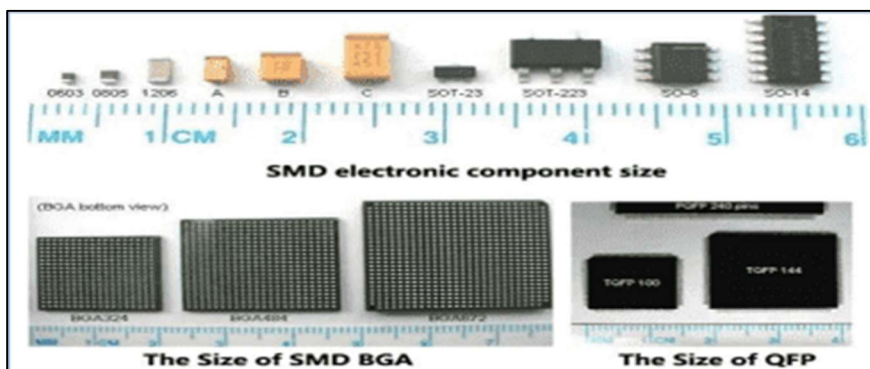
*Corresponding author. Yazid Fiksy Pangestu
Email address: 1710911022@student.unand.ac.id

PCB (*Print Circuit Board*) yang mengalami defleksi merupakan masalah umum dalam proses produksi elektronik yang menerapkan teknologi pemasangan permukaan atau disebut SMT. Pembengkokan PCB dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti variasi suhu selama proses penyolderan *reflow*, tekanan mesin selama penanganan, dan kualitas bahan PCB itu sendiri (Zhang & Wang, 2023). PCB yang melengkung dapat menyebabkan ketidakrataan pada permukaan, yang menghambat aliran solder yang merata dan menghasilkan terlalu sedikit solder pada titik-titik penting (Ummah, 2019).



Gambar 1.
Kondisi PCB Melengkung dari Pemasok

SMT adalah teknologi tentang proses atau metode pemasangan komponen elektronik secara langsung pada permukaan papan sirkuit terpadu. Komponen elektronik seperti resistor, kapasitor, dioda, transistor, sirkuit terintegrasi, dan lain-lain dipasang pada papan sirkuit tercetak dengan menggunakan teknologi SMT dan disebut perangkat yang dipasang di permukaan SMD (*Surface Mounted Devices*). Dari segi ukuran, komponen SMD lebih kecil dari komponen identik (Rachmayani, 2015). Sebagai contoh, hal ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2.
Ukuran Komponen
(Sumber: Rachmayani, 2015)

Kasus penyolderan yang tidak sempurna sering terjadi ketika PCB melengkung, tekanan alat pembersih yg terbuat dari karet tidak tepat, atau ketinggian penyolderan tidak sesuai. Solder yang tidak mencukupi dapat menyebabkan sambungan listrik yang buruk atau rusak dan mempengaruhi kinerja dan keandalan produk akhir. Mengidentifikasi dan meminimalkan cacat ini sangat penting untuk memastikan produk keluaran yang berkualitas tinggi dan dapat dipercaya (Lee et. al., 2023). Penerapan metode *lean six sigma* dapat membantu menemukan akar penyebab masalah kekurangan timah solder dan mengembangkan solusi yang efektif untuk masalah ini (Wang et. al., 2023).

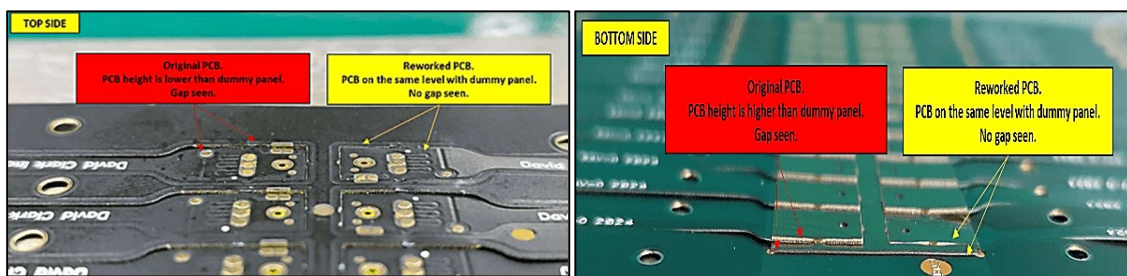
DMAIC adalah metodologi perbaikan proses yang diadopsi dari Six Sigma. Tujuannya adalah untuk meningkatkan kualitas dan efisiensi dengan mengidentifikasi dan

menghilangkan penyebab cacat atau masalah dalam proses bisnis. DMAIC adalah akronim dari lima fase utama dalam proses perbaikan yaitu *define* (mendefinisikan), *measure* (mengukur), *analyze* (menganalisis), *improve* (memperbaiki), dan *control* (mengendalikan) (Anita, 2018).

Lean membantu mengidentifikasi dan menghilangkan pemborosan seperti *overproduction*, *waiting*, *transportation*, *inventory*, *motion*, *overprocessing*, dan *defects*. Tujuannya adalah menciptakan aliran produksi yang lancar, mulai dari bahan baku hingga produk jadi, dengan melibatkan karyawan dalam perbaikan berkelanjutan (*kaizen*). Contoh penerapan *Lean* termasuk penggunaan *kanban* untuk mengendalikan inventaris, *just-in-time* untuk mengurangi waktu tunggu, pembentukan produksi untuk meningkatkan efisiensi, dan *poka-yoke* untuk mencegah cacat. Dengan menerapkan prinsip-prinsip *lean*, perusahaan elektronik dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya, meningkatkan kualitas produk, dan pada akhirnya meningkatkan kepuasan pelanggan (Anita, 2018).

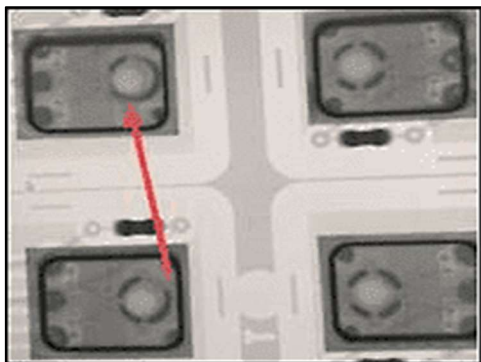
2. METODE PELAKSANAAN

Pada kegiatan evaluasi ini, dilakukan langsung di pabrik PT OSI Electronics Batam, Kepulauan Riau pada saat *running production* di SMT line 1 gedung F3 Main Plant. Permasalahan yang timbul pada kasus ini yaitu karakteristik dari PCB yang melengkung menyebabkan ketidakstabilan dalam *release printing* atau hasil mesin *printing*. Karena perbedaan antara base PCB dengan kedalaman jarak menyebabkan perbedaan ketinggian seperti Gambar 3.



Gambar 3.
Perbedaan Ketinggian Dasar PCB

Tahapan pertama proses SMT yaitu proses pada mesin *printing* dimana hasil *release printing* yang dapat lihat Gambar 4 terdapat defect *insufficient solder* atau solder tidak cukup. Ini dikarenakan beberapa faktor yaitu perlakuan tekanan mekanis pada *pressure* atau tekanan (dalam *Newton* atau *kgf*) dari setelan *printing* kurang cukup yang menyebabkan hasil *release solder printing* tidak optimum.



Gambar 4.
Hasil Pemeriksaan X-Ray Solder Tidak Cukup (*Insufficient Solder*)

Untuk itu perlu ditambahkan bantalan pada *pad* dibawah alas PCB sehingga kondisi PCB yang melengkung akan stabil yang dapat dilihat pada Gambar 5. Tujuan dari pemberian bantalan ini adalah agar ketika tekanan yang diterima dari *squeegee printing* pada PCB akan terseimbangkan dengan bantuan dari bantalan pad tersebut. Ini memungkinkan untuk hasil dari *release printing* akan optimum. Setelah itu diberikan posisi *vertikal* untuk memastikan kondisi stabil pada saat *release printing* dari *kapton tape*.



Gambar 5.
Penambahan Bantalan Pada *Base Pallet*

Hasil dari evaluasi *setting parameter* sebelum dan sesudah mengalami beberapa perubahan tinggi ketebalan dari pasta. Sebelum dilakukan pengaturan rata rata ketinggian yaitu < 3.3 mils dengan setelan tekanan *squeegee* hanya 70 N. Karena tekanan 70 N tersebut mengakibatkan *release* dari *printing* kurang optimum. Maka dari itu perlu pengaturan setelan mesin agar mendapatkan ketinggian pasta 4 mils dengan menurunkan tekanannya menjadi 60 N. Ini akan mengakibatkan hasil *release printing* yang sesuai diinginkan yang dapat dilihat pada Gambar 6 pada saat sebelum dan sesudah dilakukan evaluasi setelan mesin *printing*.



Gambar 6
Hasil Pengukuran Ketinggian *Solder Paste*

Metodologi DMAIC sangat penting dalam mencapai perbaikan berkelanjutan dalam organisasi. Dengan mengikuti langkah-langkah DMAIC dapat mengidentifikasi dan menghilangkan masalah dalam proses bisnis mereka secara sistematis. Hal ini dapat meningkatkan kualitas produk atau layanan, mengurangi biaya produksi, meningkatkan efisiensi operasional, dan meningkatkan kepuasan pelanggan. Industri manufaktur elektronik menghadapi tantangan kompleks seperti persaingan ketat, produk yang rumit, rantai pasokan global, inventaris tinggi, dan perubahan teknologi pesat. Konsep *lean manufacturing* menawarkan solusi dengan fokus pada efisiensi dan penghapusan pemborosan (*waste*).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Evaluasi

Pembahasan hasil dari evaluasi ini didapatkan lah metode dan langkah sesuai dilakukan pada metode pelaksanaan. Dapat lihat pada Tabel 1, dilakukan tahap evaluasi menggunakan *pressure squeegee* 70 N melalui tanpa *vertical kapton tape* dan dengan *vertical kapton tape* dari waktu 16.00 WIB sampai dengan 20.00 WIB. Menggunakan *vertical kapton tape* memiliki pengurangan reject dengan *yield* 90% ketimbang tanpa *vertical kapton tape* dengan *yield* 89%. Ini membuktikan dengan menggunakan *vertical kapton tape* akan membuat PCB yang melengkung akan lebih stabil *release printing* dan lebih optimum.

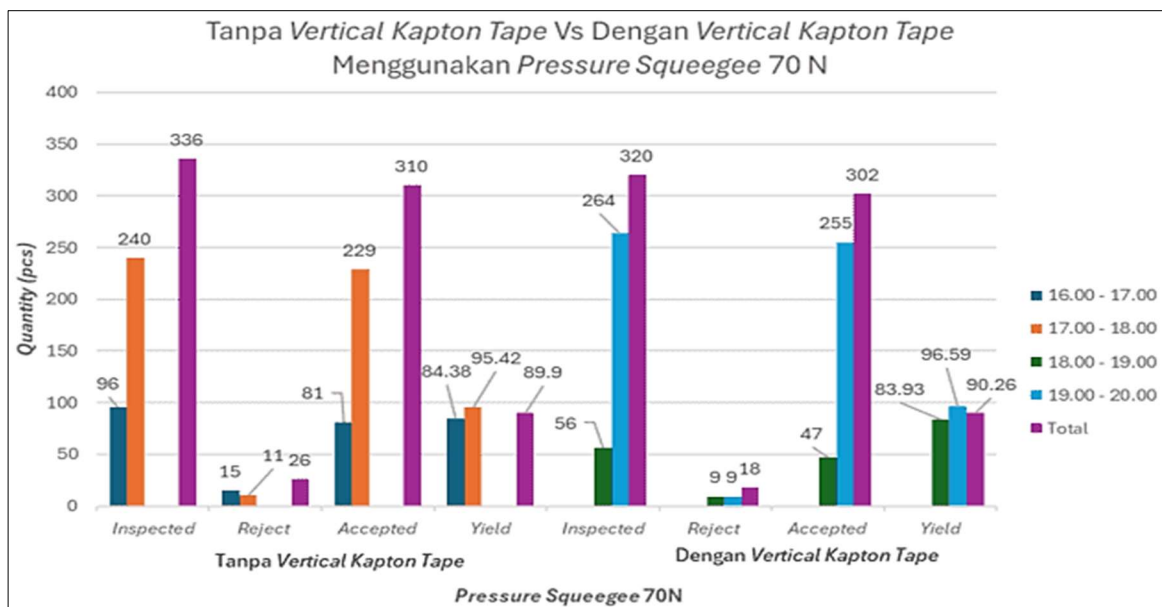
Untuk rumus perhitungan lean six sigma meliputi perhitungan cacat dalam bentuk *yield* (%) sebagai berikut.

$$Yield (\%) = \frac{Qty\ Accepted}{Qty\ Inspected} \times 100\%$$

Tabel 1.

Tingkat Pengaruh Tanpa *Vertical Kapton Tape* dan Dengan *Vertical Kapton Tape* terhadap *pressure squeegee* 70 N.

Pressure Squeegee 70 N								
Waktu	Tanpa <i>Vertical Kapton Tape</i>				Dengan <i>Vertical Kapton Tape</i>			
	<i>Qty Inspecte d</i>	<i>Qty Rejec t</i>	<i>Qty Accepte d</i>	<i>Yield (%)</i>	<i>Qty Inspecte d</i>	<i>Qty Rejec t</i>	<i>Qty Accepte d</i>	<i>Yield (%)</i>
16.00 - 17.00	96	15	81	84.38	56	9	47	83.93
17.00 - 18.00	240	11	229	95.42				
18.00 - 19.00								
19.00 - 20.00								
Total	336	26	310	89.90	320	18	302	90.26



Gambar 7.

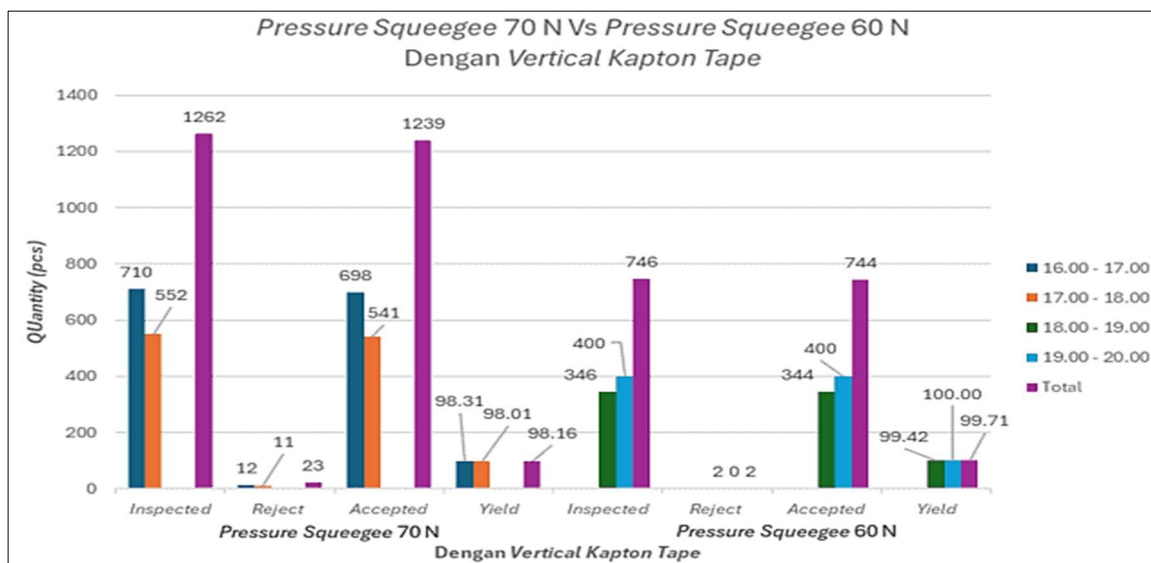
Grafik Tanpa *Vertical Kapton Tape* Vs Dengan *Vertical Kapton Tape*

Selanjutnya dapat lihat pada Tabel 2, pengaruh *pressure squeegee* 70 N dan *pressure squeegee* 60 N terhadap menggunakan *vertical kapton tape* dari waktu 20.00 WIB sampai dengan 24.00 WIB. Menggunakan *pressure squeegee* 60 N memiliki pengurangan *reject* dengan *yield* 99% ketimbang tanpa *vertical kapton tape* dengan *yield* 96%. Hal ini menunjukkan bahwa menggunakan *pressure squeegee* 60 N akan meningkatkan ketinggian daripada ketebalan pasta untuk mencegah *insufficient solder* atau solder tidak cukup

Tabel 2.

Tingkat Pengaruh *Pressure Squeegee* 70 N dan *Pressure Squeegee* 60 N terhadap Menggunakan *Vertical Kapton Tape*.

Waktu	Dengan <i>Vertical Kapton Tape</i>							
	<i>Pressure Squeegee</i> 70 N				<i>Pressure Squeegee</i> 60 N			
	<i>Qty Inspecte d</i>	<i>Qty Rejec t</i>	<i>Qty Accepte d</i>	<i>Yield (%)</i>	<i>Qty Inspecte d</i>	<i>Qty Rejec t</i>	<i>Qty Accepte d</i>	<i>Yield (%)</i>
20.00 - 21.00	710	12	698	98.31				
21.00 - 22.00	552	11	541	98.01				
22.00 - 23.00								
23.00 - 24.00								
Total	1262	23	1239	98.16	746	2	744	99.71



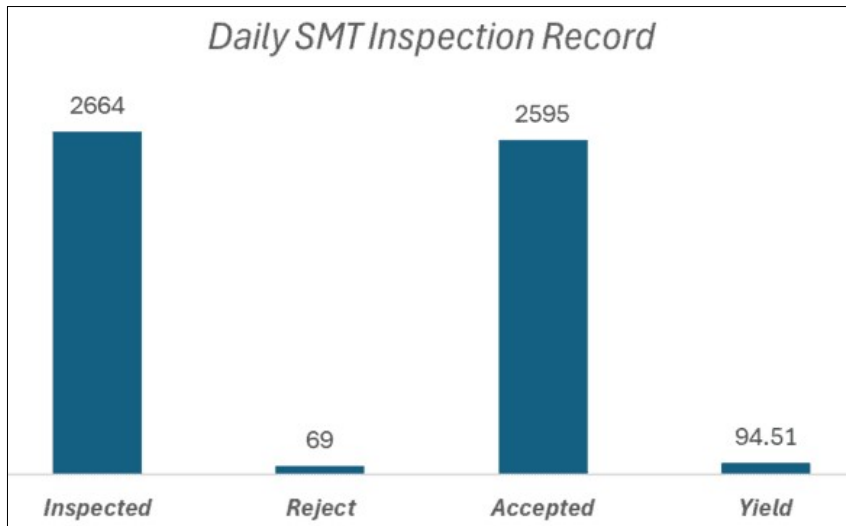
Gambar 8.

Grafik *Pressure Squeegee* 70 N Vs *Pressure Squeegee* 60 N

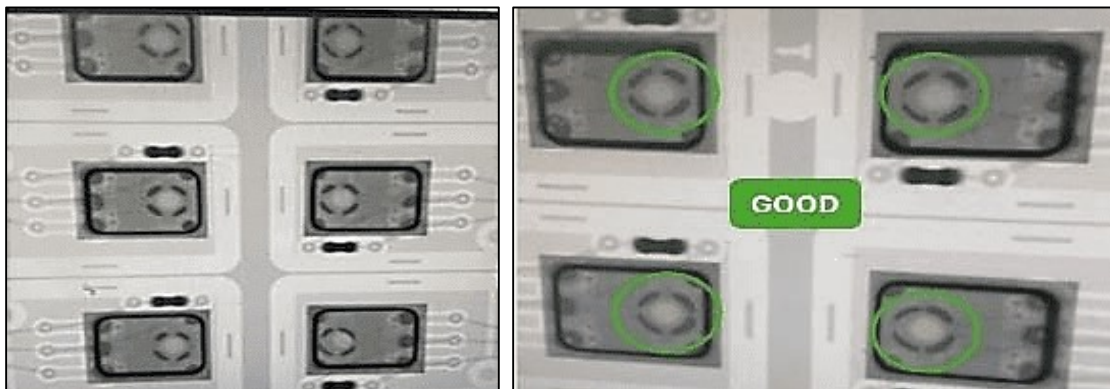
Dapat lihat pada Tabel 3, lini 1 jumlah kuantitas hasil inspeksi sebanyak 2664pcs hanya terdapat 69 pcs yang *reject*. Ini disebabkan karena pada awal *running line* produksi masih menggunakan metode sebelum evaluasi, dimana tingkat ketinggian ketebalan pasta solder adalah 3 mils. Ini menyebabkan kurangnya tingkat penempelan antara komponen dan pasta solder pada saat proses *reflow oven*.

Tabel 3.Tingkat Kuantitas (pcs) *Inspect* dan *Reject* Terhadap *Yield* (%) Lini 1

<i>Lini</i>	<i>Daily SMT Inspection Record</i>			<i>Yield (%)</i>
	<i>Qty Inspected</i>	<i>Qty Reject</i>	<i>Qty Accepted</i>	
1	2664	69	2595	94.51

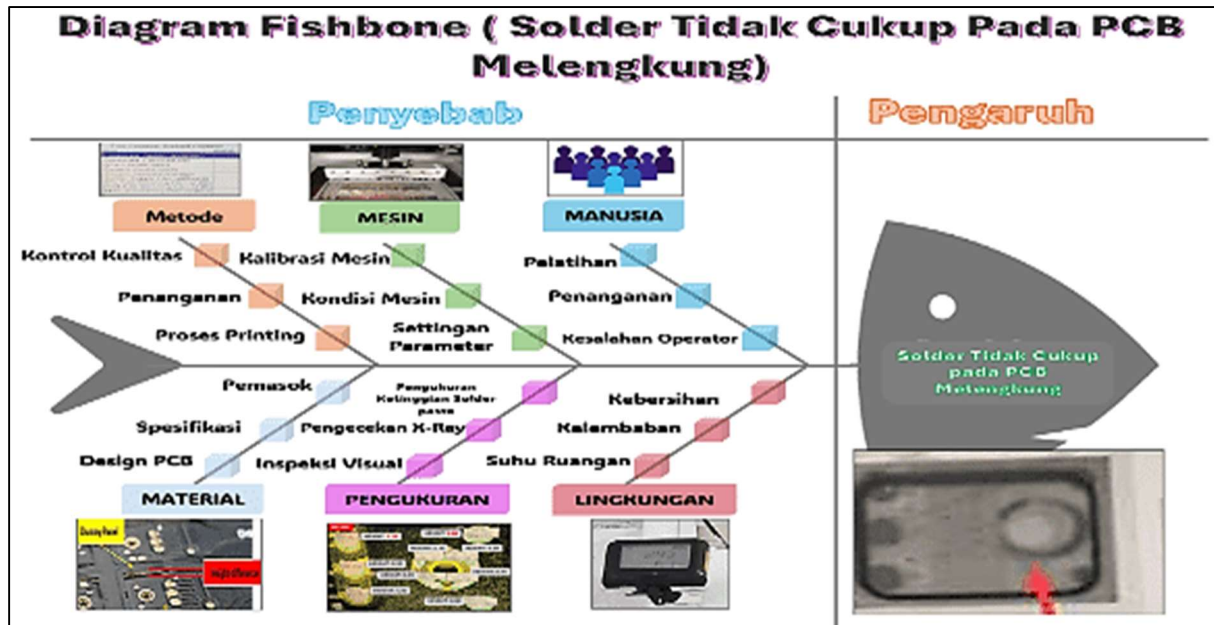
**Gambar 9.**Grafik *Daily SMT Inspection Record***3.2. Hasil Pengecekan X-Ray**

Setelah dilakukan evaluasi untuk meningkatkan ketinggian solder paste dari 3 mils menjadi 4 mils mendapatkan hasil yang *good*. Ini disebabkan karena kondisi optimum untuk solder tidak cukup pada nilai 4 mils. Ini dapat dilihat pada Gambar 7 bahwasanya setelah proses oven *reflow*, tidak ditemukannya solder tidak cukup. Karena kondisi *solder paste* yang memadai ketika *release* proses mesin *printing* mengakibatkan hasil yang maksimal.

**Gambar 7.**Hasil Pemeriksaan *X-ray*

3.3 Hasil RCA (Root Cause Analysis) dan FMEA (Failure Mode and Effects Analysis)

Dari hasil evaluasi tersebut dijelaskan dalam bentuk RCA (Root Cause Analysis) untuk menemukan tindakan yang dapat dilakukan untuk mengatasi penyebab terjadinya cacat kategori solder tidak cukup yang dapat dilihat pada Gambar 8. Dari hasil *fishbone* diagram ini lah nanti akan didapatkan akar permasalahan yang menyebabkan solder tidak cukup.



Gambar 8.

Diagram RCA (Root Cause Analysis) dengan Metode *Fishbone* Diagram

Setelah itu menggunakan metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) yang digunakan untuk mendefinisikan dan menghilangkan kegagalan atau kecacatan pada jenis *reject insufficient solder* atau solder tidak cukup. Selanjutnya dalam pembuatan tabel *failure mode effect analysis* memberikan pembobotan pada *Severity* (S), *Occurrence* (O), dan *Detection* (D) (Yasra, 2023). Berdasarkan potensi mode kegagalan, penyebab potensial kegagalan, dan tindakan pencegahan/perbaikan sesuai pada Tabel 2 dibawah ini.

Dari ketiga tahapan tersebut memiliki penyebab reject berbeda-beda dengan nilai RPN yang didapatkan dari nilai (*severity* (S) X *occurrence* (O) X *detection* (D) = *Risk Priority Number* (RPN)). Dari 3 proses tersebut memiliki nilai RPN masing-masing yaitu tekanan (N atau Kgf) *squeegee printing* RPN=315, permukaan tidak stabil pada PCB melengkung RPN=192, ketebalan solder paste terlalu rendah RPN=189 dan kualitas material RPN 210. Dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2.Analisa Menggunakan Metode FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

Mode Kegagalan	Penyebab Potensial	Dampak Potensial	Severity (S)	Occurrence (O)	Detection (D)	RPN (S × O × D)	Tindakan Pencegahan/Perbaikan
Solder Tidak Cukup pada PCB Melengkung	Tekanan (N atau Kgf) Squeegee pada Mesin Printing	Koneksi Listrik Buruk	9	7	5	315	Optimalkan parameter dari 70 N ke 60 N, kontrol kualitas material
	Permukaan Tidak Stabil Pada PCB Melengkung	Kegagalan Produk	8	6	4	192	Pelatihan penanganan, penggunaan alat bantu (Vertical Copton Tape)
	Ketebalan Solder Paste Terlalu Rendah	Komponen dengan Solder Paste Tidak Terlalu Rendah	9	7	3	189	Menambahkan ketebalan Solder Paste dari 3 mils menjadi 4 mils
	Kualitas Material	Penurunan Keandalan	7	5	6	210	Verifikasi material, audit pemasok

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan dari beberapa evaluasi yang telah dilakukan dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dengan menambahkan *vertical Kapton tape* di sepanjang PCB yang melengkung dari atas ke bawah, dapat membuat dasar permukaan PCB lebih stabil pada saat merilis hasil proses mesin *printing*.
2. Mengubah tekanan *squeegee* pada mesin printing dari 70 (dalam N atau kgf) menjadi 60 (dalam N atau kgf) menghasilkan tingkat ketebalan ketebalan pada bagian pasta solder.
3. Menambah tinggi pasta solder dari 3 mils menjadi 4 mils menjadi lebih optimal karena dapat mengurangi cacat solder yang tidak mencukupi atau *insufficient solder*.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada PT *OSI Electronics* berlokasi di Kota Batam yang telah memberikan kesempatan wadah untuk studi kasus dalam kegiatan praktik keinsinyuran ini. Terima kasih juga kepada team *Technician line 1 in Process and Equipment Department* yang telah ikut serta dalam membantu *troubleshooting* pada kegiatan ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Anita, R. (2018). Proses DMAIC (Define, Measure, Analyze, Improve dan Control). Binus. <https://binus.ac.id/malang/2022/09/> (Diakses 17 Februari 2025)
2. Karunia. (2016). Pengaruh kesiapan penerapan Lean Six Sigma Readiness (LESIRE) pada industri manufaktur dan industri kesehatan di negara maju dan negara berkembang (pp. 2–7).
3. Lee, S., Kim, H., & Park, J. (2023). Material selection for minimizing PCB warpage: A comparative study. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 567–579.
4. Nursyamsi, I., & Momon, A. (2022). Analisa pengendalian kualitas menggunakan metode Seven Tools untuk meminimalkan return konsumen di PT. XYZ. *Jurnal Serambi Engineering*, 27–57.

5. Rachmayani, A. N. (2015). Merancang dan merealisasikan infrared reflow soldering dengan memanfaatkan oven listrik sebagai pengendali utamanya (pp. 3–10).
6. Ummah, M. S. (2019). Merancang alat pelarut PCB otomatis (pp. 1–14).
7. Wang, L., Zhang, T., & Liu, Y. (2023). Process optimization for reducing PCB warpage in SMT. *Surface Mount Technology Journal*, 89–101.
8. Yanto, B., Kartawidjaja, M. A., & Sukwadi, R. (2024). Penerapan algoritma Hue Saturation Intensity (HIS) dengan ruang warna Red, Green, Blue (RGB) dan implementasi aplikasi kematangan buah tomat (pp. 5–35).
9. Yasra, R. (2023). Analisis terjadinya reject PCB LED pada SMT line dengan menggunakan metode Root Cause Analysis, Fishbone, dan FMEA di PT VJB (pp. 65–68).
10. Zhang, Y., Li, X., & Wang, J. (2023). Thermal and mechanical analysis of PCB warpage in reflow soldering. *Journal of Electronics Manufacturing*, 45(2), 123–135.
11. Zuryensi, Z., & Asrol, M. (2022). Improving the efficiency of the production process in the Surface Mount Technology (SMT) industry with a Lean Manufacturing approach. *Jurnal*, 20–40.