



PAPER – OPEN ACCESS

Product Design Resilience dan Forensics Engineering terhadap Production Process Monitoring Panel Surya di PT Solar Karya Indonesia

Author : Brian Winson Jo, dan Lobes Herdiman
DOI : 10.32734/ee.v8i1.2640
Electronic ISSN : 2654-704X
Print ISSN : 2654-7031

Volume 8 Issue 1 – 2025 TALENTA Conference Series: Energy & Engineering (EE)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).
Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Product Design Resilience dan Forensics Engineering terhadap Production Process Monitoring Panel Surya di PT Solar Karya Indonesia

Brian Winson Jo¹, Lobes Herdiman²

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, Jawa Tengah

brianwinsonjo2654@student.uns.ac.id¹, lobesherdiman@staff.uns.ac.id²

Abstrak

Penelitian ini disusun berdasarkan observasi yang dilakukan di PT Solar Karya Indonesia, perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur panel surya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis penyebab terjadinya produk cacat dalam proses produksi panel surya dan memberikan usulan perbaikan untuk meningkatkan kualitas produk. Penelitian ini menggunakan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA) sebagai alat bantu analisis. Data yang digunakan merupakan data cacat produksi panel surya periode Juni 2024 sampai Januari 2025. Berdasarkan hasil analisis pareto, jenis cacat paling dominan yang dianalisis lebih lanjut adalah *backsheet scratch*, *cell crack*, *bubble*, dan *ribbon lepas/miring*. Hasil FMEA menunjukkan bahwa mode kegagalan dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi adalah cacat dari pemasok, kurangnya kesadaran pekerja, dan suhu solder yang tidak stabil. Usulan perbaikan yang diajukan meliputi pembuatan SOP yang lebih jelas, pelatihan berkala, penerapan 5S, dan perbaikan sistem inspeksi serta perawatan mesin. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat membantu perusahaan dalam meningkatkan kualitas produk dan efisiensi produksi.

Kata Kunci: Kualitas; *Failure Mode and Effect Analysis*; *Fault Tree Analysis*

Abstract

This study was prepared based on observations made at PT Solar Karya Indonesia, a company engaged in manufacturing solar panels. The purpose of this study is to analyze the causes of defective products in the solar panel production process and provide suggestions for improvements to improve product quality. This research uses the Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) and Fault Tree Analysis (FTA) methods as analysis tools. The data used is defect data for solar panel production from June 2024 to January 2025. Based on the results of pareto analysis, the most dominant types of defects that are analyzed further are backsheet scratch, cell crack, bubble, and loose/leaning ribbon. The FMEA results show that the failure modes with the highest Risk Priority Number (RPN) values are defects from suppliers, lack of worker awareness, and unstable solder temperature. Proposed improvements include making clearer SOPs, periodic training, implementing 5S, and improving inspection systems and machine maintenance. It is hoped that the results of this observation can help the company improve product quality and production efficiency.

Keywords: *Quality; Failure Mode and Effect Analysis; Fault Tree Analysis*

1. Pendahuluan

PT Solar Karya Indonesia adalah perusahaan yang bergerak dalam bidang produksi panel surya guna mendukung pemanfaatan energi terbarukan di Indonesia. Lokasi geografis Indonesia yang kaya akan sinar matahari sepanjang tahun menjadi potensi besar yang dimanfaatkan perusahaan[3]. PT Solar Karya Indonesia memproduksi berbagai jenis panel surya dengan kapasitas daya yang bervariasi sesuai kebutuhan konsumen. Pemantauan proses produksi sangat penting untuk memastikan produksi sangat penting untuk memastikan produk memenuhi standar kualitas dan keamanan. Proses tersebut meliputi tahap persiapan material, *layup*, *EL test*, *visual check*, *frame assembly*, *junction box assembly*, *sunsimulator*, *potting gel*, *cleaning* dan *packaging* yang diawasi ketat. Penerapan teknologi yang tepat memungkinkan perusahaan mendeteksi kegagalan secara langsung dan melakukan perbaikan segera. Sinergi antara teknik forensik dan pemantauan produksi menjamin produk akhir yang aman dan berkualitas. PT Solar Karya Indonesia menggunakan silikon tipe *monocrystalline* dan *polycrystalline* untuk mengonversi energi matahari menjadi listrik secara efisien. [4].

Konsep penawaran (*supply*) merujuk pada kuantitas barang atau jasa yang disediakan produsen pada beragam harga dalam suatu periode, sementara permintaan (*demand*) merujuk pada kuantitas barang atau jasa yang diinginkan dan dapat diperoleh oleh konsumen[5]. Pada PT Solar Karya Indonesia permintaan konsumen dalam satu siklus produksi berkisar 500 *unit*, namun perusahaan tidak berhasil memenuhi permintaan tersebut karena adanya produk *defect* seiring berjalannya produksi. Produk *defect* tersebut mengakibatkan terlambatnya pengiriman ke konsumen dan mengurangi pendapatan perusahaan. Produk *defect* di PT Solar Karya Indonesia dibagi menjadi dua golongan, yaitu produk *defect* yang dapat diperbaiki dan produk *defect* yang tidak dapat diperbaiki. Produk *defect* yang dapat diperbaiki akan masuk ke tahap *repairment* dan produk *defect* yang sudah tidak dapat diperbaiki akan diproduksi baru. PT Solar Karya Indonesia terus menjaga kualitas dari produk yang dijual untuk mempertahankan kepercayaan dari konsumen dengan memastikan produk yang dijual memiliki kekuatan dan ketahanan yang tinggi.

Pada *product design resilience* menekankan ketahanan, keamanan, dan kenyamanan produk bagi konsumen. Konsep ini melibatkan perencanaan desain produk yang mempertimbangkan potensi risiko. Penggunaan bahan yang kuat, serta proses produksi yang terkontrol [6]. Selain itu, *forensic engineering* digunakan untuk menganalisis dan mengidentifikasi penyebab kegagalan produk, sehingga memungkinkan perbaikan berkelanjutan dan pencegahan masalah serupa di masa depan. Sebagai contoh, jika ditemukan adanya *defect* pada panel surya, analisis forensik dapat membantu menentukan apakah masalah tersebut disebabkan oleh bahan baku, proses produksi, atau faktor lingkungan [2]. Integrasi antara desain produk yang tangguh dan analisis rekayasa forensik menjadi kunci utama dalam menjaga kualitas dan kepercayaan konsumen terhadap produk panel surya.

Dalam upaya melanjutkan penerapan desain produk yang tangguh serta analisis rekayasa forensik, PT Solar Karya Indonesia menghadapi masalah dalam produksi disebabkan oleh tingginya jumlah barang cacat. Untuk meminimalkan potensi kerugian, diperlukan penerapan pengendalian kualitas melalui metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA). Metode FMEA digunakan untuk mengevaluasi risiko kegagalan atau *defect*, dan metode FTA digunakan untuk memahami rantai sebab-akibat dari kegagalan sistem [1]. Penelitian ini bertujuan untuk mengenali alasan terjadinya cacat serta memberikan saran perbaikan guna meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi serta menghindari keterlambatan pengiriman sehingga dapat meningkatkan kepuasan konsumen dan mempertahankan kepercayaan konsumen terhadap produk yang dihasilkan oleh PT Solar Karya Indonesia.

2. Metodologi Penelitian

Studi ini termasuk metode deskriptif kuantitatif yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis jenis *defect* (cacat) pada proses produksi panel surya di PT Solar Karya Indonesia, serta menyusun usulan perbaikan berdasarkan metode pengendalian kualitas. Pendekatan ini melibatkan pengumpulan data historis dan penggunaan alat bantu analisis seperti diagram pareto, *fishbone diagram*, *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), dan *Fault Tree Analysis* (FTA).

2.1. Identifikasi Masalah

Studi pendahuluan dilakukan melalui wawancara, studi literatur, dan analisis dokumen terkait untuk mengevaluasi dan menganalisis jenis *defect* yang dominan serta menyusun langkah-langkah perbaikan menggunakan metode pendekatan berbasis kualitas seperti diagram Pareto, *fishbone diagram*, FMEA, dan FTA.

2.2. Pengumpulan Data dan Pengolahan Data

Data yang diperoleh dalam penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder yang diperoleh berasal dari data *defect* produksi panel surya pada Juni 2024 sampai dengan Januari 2025. Terdapat total 289 produk *defect* dari berbagai tipe produk panel surya di PT Solar Karya Indonesia. Pengolahan data dilakukan dengan merancang diagram pareto, membuat *fishbone diagram* menghitung nilai *risk priority number* (RPN) dengan metode *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA), membuat *Fault Tre Analysis* (FTA), dan membuat alternatif solusi berdasarkan akar permasalahan tertinggi. Penghitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN) dilaksanakan melalui observasi langsung di lokasi dan melakukan wawancara dengan pembimbing lapangan di perusahaan tersebut.

2.3. Analisis Data

Analisis yang dilaksanakan mencakup analisis persentase jenis *defect* dengan diagram pareto, analisis diagram *fishbone* penyebab terjadinya *defect*, analisis risiko dengan metode *failure mode and effect analysis* (FMEA), dan analisis alternatif usulan perbaikan dengan metode *fault tree analysis* (FTA).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Identifikasi Defect Dominan

Identifikasi *defect* dominan digunakan untuk mengetahui urutan prioritas jenis *defect* dominan yang terjadi pada produk panel surya periode Juni 2024 – Januari 2025 menggunakan diagram pareto. Terdapat 14 jenis *defect* pada produksi panel surya di PT Solar Karya Indonesia. Data tersebut didapatkan dari data historis perusahaan bulan Juni 2024 sampai Januari 2025.

Tabel 1. Diagram Pareto

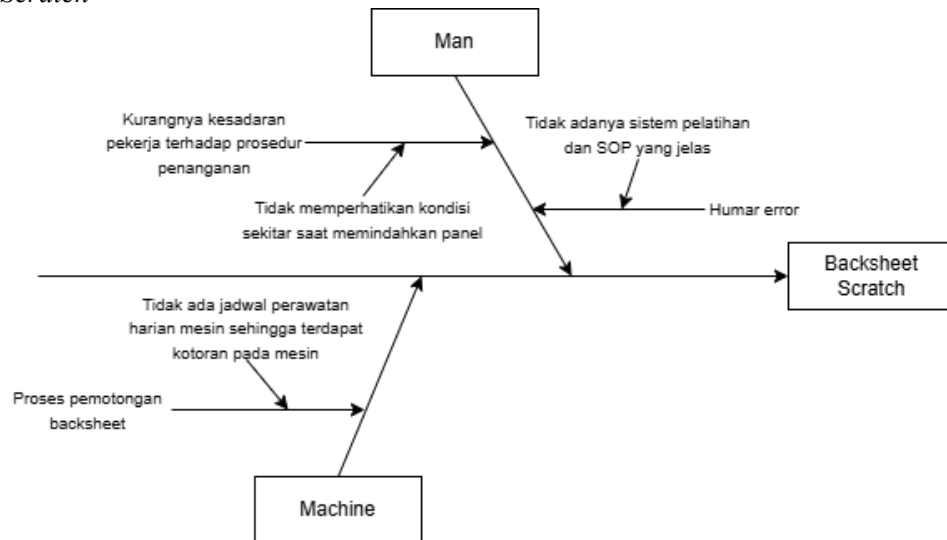
Jenis Defect	Presentase Defect	Presentase Kumulatif
<i>Backsheet Scratch</i>	30,10%	30,10%
<i>Cell Crack</i>	26,64%	56,75%
<i>Bubble</i>	11,42%	68,17%
<i>Ribbon Lepas/Miring</i>	8,65%	76,82%
<i>Low Power</i>	5,54%	82,35%
<i>Spot Weld</i>	4,84%	87,20%
Benda Asing	3,81%	91,00%
<i>No Power</i>	2,42%	93,43%
<i>Missalignment of Cell</i>	2,08%	95,50%
Cekung	1,38%	96,89%
<i>Junction Box Warped</i>	1,04%	97,92%
Pecah	1,04%	98,96%
<i>Border Distortion</i>	0,69%	99,65%
<i>Assembly Burst</i>	0,35%	100,00%
Total	100,00%	

Berdasarkan diagram pareto di atas, didapatkan urutan jenis *defect* yang paling sering terjadi, yaitu *backsheet scratch*, *cell crack*, *bubble*, *ribbon* miring atau lepas, *low power*, *spot weld*, benda asing, *no power*, *misalignment of cell*, pecah, *junction box warped*, cekung, *border distortion*, dan *assembly burst*. Diketahui bahwa *defect* yang tergabung pada kumulatif persentase 80% adalah *backsheet scratch* dengan persentase 30,10%, *cell crack* dengan persentase 26,64%, *bubble* dengan persentase 11,42%, dan *ribbon* miring atau lepas dengan persentase 8,65%. Sehingga, tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi penyebab terjadinya *defect* jenis *backsheet scratch*, *cell crack*, *bubble*, dan *ribbon* lepas atau miring.

3.2. Identifikasi Penyebab Defect

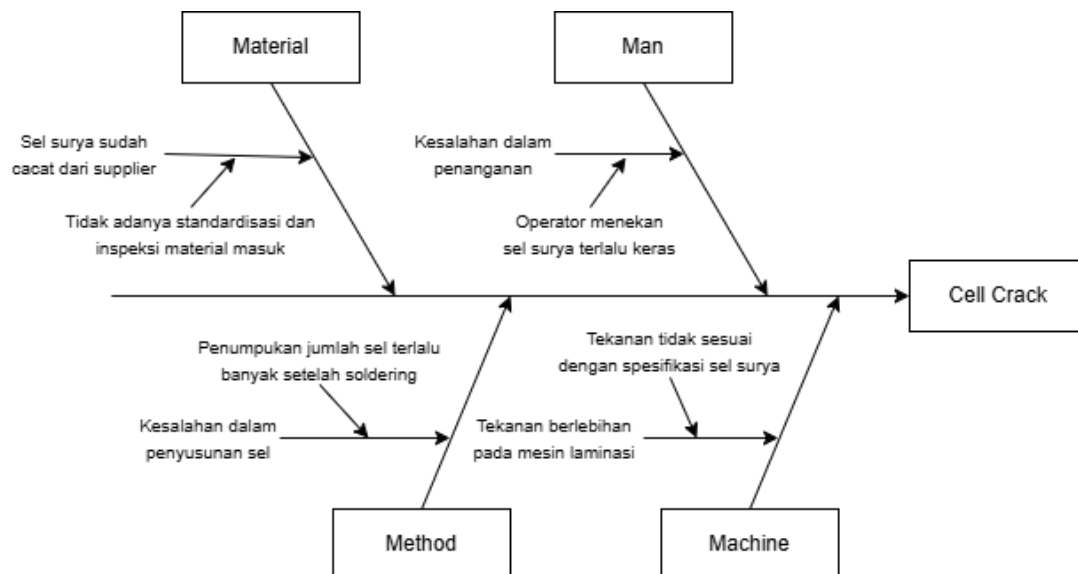
Identifikasi penyebab *defect* menggunakan *fishbone* untuk membantu mengidentifikasi faktor-faktor utama yang memengaruhi kualitas produk sehingga terjadi *defect*. Faktor-faktor yang menjadi penyebab antara lain seperti *man* (manusia), *machine* (mesin), *method* (metode), *material* (bahan baku), dan *environment* (lingkungan). Dalam menentukan faktor-faktor yang menjadi penyebab *defect*, dilakukan observasi langsung ke lapangan dan wawancara terhadap staf di perusahaan.

3.2.1. Backsheet Scratch



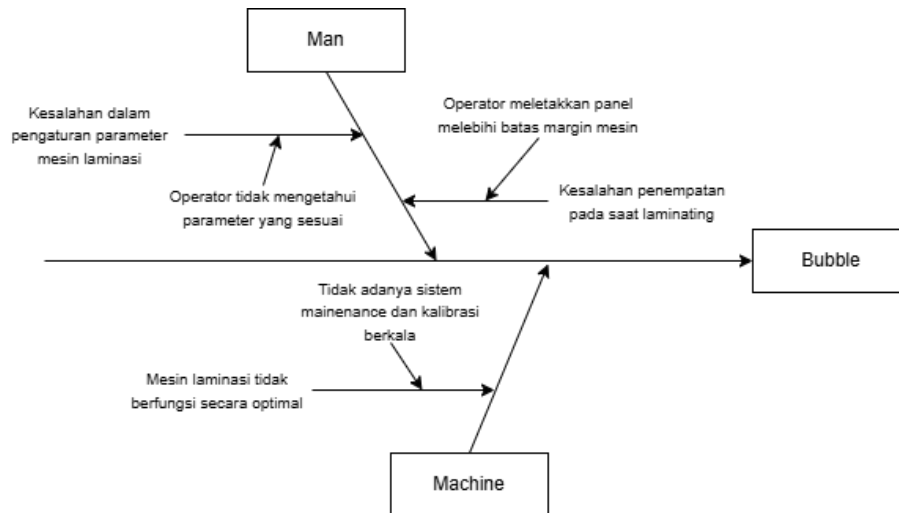
Gambar 1. Fishbone Diagram Backsheet Scratch

3.2.1. Cell Crack



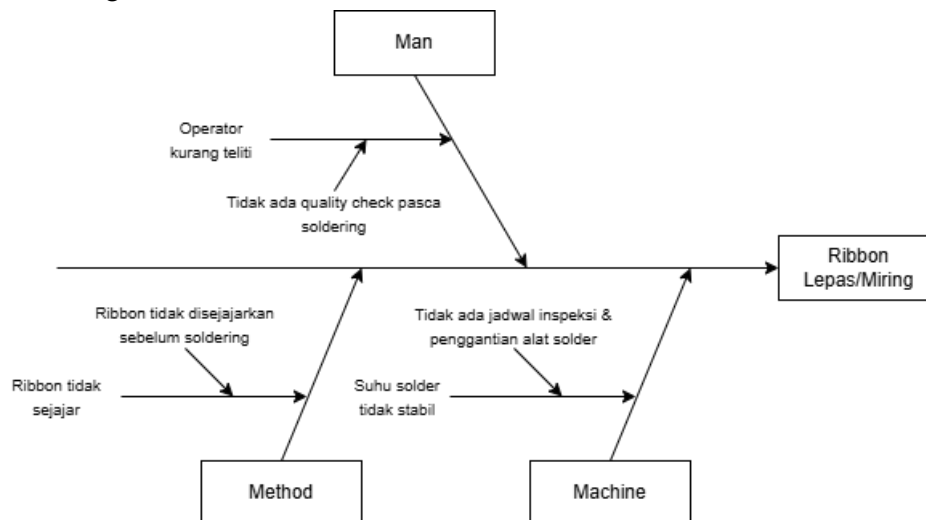
Gambar 2. Fishbone Diagram Cell Crack

3.2.2. Bubble



Gambar 3. Fishbone Diagram Bubble

3.2.3. Ribbon Lepas/Miring



Gambar 4. Fishbone Diagram Ribbon Lepas/Miring

3.3. Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)

FMEA melakukan perhitungan nilai *Risk Priority Number* (RPN) yang bertujuan untuk mengidentifikasi jenis *failure* yang memiliki risiko tertinggi. Tipe kegagalan yang memiliki risiko tertinggi akan dianalisis untuk

menemukan akar permasalahannya, sehingga dapat diberikan saran perbaikan. dapat dilakukan. FMEA dibuat berdasarkan hasil diskusi dengan pembimbing lapangan dan observasi langsung ke lapangan. Hasil pengukuran tabel FMEA terjadinya *defect* yang masuk dalam 80% persentase kumulatif tertera pada tabel di bawah ini.

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

Jenis Defect	Mode Gagal	Akibat dari Potensi Kegagalan	Penyebab Potensi Kegagalan	Severity	Occurance	Detection	Presentase Kumulatif
<i>Backsheet Scratch</i>	Kurangnya kesadaran pekerja terhadap prosedur penanganan	Tergores saat memindahkan panel	Operator tidak memperhatikan kondisi sekitar saat memindahkan panel	4	8	5	160
	<i>Human error</i>	Barang dieksekusi dengan cara yang salah	Tidak adanya sistem pelatihan dan SOP yang jelas	4	7	5	140
	Proses pemotongan <i>backsheet</i>	Menyebabkan goresan pada <i>backsheet</i>	Tidak ada jadwal perawatan harian mesin sehingga terdapat kotoran pada mesin	4	5	6	120
<i>Cell Crack</i>	Kesalahan dalam penanganan	Sel surya mengalami retak dan mengalami <i>crack</i> saat dilaminasi	Operator menekan sel surya terlalu keras	7	5	4	140
	Tekanan berlebihan pada mesin laminasi	Sel surya mengalami <i>crack</i> saat proses laminasi	Tekanan mesin tidak sesuai dengan spesifikasi sel surya	7	6	6	252
	Sel surya sudah cacat dari <i>supplier</i>	Operator tidak mendeteksi adanya microcrack pada saat proses <i>lay up</i>	Tidak adanya standardisasi dan inspeksi material masuk	6	7	7	294
	Kesalahan dalam penyusunan sel	Sel mendapatkan	Penumpukan jumlah sel terlalu banyak	7	6	4	168

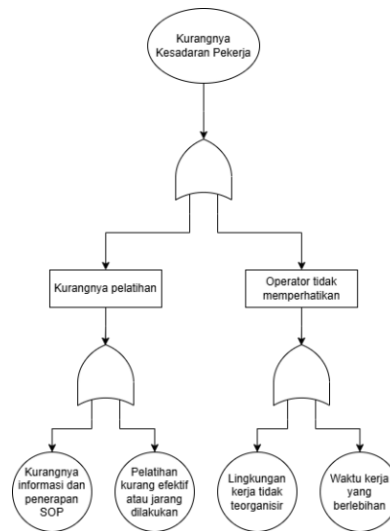
Jenis Defect	Mode Gagal	Akibat dari Potensi Kegagalan	Penyebab Potensi Kegagalan	Severity	Occurance	Detection	Presentase Kumulatif
		tekanan yang berlebihan	setelah soldering				
Bubble	Kesalahan dalam pengaturan parameter mesin laminasi	Suhu dan tekanan pada saat laminasi terlalu tinggi atau rendah	Operator tidak mengetahui parameter yang sesuai	7	4	8	224
	Kesalahan penempatan pada saat laminating	Panel tidak terlaminasi dengan sempurna pada bagian yang berada di luar margin mesin	Operator meletakkan panel melebihi batas margin mesin	7	4	4	112
	Mesin laminasi tidak berfungsi secara optimal	Mesin tidak bekerja dengan sempurna pada saat proses laminasi sedang berlangsung	Tidak adanya sistem <i>maintenance</i> dan kalibrasi berkala	8	5	7	280
Ribbon Lepas/Miring	Operator kurang teliti	Operator tidak melihat jika ada ribbon yang lepas/miring	Tidak ada <i>quality check</i> pasca <i>soldering</i>	6	7	4	168
	Suhu solder tidak stabil	Solder tidak menempel dengan benar pada ribbon	Tidak ada jadwal inspeksi dan penggantian alat solder	7	7	6	294
	Ribbon tidak sejajar	Ribbon tidak sejajar dengan solar cell sehingga tidak menempel dengan benar	Ribbon tidak disejajarkan sebelum soldering	7	6	5	210

3.4. Fault Tree Analysis

Dalam membuat alternatif usulan perbaikan, sangat krusial untuk memahami sumber masalah yang muncul. Faktor-faktor yang menyebabkan *failure* dengan nilai *Risk Priority Number* (RPN) terbesar akan dianalisis melalui metode *Fault Tree Analysis* (FTA) agar dapat memahami secara mendalam akar penyebab cacat yang terjadi pada produk. Bagian teratas atau puncak dari *Fault Tree Analysis* (FTA) menunjukkan masalah yang muncul, sementara

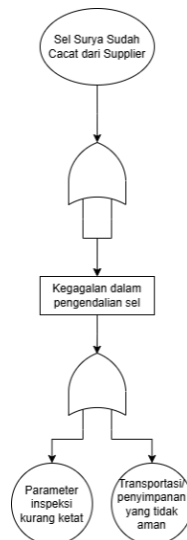
bagian di bawahnya mencakup faktor-faktor penyebab dari masalah tersebut. Di bagian terendah atau akhir, terdapat akar permasalahan yang mendasari.

3.4.1. Kurangnya Kesadaran Pekerja



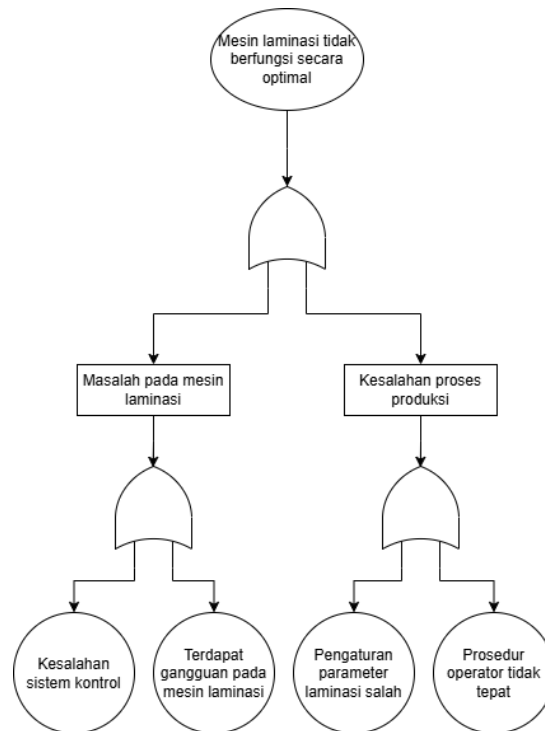
Gambar 5. FTA Kurangnya Kesadaran Pekerja

3.4.2. Sel Surya Sudah Cacat dari Supplier



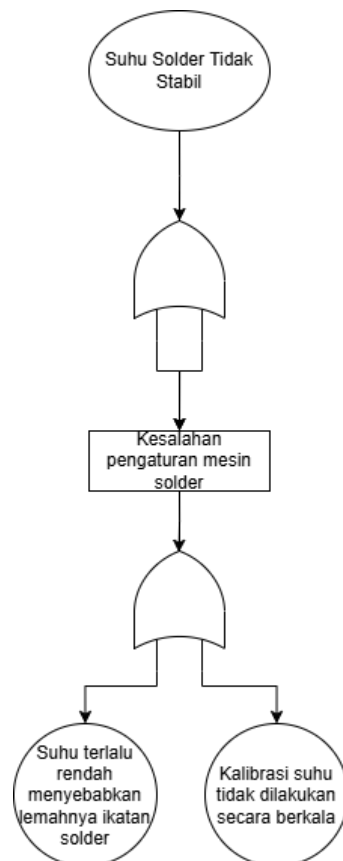
Gambar 6. FTA Sel Surya Sudah Cacat dari Supplier

3.4.3. Mesin Laminasi Tidak Berfungsi Secara Optimal



Gambar 7. FTA Mesin Laminasi Tidak Berfungsi Secara Optimal

3.4.4. Suhu Solder Tidak Stabil



Gambar 8. FTA Suhu Solder Tidak Stabil

3.5. Alternatif Usulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan menggunakan metode *Fault Tree Analysis* (FTA), diperoleh sumber masalah dari *defect backsheet scratch*, *cell crack*, *bubble*, dan *ribbon* lepas atau miring. Dari permasalahan tersebut, terdapat beberapa pilihan saran perbaikan yang bisa dilakukan untuk mengurangi frekuensi *defect backsheet scratch*, *cell crack*, *bubble*, dan *ribbon* lepas/miring. Pada tabel di bawah ini disajikan beberapa alternatif usulan perbaikan yang dapat diajukan untuk perusahaan.

Tabel 3. Alternatif Usulan

Penyebab	Alternatif Usulan
Kurangnya informasi dan penerapan SOP di perusahaan	Membuat dan mendokumentasikan Standar Operasional Prosedur (SOP) penanganan yang lebih jelas dan mudah dipahami oleh pekerja.
Pelatihan kurang efektif atau jarang dilakukan	Meningkatkan frekuensi pelatihan secara berkala dan memastikan setiap pekerja mengikutinya.

Penyebab	Alternatif Usulan
Lingkungan kerja tidak terorganisir	Menerapkan sistem 5S untuk menciptakan lingkungan kerja yang lebih tertata dan efisien.
Waktu kerja yang berlebihan	Menerapkan kebijakan jam kerja yang sehat dan memberikan waktu istirahat yang cukup kepada pekerja
Parameter inspeksi kurang ketat	Menambah parameter dan metode inspeksi, seperti pengujian visual yang lebih teliti.
Transportasi/penyimpanan yang tidak aman	Memastikan gudang penyimpanan memiliki kondisi lingkungan yang sesuai dengan kebutuhan sel surya dan menerapkan prosedur handling yang lebih baik.
Kesalahan sistem kontrol	Melakukan maintenance rutin untuk pengecekan dan kalibrasi sistem kontrol
Terdapat gangguan pada mesin laminasi (mati listrik, dll)	Menyediakan sumber daya listrik cadangan untuk menghindari shutdown mendadak
Pengaturan parameter laminasi salah	Melakukan pelatihan kepada operator khususnya di bagian mesin laminating
Prosedur operator tidak tepat	Melakukan evaluasi untuk mengidentifikasi kesalahan prosedur dari operator
Suhu terlalu rendah menyebabkan lemahnya ikatan solder	Menerapkan sistem peringatan atau indikator suhu pada mesin solder untuk memastikan suhu yang digunakan tetap stabil
Kalibrasi suhu tidak dilakukan secara berkala	Menggunakan alat ukur suhu untuk mengecek suhu solder secara rutin

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian di PT Solar Karya Indonesia, ditemukan bahwa dari 289 produk panel surya yang mengalami *defect* selama periode Juni 2024 hingga Januari 2025, jenis cacat dominan adalah *backsheet scratch*, *cell crack*, *bubble*, dan *ribbon lepas/miring*. Faktor penyebab utama *defect* tersebut memiliki nilai *Risk Priority Number* (RPN) tertinggi, antara lain kurangnya kesadaran pekerja, sel surya cacat dari pemasok, mesin laminasi yang tidak optimal, dan suhu solder yang tidak stabil. Untuk meminimalkan *defect*, disusun berbagai usulan perbaikan seperti penyusunan SOP yang jelas, pelatihan berkala, penerapan sistem 5S (*Seiri*, *Seiton*, *Seiso*, *Seiketsu*, dan *Shitsuke*), perbaikan lingkungan kerja, peningkatan inspeksi dan pemeliharaan mesin, serta pengendalian suhu solder secara ketat.

References

- [1] Al Ghivaris, G. (2015). Usulan Perbaikan Kualitas Proses Produksi Rudder Tiller Di PT. Pindad Bandung Menggunakan FMEA Dan FTA. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 3(4), 73-84. Diakses dari <https://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/rekaintegra/article/view/908>.
- [2] Bilancia, Louis. (2014). Safe product design, forensic engineering, and Asimov's Laws of Robotics. Conference: 2014 IEEE Symposium on Product Compliance Engineering (ISPC), 17-24. <https://doi.org/10.1109/ISPC.2014.6841995>.
- [3] Dewi, S. R., & Sulisty, H. (2021). Analisis Efisiensi Panel Surya Monocrystalline dan Polycrystalline sebagai Energi Terbarukan di Indonesia. *Jurnal Teknik Energi*, 10(2), 45–53. <https://doi.org/10.1234/jte.v10i2.12345>.
- [4] Maulana, M. Y., Pramono Jati, B., & Widiastuti, I. (2024). Analisa Perbandingan Efisiensi Konversi Energi antara PV (Photovoltaic) Monocrystalline 50 WP dan Polycrystalline 50 WP Pada Berbagai Intensitas Cahaya. *CYCLOTRON*, 7(02), 1–7. <https://doi.org/10.30651/cl.v7i02.21821>.
- [5] Venny, S. & Asriati, N. (2022). Permintaan dan Penawaran dalam Ekonomi. *JURKAMI: Jurnal Pendidikan Ekonomi* 7(1), 184-194. <https://doi.org/10.31932/jpe.v7i1.1583>

- [6] Yang, Y., Peng, C., & Cao, E. Z. (2025). Design of Supply Chain Resilience Strategies from the Product Life Cycle Perspective. *International Journal of Production Economics*, 282. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109532>.