

**ANALISIS PERFORMA KOMPONEN THROUGH - HOLE
TEKNOLOGI (THT) DAN SURFACE MOUNT DEVICES (SMD)
UNTUK RANGKAIAN MODERN**

**PERFORMANCE ANALYSIS OF THROUGH-HOLE
TECHNOLOGY (THT) AND SURFACE MOUNT DEVICES
(SMD) COMPONENTS FOR MODERN CIRCUITS**

Zulfa Izzul Haq¹, Andy Saputra²

Prodi Teknik Elektro Sekolah Tinggi Teknik Pati^{1,2}

e-mail: zulfaizzulhag@gmail.com¹, andysaputra280607@gmail.com²

Abstract : *Today's electronics industry demands smaller, more functional, and more durable products. These needs are largely met by Surface Mount Technology (SMT) using Surface Mount Devices (SMD). However, Through-Hole Technology (THT) remains essential for applications requiring good heat distribution and mechanical strength. The shift to lead-free soldering brings new challenges related to joint reliability, particularly in terms of thermal fatigue. This study aims to review various ways to improve quality, reliability, and efficiency in modern electronics assembly processes through materials analysis, inspection development, and manufacturing process improvements. The research method used a qualitative analytical literature review, combining six scientific journals focused on three themes: solder reliability (Through-Hole Technology (THT) & Surface Mount Devices (SMD)), Automatic Optical Inspection (AOI), and manufacturing optimization. The main results of the study indicate: (1) To accurately estimate the lifespan of Surface Mount Devices (SMD) components, a Finite Element Analysis (FEA) model that takes into account uneven temperature distribution is required. (2) Difficult Through Hole Technology (THT) inspection can be improved with a 3D reconstruction-based AOI system capable of accurately measuring solder volume. (3) Surface Mount Devices (SMD) manufacturing process can be maximized by classifying five types of pick-and-place machines for efficient scheduling strategies. In addition, the innovation of Light Emitting Diode (LED) Surface Mount Devices (SMD) as light sources/filters in spectrophotometers shows potential for smaller and more cost-effective designs. The study recommends the development of Design for Manufacturing (DFM) standards that address leadless solder failure mechanisms as well as the adoption of 3D Automatic Optical Inspection (AOI) for Through Hole Technology (THT).*

Keywords: *Soldering Reliability; Automatic Optical Inspection (AOI); Manufacturing Optimization; Surface Mount Devices (SMD); Through Hole Technology (THT).*

Abstrak : Industri elektronika saat ini membutuhkan produk yang lebih kecil, lebih berfungsi, dan tahan lama. Sebagian besar kebutuhan ini terpenuhi oleh Surface Mount Technology (SMT) yang menggunakan Surface Mount Devices (SMD). Namun, Through Hole Technology (THT) masih penting untuk aplikasi yang memerlukan distribusi panas dan kekuatan mekanis yang baik. Perpindahan ke solder tanpa timbal membawa tantangan baru terkait keandalan sambungan, terutama dalam hal kelelahan termal. Penelitian ini bertujuan meninjau berbagai cara untuk meningkatkan kualitas, keandalan, dan efisiensi dalam proses perakitan elektronika modern melalui

analisis bahan, pengembangan inspeksi, dan perbaikan proses manufaktur. Metode penelitian menggunakan tinjauan literatur kualitatif analitis dengan menggabungkan enam jurnal ilmiah yang fokus pada tiga tema: keandalan solder (Through Hole Technology (THT) & Surface Mount Devices (SMD)), Automatic Optical Inspection (AOI), dan optimasi manufaktur. Hasil utama penelitian menunjukkan: (1) Untuk memperkirakan umur komponen Surface Mount Devices (SMD) secara tepat, dibutuhkan model Finite Element Analysis (FEA) yang mempertimbangkan distribusi suhu yang tidak merata. (2) Inspeksi Through Hole Technology (THT) yang sulit dapat ditingkatkan dengan sistem AOI berbasis rekonstruksi 3D yang mampu mengukur volume solder secara akurat. (3) Proses manufaktur Surface Mount Devices (SMD) dapat dimaksimalkan dengan klasifikasi lima jenis mesin pick-and-place untuk strategi penjadwalan yang efisien. Selain itu, inovasi Light Emitting Diode (LED) Surface Mount Devices (SMD) sebagai sumber cahaya/filter pada spektrofotometer menunjukkan potensi untuk desain yang lebih kecil dan hemat biaya. Penelitian merekomendasikan pengembangan standar Design for Manufacturing (DFM) yang sesuai dengan mekanisme kegagalan solder tanpa timbal serta adopsi Automatic Optical Inspection (AOI) 3D untuk Through Hole Technology (THT).

Kata Kunci: Keandalan Solder; *Automatic Optical Inspection (AOI)*; *Optimasi Manufaktur*; *Surface Mount Devices (SMD)*; *Through Hole Technology (THT)*.

PENDAHULUAN

Industri elektronika modern semakin menuntut produk yang lebih kecil, lebih berfungsi, dan lebih tahan lama. Dalam pembuatan Papan Sirkuit Tercetak (PCB), teknologi Surface Mount Technology (SMT) yang menggunakan komponen Surface Mount Devices (SMD) sudah menjadi pilihan utama karena mampu mengatur komponen kecil dengan cepat. Meski begitu, teknologi Through Hole Technology (THT) masih penting, khususnya untuk aplikasi yang membutuhkan penyebaran panas yang baik atau kekuatan mekanik yang lebih tinggi. [1], [2], [3], [4].

Salah satu aspek penting dalam kedua teknologi ini adalah keandalan sambungan solder. Perpindahan ke material solder bebas timbal membawa tantangan baru, terutama dalam menghadapi kelelahan akibat suhu dan beban listrik yang berubah. Untuk memprediksi daya tahan dan memperbaiki desain, diperlukan analisis yang lebih dalam seperti Finite Element Analysis (FEA). [5] Sementara itu, keandalan sambungan Through Hole Technology (THT) sangat tergantung pada desain lubang dan lapisan Papan Sirkuit Tercetak (PCB), sehingga menjadi bagian penting dalam Design for Manufacturing (DFM). [1], [2], [6].

Untuk menjaga kualitas produk, Automatic Optical Inspection (AOI) menjadi bagian wajib dalam proses produksi. [7] AOI tradisional biasanya fokus pada penyolderan komponen Surface Mount Devices (SMD). Namun, inspeksi sambungan Through Hole Technology (THT) lebih rumit karena permukaan logamnya yang sangat mengkilap. Hal ini mendorong penelitian untuk metode baru, seperti penggunaan teknik 3D untuk memperbaiki pengenalan sambungan Through Hole Technology (THT) menggunakan refleksi cahaya, [8] atau pendekatan berbasis posisi komponen untuk mengklasifikasikan kecacatan lebih akurat. [7], [9].

Dari sisi efisiensi produksi, optimasi jalur pemasangan Surface Mount Technology (SMT) sangat bergantung pada pemahaman mendalam tentang karakteristik mesin pembuat Surface Mount Devices (SMD). Mesin Surface Mount Devices (SMD) memiliki jenis berbeda, seperti tipe turret, multi-head, atau sequential pick-and-place. Mempertimbangkan jadwal dan pemilihan mesin menjadi kunci untuk meningkatkan kapasitas produksi. [4], [10], [11].

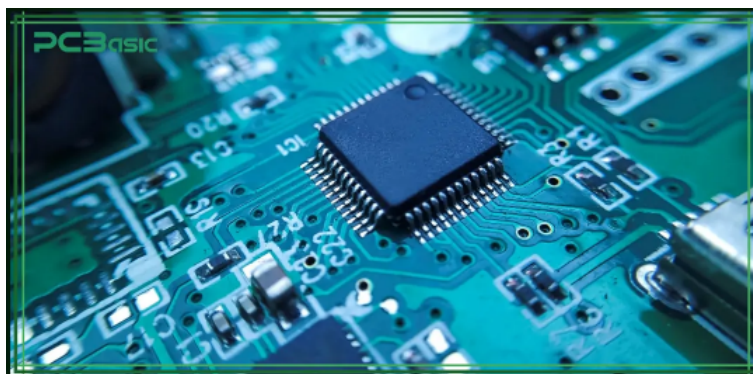
Selain itu, teknologi Surface Mount Devices (SMD) juga memiliki potensi dalam aplikasi khusus. Misalnya, Light Emitting Diode (LED) Surface Mount Devices (SMD) digunakan sebagai pengganti sumber cahaya dan filter dalam Spektrofotometer karena spektrum cahaya tertentu yang bisa menyederhanakan desain optik. [6], [12], [13]

Berdasarkan isu-isu ini, penelitian ini fokus pada upaya menyeluruh untuk meningkatkan kualitas, keandalan, dan efisiensi pada proses perakitan elektronika modern, melalui analisis material, pengembangan inspeksi, serta perbaikan proses manufaktur.

KAJIAN TEORITIS

A. *Algoritma Surface Mount Technology (SMT)*

Surface Mount Technology (SMT) menggunakan komponen Surface Mount Devices (SMD) dan telah menjadi cara standar dalam industri. Teknologi ini memungkinkan komponen lebih kecil, menghasilkan Papan Sirkuit Tercetak (PCB) yang lebih padat, serta mempercepat proses produksi.

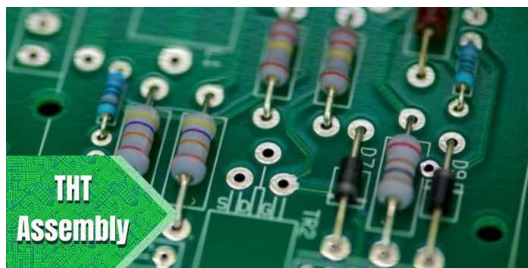


Gambar 1. Surface Mount Technology (SMT) [14]

Surface Mount Technology (SMT) juga penting dalam mengoptimalkan jalur perakitan.

B. *Through Hole Technology (THT)*

Meskipun Surface Mount Technology (SMT) sudah banyak digunakan, Through Hole Technology (THT) masih digunakan dalam beberapa perangkat modern.



Gambar 2. Through Hole Technology (THT)[15]

Through Hole Technology (THT) digunakan untuk komponen yang memerlukan daya lepas panas yang baik atau daya tahan mekanis tinggi, seperti konektor atau komponen daya.[1] Oleh karena itu, aturan Design for Manufacturing (DFM) untuk Through Hole Technology (THT) tetap penting agar produk akhir tetap kuat dan tahan lama[1].

C. Keandalan Sambungan Solder

Keandalan sambungan solder sangat berpengaruh terhadap daya tahan produk elektronik. Faktor-faktor seperti desain, bahan, dan lingkungan tempat produk digunakan bisa memengaruhi keandalan ini. Dalam Through Hole Technology (THT), keandalan sambungan sangat bergantung pada bentuk dan ukuran land (tempat menyolder) serta lubang pada Papan Sirkuit Tercetak (PCB).[1] Jenis bahan solder juga berpengaruh, contohnya penelitian yang membandingkan keandalan solder tanpa timbal (Sn3Ag0.5Cu) dengan solder ber-timbang (Sn37Pb) pada perakitan Through Hole Technology (THT) yang mengalami pengujian siklus suhu. Hasil menunjukkan bahwa desain land dan lubang harus disesuaikan dengan jenis bahan solder agar keandalan tercapai optimal.[1] Sambungan solder tanpa timbal (termasuk jenis SAC) pada komponen Surface Mount Devices (SMD) sangat rentan terhadap kegagalan karena kelelahan termal. Perubahan suhu yang terus-menerus dan beban listrik menyebabkan regangan atau tegangan plastis pada sambungan, yang bisa dianalisis menggunakan metode numerik.[5] Finite Element Analysis (FEA) adalah alat yang umum digunakan untuk membuat model dan memprediksi cara sambungan solder berperilaku ketika ada beban panas.

D. Inspeksi Kualitas dan Rekonstruksi Cacat

Automatic Optical Inspection (AOI) adalah cara inspeksi otomatis yang menjadi bagian penting dalam proses kontrol kualitas produksi yaitu tantangan Inspeksi Solder Through Hole Technology (THT) dan Pendekatan 3D dan Lokalisasi Lead Through Hole Technology (THT).

E. Optimasi Jalur Perakitan Surface Mount Technology (THT)

Efisiensi jalur perakitan sangat bergantung pada mesin penempatan Surface Mount Devices (SMD) (Surface Mount Devices (SMD) placement machine) yaitu klasifikasi Mesin Penempatan Surface Mount Devices (SMD) dan masalah Penjadwalan dan Heuristik.

METODE PENELITIAN

Jurnal EDU ELEKTROMATIKA (JEE)

ISSN: 2747-0784 (p); xxxxxx (e)

Vol 6, No. 2, Desember 2025

A. Sumber Data

Sumber data primer berupa enam jurnal ilmiah yang telah dipilih dan dikelompokkan dalam tiga tema utama untuk dianalisis:

1. Keandalan Solder: Meliputi penelitian mengenai material Through Hole Technology (THT) dan pemodelan tegangan pada komponen Surface Mount Devices (SMD) menggunakan Finite Element Analysis (FEA).
2. Automatic Optical Inspection (AOI): Meliputi inovasi dalam rekonstruksi 3D dan lokalisasi komponen Through Hole Technology (THT).
3. Optimasi Manufaktur: Meliputi klasifikasi mesin penempatan Surface Mount Devices (SMD) dan penggunaan komponen baru.

B. Teknik Analisis

Analisis data dilakukan dengan metode sintesis tematik analitis, dengan fokus pada:

1. Ekstraksi Data Kunci: Menarik hasil, metode, dan dampak utama dari setiap jurnal.
2. Analisis Komparatif: Membandingkan hasil secara kritis, seperti perbedaan mekanisme kegagalan mikro-struktural dan validitas asumsi simulasi suhu.
3. Sintesis Inferensi: Menggabungkan hasil perbandingan untuk menyusun kesimpulan yang menyeluruh mengenai kemajuan performa komponen Through Hole Technology (THT) dan Surface Mount Devices (SMD).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan ini membahas hasil utama dari enam jurnal dalam tiga topik penting di bidang manufaktur elektronika

A. Keandalan Solder (Through Hole Technology (THT) & Surface Mount Devices (SMD))

Keandalan sambungan solder dipengaruhi oleh perbedaan bahan dan keakuratan model panas.

1. Through Hole Technology (THT): Solder bebas timbal (SAC305) menunjukkan jenis kegagalan retakan mikroskopis yang berbeda dibandingkan retakan makroskopis pada solder timbal (Sn37Pb). Hal ini membutuhkan penyesuaian kriteria desain sesuai dengan bahan yang digunakan.
2. Surface Mount Devices (SMD): Finite Element Analysis (FEA) menunjukkan bahwa asumsi distribusi suhu yang tidak merata menghasilkan tingkat tegangan yang lebih tinggi dan lebih realistis pada sambungan. Ini menekankan perlunya model keandalan yang lebih tepat untuk menghindari kegagalan akibat kelelahan termal.

B. Automatic Optical Inspection (AOI)

Automatic Optical Inspection (AOI) bertujuan untuk meningkatkan kualitas inspeksi komponen Through Hole Technology (THT) yang sulit dilakukan.

1. Inspeksi 3D: Metode ini menggunakan refleksi permukaan untuk merekonstruksi bentuk 3D dari solder Through Hole Technology (THT). Kemampuan ini penting karena memungkinkan pengukuran volume solder secara akurat, sehingga mengatasi kekurangan dari metode inspeksi 2D.
2. Lokalisasi Fitur: Dicapai dengan presisi tinggi dalam menemukan posisi ujung kaki komponen (lead top) menggunakan metode Template Matching. Lokalisasi

yang tepat adalah bagian penting untuk meningkatkan ketepatan dalam mengklasifikasikan jenis cacat solder secara otomatis.

C. Optimasi Proses Manufaktur

Efisiensi dalam produksi meningkat berkat strategi optimasi dan inovasi pada komponen.

1. Optimasi Mesin Surface Mount Devices (SMD): Penelitian ini memberikan klasifikasi 5 jenis mesin pick-and-place (Turret, Multi-head, dan lainnya). Klasifikasi ini digunakan sebagai dasar untuk memilih strategi penjadwalan yang paling efisien, sehingga dapat mengurangi waktu siklus produksi.
2. Aplikasi Light Emitting Diode (LED) Surface Mount Devices (SMD): Telah terbukti bahwa Light Emitting Diode (LED) Surface Mount Devices (SMD) bisa berfungsi sebagai sumber cahaya dan filter di dalam Spektrofotometer. Inovasi ini memungkinkan desain instrumen yang lebih kecil dan hemat biaya dengan memanfaatkan panjang gelombang Light Emitting Diode (LED) yang sesuai.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa keandalan dan efisiensi dalam manufaktur elektronika modern sangat dipengaruhi oleh integrasi antara pemodelan teknis yang akurat, optimasi proses produksi, dan inovasi desain komponen. Penggunaan model Finite Element Analysis (FEA) dengan distribusi suhu yang tidak merata terbukti penting dalam memperkirakan umur komponen Surface Mount Devices (SMD) secara lebih presisi, sehingga dapat meminimalkan kesalahan estimasi tegangan termal dan mencegah terjadinya kegagalan dini.

Selain itu, efisiensi proses manufaktur SMD dapat ditingkatkan melalui klasifikasi mesin pick-and-place ke dalam lima jenis utama, yang memungkinkan penerapan strategi penjadwalan produksi yang lebih tepat dan sesuai dengan karakteristik masing-masing mesin. Pendekatan ini berkontribusi langsung terhadap peningkatan kapasitas produksi dan pengurangan pembatasan operasional.

Dari sisi inovasi komponen, pemanfaatan Light Emitting Diode (LED) sebagai filter maupun sumber cahaya dalam perangkat elektronika menunjukkan potensi besar dalam menghasilkan desain yang lebih ringkas dan hemat biaya. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa pengembangan standar desain manufaktur yang adaptif, penerapan teknologi inspeksi berbasis tiga dimensi, serta pemanfaatan model optimasi yang spesifik terhadap jenis mesin merupakan kunci utama dalam meningkatkan kualitas, efisiensi, dan daya saing industri manufaktur elektronika di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Sobolewski, J. Wojewoda-Budka, Z. Huber, P. Zieba, dan A. Wierzbicka-Miernik, "Solder joints reliability of through hole assemblies with various land and hole design," *Microelectronics Reliability*, vol. 125, hlm. 114368, Okt 2021, doi: 10.1016/j.microrel.2021.114368.
- [2] S. I. Beilin, M. G. Peters, M. G. Lee, dan W. V Wang, "Through hole interconnect substrate fabrication process," US Patent 5,454,161, 1995, [Daring]. Tersedia pada: <https://patents.google.com/patent/US5454161A/en>
- [3] R. G. Reed, "Printed circuit board through hole technique," US Patent 4,964,948, 1990, [Daring]. Tersedia pada:

- <https://patents.google.com/patent/US4964948A/en>
- [4] B. Illés, O. Krammer, dan A. Géczy, Introduction to surface-mount technology. real.mtak.hu, 2020. [Daring]. Tersedia pada: <https://real.mtak.hu/115058/>
- [5] P. Hegde, A. R. Ochana, D. C. Whalley, dan V. V Silberschmidt, "FINITE ELEMENT ANALYSIS OF LEAD-FREE SURFACE MOUNT DEVICES." [Daring]. Tersedia pada: <https://dspace.lboro.ac.uk/>
- [6] D. L. C. Morlion, S. Sercu, W. Heyvaert, dan ..., "Matched-impedance surface-mount technology footprints," US Patent 7,709,747, 2010, [Daring]. Tersedia pada: <https://patents.google.com/patent/US7709747B2/en>
- [7] A. J. Engel dan W. M. Silver, "Method and apparatus for inspection of surface mounted devices," US Patent 5,371,690, 1994, [Daring]. Tersedia pada: <https://patents.google.com/patent/US5371690A/en>
- [8] J. Richter dan J. Schambach, "Three-dimensional THT solder joint reconstruction for inline inspection systems," SPIE-Intl Soc Optical Eng, Sep 2019, hlm. 25. doi: 10.1117/12.2530888.
- [9] C. L. S. C. Fonseka dan J. A. K. S. Jayasinghe, "Localization of component lead inside a THT solder joint for solder defects classification 58 Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering."
- [10] M. Ayob dan G. Kendall, "A survey of surface mount device placement machine optimisation: Machine classification," Eur J Oper Res, vol. 186, no. 3, hlm. 893–914, Mei 2008, doi: 10.1016/j.ejor.2007.03.042.
- [11] W. E. Coleman, D. Jean, dan ..., "Stencil design for mixed technology through-hole/SMT placement and reflow," ... Mount Technology, 2000, doi: 10.1108/09540910010347782.
- [12] P. Kesehatan Kementerian Kesehatan Surabaya, D. Titisari, M. Prastawa Assalim Tetra Putra Jurusan Teknik Elektromedik Poltekkes Kemenkes, dan S. Jl Pucang Jajar Timur No, "Prosiding Seminar Nasional Kesehatan Analisis Kemampuan LED SMD Sebagai Pengganti Sumber Cahaya dan Filter Pada Spektrofotometer."
- [13] K. Namioka, "Surface mount device," US Patent 8,120,043, 2012, [Daring]. Tersedia pada: <https://patents.google.com/patent/US8120043B2/en>
- [14] A.Chen, "Bagaimana Teknologi Surface Mount (SMT) Mengubah Elektronik Modern," Jun 2025, Diakses: 26 November 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://www.pcbasic.com/id/blog/surface_mount_technology_smt.html
- [15] M.Wang, "PCB Assembly Process: Everything You Need You Know," Nov 2022, Diakses: 26 November 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.pcbtok.com/pcb-assembly-process/>