

Pengaruh Penggunaan Tube Packaging pada Komponen MSOP-8 terhadap Cycle Time dan Downtime pada Proses Surface Mount Technology

M Satria Salahuddin^{*1}, Aulia Fajrin^{1*}

* Politeknik Negeri Batam

Program Studi Teknik Mesin

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

¹E-mail: muhsatria2610@gmail.com

Abstrak

Penggunaan *tube packaging* pada komponen berukuran kecil dapat menimbulkan kendala pada tahap *feeding* dan *pick-up* dalam proses *Surface Mount Technology* (SMT). Penelitian ini bertujuan menganalisis perubahan *cycle time*, menghitung *downtime* teridentifikasi, dan menjelaskan faktor operasional pada penggunaan *tube packaging* untuk komponen AD8220ARMZ berkemasan MSOP-8. Penelitian menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus retrospektif berdasarkan data produksi sekunder agregat pada model AHD0081-2-15150 dan *Job Order* JO-26-00580. Hasil analisis menunjukkan bahwa *cycle time* penggunaan tube sebesar 93,51 detik/panel, lebih panjang 17,63 detik/panel atau 23,2% dibandingkan kondisi acuan *tape & reel* sebesar 75,88 detik/panel. Sebanyak 71 *pick-up error* dari 1.656 komponen menghasilkan tingkat kejadian 4,29%. Bersama 34 aktivitas pengisian tube, kondisi tersebut membentuk *downtime* teridentifikasi sebesar 122 menit atau 2,03 jam, yang terdiri atas 71 menit penanganan *pick-up error* dan 51 menit pengisian tube. Perubahan waktu tersebut berkaitan dengan kestabilan komponen saat *vibratory feeding* dan kapasitas tube yang terbatas. Hasil penelitian berlaku pada model, *job order*, komponen, dan konfigurasi *feeding* yang diteliti.

Kata kunci: *Surface Mount Technology*, *tube packaging*, MSOP-8, *cycle time*, *downtime*

Abstract

The use of tube packaging for small components may create feeding and pick-up constraints in the Surface Mount Technology (SMT) process. This study analysed the change in cycle time, calculated identified downtime, and explained the operational factors associated with tube packaging for the MSOP-8 AD8220ARMZ component. A descriptive quantitative retrospective case study was conducted using secondary aggregate production data from model AHD0081-2-15150 and Job Order JO-26-00580. The tube condition recorded a cycle time of 93.51 s/panel, which was 17.63 s/panel or 23.2% longer than the limited tape-and-reel reference of 75.88 s/panel. A total of 71 pick-up errors from 1,656 components resulted in a 4.29% occurrence rate. Together with 34 tube-loading activities, these conditions produced 122 min or 2.03 h of identified downtime, comprising 71 min for pick-up error handling and 51 min for tube loading. The time changes were associated with component stability during vibratory feeding and the limited tube capacity. The findings apply only to the investigated model, job order, component, and feeding configuration.

Keywords: *Surface Mount Technology*, *tube packaging*, MSOP-8, *cycle time*, *downtime*

1 Pendahuluan

Perakitan papan sirkuit tercetak atau *Printed Circuit Board Assembly* (PCBA) merupakan bagian penting dalam

manufaktur elektronik karena mengintegrasikan berbagai komponen menjadi rangkaian yang dapat menjalankan fungsi tertentu. Salah satu metode perakitan yang digunakan secara luas adalah *Surface Mount Technology* (SMT), yaitu pemasangan *Surface Mount Device* (SMD) secara langsung pada permukaan *Printed Circuit Board* (PCB). Rangkaian proses SMT umumnya meliputi pencetakan *solder paste*, inspeksi hasil pencetakan, penempatan komponen menggunakan mesin *pick-and-place*, pemanasan pada mesin *reflow*, dan inspeksi hasil perakitan. Dalam sistem tersebut, waktu proses dan status mesin menjadi bagian dari kendala operasional yang perlu dikendalikan agar aliran produksi tetap stabil [1].

Mesin *pick-and-place* mengambil komponen dari feeder, memindahkannya menuju koordinat yang telah diprogram, lalu menempatkannya pada PCB. Karakteristik mesin, susunan feeder, penugasan nozzle, jarak perpindahan, dan urutan pengambilan serta penempatan komponen menentukan waktu penyelesaian satu panel [2]. Penelitian pada *beam-head surface mounter* menunjukkan bahwa jumlah siklus pengambilan dan penempatan, pergantian nozzle, pengambilan simultan, jarak gerak, serta penetapan posisi feeder merupakan faktor yang saling berkaitan dalam waktu perakitan PCB [3]. Oleh karena itu, kestabilan penyediaan komponen pada titik pengambilan merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari performa operasional mesin SMT.

Penilaian kondisi operasional pada penelitian ini menggunakan *cycle time* dan *downtime*. *Cycle time* menyatakan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan satu siklus keluaran, sedangkan *downtime* menunjukkan waktu ketika proses tidak dapat beroperasi karena interupsi tertentu. ISO 22400-2 menempatkan indikator waktu beserta formula, satuan, dan perilaku waktunya sebagai bagian dari pengukuran kinerja operasi manufaktur [4]. Kedua indikator tersebut memiliki cakupan yang lebih spesifik daripada produktivitas menyeluruh. Penggunaan dua indikator ini memungkinkan analisis diarahkan pada perubahan waktu proses dan waktu berhenti yang dapat ditelusuri dari data kasus, tanpa mengklaim efisiensi lini, penggunaan material, biaya, atau produktivitas total.

Kecepatan proses penempatan komponen tidak dapat dipisahkan dari kestabilan gerakan mesin dan kondisi komponen pada titik pengambilan. Eksperimen pada perakitan komponen elektronik dengan sistem robotik menunjukkan adanya hubungan praktis antara pemilihan kecepatan gerak, vibrasi, akurasi, dan *cycle time* [5]. Kecepatan yang terlalu tinggi dapat meningkatkan osilasi, sedangkan pengurangan kecepatan pada gerakan tertentu dapat meningkatkan kestabilan dengan konsekuensi waktu siklus yang lebih panjang. Temuan tersebut tidak digunakan sebagai bukti langsung untuk konfigurasi mesin dalam penelitian ini, tetapi menjelaskan alasan teknis mengapa proses pengambilan yang memerlukan gerakan lebih terkendali dapat memengaruhi *cycle time*.

Karakteristik fisik komponen juga penting pada sistem feeding berbasis getaran. Penelitian mengenai vibratory feeder untuk chip LED berukuran kecil dan bermassa rendah menunjukkan bahwa kehilangan kestabilan komponen selama transportasi menjadi masalah yang perlu dikendalikan melalui parameter gerak dan desain feeder [6]. Objek penelitian tersebut berbeda dari MSOP-8, tetapi mekanismenya memberikan dasar bahwa ukuran kecil dan massa rendah dapat meningkatkan sensitivitas komponen terhadap getaran. Pada proses SMT, penelitian berbasis lini produksi juga menunjukkan bahwa tipe komponen termasuk salah satu faktor yang berkaitan dengan pergeseran komponen pada proses *pick-and-place* [7].

Peningkatan tingkat miniaturisasi mempersempit toleransi proses pengambilan dan penempatan. Penelitian terhadap komponen pasif miniatur memperlihatkan bahwa posisi penempatan perlu dikendalikan secara khusus untuk membatasi pergeseran setelah proses placement [8]. Pengembangan kendali *pick-and-place* berbasis data juga menempatkan posisi komponen berukuran kecil sebagai variabel penting dalam pengendalian proses SMT [9]. Selain itu, pemodelan variasi *pick-up* menunjukkan bahwa perubahan kondisi pengambilan dapat memengaruhi hasil penempatan chip [10]. Meskipun penelitian-penelitian tersebut tidak menguji tube packaging MSOP-8, temuan tersebut memperkuat dasar bahwa proses pengambilan komponen miniatur sensitif terhadap kestabilan posisi dan parameter gerak mesin.

Komponen yang dikaji adalah AD8220ARMZ dengan package MSOP delapan kaki. Dokumentasi resmi Analog Devices mencantumkan AD8220ARMZ dan varian AD8220ARMZ-R7 sebagai *8-lead MSOP*, dengan kode R7 dinyatakan sebagai kemasan *7-inch tape and reel*. Pada kasus produksi AHD0081-2-15150 dengan Job Order JO-26-00580, komponen AD8220ARMZ disuplai melalui tube sepanjang 150 mm berkapasitas 50 komponen dan diproses menggunakan *Vibratory Tube Feeder*. Laporan perusahaan mencatat bahwa posisi komponen berukuran 3 mm × 3 mm kurang stabil selama feeding, sehingga mesin mengalami *pick-up error* dan memerlukan pengaturan pengambilan yang lebih lambat. Kapasitas tube yang terbatas juga menimbulkan aktivitas pengisian berulang dan interupsi mesin.

Data perbandingan yang tersedia untuk *tape & reel packaging* hanya berupa *cycle time* dan *unit per hour* (UPH), sedangkan data tube mencakup jumlah komponen, *pick-up error*, waktu penanganan error, frekuensi pengisian, dan waktu pengisian. Ketidakeimbangan data tersebut tidak memadai untuk membangun perbandingan dua metode packaging secara menyeluruh. Meskipun demikian, studi tentang pengelolaan reel pada lini SMT menunjukkan bahwa pertukaran dan pengisian reel berkaitan dengan waktu changeover dan downtime operasional [11]. Nilai tape

& reel pada penelitian ini karena itu digunakan secara terbatas sebagai baseline cycle time, sedangkan analisis downtime hanya didasarkan pada kejadian yang tercatat selama penggunaan tube.

Masalah penelitian dirumuskan sebagai peningkatan cycle time pada penggunaan tube packaging dibandingkan baseline tape & reel, besarnya downtime yang berasal dari pick-up error dan aktivitas pengisian tube, serta faktor operasional yang menjelaskan kedua kondisi tersebut. Penelitian ini bertujuan menganalisis peningkatan cycle time, menghitung downtime yang teridentifikasi, dan menjelaskan hubungan karakteristik feeding dengan perubahan waktu proses pada model AHD0081-2-15150 dan JO-26-00580. Penelitian dibatasi pada komponen AHDEC1407 dengan *manufacturer part number* AD8220ARMZ, package MSOP-8, tube 150 mm, dan *Vibratory Tube Feeder*. Analisis tidak mencakup *line efficiency*, OEE, produktivitas total, biaya, efisiensi material, kualitas hasil solder, atau generalisasi terhadap seluruh komponen dan lini SMT.

2 Metodologi Penelitian

2 Metodologi Penelitian

2.1 Jenis dan objek penelitian

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus retrospektif. Analisis dilakukan terhadap data produksi yang telah dicatat dalam laporan internal perusahaan. Objek penelitian adalah proses *feeding* dan *pick-up* komponen IC menggunakan *Vibratory Tube Feeder* pada lini *Surface Mount Technology* (SMT).

Studi kasus dibatasi pada model AHD0081-2-15150, *Job Order* JO-26-00580, komponen AHDEC1407 dengan *manufacturer part number* AD8220ARMZ, dan package MSOP-8 berukuran 3 mm × 3 mm. Komponen dipasang dalam tube sepanjang 150 mm dengan kapasitas 50 komponen per tube. Variabel utama yang dianalisis adalah *cycle time* dan *downtime* selama penggunaan *tube packaging*.



Gambar 1. ukuran part komponen, panjang tube, dan tube vibrator

2.2 Sumber dan parameter data

Data bersumber dari laporan internal perusahaan berjudul *SMT Production Downtime Efficiency Analysis Report (AHD0081)* bertanggal 13 Maret 2026. Laporan tersebut memuat jumlah komponen, jumlah *pick-up error*, waktu penanganan error, kapasitas dan frekuensi pengisian tube, *cycle time*, *unit per hour* (UPH), serta *expected* dan *actual production time*. Data *tape & reel* hanya tersedia untuk *cycle time* dan UPH sehingga digunakan sebagai baseline pada kedua parameter tersebut, bukan sebagai kelompok pembanding untuk *downtime*.

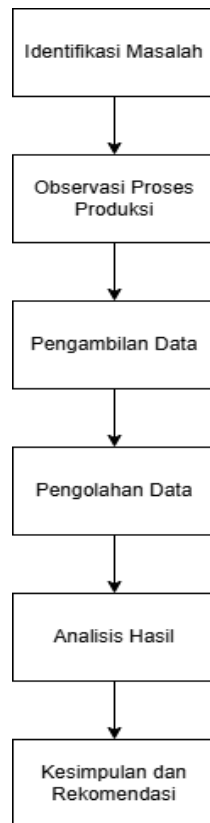
Parameter	Definisi operasional	Satuan
<i>Cycle time</i>	Waktu penyelesaian satu panel yang tercatat dalam laporan	detik/panel
<i>Pick-up error rate</i>	Proporsi kejadian kegagalan pengambilan komponen	persen
<i>Downtime pick-up error</i>	Akumulasi waktu penanganan <i>pick-up error</i>	menit
Waktu pengisian tube	Akumulasi waktu aktivitas pengisian tube	menit

UPH	Kapasitas keluaran per jam yang tercatat dalam laporan	unit/jam
Waktu produksi	<i>Expected</i> dan <i>actual production time</i>	jam

UPH digunakan sebagai indikator pendukung untuk melihat arah perubahan kapasitas keluaran per jam. Nilai tersebut tidak digunakan untuk menyatakan produktivitas proses secara menyeluruh.

2.3 Prosedur penelitian

Prosedur penelitian ini dilakukan melalui tahapan tahapan berikut:



Gambar 2. Tahapan dalam proses penelitian

Penelitian dimulai dengan menentukan objek dan batas analisis berdasarkan masalah yang tercatat dalam laporan. Data kemudian diekstraksi ke dalam tabel kerja dengan mempertahankan nama parameter dan satuan aslinya. Setiap angka diperiksa kembali melalui perhitungan aritmetis untuk memastikan kesesuaian antara jumlah kejadian, durasi, persentase, dan total waktu. Tahap berikutnya mencakup perhitungan *pick-up error rate*, waktu pengisian tube, total *downtime*, serta perbedaan *cycle time* dan UPH terhadap baseline *tape & reel*. Hasil perhitungan selanjutnya dianalisis secara deskriptif dengan memisahkan tambahan waktu proses akibat *cycle time* dari waktu berhenti akibat *pick-up error* dan pengisian tube.

2.4 Pengolahan dan analisis data

Tingkat *pick-up error* dihitung dengan Persamaan (1), sedangkan jumlah aktivitas pengisian tube diperiksa dengan Persamaan (2).

$$R_e = \frac{N_e}{N_c} \times 100\% \quad (1)$$

$$F_t = \left\lceil \frac{N_c}{C_t} \right\rceil \quad (2)$$

Total *downtime* merupakan penjumlahan waktu penanganan *pick-up error* dan waktu pengisian tube sebagaimana dirumuskan pada Persamaan (3).

$$D_{total} = (N_e \times t_e) + (F_t \times t_t) \quad (3)$$

Selisih dan persentase kenaikan *cycle time* tube terhadap baseline dihitung dengan Persamaan (4).

$$\Delta CT = CT_t - CT_r; P_{CT} = \frac{\Delta CT}{CT_r} \times 100\% \quad (4)$$

Perubahan UPH dihitung sebagai indikator pendukung menggunakan Persamaan (5).

$$P_{UPH} = \frac{UPH_r - UPH_t}{UPH_r} \times 100\% \quad (5)$$

Tambahan waktu akibat perbedaan *cycle time* dan total selisih waktu terhadap baseline dihitung dengan Persamaan (6).

$$T_{CT} = T_{exp,t} - T_{exp,r}; T_{selisih} = T_{CT} + \frac{D_{total}}{60} \quad (6)$$

N_e menyatakan jumlah *pick-up error*, N_c jumlah komponen, C_t kapasitas tube, F_t jumlah aktivitas pengisian yang diperhitungkan, t_e waktu penanganan setiap error, dan t_t waktu setiap pengisian tube. T_{exp} adalah *expected production time*, sedangkan subskrip t menunjukkan kondisi tube dan r menunjukkan baseline *tape & reel*. Pembagian D_{total} dengan 60 menyamakan satuan menit menjadi jam. Tambahan waktu T_{CT} diperlakukan sebagai waktu proses, bukan *downtime*.

Analisis menggunakan statistik deskriptif tanpa uji hipotesis karena data tersedia dalam bentuk agregat. Persentase *pick-up error* disajikan dengan dua angka desimal, persentase perubahan *cycle time* dan UPH dengan satu angka desimal, sedangkan selisih *cycle time* mengikuti dua angka desimal pada data sumber. Waktu dalam menit dikonversi ke jam dengan membaginya dengan 60.

2.5 Batasan metode

Laporan tidak menyediakan data per kejadian, variasi *cycle time* antar-panel, periode produksi terperinci, maupun informasi operator dan shift. Titik awal dan akhir pengukuran *cycle time* juga tidak dijelaskan sehingga satuan detik/panel digunakan sesuai laporan. Data *downtime tape & reel* tidak tersedia, sedangkan kategori *pick-up error* dan pengisian tube mengikuti klasifikasi perusahaan. Dengan keterbatasan tersebut, hasil penelitian hanya menggambarkan kasus AHD0081-2-15150/JO-26-00580 dan tidak digunakan untuk membuat kesimpulan kausal bagi seluruh komponen atau lini SMT.

3 Analisa Data dan Pembahasan

3.1 Penyajian data penelitian

Analisis menggunakan data produksi sekunder pada model AHD0081-2-15150 dan *Job Order* JO-26-00580 yang didokumentasikan pada 13 Maret 2026. Data penggunaan *tube packaging* meliputi *pick-up error*, aktivitas pengisian tube, *cycle time*, UPH, dan waktu produksi. Kondisi *tape & reel* digunakan sebagai acuan untuk *cycle time*, UPH, serta waktu produksi agregat. Data gangguan secara terperinci hanya tersedia pada penggunaan tube. Perbedaan waktu produksi pada kasus ini terbentuk dari tambahan waktu proses dan interupsi selama penggunaan tube.

Nilai awal *pick-up error rate* tercatat sebesar 4,30%. Perhitungan berdasarkan 71 kejadian dari 1.656 komponen menghasilkan 4,29% pada dua angka

desimal. Tabel 3.1 menyajikan kedua nilai tersebut bersama parameter produksi dan hasil analisis lainnya.

Tabel 3.1 - Ringkasan data produksi dan hasil analisis

Parameter	<i>Tube packaging</i>	Kondisi acuan <i>tape & reel</i>	Hasil analisis
<i>Pick-up error</i>	71 kejadian dari 1.656 komponen	-	Tingkat kejadian

	; nilai awal 4,30%		4,29%
Pengisian tube	Kapasitas 50 komponen /tube; 34 aktivitas; 1,5 menit/aktivitas	-	51 menit
Downtime teridentifikasi	1 menit/error; 71 menit <i>pick-up error</i> ; 51 menit pengisian	-	122 menit (2,03 jam)
Cycle time	93,51 detik/panel	75,88 detik/panel	+17,63 detik/panel (+23,2%)
UPH	115 unit/jam	142 unit/jam	-27 unit/jam (-19,0%)

Waktu produksi	Diharapkan 14 jam; aktual 16 jam	Diharapkan 12 jam	Tambahan 4,03 jam; total terhitung 16,03 jam
----------------	----------------------------------	-------------------	--

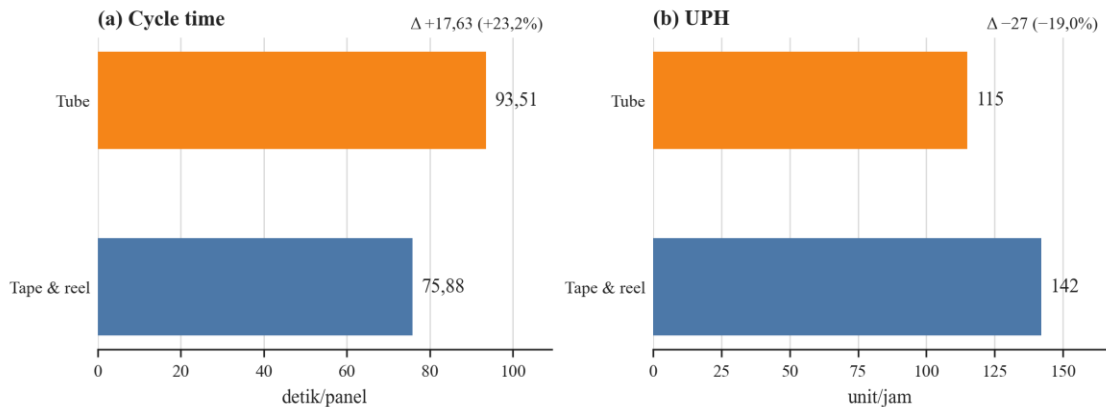
3.2 Analisis perubahan cycle time dan UPH

Pada penggunaan *tube packaging*, *cycle time* tercatat sebesar 93,51 detik/panel, sedangkan kondisi acuan *tape & reel* sebesar 75,88 detik/panel. Selisih dan persentase kenaikannya diperoleh melalui substitusi data pada Persamaan (4).

$$\Delta CT = 93,51 - 75,88 = 17,63 \text{ detik/panel}$$

$$P_{CT} = (17,63/75,88) \times 100$$

Hasil tersebut menunjukkan tambahan waktu 17,63 detik untuk setiap panel atau kenaikan 23,2% terhadap kondisi acuan. Perbandingan pada Gambar (a) memperlihatkan bahwa penyelesaian satu panel membutuhkan waktu lebih panjang ketika komponen dipasang melalui tube. Temuan ini berlaku pada model dan *job order* yang diteliti. Ketiadaan data antar-panel membatasi analisis pada nilai agregat tanpa ukuran variasi proses.



Gambar 3. Perbandingan cycle time dan UPH pada tape & reel dan tube. Sumber: data produksi, diolah (2026).

Arah perubahan yang sama terlihat pada UPH. Nilainya turun dari 142 menjadi 115 unit/jam, dengan persentase perubahan berdasarkan Persamaan (5) sebagai berikut.

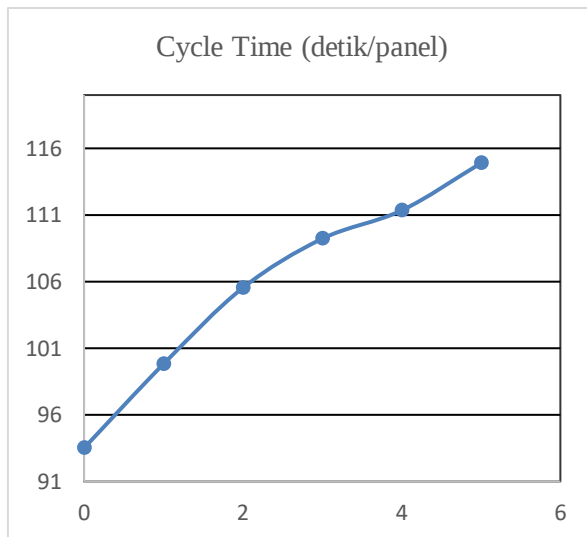
$$P_{UPH} = ((142 - 115)/142) \times 100$$

Penurunan tersebut setara dengan 27 unit/jam. Jumlah unit per panel tidak tersedia sehingga UPH digunakan sebagai indikator pendukung berdasarkan data produksi, bukan sebagai ukuran produktivitas lini secara menyeluruh.

Selain perbandingan cycle time antara tape & reel dan tube packaging, dilakukan pula pengamatan terhadap perubahan cycle time berdasarkan frekuensi pick-up error yang terjadi dalam satu panel. Hasil pengamatan ini bertujuan untuk menunjukkan pengaruh bertambahnya jumlah pick-up error terhadap waktu penyelesaian satu panel pada penggunaan tube packaging.

Tabel 3.2 – Pengaruh Frekuensi Pick-up Error terhadap Cycle Time

Pick-Up Error (kali/panel)	Cycle Time (detik/panel)
0	93,51
1	99,81
2	105,53
3	109,22
4	111,34
5	114,89



Gambar 4. Hubungan Frekuensi Pick-up Error terhadap Cycle Time.

Berdasarkan Tabel 3.2 dan Gambar 4, berdasarkan data aktual proses produksi terlihat bahwa peningkatan frekuensi pick-up error diikuti oleh peningkatan cycle time. Pada kondisi tanpa pick-up error, cycle time sebesar 93,51 detik/panel. Ketika terjadi satu kali pick-up error, cycle time meningkat menjadi 99,81 detik/panel dan terus meningkat hingga mencapai 114,89 detik/panel pada kondisi lima kali pick-up error. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa setiap

kejadian pick-up error menyebabkan mesin melakukan proses recovery sebelum melanjutkan proses placement sehingga waktu penyelesaian satu panel menjadi lebih lama. Dengan demikian, pick-up error tidak hanya membentuk downtime, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan cycle time selama penggunaan tube packaging.

3.3 Analisis downtime penggunaan tube packaging

Perpanjangan waktu proses tersebut disertai interupsi akibat *pick-up error* dan pengisian tube. Sebanyak 71 *pick-up error* terjadi selama penggunaan 1.656 komponen. Substitusi kedua nilai pada Persamaan (1) menghasilkan tingkat kejadian sebagai berikut.

$$R_e = (71/1.656) \times 100, \text{ dibulatkan menjadi } 4,29\%$$

Persentase ini menyatakan rasio kejadian kegagalan pengambilan terhadap jumlah komponen yang digunakan, bukan tingkat kecacatan komponen. Dengan waktu penanganan rata-rata satu menit per kejadian, akumulasi *downtime pick-up error* mencapai 71 menit atau 1,18 jam.

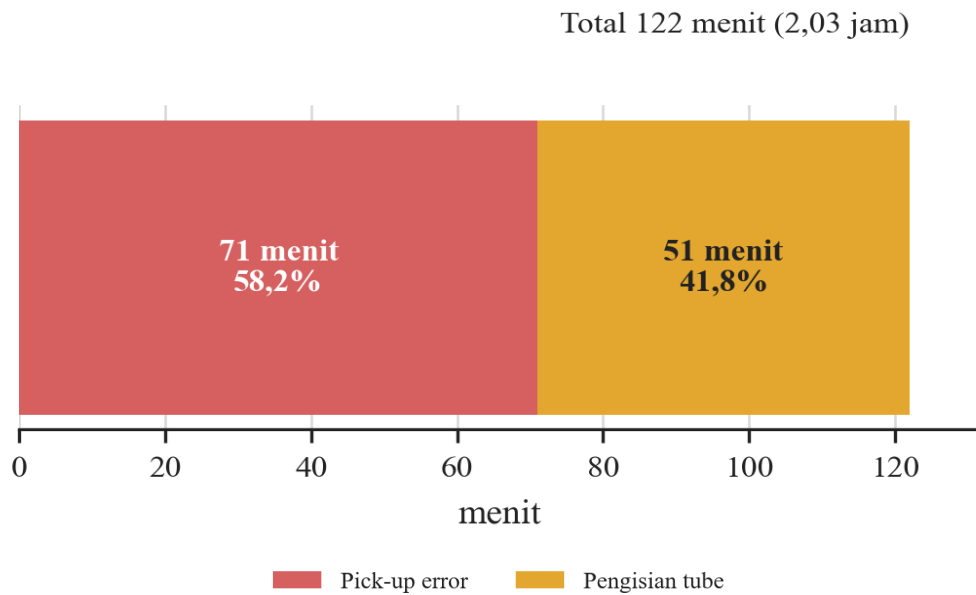
Satu tube memuat 50 komponen. Jumlah aktivitas pengisian dan total *downtime* dapat diperiksa melalui Persamaan (2) dan (3).

$$F_t = \text{pembulatan ke atas } (1.656 / 50) = \text{pembulatan ke atas } 33,12 = 34 \text{ aktivitas}$$

$$D_{total} = (71 \times 1) + (34 \times 1,5)$$

$$D_{total} = 71 + 51 = 122 \text{ menit} = 2,03 \text{ jam}$$

Sebanyak 34 aktivitas pengisian diperhitungkan selama *job order*. Jumlah tersebut tidak menunjukkan 34 pengisian ulang setelah pengisian awal, tetapi memverifikasi kebutuhan tube berdasarkan kapasitas yang tersedia. Pada durasi rata-rata 1,5 menit per aktivitas, pengisian tube membutuhkan 51 menit atau 0,85 jam. Seperti terlihat pada Gambar 4, *pick-up error* menyumbang 58,2% dan pengisian tube 41,8% dari total *downtime* teridentifikasi. Selisih kedua kategori mencapai 20 menit. Proporsi tersebut menempatkan kestabilan *pick-up* sebagai area evaluasi pertama, tanpa mengabaikan pengisian tube yang masih membentuk lebih dari dua perlima waktu interupsi. Durasi kedua kategori tetap merupakan hasil perkalian jumlah kejadian atau aktivitas dengan waktu rata-rata karena catatan waktu individual tidak tersedia.



Gambar 5. Komposisi downtime teridentifikasi selama penggunaan tube packaging. Sumber: data produksi, diolah (2026).

3.4 Dekomposisi waktu produksi

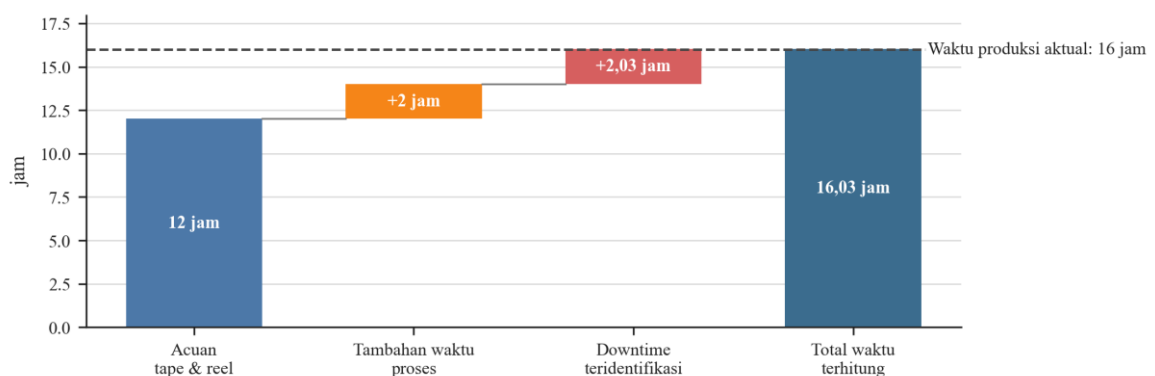
Pengaruh perubahan waktu proses dan interupsi dapat dilihat melalui dekomposisi waktu produksi. Waktu yang diharapkan pada kondisi acuan *tape & reel* adalah 12 jam, sedangkan penggunaan tube memiliki waktu yang diharapkan 14 jam. Selisih dua jam merupakan tambahan waktu proses agregat. Nilai tersebut tidak diperoleh dengan mengalikan selisih *cycle time* 17,63 detik/panel karena jumlah panel tidak tersedia.

Waktu produksi aktual pada penggunaan tube tercatat 16 jam. Berdasarkan Persamaan (6), tambahan waktu terhadap kondisi acuan dan total waktu terhitung diperoleh sebagai berikut.

$$T_{selisih} = (14 - 12) + (122/60) = 4,03 \text{ jam}$$

$$T_{terhitung} = 12 + 4,03 = 16,03 \text{ jam}$$

Tambahan keseluruhan 242 menit terdiri atas 120 menit tambahan waktu proses dan 122 menit *downtime*. Kontribusinya masing-masing sebesar 49,6% dan 50,4%. Proporsi yang hampir seimbang memperlihatkan bahwa pertambahan waktu produksi tidak didominasi oleh satu komponen: perlambatan proses dan interupsi operasional memberikan besaran yang hampir sama. Selisih 0,03 jam, setara dengan sekitar dua menit, antara waktu aktual dan hasil perhitungan masih konsisten dengan ketelitian data agregat yang dinyatakan dalam jam bulat. Hubungan ketiga komponen waktu tersebut disajikan pada Gambar 5.



Gambar 6. Dekomposisi tambahan waktu proses dan downtime terhadap kondisi acuan tape & reel. Sumber: data produksi, diolah (2026).

3.5 Pembahasan hubungan feeding dengan cycle time dan downtime

Catatan teknis proses menunjukkan bahwa posisi MSOP-8 dapat bergeser atau miring selama *vibratory feeding*. Gerakan pengambilan kemudian diperlambat untuk menjaga kestabilan komponen pada titik *pick-up*.

Kondisi ini dapat menjelaskan *cycle time* yang lebih panjang sekaligus munculnya *pick-up error*, meskipun kontribusi setiap faktor tidak dapat dihitung dari data agregat. Hubungan antara kecepatan gerak, vibrasi, dan *cycle time* juga ditemukan pada sistem perakitan elektronik [5]. Pada *vibratory feeder*, perilaku

komponen kecil dan ringan dipengaruhi oleh karakteristik komponen serta parameter feeder [6]. Kedua temuan tersebut sejalan dengan kondisi proses yang diteliti, dengan tetap mempertimbangkan perbedaan objek dan peralatan.

Sensitivitas komponen miniatur terhadap proses pengambilan dan penempatan telah dibahas dalam beberapa penelitian SMT. Tipe komponen berkaitan dengan pergeseran pada proses *pick-and-place* [7], sedangkan pengendalian posisi komponen berukuran kecil dibahas melalui pengaturan *placement* [8], pendekatan berbasis data [9], dan pemodelan variasi *pick-up* [10]. Penelitian tersebut umumnya menilai posisi komponen selama atau setelah penempatan, sementara kejadian pada penelitian ini berlangsung saat pengambilan dari tube. Dalam penelitian ini, tingkat kejadian 4,29% digunakan untuk menggambarkan gangguan pengambilan dan tidak menjadi ukuran kualitas hasil perakitan.

Selain kestabilan posisi, kapasitas tube sebanyak 50 komponen menimbulkan kebutuhan pengisian selama produksi. Pengaturan feeder dan siklus *pick-and-place* merupakan bagian dari waktu perakitan [3], sedangkan pertukaran reel secara manual berkontribusi terhadap waktu *changeover* [12]. Kedua kajian membahas penanganan feeder dan material pada konteks yang berbeda. Keterkaitannya dengan waktu operasional membantu menjelaskan interupsi akibat pengisian tube. Pada kasus yang diteliti, tambahan waktu proses dan *downtime* merupakan dua komponen yang berbeda dalam total waktu produksi.

Tabel 3.2 - Hubungan temuan dan penjelasan teknis

Temuan	Penjelasan teknis	Ruang interpretasi
<i>Cycle time</i> bertam- bah 17,63 detik/panel atau	Catatan teknis menunjukkan perlambatan gerak <i>pick-up</i> ; hubungan kecepatan, vibrasi,	Kontribusi perlambatan gerak tidak diisolasi

23,2%	dan <i>cycle time</i> dibahas pada [5]	
71 <i>pick-up error</i> dengan tingkat kejadian 4,29%	Posisi komponen dapat bergeser atau miring; perilaku komponen kecil pada <i>vibratory feeder</i> dibahas pada [6]-[10]	Rasio kejadian pengambilan, bukan <i>defect rate</i> atau bukti sebab tunggal
34 aktivitas pengisian membutuhkan 51 menit	Kapasitas tube membatasi suplai; penanganan feeder dan material berkaitan dengan waktu operasional [3], [12]	Jumlah aktivitas mengikuti data agregat tanpa catatan waktu individual
Tambahan waktu keseluruhan 4,03 jam	Terdiri atas dua jam tambahan waktu proses dan 2,03 jam <i>downtime</i> teridentifikasi	Berlaku pada model, <i>job order</i> , dan konfigurasi <i>feeding</i> yang diteliti

3.6 Implikasi praktis dan batas interpretasi

Secara operasional, perbedaan waktu yang teridentifikasi perlu dipertimbangkan ketika MSOP-8 diproses dengan *Vibratory Tube Feeder*. Komposisi *downtime* menunjukkan dua kebutuhan evaluasi yang berbeda, yaitu kestabilan pengambilan komponen dan frekuensi pengisian tube. Catatan teknis kasus mengusulkan penggunaan AD8220ARMZ-R7 dalam kemasan *tape & reel* [11] atau *re-taping* terhadap persediaan tube. Kedua alternatif masih memerlukan uji perbandingan pada *job order* dan kondisi pencatatan yang setara sebelum diterapkan pada proses produksi.

Evaluasi berikutnya perlu mencatat waktu setiap kejadian, jumlah panel, operator, dan kondisi mesin. Data tersebut memungkinkan analisis variasi proses serta perbandingan *downtime* antarjenis kemasan. Hasil penelitian saat ini terbatas pada model AHD0081-2-15150, JO-26-00580, komponen AD8220ARMZ, dan konfigurasi *feeding* yang digunakan.

4 Kesimpulan

Penggunaan *tube packaging* pada komponen AD8220ARMZ berkemasan MSOP-8 pada model AHD0081-2-15150 dan *Job Order* JO-26-00580 menghasilkan *cycle time* sebesar 93,51 detik/panel, atau lebih panjang 17,63 detik/panel (23,2%) dibandingkan kondisi acuan *tape & reel* sebesar 75,88 detik/panel. *Downtime* yang teridentifikasi selama penggunaan tube mencapai 122 menit atau 2,03 jam, yang terdiri atas 71 menit akibat penanganan 71 *pick-up error* dan 51 menit akibat 34 aktivitas pengisian tube. Perubahan *cycle time* dan timbulnya *downtime* berkaitan dengan kestabilan posisi komponen selama *vibratory feeding*, kebutuhan perlambatan gerak *pick-up*, serta kapasitas tube yang terbatas. Dengan demikian, kestabilan pengambilan komponen

dan frekuensi pengisian tube menjadi dua aspek yang perlu dievaluasi pada proses tersebut. Penggunaan *tape & reel* atau *re-taping* dapat dipertimbangkan sebagai alternatif proses, tetapi penerapannya tetap memerlukan uji pembandingan dengan kondisi pencatatan yang setara. Temuan ini dibatasi pada kasus yang diteliti dan tidak digunakan untuk menyimpulkan produktivitas total, kualitas hasil perakitan, maupun kondisi seluruh lini SMT.

5 Daftar Pustaka

- [1] H.-K. Wang, T.-Y. Yang, Y.-H. Wang, and C.-L. Wu, "Hybrid dispatching and genetic algorithm for the surface mount technology scheduling problem in semiconductor factories," *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 280, p. 109500, Feb. 2025, doi: 10.1016/j.ijpe.2024.109500.
- [2] M. Ayob and G. Kendall, "A survey of surface mount device placement machine optimisation: Machine classification," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 186, no. 3, pp. 893–914, May 2008, doi: 10.1016/j.ejor.2007.03.042.
- [3] H. Gao, Z. Li, X. Yu, and J. Qiu, "Hierarchical Multiobjective Heuristic for PCB Assembly Optimization in a Beam-Head Surface Mounter," *IEEE Trans. Cybern.*, vol. 52, no. 7, pp. 6911–6924, Jul. 2022, doi: 10.1109/TCYB.2020.3040788.
- [4] ISO 22400-2, "Automation systems and integration — Key performance indicators (KPIs) for manufacturing operations management ," 2014. Accessed: Jul. 14, 2026. [Online]. Available: <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/54497/10e33d2a34c144558b5e3024ee5e1cb0/ISO-22400-2-2014.pdf>
- [5] M. P. Cooper, C. A. Griffiths, K. T. Andrzejewski, and C. Giannetti, "Motion optimisation for improved cycle time and reduced vibration in robotic assembly of electronic components," *AIMS Electronics and Electrical Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 274–289, 2019, doi: 10.3934/ElectrEng.2019.3.274.
- [6] J. Yi, J. Gao, L. Zhang, and J. Mo, "Vibratory Feeding Performance Improvement Through Discrete Element Analysis for High-Speed Optical Detection of LED Chips," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 107171–107183, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3100338. 3vol. 38, pp. 217–224, 2019, doi: 10.1016/j.promfg.2020.01.029.
- [8] J. He, Y. Cen, Y. Li, S. M. Alelaumi, and D. Won, "A novel placement method for mini-scale passive components in surface mount technology," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 115, no. 5–6, pp. 1475–1485, Jul. 2021, doi: 10.1007/s00170-021-07147-7.
- [9] J. He, Y. Cen, S. Alelaumi, and D. Won, "An Artificial Intelligence-Based Pick-and-Place Process Control for Quality Enhancement in Surface Mount Technology," *IEEE Trans. Compon. Packaging Manuf. Technol.*, vol. 12, no. 10, pp. 1702–1711, Oct. 2022, doi: 10.1109/TCPMT.2022.3215109.
- [10] L. Liu, C. Zhang, and Z. Chen, "Effects-of pickup variations on chip placement in SMT by finite element modeling," in *2022 IEEE 24th Electronics Packaging Technology Conference (EPTC)*, IEEE, Dec. 2022, pp. 684–688. doi: 10.1109/EPTC56328.2022.10013286.
- [11] J. Quijano, N. Torres Cruz, L. Quijano-Quian, E. R. Poblano-Ojinaga, and S. A. Noriega Morales, "Data-Driven Scheduling Optimization for SMT Lines Using SMD Reel Commonality," *Data (Basel)*, vol. 10, no. 2, p. 16, Jan. 2025, doi: 10.3390/data10020016.