

Artikel Penelitian

## Implementasi Sistem *Single Minutes Exchange of Dies* untuk Perbaikan *Setup Time* pada Perusahaan Otomotif

Yulinda Uswatun Kasanah<sup>1\*</sup>, Praty Poeri Suryadhini<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Logistik, Direktorat Kampus Purwokerto, Universitas Telkom, Purwokerto, Indonesia

<sup>2</sup> Program Studi Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom, Purwokerto, Indonesia

### INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 02 Desember 2025

Revisi Akhir: 21 Januari 2026

Diterbitkan Online: 28 Februari 2026

### KATA KUNCI

Eksternal Setup  
Internal Setup  
Manufacturing Excellence  
Parallel Setup  
Setup Time Mesin  
SMED

### KORESPONDENSI (\*)

Phone: +6285293725726

E-mail: [yulindakasanah@telkomuniversity.ac.id](mailto:yulindakasanah@telkomuniversity.ac.id)

### A B S T R A K

Efisiensi proses *setup* merupakan faktor krusial dalam meningkatkan produktivitas dan fleksibilitas sistem produksi, terutama pada industri otomotif yang memiliki kebutuhan responsivitas tinggi terhadap variasi permintaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengurangi *setup time* pada workstation curing melalui penerapan metode Single Minute Exchange of Die (SMED). Metode penelitian meliputi pengamatan langsung, *time study*, analisis aktivitas internal dan eksternal, serta identifikasi pemborosan menggunakan prinsip *lean manufacturing*. Setelah kondisi eksisting dipetakan, langkah-langkah SMED diterapkan, termasuk pemisahan aktivitas internal-eksternal, konversi aktivitas internal menjadi eksternal, serta penyederhanaan dan standardisasi proses *setup*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi SMED mampu mereduksi *internal setup time* sebesar 128,48 menit dan *external setup time* sebesar 3,08 menit. Reduksi signifikan diperoleh melalui konversi aktivitas seperti *green tire setup* dan melakukan proses pemanasan *mold* awal, serta persiapan peralatan yang berkontribusi terhadap penghematan waktu sebesar 63,8 menit. Selain itu, optimalisasi proses dilakukan melalui minimisasi perpindahan operator, eliminasi *adjustment* yang tidak diperlukan, serta penerapan *parallel setup* dengan menambah asisten operator, masing-masing memberikan pengurangan waktu 3,08 menit, 4,32 menit, dan 66,64 menit. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa integrasi SMED pada proses curing tidak hanya menurunkan waktu *non-productive* secara substansial mencapai 33,77%, tetapi juga meningkatkan kelancaran aliran produksi dan mendukung pencapaian *manufacturing excellence*.

### PENDAHULUAN

Upaya mencapai *manufacturing excellence* kini menjadi kebutuhan utama bagi setiap negara yang ingin bertahan dan tumbuh di tengah arus globalisasi. Dunia manufaktur telah bergerak jauh dari era industri dan memasuki era informasi, di mana kemampuan teknologi bukan hanya meningkatkan kapabilitas produksi, tetapi juga mempercepat waktu siklus sebuah produk dari awal hingga siap dipasarkan [1]. Kemajuan teknologi, sistem produksi berkapasitas tinggi, dan penggunaan lini perakitan modern telah membuka babak baru dalam proses produksi. Evaluasi lini produksi ini juga berpengaruh pada industri otomotif.

Industri otomotif merupakan sektor manufaktur yang menuntut efisiensi tinggi untuk menjaga stabilitas produksi dan memenuhi permintaan pasar yang semakin kompetitif. Salah satu hal yang mendukung performansi produksi perusahaan otomatis adalah *setup time* mesin pada lini produksi perusahaan tersebut. Waktu *setup* mesin merupakan salah satu elemen kritis dalam sistem produksi karena menentukan seberapa cepat sebuah lini dapat berpindah dari satu jenis produk ke produk lainnya [2]. Lamanya waktu *setup* memiliki hubungan langsung dan signifikan terhadap performansi produksi, baik dalam aspek output, efisiensi waktu, utilisasi mesin, maupun stabilitas alur kerja. Secara umum, semakin lama waktu *setup*, semakin rendah performansi produksi yang dapat dicapai [3].

Proses setup yang memakan waktu lama memperpanjang *downtime* mesin. *Downtime* ini dapat bersifat terjadwal (*planned downtime*) maupun tidak terjadwal akibat hambatan di area lain. *Downtime* yang besar akan mengganggu ritme produksi, menyebabkan keterlambatan dalam memenuhi jadwal, serta memicu penumpukan *work-in-process* (WIP) [4]. Pada industri otomotif, ritme produksi yang tidak stabil akan memengaruhi proses hilir seperti *injection*, vulkanisasi, *curing*, maupun *assembling* [5]. Berikut merupakan waktu setup mesin *curing* di perusahaan otomotif pembuatan ban mobil sedan:

Tabel 1. *Setup time* mesin *curing*

Produk	Setup Time (min)	process time (min)	Waktu Total	% Setup Time
EX MPV-1	130,0	13,2	143,2	91%
PX RE001	121,1	15,0	136,1	89%
TX 10	119,5	10,5	130,0	92%
<b>Jumlah Total</b>	<b>370,6</b>	<b>38,7</b>	<b>409,3</b>	<b>91%</b>

Tabel 1. memperlihatkan waktu *setup* pada mesin *curing* yang dilewati oleh beberapa *size* produk seperti EX MPV-1, PX RE001, dan TX 10. Setiap *size* produk memiliki *setup time* yang berbeda-beda. Sebanyak 91% dari waktu total pembuatan 1 produk PSR digunakan untuk melakukan *setup* mesin. Waktu *setup* yang lama menyebabkan penurunan kapasitas mesin sehingga *order* pada *shift* yang telah ditentukan tidak tercapai. Sehingga penurunan waktu setup menjadi poin yang krusial karena dapat menurunkan kapasitas produksi secara simultan. Han et al [6] menggunakan deterministik job scheduling untuk mengurangi waktu setup time dan downtime dengan melakukan penyeimbangan waktu siklus. Sedangkan Chetty [7] menggunakan *delay time analysis* untuk mereduksi waktu downtime mesin. Mayoritas penelitian pada bidang reduksi downtime mesin dan setup mesin menggunakan SMED seperti pada penelitian [8], [9], [10]. Metode SMED dianggap sebagai metode yang paling sesuai dengan masalah optimasi setup time karena memberikan dampak paling signifikan dalam menurunkan waktu setup mesin [11], [12], [13].

Single Minute Exchange of Die (SMED) merupakan salah satu pendekatan penting dalam *lean manufacturing* yang berperan mengurangi berbagai bentuk *waste* sekaligus meningkatkan fleksibilitas proses produksi [14]. Melalui metode ini, perusahaan dapat menurunkan *lot size* serta memperbaiki *manufacturing flow*, sehingga proses produksi menjadi lebih responsif terhadap kebutuhan pasar. SMED bekerja dengan meminimalkan *non-productive time* melalui penyederhanaan dan standarisasi langkah-langkah *exchange tools* menggunakan teknik-teknik yang relatif sederhana dan mudah diimplementasikan [15]. Meskipun demikian, pendekatan ini tidak selalu menyediakan instruksi yang benar-benar spesifik, yang dalam praktiknya dapat menyebabkan sejumlah peluang perbaikan terlewatkan. Dengan demikian, tujuan penelitian ini adalah mengurangi *set-up time* pada proses pergantian *die* serta meningkatkan *production rates* secara keseluruhan. Upaya pengurangan waktu setup melalui metode seperti SMED merupakan strategi penting untuk meningkatkan efisiensi produksi dan daya saing perusahaan, terutama pada industri otomotif yang berorientasi pada ketepatan waktu dan fleksibilitas produksi [14].

## TINJAUAN PUSTAKA

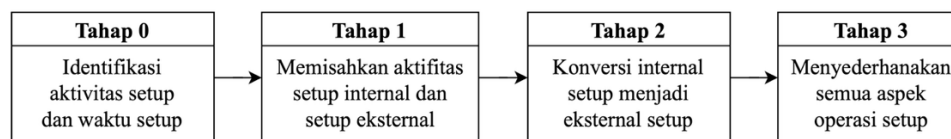
### *Permasalahan Setup Time dalam Manufaktur*

Waktu *setup* (*changeover*) sering menjadi kendala utama dalam fleksibilitas produksi karena menambah *non-productive time*, memperbesar batch size, dan menurunkan *throughput* serta *OEE* [16]. Banyak studi melaporkan bahwa perusahaan sering menghabiskan proporsi signifikan waktu produksi untuk kegiatan pergantian peralatan, sehingga upaya pengurangan *setup time* menjadi prioritas untuk meningkatkan reaktivitas produksi terhadap permintaan pasar.

### *Prinsip Dasar SMED*

Single Minute Exchange of Die (SMED) dikembangkan oleh Shigeo Shingo sebagai bagian dari Toyota Production System dan bertujuan menurunkan waktu *changeover* mendekati satu digit menit dengan strategi utama [17]: (1) memisahkan aktivitas internal dan eksternal, (2) mengonversi sebanyak mungkin aktivitas internal menjadi eksternal, dan (3) menyederhanakan serta menstandarkan sisa aktivitas internal. Prinsip ini menekankan dokumentasi kerja, penggunaan alat bantu cepat, serta keterlibatan operator dalam mendesain ulang proses setup. Banyak studi kasus lintas sektor—termasuk otomotif, plastik, dan permesinan—menunjukkan pengurangan signifikan waktu setup setelah penerapan SMED, dengan angka pengurangan berubah-ubah (sering berada pada kisaran puluhan hingga >60%

tergantung konteks dan kedalaman implementasi) [18]. Contoh studi pada proses molding dan stamping di industri otomotif menunjukkan penurunan waktu changeover yang substansial dan peningkatan kapasitas produksi setelah intervensi SMED. Hal ini menegaskan relevansi SMED untuk proses yang memiliki frekuensi pergantian mold tinggi seperti workstation *curing*. Secara umum proses implementasi SMED dibagi menjadi empat tahapan utama sebagai berikut [19], [20]:



Gambar 1. Empat Tahapan Utama SMED

### Integrasi SMED dengan Alat Statistik dan Industrial Engineering

Walaupun SMED efektif, literatur menyoroti bahwa penerapan SMED saja kadang tidak cukup karena tidak selalu memberikan prosedur implementasi yang sangat terukur. Oleh karena itu sejumlah studi mengusulkan integrasi SMED dengan metode statistik (mis. Taguchi, DOE, ANOVA) dan teknik rekayasa industri untuk mengoptimalkan parameter, memvalidasi dampak perubahan, serta memecahkan masalah variasi proses [21]. Contohnya, pendekatan Taguchi telah dipakai untuk menghaluskan hasil setelah SMED sehingga tercapai pengurangan waktu changeover yang lebih baik dan hasil yang lebih stabil [15]. Penelitian juga menekankan bahwa SMED paling efektif bila dikombinasikan dengan praktik Lean lainnya—seperti *Value Stream Mapping* (VSM) untuk identifikasi waste, 5S untuk penataan area kerja, *Total Productive Maintenance* (TPM) untuk kesiapan mesin, serta *Poka-Yoke* untuk mengurangi rework terkait mis-setup [17]. Selain itu, adopsi teknologi digital (mis. digital work instructions, augmented reality) dapat mempercepat learning curve operator dan menurunkan variasi setup. Kombinasi ini membantu tidak hanya mengurangi waktu tetapi juga meningkatkan konsistensi dan kualitas hasil setelah changeover.

### Gap Penelitian dan Kesesuaian dengan Kasus Curing

Meski literatur luas tentang SMED pada stamping, injection molding, dan turning line, studi yang fokus pada proses *curing*, khususnya pada komponen karet/ rubber di industri otomotif lebih sedikit tetapi menunjukkan hasil yang menjanjikan [22]. Proses *curing* memiliki karakteristik unik (mis. kebutuhan preheat, alignment mold yang sensitif, dan prosedur safety), sehingga adaptasi SMED perlu mempertimbangkan aspek-aspek tersebut serta validasi melalui data waktu yang detil [23]. Selain itu, integrasi dengan analisis waste (mis. waiting, transportation) dan pengukuran OEE akan memberikan bukti dampak yang lebih kuat bagi manajemen. Kesenjangan ini menjadi justifikasi penelitian Anda untuk mengaplikasikan SMED yang diperkaya alat statistik/IE pada workstation *curing*.

## METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif–kuantitatif untuk menganalisis dan mengurangi waktu setup pada proses curing dengan menerapkan metode *Single Minute Exchange of Dies* (SMED). Metodologi mencakup pengumpulan data aktual, identifikasi aktivitas setup, serta perancangan perbaikan yang dapat menurunkan waktu non-value added. Tahapan utama penelitian dijelaskan sebagai berikut [20].

### 1. Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data bertujuan memperoleh informasi aktual mengenai kondisi setup mesin curing. Observasi langsung dilakukan untuk melihat alur kerja operator, pola perpindahan alat, dan interaksi antarproses. Time study digunakan untuk mencatat durasi setiap aktivitas setup secara objektif sehingga dapat dihitung total waktu setup dan komposisi aktivitas yang mendominasi. Jumlah repetisi pengukuran waktu setup dilakukan sebanyak tiga kali dengan pembatasan pengukuran pada 5 mesin setup. Alat bantu yang digunakan dalam pengukuran waktu setup adalah stopwatch (stopwatch time study). Wawancara dilakukan untuk menggali kendala yang dihadapi operator, misalnya ketidaksiapan peralatan, jarak tempuh yang jauh, atau aktivitas yang tidak terstandarisasi. Data sekunder seperti SOP, layout area kerja, serta data downtime memberikan konteks tambahan untuk memahami prosedur formal dan deviasi yang terjadi di lapangan.

### 2. Analisis Kondisi Eksisting

Analisis kondisi eksisting dilakukan untuk menggambarkan proses setup yang berjalan saat ini. Pada tahap ini, seluruh langkah yang dilakukan operator dipetakan secara kronologis, mulai dari penghentian mesin hingga mesin kembali beroperasi menghasilkan output. Pengukuran waktu setup dilakukan dengan mengelompokkan

waktu setiap aktivitas untuk mengetahui aktivitas mana yang paling menyita waktu. Selain itu, analisis waste berdasarkan prinsip Lean Manufacturing digunakan untuk mengidentifikasi pemborosan seperti menunggu, perpindahan tidak perlu, gerakan berulang, atau persiapan yang tidak terencana. Hasil analisis kondisi eksisting menjadi dasar pembentukan prioritas perbaikan.

### 3. Tahap SMED

#### a. Pemisahan Aktivitas Internal dan Eksternal

Tahap ini bertujuan mengklarifikasi aktivitas mana yang harus dilakukan saat mesin berhenti (internal) dan mana yang dapat dilakukan ketika mesin masih berjalan (eksternal). Aktivitas internal mencakup tugas seperti pelepasan mold, pemasangan mold baru, dan pengaturan ulang parameter mesin. Aktivitas eksternal meliputi persiapan alat, pengecekan mold, atau penataan material. Pemisahan ini penting karena aktivitas internal langsung menambah downtime mesin, sementara aktivitas eksternal dapat dilakukan tanpa menghentikan proses produksi. Identifikasi yang tepat memungkinkan peluang untuk mengurangi waktu setup secara signifikan.

#### b. Konversi Aktivitas Internal menjadi Eksternal

Tahap kedua SMED berfokus pada pemindahan sebanyak mungkin aktivitas internal ke eksternal. Aktivitas yang semula dilakukan saat mesin berhenti dievaluasi kembali untuk melihat apakah aktivitas tersebut dapat dilakukan sebelum atau sesudah mesin dioperasikan. Misalnya, persiapan mold bisa dilakukan sebelum mesin curing dimatikan, atau pembersihan area kerja dapat dilakukan saat proses curing sebelumnya masih berlangsung. Konversi ini dilakukan melalui reorganisasi prosedur kerja, ketersediaan alat pendukung, dan penetapan standar persiapan. Dampaknya adalah berkurangnya waktu downtime karena semakin sedikit aktivitas yang harus dilakukan saat changeover berlangsung.

#### c. Penyederhanaan dan Standardisasi Aktivitas Internal

Setelah aktivitas internal diminimalisir, tahap berikutnya adalah melakukan penyederhanaan dan standardisasi pada aktivitas internal yang tersisa. Penyederhanaan dilakukan dengan cara mengeliminasi gerakan yang tidak perlu, menata ulang posisi alat (implementasi 5S), mengurangi langkah pengencangan, atau menggunakan alat bantu seperti quick fastening untuk mempercepat pemasangan mold. Standardisasi bertujuan memastikan seluruh operator melakukan setup dengan urutan dan teknik yang sama sehingga variasi waktu setup dapat dikurangi. Checklist setup juga dibuat untuk menjaga konsistensi dan mengurangi kesalahan operasional. Tahap ini memastikan bahwa aktivitas internal yang tidak dapat dihilangkan tetap dilakukan dengan waktu sesingkat mungkin.

#### d. Perancangan Usulan Perbaikan

Usulan perbaikan dirancang berdasarkan hasil dari tahap SMED. Perbaikan tersebut meliputi penyusunan SOP setup versi baru, penempatan ulang alat agar sesuai dengan prinsip kedekatan kerja, pembuatan area pre-setup untuk mempersiapkan mold atau material sebelum changeover, dan implementasi 5S untuk mengurangi gerakan tidak perlu. Usulan ini divisualisasikan dalam bentuk future state setup process yang menggambarkan alur proses setup setelah perbaikan diterapkan. Visualisasi ini membantu perusahaan untuk membandingkan proses aktual dengan proses ideal dan memberikan arah implementasi yang lebih jelas.

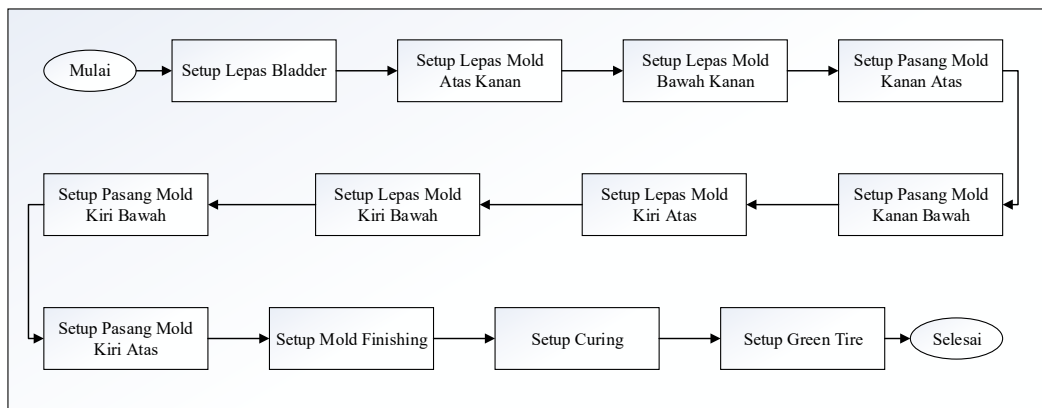
#### e. Evaluasi Perbaikan

Evaluasi dilakukan untuk mengukur efektivitas implementasi SMED. Waktu setup awal dibandingkan dengan waktu setup setelah penerapan perbaikan untuk menghitung besaran reduksi. Selain itu, dilakukan analisis terhadap pengurangan jenis waste dominan, seperti menunggu dan unnecessary motion. Evaluasi juga melihat dampaknya terhadap performansi produksi, khususnya parameter availability dan kecepatan produksi. Perubahan indikator ini menunjukkan sejauh mana perbaikan setup memberikan kontribusi pada peningkatan efisiensi sistem produksi secara keseluruhan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

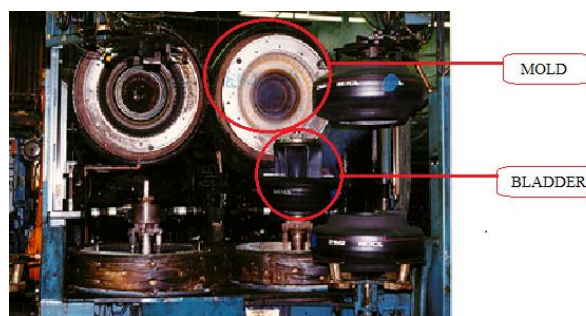
### *Studi Kasus*

Salah satu perusahaan yang mengalami proses setup time lama dalam proses produksinya adalah PT XYZ. PT XYZ merupakan perusahaan yang bergerak dibidang produksi ban, berupa ban luar mobil, ban dalam mobil, dan lidah ban mobil. Perusahaan ini memiliki 15 *workstation* (stasiun kerja) dan dalam penelitian ini *workstation* yang diteliti adalah pada bagian *curing* untuk produk *Radial* khususnya untuk jenis ban yang digunakan pada mobil sedan. Secara umum proses *setup* yang dilakukan dalam pembuatan Ban PSR terbagi menjadi tiga bagian dengan urutan proses *setup* seperti tergambar pada gambar



Gambar 2. Urutan Proses Setup

Gambar 2 menunjukkan urutan proses *setup* mesin *curing* mulai dari *setup mold*, *setup curing*, hingga *setup green tire*. *Setup Mold* merupakan peralatan produksi yang berfungsi sebagai alat pencetak atau pembentuk ban yang terdiri dari dua bagian yaitu bagian bawah dan bagian atas. Plat mesin bagian atas (plat stationer) berfungsi sebagai penahan atau tumpuan plat piston (plat bergerak). Di bagian dalam plat diam (plat bawah) dan plat bergerak terdapat rongga sebagai ruang pemanas. Kedua plat mesin memanas komponen *Green tire* (GT) dengan cara mengalirkan panas konduksi melalui dinding *molding*. Di dalam rongga juga terdapat lubang yang di tengah-tengahnya terdapat *bladder* yang berfungsi untuk membentuk *green tire* ketika *green tire* di masak. Gambar 3 memperlihatkan bagian *bladder* dan *curing*.



Gambar 3. Mold dan bladder pada curing

Tabel 2 Menunjukkan urutan proses *setup mold* pada ban pembuatan ban PSR. Dalam setiap pergantian *size* (changeover) ban PSR maka *mold* akan diganti atau *disetting* ulang. Dalam satu set mesin *curing* terdapat dua pasang *molding* yang digunakan untuk memasak *tire* yaitu *molding* kanan dan *molding* kiri. Setiap satu pasang *mold* yaitu *mold* atas dan *mold* bawah memiliki satu buah *bladder* yang dapat mengembang mengikuti bentuk *mold* dan *green tire*. Terdapat 6 jenis *setup* dalam *setup mold*, yaitu:

Tabel 2. Contoh Urutan Aktifitas Setup Mesin Produk PSR

Jenis Setup	Aktivitas	Waktu (min)
Setup Lepas Blader	Shut down mesin cetak curing	0,56
	Pasang tag SNE Code	0,55
	Persiapkan kotak stationary	0,71
	...	...
	Melonggarkan baut blader sisi kanan	1,73
	Melepas blader sisi kanan	1,25
	Melepas baut sisi blader sebelah kiri	1,28
Setup Lepas Mold Atas Kanan	Memilih <i>spanner</i> pembuka baut mold atas	0,26
	Meletakkan baut dan ikatan ke dalam <i>toolbox</i>	0,39
	...	...
	Kembali ke mesin membawa forclift	1,66
Setup Lepas Mold bawah kanan	Meletakkan mold atas kanan lama pada tempat penyimpanan	1,83
	Kembali ke mesin membawa forclift	1,03
	Meletakkan baut ke dalam <i>toolbox</i>	0,26
...	...	...

Jenis Setup	Aktivitas	Waktu (min)
Setup Pasang Mold Kanan atas	Meletakkan mold bawah lama pada tempat penyimpanan	2,00
	Menuju tempat penyimpanan mold	2,04
	Memilih mold kanan atas baru	0,66
	Meletakkan mold kanan atas baru pada mesin	0,48
	...	...
Setup Lepas Mold Atas Kiri	Mencari baut dan <i>spanner</i> untuk mold	0,24
	Memasang baut mold atas kanan baru	1,96
	Memilih <i>spanner</i> pembuka baut mold Kiri atas	0,24
	Membuka ikatan mold atas kiri	2,05
	...	...
Setup Lepas Mold Bawah Kiri	Menuju Forclift pengangkut mold	1,84
	Meletakkan mold atas kiri lama pada tempat penyimpanan	1,94
	Kembali ke mesin membawa forclift	0,69
	Mengambil <i>spanner</i> pembuka baut	0,11
	...	...
Setup Pasang Mold Bawah Kiri	Meletakkan baut mold bawah kiri pada <i>toolbox</i>	0,73
	Meletakkan mold bawah kiri pada penyimpanan	2,00
	Memilih mold kiri bawah baru	0,75
	Mengangkut mold kiri bawah baru	1,68
	...	...
Setup Pasang Mold Kiri Atas	Melakukan penyetelan centering mold	2,11
	Memasang baut mold kiri bawah baru	1,59
	Menuju tempat penyimpanan mold	1,25
	Meletakkan mold kiri atas baru pada mesin	2,03
	...	...
Setup Mold Finishing	Mencari baut dan <i>spanner</i> untuk mold	0,25
	Memasang baut mold atas kiri baru	1,40
	Setting tonase	1,52
	Mengikat mold bawah kiri	1,24
	...	...
Setup Curing	Mengambil seryal (identitas mingguan)	0,39
	Memasang seryal pada mold bawah kanan (identitas mingguan)	1,18
	Mengatur timer curing	0,94
	Meletakkan Green Tire pada mold kiri	0,45
	...	...
Setup Green Tire	Mengecek ulang posisi Green tire kanan dan kiri	0,49
	Mengatur PCA (Pendingin Mold)	0,90
	Mengatur tekanan PCA	0,79
	Mengambil Green Tire yang berada pada rak penyimpanan	0,33
	Mengambil penyemprot silicon untuk GOP dan GIP	0,54
...	...	
	Melakukan penusukan green tire (Venting)	2,36
	<b>Total</b>	<b>194,05</b>

### Implementasi SMED

Pada tahap ini dilakukan pemetaan untuk menggambarkan kondisi aktual dari aktivitas operasional di lantai produksi. Pemahaman terhadap kondisi tersebut diperoleh melalui analisis proses secara berkelanjutan, baik dengan pengamatan langsung maupun melalui wawancara dengan pihak terkait. Untuk meningkatkan ketepatan observasi lapangan, disusun sebuah *checklist* yang memuat urutan aktivitas *setup*. Berdasarkan hasil pemetaan ini, penelitian kemudian dilanjutkan ke tahap berikutnya, yaitu melakukan pemisahan antara aktivitas *internal setup* dan *external setup*.

#### 1. Langkah Pertama: Mengklasifikasikan *Internal Setup* dan *External Setup*

Pemisahan antara *internal setup* dan *external setup* dilakukan melalui observasi langsung serta wawancara dengan operator. Suatu aktivitas dikategorikan sebagai *internal setup* apabila pengerjaannya mengharuskan mesin dalam keadaan berhenti. Sebaliknya, apabila aktivitas tersebut dapat dilakukan tanpa menghentikan mesin, maka aktivitas tersebut diklasifikasikan sebagai *external setup*. [11].

Tabel 3. Memisahkan Setup Internal dan Setup Eksternal

Jenis Setup	Kegiatan	In	Eks	Waktu (min)	Pelaksana
Setup Curing	Mengatur timer curing	√		0,94	Operator 1
	Mengatur tonase curing	√		1,29	Operator 1
	Membuka Mesin (Mold) kanan	√		0,32	Operator 1
	Mengecek panel didalam mold kanan	√		0,82	Operator 1
	Membuka Mesin (Mold) kiri	√		0,32	Operator 1
	Mengecek panel didalam mold kiri	√		0,82	Operator 1
	Melakukan bladder test kanan	√		1,58	Operator 1
	Melakukan bladder test kiri	√		1,56	Operator 1
	Mengambil alat pembersih mold	√		0,94	Operator 1
	Membersihkan mold kanan	√		1,25	Operator 1
	Membersihkan mold kiri	√		1,27	Operator 1
	Mengambil Green Tire	√		0,90	Operator 1
	Meletakkan Green Tire pada mold kiri	√		0,45	Operator 1
	Meletakkan Green Tire pada mold kanan	√		0,44	Operator 1
	Mengecek ulang posisi Green tire kanan dan kiri	√		0,49	Operator 1
	Menjalankan mesin penutup mold	√		0,59	Operator 1
	Menyalakan mesin curing	√		0,20	Operator 1
	Menunggu Green Tire matang	√		15,80	Operator 1
	Membuka Mesin (Mold)	√		0,32	Operator 1
	Memeriksa Tire terdapat cacat atau tidak	√		1,87	Operator 1
Mengatur PCA (Pendingin Mold)	√		0,90	Operator 1	
Mengatur tekanan PCA	√		0,79	Operator 1	
Setup Green Tire	Mengambil Green Tire yang berada pada rak penyimpanan	√		0,33	Operator 1
	Mengambil penyemprot silicon untuk GOP dan GIP	√		0,54	Operator 1
	Melakukan penyemprotan lapisan luar green tire (Green tire outside painting /GOP)	√		10,96	Operator 1
	Melakukan penyemprotan lapisan dalam green tire (Green Tire Inside Painting/GIP)	√		6,34	Operator 1
	Melakukan penusukan green tire (Venting)	√		2,36	Operator 1
<b>Total</b>		<b>194,05</b>		<b>194,05</b>	

Tabel 3 tersebut menunjukkan bahwa seluruh aktivitas *setup* termasuk dalam kategori *internal setup*, yaitu aktivitas yang hanya dapat dilakukan ketika mesin berada dalam kondisi tidak beroperasi.

## 2. Langkah Kedua: Konversi *Internal Setup* ke dalam *External Setup*

Setelah setiap aktivitas *setup* dipisahkan menjadi aktivitas internal dan eksternal maka langkah selanjutnya adalah mengkonversikan aktivitas *setup* internal menjadi *setup* eksternal. Ada dua hal yang harus dilakukan ketika akan mengkonversi internal *setup* ke eksternal *setup* [20]:

### a. Mempersiapkan kondisi operasional

Beberapa kondisi operasional yang harus dipersiapkan adalah pemanasan mesin dan pemanasan *mold*. Pemanasan mesin pada *setup* mesin *curing* dilakukan setelah semua aktivitas *setup* dilakukan seperti yang ditunjukkan pada tabel 2. Sedangkan untuk pemanasan *mold curing* dilakukan setelah *setup mold* selesai dikerjakan. Pemanasan *mold* dapat dilakukan lebih awal dengan menggunakan *electric heater* sebelum *mold* dipasangkan ke mesin sehingga waktu yang digunakan lebih efisien. Salah satu

contoh *electric heater* untuk *mold* yang dapat digunakan sebagai *preheat mold curing* adalah *electric heater mold* yang diproduksi oleh Guangzhou Mould Electrical Appliance Co., Ltd.



Gambar 1. Electric heater untuk pemanas mold

*Electric heater* ini dapat digunakan untuk *preheat mold* dengan ukuran lebar *mold* 775 mm dengan ukuran rim 14 inch. Penambahan *electric heater* ini dapat diletakkan pada area mesin *curing* nomor 2-5 dan 3-1. Area mesin *curing* 2-5 dan 3-1 merupakan area mesin yang sudah tidak digunakan karena mesin rusak dan tidak terpakai. Dengan menggunakan *electric heater* pada saat eksternal *setup* maka waktu *setup* dapat direduksi sebesar 30 menit.

b. Standardisasi fungsi

Standardisasi fungsi dilakukan ketika mesin atau dies membutuhkan banyak penyetelan sebelum beroperasi [20], seperti *adjustment* mesin dan *mold*. Pada bagian *curing* terdapat 2 jenis penyesuaian, yaitu penyesuaian *mold* dengan tatakan *mold* dan penyesuaian *bladder*. Penyesuaian *mold* dengan tatakan *mold* berupa *centering* lubang *mold* dengan lubang tatakan, karena setiap *size mold* memiliki jenis lubang yang berbeda-beda. Penyesuaian *bladder* yaitu berupa *trial and error* untuk mengetahui apakah *bladder* dapat mengembang sempurna, tidak bocor, dan simetris. Proses ini hanya dapat dilakukan ketika mesin berada dalam kondisi tidak beroperasi. Namun, pada tahap selanjutnya proses tersebut akan disederhanakan. Dengan demikian, beberapa aktivitas yang dapat dialihkan menjadi *external setup* yaitu pemanasan *mold* (*preheat mold*), pengambilan atau penyiapan perkakas, serta penyiapan benda kerja (*green tire*). Aktivitas yang dapat dikonversi menjadi *external setup* disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Ringkasan aktivitas yang dapat dikonversi

Jenis Setup	Aktivitas	Waktu (Min)
Setup Lepas Bladder	Mengambil tag (untuk kode SNE)	1,41
	Mengambil kotak perkakas	0,71
setup mold finishing	Mengambil seryal (identitas mingguan)	0,39
	Memanaskan Mesin kanan dan kiri (Platting)	39,71
Setup Curing	Mengambil Green Tire yang berada pada rak penyimpanan	0,94
setup green tire	Mengambil Green Tire yang berada pada rak penyimpanan	0,33
	Mengambil penyemprot silicon untuk GOP dan GIP	0,54
	Melakukan penyemprotan lapisan luar green tire (Green tire outside painting /GOP)	10,96
	Melakukan penyemprotan lapisan dalam green tire (Green Tire Inside Painting/GIP)	6,34
	Melakukan penusukan green tire (Venting)	2,36
<b>Total</b>		<b>63,70</b>

Hasil konversi internal *setup* ke dalam eksternal *setup* dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. konversi internal setup ke dalam eksternal setup

Jenis Setup	Kegiatan	Inter	Ekstern	Waktu (Menit)
Setup Curing	Mengatur timer curing	√		0,94
	Mengatur tonase curing	√		1,29

Jenis Setup	Kegiatan	Inter	Ekstern	Waktu (Menit)
	Membuka Mesin ( <i>Mold</i> ) kanan	√		0,32
	Mengecek panel didalam <i>mold</i> kanan	√		0,82
	Membuka Mesin ( <i>Mold</i> ) kiri	√		0,32
	Melakukan <i>bladder</i> test kiri	√		1,56
	Mengambil alat pembersih <i>mold</i>		√	0,94
	Membersihkan <i>mold</i> kanan	√		1,25
	Membersihkan <i>mold</i> kiri	√		1,27
	Mengambil Green <i>Tire</i>	√		0,90
	Meletakkan Green <i>Tire</i> pada <i>mold</i> kiri	√		0,45
	Meletakkan Green <i>Tire</i> pada <i>mold</i> kanan	√		0,44
	Mengecek ulang posisi Green <i>tire</i> kanan dan kiri	√		0,49
	Menjalankan mesin penutup <i>mold</i>	√		0,59
	Menyalakan mesin <i>curing</i>	√		0,20
	Menunggu Green <i>Tire</i> matang	√		15,80
	Membuka Mesin ( <i>Mold</i> )	√		0,32
	Memeriksa <i>Tire</i> terdapat cacat atau tidak	√		1,87
	Mengatur PCA (Pendingin <i>Mold</i> )	√		0,90
	Mengatur tekanan PCA	√		0,79
<b>Setup Green Tire</b>	Mengambil Green <i>Tire</i> yang berada pada rak penyimpanan		√	0,33
	Mengambil penyemprot silicon untuk GOP dan GIP		√	0,54
	Melakukan penyemprotan lapisan luar green <i>tire</i> (Green <i>tire</i> outside painting /GOP)		√	10,96
	Melakukan penyemprotan lapisan dalam green <i>tire</i> (Green <i>Tire</i> Inside Painting/GIP)		√	6,34
	Melakukan penusukan green <i>tire</i> (Venting)		√	2,36
	<b>Total</b>	<b>131,05</b>	<b>63,80</b>	<b>194,05</b>

Tabel 5 menunjukkan bahwa konversi *internal setup* menjadi *external setup* mampu menurunkan durasi *setup* secara signifikan. Total waktu *setup* yang berhasil direduksi mencapai 63,8 menit. hal ini sejalan dengan penelitian [24]. Perhitungan reduksi waktu *setup* dapat dilakukan dengan cara mengurangi waktu *setup* keadaan awal dikurangi waktu *setup* keadaan akhir. Sehingga waktu *setup* yang masih terjadi pada proses pembuatan ban PSR adalah sebesar 130,35 menit. Waktu *setup* tersebut akan disederhanakan lagi dalam tahap berikutnya, yaitu streamlining terhadap aktivitas *setup*.

3. Langkah Tiga: *Streamlining* Pada Aktivitas Setup Curing
  - a. Reduksi Waktu Pegerakan Operator

Pergerakan atau perpindahan operator untuk mencari dan mengambil komponen maupun material termasuk salah satu bentuk pemborosan. [25]. Penyederhanaan yang dilakukan adalah eliminasi pada bagian *tool* storage, yang diganti dengan posisi perkakas berada di dekat mesin. Waktu *setup* yang tereduksi adalah waktu *setup* eksternal, karena perpindahan operator dalam mengambil perkakas maupun alat pembersih *mold* pada umumnya di konversi ke dalam *setup* eksternal. Aktivitas-aktivitas yang dapat dieliminasi dari penyederhanaan ini dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Ringkasan aktivitas tereduksi penyederhanaan 1

Jenis Setup	Aktivitas	Waktu (Menit)
Setup lepas bladder	Mengambil tag (untuk kode SNE)	1,41
	Mengambil kotak perkakas	0,71
setup mold finishing	Mengambil alat pembersih mold	0,94
	<b>Total</b>	<b>3,08</b>

Tabel 6 menggambarkan bahwa beberapa aktivitas setup berhasil dipangkas setelah tool storage dipindahkan lebih dekat ke mesin. Dengan penyesuaian ini, operator tidak lagi perlu berpindah tempat untuk mengambil kotak perkakas, tag kode SNE, maupun alat pembersih mold. Pengurangan waktu pada setup eksternal mencapai 3,08 menit, sehingga total waktu setup eksternal berkurang menjadi 61,06 menit.

b. Eliminasi dan Reduksi Aktivitas Adjustment Mesin Oleh Operator

Salah satu komponen waktu setup yang paling signifikan adalah durasi yang diperlukan untuk melakukan penyetelan dan penyesuaian parameter pada mesin curing. Sejumlah aktivitas dalam proses ini berpotensi untuk distandarkan, yaitu sebagai berikut:

1) Eliminasi dan Reduksi Aktivitas *Adjustment* Pemasangan Cetakan (*Mold*)

Penyesuaian (*adjustment*) pada pemasangan *bottom mold* dilakukan untuk memastikan keselarasan antara *bottom mold* dan dudukan mesin curing. Setelah *mold* dipindahkan menggunakan *forklift* dan ditempatkan pada posisi mesin, operator perlu melakukan proses *centering* serta menyalurkan lubang baut pada *mold* dengan lubang baut pada dudukan mesin. Setiap *bottom mold* memiliki enam baut pengunci. Untuk menghilangkan proses penyesuaian berbasis *trial and error*, diperlukan penandaan (*sign*) khusus yang dapat membantu operator dalam melakukan *centering* secara cepat dan akurat. Ringkasan aktivitas *adjustment* yang dapat dieliminasi ditunjukkan pada tabel 7.

Tabel 7. Ringkasan aktivitas *adjustment*

Jenis Setup	Aktivitas	Waktu (Menit)
Setup pasang mold kanan bawah	Melakukan penyetelan centering mold kanan	2,21
Setup pasang mold kiri bawah	Melakukan penyetelan centering mold kiri	2,11
<b>Total</b>		<b>4,32</b>

Hasil dari penyederhanaan tahap kedua menunjukkan adanya pengurangan waktu setup sebesar 4,32 menit setelah diakumulasikan dengan proses sebelumnya. Dengan demikian, waktu setup internal berkurang menjadi 126,79 menit, sejalan dengan temuan penelitian sebelumnya. [26]. Operasi paralel dilakukan dengan melibatkan lebih dari satu operator dalam proses setup mesin [20]. Pembagian kerja dapat dilakukan dengan dua pendekatan. Pertama, tugas dibagi menjadi dua bagian: operator 1 menangani setup mold dan setup curing (dengan perpindahan terbatas antara mold kanan dan kiri), sedangkan operator 2 bertindak sebagai asisten yang mengerjakan aktivitas perpindahan/transportasi, pengambilan, penyimpanan, serta pembersihan peralatan seperti mold dan bladder, termasuk melakukan setup benda kerja. Pendekatan ini terutama bertujuan untuk mengurangi waktu setup internal, dan implementasinya ditunjukkan pada Tabel 8. Kedua, pembagian tugas dilakukan dengan menugaskan operator 1 untuk setup mold kanan sekaligus mengoperasikan mesin, sementara operator 2 bertanggung jawab terhadap setup mold kiri dan setup benda kerja.

Tabel 8. Penyederhanaan 3 (operasi paralel a)

Jenis Setup	Deskripsi	Waktu (min)	Pelaksana		Waktu (min)	Deskripsi	Jenis Setup
<b>S. Bladder</b>	Mematikan mesin <i>curing</i> (mesin stop)	0,56	Op 1	Op 2	0,55	Memasang tag kode SNE	<b>S. Bladder</b>
	Mencari obeng pembuka baut <i>bladder</i>	0,23	Op 1	Op 2	2,68	Meletakkan <i>blader</i> pada setiap sisi ke <i>storage room</i>	
	Mengambil obeng pembuka baut <i>bladder</i>	0,23	Op 1	Op 2	1,90	Menuju <i>Forclift</i> pengangkut <i>mold</i>	<b>S. Mold Atas Kanan Lama</b>
	Melepas baut <i>bladder</i> kanan	1,72	Op 1	Op 2	1,66	Kembali ke mesin membawa <i>forclift</i>	
	Membongkar <i>bladder</i> kanan	1,24	Op 1	Op 2	0,57	Mengangkat <i>mold</i> atas kanan	
...	...	...	...	...	...	...	
<b>S. Mold Atas</b>	Melepas baut <i>bladder</i> kiri	1,28	Op 1	Op 2	1,83	Meletakkan <i>mold</i> atas kanan lama pada tempat penyimpanan	<b>S. Mold Bawah</b>
	Membongkar <i>bladder</i> kiri	1,35	Op 1	Op 2	1,03	Kembali ke mesin membawa <i>forclift</i>	
	Memilih <i>spanner</i> pembuka baut <i>mold</i> atas	0,26	Op 1	Op 2	0,92	Mengangkat <i>mold</i> bawah kanan dengan <i>forclift</i>	

<b>Kanan Lama</b>	Membongkar baut <i>mold</i> atas kanan	2,05	Op 1	Op 2	2,00	Meletakkan <i>mold</i> bawah lama pada tempat penyimpanan	<b>Kanan Lama</b>
	Mengembalikan pembuka baut	0,22	Op 1	Op 2	0,75	Memilih <i>mold</i> kanan bawah baru	
	Membuka ikatan <i>mold</i> atas kanan	1,12	Op 1	Op 2	1,66	Mengangkat <i>mold</i> kanan bawah baru	<b>S. Mold Kanan Bawah Baru</b>
	Meletakkan baut dan ikatan ke dalam <i>toolbox</i>	0,39	Op 1	Op 2	1,90	Meletakkan <i>mold</i> kanan bawah baru pada mesin	
<b>Total</b>	<b>69,79</b>			<b>74,45</b>	<b>Total</b>		

### Analisis Usulan Perbaikan

Usulan perbaikan pertama yang dilakukan adalah dengan cara mengkonversi internal *setup* menjadi eksternal *setup*. Kegiatan *setup* yang dilakukan secara internal membuat waktu *setup* semakin lama karena *setup* internal dilakukan hanya ketika mesin dalam keadaan mati. Dengan pemisahan internal *setup* dan eksternal *setup* maka kegiatan *setup* dapat dilakukan pada saat mesin berjalan, sehingga dapat menghemat waktu *setup*. Konversi *setup* internal ke dalam *setup* eksternal dapat dilakukan pada aktivitas-aktivitas perpindahan, pengambilan komponen, pemanasan *mold* lebih awal, pembersihan *mold*, dan *setup* benda kerja (penyemprotan silikon pada sisi luar dan dalam *green tire*). Pemanasan *mold* dapat dilakukan dengan menggunakan alat bantu berupa electric heater yang terpisah. Sehingga waktu 30 menit untuk pemanasan *mold* dapat diminimasi. Pembersihan *mold* dapat dilakukan setelah *mold* dipanaskan. *Setup* benda kerja dapat dilakukan ketika operator menganggur yaitu ketika operator menunggu *curing* masak. Kelebihan dari usulan perbaikan ini adalah waktu *setup* dapat diminimasi dan *nonvalue added* yang dilakukan oleh operator (seperti menunggu dan perpindahan) dapat diminimasi. Kekurangan dari usulan ini yaitu operator dituntut untuk tetap konsisten dengan perubahan aktivitas yang telah diusulkan dan operator juga harus mempersiapkan peralatan lebih awal. Selain itu, pemanasan *mold* dengan menggunakan electric heater membutuhkan biaya pembelian dan perawatan tersendiri.

Usulan kedua yaitu dengan melakukan penyederhanaan aktivitas *setup* pada aktivitas *setup* internal maupun *setup* eksternal. Salah satu penyederhanaan aktivitas *setup* eksternal yaitu penyederhanaan untuk mengurangi aktivitas perpindahan operator. Salah satu aktivitas yang dapat dieliminasi adalah aktivitas mengambil kotak perkakas. Kotak perkakas tidak harus diletakkan pada *tool storage* tapi dapat diletakkan di samping mesin *curing*, sehingga operator tidak perlu berjalan mengambil kotak perkakas. Penyederhanaan aktivitas *setup* untuk *setup* internal yaitu pergantian peralatan secara cepat dengan cara meminimasi adjustment pada saat pemasangan *mold* yaitu berupa penyesuaian *centering mold*. Penyesuaian *centering mold* dapat diminimasi dengan cara memberikan tanda (*sign*) pada *mold* dan tatakan dengan garis warna yang sama. Kelebihan pada penerapan penyederhanaan aktivitas *setup* ini yaitu beberapa aktivitas *nonvalue added* dapat diminimasi dan pergantian peralatan secara cepat dapat dilakukan. Kekurangan dari aktivitas penyederhaan ini yaitu dibutuhkan kejelian operator untuk melihat tanda (*sign*) pada *mold* dan tatakan *mold*.

Usulan perbaikan ketiga adalah penerapan operasi paralel. Usulan perbaikan dengan menggunakan operasi paralel melibatkan dua operator untuk melakukan *setup* mesin *curing*. Pembagian kerja untuk dua operator yaitu operator 1 mengerjakan sebagian *setup mold* dan *setup curing* yang utama, sedangkan operator 2 mengerjakan sisa *setup mold* dan *setup curing*. Untuk *setup* benda kerja dapat dilakukan oleh operator satu ketika mesin berjalan. Sifat dari operator 2 ini seperti asisten untuk operator 1. Ketika operator 1 mengerjakan inti *setup* seperti pemasangan dan pelepasan *mold* dan *bladder*, setting mesin (seperti setting tonase, setting timer, dan setting *bladder*) maka operator 2 dapat mengerjakan aktivitas yang melakukan perpindahan seperti pengambilan dan penyimpanan *mold*, transportasi *forclift* pengangkut *mold*, pengambilan dan penyimpanan *mold*, dan pembersihan *mold* ketika telah di pasang pada mesin *curing*. Dalam satu hari rata-rata terdapat 3 kali *changeover* untuk 3 mesin dari 10 mesin dengan rata-rata waktu *setup* sebesar 194,05 menit, sehingga dalam 1 hari terjadi *setup* mesin dengan total waktu sebesar 582,15 menit atau 9,702 jam. Biaya untuk tambahan operator dapat dihitung sesuai dengan jumlah *setup* yang telah dilakukan. operator 1 operator tambahan dirasa cukup mengingat biaya yang dikeluarkan untuk melibatkan lebih banyak lagi operator.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode Single Minute Exchange of Die (SMED) pada proses *setup* di workstation *curing* mampu memberikan perbaikan signifikan terhadap efisiensi waktu *changeover*. Implementasi langkah-langkah SMED berhasil menurunkan waktu *internal setup* sebesar 128,48 menit serta mengurangi *external setup*

sebesar 3,08 menit. Reduksi ini dicapai melalui reklasifikasi dan konversi aktivitas, khususnya dengan memindahkan sejumlah kegiatan yang sebelumnya termasuk kategori *internal setup*, seperti *setup green tire*, *preheating mold*, serta aktivitas pencarian dan pengambilan peralatan menjadi aktivitas eksternal. Upaya konversi ini memberikan kontribusi pengurangan waktu sebesar 63,70 menit. Selain itu, optimalisasi aktivitas *setup* juga dicapai melalui perbaikan tata cara kerja, termasuk meminimalkan perpindahan operator yang tidak bernilai tambah, mengeliminasi proses *adjustment* yang tidak diperlukan, serta penerapan *parallel setup* dengan menambah seorang asisten operator. Ketiga intervensi ini memberikan dampak pengurangan waktu yang cukup signifikan, masing-masing sebesar 3,08 menit, 4,32 menit, dan 66,64 menit. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menegaskan bahwa pendekatan SMED tidak hanya efektif dalam mengurangi waktu *non-productive*, tetapi juga mampu meningkatkan kelancaran aliran proses dan produktivitas pada stasiun curing melalui pengelolaan aktivitas yang lebih terstruktur, terstandarisasi, dan kolaboratif.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. E. Dossou, G. Laouénan, and J. Y. Didier, "Development of a Sustainable Industry 4.0 Approach for Increasing the Performance of SMEs," *Processes*, vol. 10, no. 6, Jun. 2022, doi: 10.3390/pr10061092.
- [2] S. Boran and C. Ekincioglu, "A novel integrated SMED approach for reducing setup time," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 92, no. 9–12, pp. 3941–3951, Oct. 2017, doi: 10.1007/s00170-017-0424-9.
- [3] J. Singh, H. Singh, and I. Singh, "SMED for quick changeover in manufacturing industry – a case study," *Benchmarking*, vol. 25, no. 7, pp. 2065–2088, Oct. 2018, doi: 10.1108/BIJ-05-2017-0122.
- [4] S. C. Nwanya, J. I. Udofia, and O. O. Ajayi, "Optimization of machine downtime in the plastic manufacturing," *Cogent Eng*, vol. 4, no. 1, Jan. 2017, doi: 10.1080/23311916.2017.1335444.
- [5] P. B. Patel, "Optimizing Plant Performance through Breakdown-Based Downtime Analysis," *International Journal of Research and Analytical Reviews*, 2023, [Online]. Available: [www.ijrar.org](http://www.ijrar.org)
- [6] L. Jurik, N. Horňáková, and V. Domčeková, "The application of smed method in the industrial enterprise," *Acta Logistica*, vol. 7, no. 4, pp. 269–281, 2020, doi: 10.22306/al.v7i4.189.
- [7] V. Parwani and G. Hu, "Improving Manufacturing Supply Chain by Integrating SMED and Production Scheduling," *Logistics*, vol. 5, no. 1, Mar. 2021, doi: 10.3390/logistics5010004.
- [8] F. Sumasto, M. A. Arrofach, I. R. Pratama, S. P. Purbaningrum, A. Satria, and A. Rapi, "Application of Single Minute Exchange Die (SMED) Method to Minimize Setup Time on 350T Capacity Molding Machine," *Jurnal Inotera*, vol. 10, no. 1, pp. 33–40, Jan. 2025, doi: 10.31572/inotera.vol10.iss1.2025.id422.
- [9] R. Godina, C. Pimentel, F. J. G. Silva, and J. C. O. Matias, "A Structural Literature Review of the Single Minute Exchange of Die: The Latest Trends," in *Procedia Manufacturing*, Elsevier B.V., 2018, pp. 783–790. doi: 10.1016/j.promfg.2018.10.129.
- [10] F. Sumasto, M. A. Arrofach, I. R. Pratama, S. P. Purbaningrum, A. Satria, and A. Rapi, "Application of Single Minute Exchange Die (SMED) Method to Minimize Setup Time on 350T Capacity Molding Machine," *Jurnal Inotera*, vol. 10, no. 1, pp. 33–40, Jan. 2025, doi: 10.31572/inotera.vol10.iss1.2025.id422.
- [11] M. Kemal Karasu, M. Cakmakci, M. B. Cakiroglu, E. Ayva, and N. Demirel-Ortabas, "Improvement of changeover times via Taguchi empowered SMED/case study on injection molding production," *Measurement (Lond)*, vol. 47, no. 1, pp. 741–748, 2014, doi: 10.1016/j.measurement.2013.09.035.
- [12] J. Filla, "The single minute exchange of die methodology in a high-mix processing line," *Journal of Competitiveness*, vol. 8, no. 2, pp. 59–69, Jun. 2016, doi: 10.7441/joc.2016.02.05.
- [13] M. Kemal Karasu, M. Cakmakci, M. B. Cakiroglu, E. Ayva, and N. Demirel-Ortabas, "Improvement of changeover times via Taguchi empowered SMED/case study on injection molding production," *Measurement (Lond)*, vol. 47, no. 1, pp. 741–748, 2014, doi: 10.1016/j.measurement.2013.09.035.
- [14] S. Shingo, *A Revolution in Manufacturing: The SMED System*. Taylor & Francis, 2019.
- [15] A. A. Karam, M. Liviu, V. Cristina, and H. Radu, "The contribution of lean manufacturing tools to changeover time decrease in the pharmaceutical industry. A SMED project," in *Procedia Manufacturing*, Elsevier B.V., 2018, pp. 886–892. doi: 10.1016/j.promfg.2018.03.125.
- [16] G. F. I. Toki *et al.*, "Single Minute Exchange Die (SMED): A sustainable and well-timed approach for Bangladeshi garments industry," *Clean Eng Technol*, vol. 12, Feb. 2023, doi: 10.1016/j.clet.2022.100592.
- [17] T. Aprianto, A. Nuryono, and I. Setiawan, "Waste Analysis in the Speaker Box Assy Process to Reduce Lead Time in the Electronic Musical Instrument Industry," 2022.

- [18] S. P. R. Haris, T. D. Sofianti, and A. T. Pratama, "Penerapan Pendekatan SMED untuk Mengurangi Waktu Pergantian dalam Proses Pengujian di Perusahaan Listrik Multinasional," *Jurnal Media Teknik dan Sistem Industri*, vol. 9, no. 1, p. 47, Mar. 2025, doi: 10.35194/jmtsi.v9i1.4346.