

**TESIS**

**STRATEGI FLEKSIBILITAS MANUFAKTUR UNTUK  
MENGELOLA KETERCAPAIAN RENCANA PRODUKSI  
MULTIPRODUK**



**NAWANG WAHYU WIDIATMAKA  
21916014**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2023**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Demi Allah, saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya telah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah dalam karya tulis dan hak kekayaan intelektual maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima untuk ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

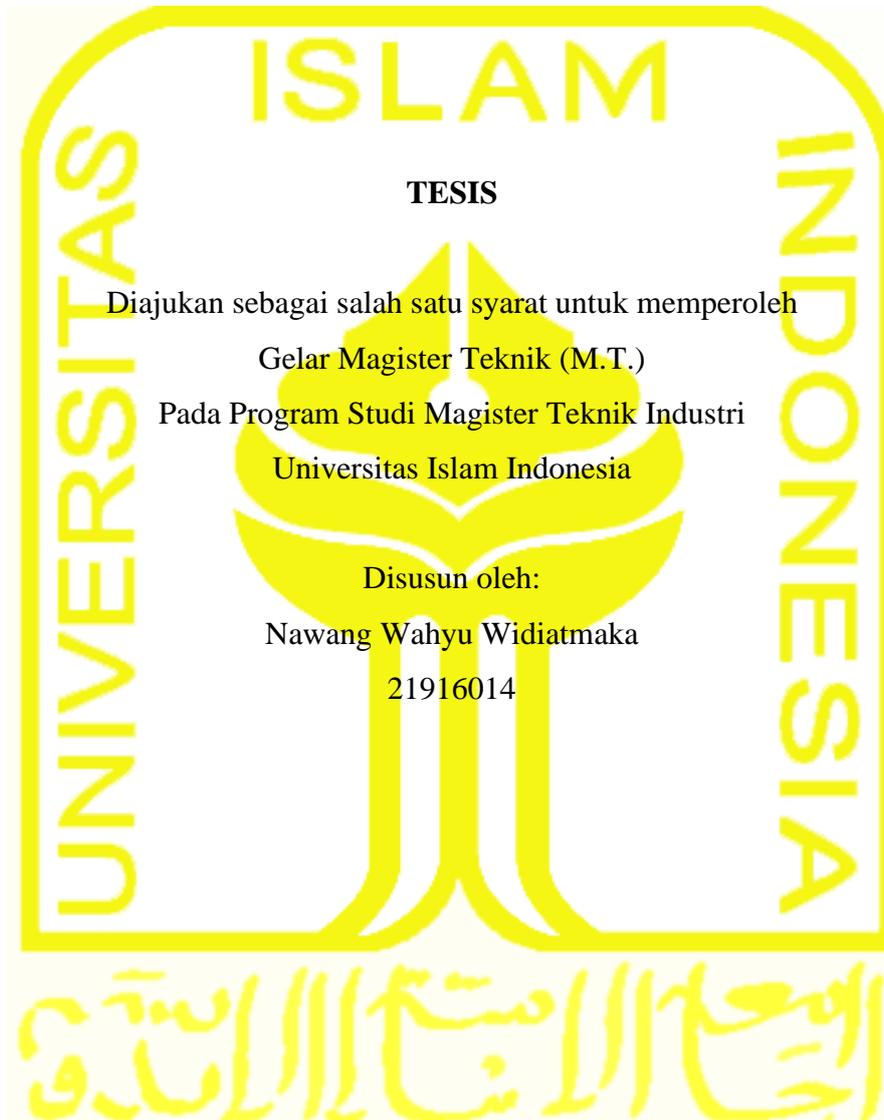
Yogyakarta, September 2023



Nawang Wahyu Widiatmaka

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**

**STRATEGI FLEKSIBILITAS UNTUK MENGELOLA KETERCAPAIAN  
RENCANA PRODUKSI MULTIPRODUK**



**Yogyakarta, 01 September 2023**

**Menyetujui,**

**Dosen Pembimbing**

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'NR Cahyo'.

**Winda Nur Cahyo S.T., M.Sc., Ph.D.**

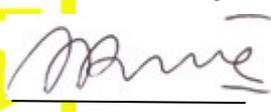
**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI****STRATEGI FLEKSIBILITAS UNTUK MENGELOLA KETERCAPAIAN RENCANA  
PRODUKSI MULTIPRODUK**

**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**  
**TESIS**  
**Disusun Oleh:**  
**Nama : Nawang Wahyu Widiatmaka**  
**No. Mahasiswa : 21 916 014**

**Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji Sebagai Salah Satu Syarat Untuk  
Memperoleh Gelar Magister Teknik Industri  
Yogyakarta, September 2023**

**Tim Penguji**

**Winda Nur Cahyo S.T., M.Sc., Ph.D.**  
**Ketua**  


**Prof Dr. Ir. Elisa Kusrini, MT, CPIM,  
CSCP, SCOR-P**  


**Penguji 1**  
**Dr. Taufiq Immawan, S.T., M.M.**  


Mengetahui,

**Ketua Program Studi Magister Teknik Industri**

**Fakultas Teknologi Industri**

**Universitas Islam Indonesia**



**Winda Nur Cahyo S.T., M.Sc., Ph.D.**

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Bismillah, saya mempersembahkan karya tulis ini untuk keluarga saya , terutama nenek saya , seseorang yang selalu menjadi alasan utama saya untuk tetap berusaha dan bertanggungjawab atas segala titik kehidupan yang saya jalani.*

*Teruntuk orang-orang yang berpaham bila tugas akhir “cukup dikerjakan, yang penting selesai”. Bukan bermaksud untuk menentang karena juga sejatinya memang selesai adalah tujuannya. Namun bukankah (InshaAllah) yang kita tulis ini akan bisa menjadi ladang ilmu untuk pembacanya? Lantas apakah kita akan dengan sengaja menjadikan tulisan pada karya tugas akhir hanya sebagai angin lalu dan mungkin dapat menjadi dosa jariyah untukmu? Sesungguhnya Allah memberikan kesempatan ladang amal jariyah untuk kita melalui ilmu yang dituliskan pada karya tugas akhir . Apakah juga akan kita siakan ? Tidak perlu menghiraukan akan dibaca atau tidaknya tulisanmu, karena niat dan keseriusan dalam menghargai kesempatan itulah yang menjadikan kedewasaan itu ada, bukan dari dinyatakannya kamu lulus dengan hanya menulis karya.*

***“Apapun hasilnya, kita tidak tahu apakah itu akan menjadi musibah atau anugerah, yang kita tau adalah berprasangka baik kepada setiap keputusan-Nya. Berkarya bukan hanya perkara menggurkan kewajiban, namun juga menjawab persoalan seraya aktif menebar kebermanfaatan, karena nikmat itu akan selalu datang sepanjang manfaat yang dapat kita berikan.”***

## MOTTO

*“ Dan Dia telah memberikan kepadamu (keperluanmu) dan segala apa yang kamu mohonkan kepadanya. Dan jika kamu menghitung nikmat Allah, tidaklah dapat kamu menghinggakannya. Sesungguhnya manusia itu, sangat zalim dan sangat mengingkari (nikmat Allah).”*

*(Q.S. Ibrahim: 34)*

*“Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sebelum mreka mengubah keadaan mereka sendiri.”*

*(Q.S Ar Ra'd : 11)*

## KATA PENGANTAR

*Assalamu 'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh*

Alhamdulillahirabbil'alamiin, puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tesis ini sesuai dengan waktu yang diharapkan SAW beserta keluarga, sahabat, serta para pengikutnya yang telah berjuang dan membimbing kita keluar dari kegelapan menuju jalan terang benderang untuk menggapai ridho Allah SWT. Atas berkat rahmat Allah SWT, tesis yang berjudul "Strategi Fleksibilitas Untuk Mengelola Ketercapaian Rencana Produksi Multiproduk" dapat diselesaikan dengan baik. Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi Magister Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Dalam menyelesaikan penyusunan tesis ini tidak lepas dari dukungan, bantuan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis ingin mengucapkan terima kasih dan memberikan penghargaan kepada pihak – pihak yang telah memberikan dukungan secara langsung maupun tidak langsung, oleh sebab itu dengan penuh rasa syukur penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Kedua orangtua dan keluarga besar yang senantiasa memberikan doa, dukungan semangat, serta kasih sayang kepada saya.
2. Istri dan anak, Zahra Sonda Arumdhani dan Airlangga Arsyadinata untuk segala dukungan dan doa yang tak henti.
3. Bapak Winda Nur Cahyo S.T., M.Sc., Ph.D, selaku kepala prodi magister Teknik Industri dan dosen pembimbing yang senantiasa dapat memberi arahan solutif dari kendala teknis dan non teknis yang dihadapi selama proses penyusunan tesis.
4. Teman – teman seangkatan MTI UII yang tetap menjaga harapan dan usaha untuk tetap mendukung satu sama lain.

Sekian ucapan terimakasih kepada beberapa pihak yang telah membantu dalam penulisan Tesis ini.

Dalam penulisan tesis ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada para pembaca meskipun penulis menyadari masih terdapat banyak kekurangan dalam penulisan Tesis ini. Untuk itu, dengan kerendahan hati penulis memohon kritik serta saran yang membangun mengenai Tesis ini.

*Wassalamu 'alaikum Warahmatullah Wabarakatuh*

Yogyakarta, September 2023



Nawang Wahyu Widiatmaka

## ABSTRAK

Tantangan yang dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana menyiapkan strategi manufaktur multi produk dalam menghadapi potensi gangguan produksi akibat ketidakpastian proses. Gangguan produksi yang teratasi memiliki peran penting dalam mencapai rencana produksi multi produk yang perencanaannya tidak hanya mempertimbangkan jumlah produk tetapi juga ketepatan jenis produk yang dihasilkan. Kualitas produk yang buruk merupakan faktor ketidakpastian proses yang menyebabkan gangguan produksi berupa kekurangan material dan pasokan material yang tidak merata. Fleksibilitas adalah strategi untuk menghadapi ketidakpastian yang dihadapi rantai pasokan. Secara khusus, penelitian ini mengusulkan strategi fleksibilitas reaktif dan proaktif untuk mengantisipasi gangguan produksi. Studi ini memeriksa perusahaan multi-produk yang mengalami gangguan pemulihan sistem karena ketidakpastian dalam kualitas material, yang menyebabkan kegagalan rencana produksi multiproduk. Strategi proaktif menggunakan Statistical Process Control (SPC) dan Fault Tree Analysis (FTA), sedangkan strategi reaktif menggunakan model Discrete Event Simulation (DES). Penambahan buffer stok 145 Bal pada sistem adalah strategi reaktif untuk merespons dan memperbaiki gangguan produksi menghadapi potensi kekurangan material akibat masalah kualitas produk. Kapasitas buffer, tingkat produksi fluktuatif, pengerjaan ulang produk cacat, dan pencapaian rencana produksi dari data historis merupakan variabel-variabel yang dipertimbangkan dalam pembuatan model. Penambahan pipa dan kran cadangan pada bagian primary adalah strategi proaktif untuk mencegah ketidakpastian proses yang mencakup kualitas produk yang buruk dari adanya cetakan kotor. Strategi reaktif lebih efektif dalam memenuhi ketersediaan rencana produksi dan meningkatkan penjualan, meskipun biaya total yang lebih tinggi. Objektifnya adalah untuk menampung fleksibilitas, stabilitas jadwal produksi, dan penggunaan sumber daya.

Kata kunci : Fleksibilitas Strategi Manufaktur, Strategi Manufaktur Reaktif, Strategi Manufaktur Proaktif, Stok Buffer, Manajemen Kualitas.

## DAFTAR ISI

<b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI.....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>x</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
<b>BAB II KAJIAN LITERATUR .....</b>	<b>6</b>
2.1 Kajian Induktif .....	6
2.2 Kajian Deduktif .....	18
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>27</b>
3.1 Alur Penelitian.....	28
3.2 Subjek dan Objek Penelitian .....	31
3.3 Populasi dan Sampel .....	31
3.4 Variabel dan Definisi Operasional .....	31
<b>BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....</b>	<b>35</b>
4.1 Pengumpulan Data .....	35
4.2 Pengolahan Data.....	45
<b>BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>78</b>
5.1 Analisa Strategi Reaktif .....	78
5.2 Analisa Strategi Proaktif .....	83
5.3 Implikasi Manajerial .....	88
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>95</b>
6.1 Kesimpulan Penelitian.....	95
6.2 Saran Penelitian.....	96
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>97</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Studi Penelitian Terdahulu .....	9
Tabel 3.1 Kebutuhan Data Penelitian .....	28
Tabel 4.1 Data Ketercapaian Rencana Produksi Multiproduk .....	36
Tabel 4.2 Tingkat Kapasitas Produksi Studi Kasus .....	40
Tabel 4.3 Kapasitas Area Buffer .....	42
Tabel 4.4 Jenis dan Tingkat Masalah Kualitas Produksi .....	43
Tabel 4.5 Potensial Masalah Kualitas Cetakan kotor .....	45
Tabel 4.6 Diskripsi Item Model Simulasi .....	47
Tabel 4.7 Rekap Hasil Eksperimen Stok Buffer Sheet Banded Satu Sequence .....	55
Tabel 4.8 Rekap Hasil Eksperimen Stok Buffer Sheet Banded Bertahap .....	57
Tabel 4.9 Data Ketercapaian Rencana Produksi Simulasi Strategi Reaktif .....	61
Tabel 4.10 Kebutuhan Kapasitas Produksi Sheeter Tambahan .....	63
Tabel 4.11 Perhitungan Biaya Implementasi Strategi Reaktif .....	64
Tabel 4.12 Data Identifikasi Jenis dan Tingkat Masalah Kualitas .....	65
Tabel 4.13 Tabel Kejadian Pohon Kesalahan .....	68
Tabel 4.14 Data Input Pareto Cutset FTA .....	72
Tabel 4.15 Potensial Dampak Implementasi Strategi Proaktif .....	73
Tabel 4.16 Data Ketercapaian Rencana Produksi Simulasi Strategi Proaktif .....	74
Tabel 4.17 Rincian Biaya Strategi Proaktif .....	76
Tabel 5.1 Manajemen Risiko Implementasi Strategi Reaktif .....	81
Tabel 5.2 Potensial Tingkat Efisiensi Implementasi Strategi Reaktif .....	82
Tabel 5.3 Manajemen Risiko Implementasi Strategi Proaktif .....	85
Tabel 5.4 Potensial Tingkat Efisiensi Implementasi Strategi Proaktif .....	86

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Diagram Systematic Literature Review Penelitian .....	6
Gambar 2.2 Posisi Penelitian dengan Penelitian Sebelumnya .....	14
Gambar 2.3 Struktur Pohon Kesalahan FTA .....	26
Gambar 2.4 Aturan Boolean Algebra .....	26
Gambar 3.1 Alur Proses Penelitian.....	27
Gambar 3.2 Hubungan Variabel Penelitian .....	32
Gambar 4.1 Grafik Data Tingkat Ketercapaian Rencana Produksi .....	35
Gambar 4.2 Alur Proses Produksi Studi Kasus .....	39
Gambar 4.3 Skema Model Sistem Produksi Studi Kasus Multiproduk .....	46
Gambar 4.4 Model Simulasi Produksi Studi Kasus Multiproduk.....	47
Gambar 4.5 Tabel Data Input Validasi Model.....	50
Gambar 4.6 Hasil Uji Validasi Model .....	51
Gambar 4.7 Pengaturan Waktu Proses Pada Tingkat Produksi Fluktuatif.....	52
Gambar 4.8 Tingkat Idle Item Proses Produksi Model Simulasi.....	53
Gambar 4.9 Stok WIP dan Rework Produksi Model Simulasi .....	53
Gambar 4.10 Pendefinisian Eksperimen Flexsim Stok Buffer Sheet Banded .....	54
Gambar 4.11 Tingkat Penyerapan Stok Buffer WIP Sheet Banded Satu Sequence .....	56
Gambar 4.12 Pendefinisian Eksperimen Flexsim Stok Buffer Sheet Banded Bertahap .....	57
Gambar 4.13 Sisa Stok WIP dan Rework Produksi Simulasi Stok Buffer 145 Bal Bertahap .....	60
Gambar 4.14 Tingkat Ketercapaian Rencana Produksi Simulasi Strategi Reaktif .....	60
Gambar 4.14 Hasil Simulasi Model FlexSim Stok Buffer Bertahap .....	62
Gambar 4.15 Grafik Pareto Tingkat Masalah Kualitas Produksi.....	66
Gambar 4.16 Diagram Pohon Kesalahan.....	69
Gambar 4.17 Penentuan Minimal Cut Set Pohon Kesalahan.....	71
Gambar 4.18 Penentuan Minimal Cut Set Pohon Kesalahan.....	72
Gambar 4.19 Tingkat Ketercapaian Rencana Produksi Simulasi Strategi Proaktif .....	74
Gambar 5.1 Rekomendasi Strategi Fleksibilitas Perusahaan Studikamus.....	93

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Tantangan utama yang sedang berlangsung di bidang manufaktur adalah manajemen yang efektif meningkatkan kinerja operasi dalam sistem produksi multiproduk. Perencanaan produksi dalam sistem produksi multi-produk memerlukan pemikiran yang lebih kompleks dan strategis daripada dalam sistem produksi tunggal (Georgiadis et al., 2021). Perencanaan produksi multi produk tidak hanya melibatkan penentuan jumlah produk, namun juga pada ketepatan jenis produk yang akan diproduksi saja pada periode waktu mendatang untuk memenuhi permintaan yang berfluktuasi (Csontos et al., 2022; Z. Li et al., 2021; Vanzetti et al., 2021). Metrik penting tentang seberapa baik sistem produksi bekerja adalah seberapa baik rencana produksi dijalankan. Kemampuan perusahaan untuk menangani sumber daya secara efektif dan memastikan bahwa sistem produksi berjalan dengan baik ditunjukkan dengan pencapaian rencana produksi yang tinggi (Dametew et al., 2019; Sun et al., 2020; Woschank et al., 2020). Dalam sistem manufaktur multi-produk, perusahaan harus mempertimbangkan strategi perencanaan produksi untuk beberapa produk yang berbeda dan menjamin bahwa sumber daya yang tersedia digunakan secara efisien (Mokhtari et al., 2021).

Banyak kejadian tak terduga muncul selama masa produksi multiproduk dan tidak mudah untuk mengatasi masalah tersebut. Saat ini, semua perusahaan manufaktur mengkhawatirkan sistem rantai pasokan mereka seperti gangguan pasokan, gangguan produksi, gangguan kualitas, dan gangguan permintaan (Karim & Nakade, 2019). Agar tetap hidup di pasar persaingan global, setiap perusahaan harus mengelola gangguan rantai pasokannya secara efisien. Pengendalian produksi memainkan peran sentral dalam perencanaan dan pengendalian produksi multiproduk (Joppen et al., 2019). Dari sekian banyak gangguan, salah satu gangguan yang penting adalah gangguan produksi. Gangguan produksi dapat mencakup pemadaman listrik, kegagalan alat, kerusakan mesin, kekurangan material, pasokan material yang tidak merata atau segala jenis buatan manusia atau gangguan yang tidak disengaja (Bo et al., 2021; Esmaili-Najafabadi et al., 2021). Gangguan produksi tersebut mempunyai peran penting dalam ketercapaian rencana produksi multi-produk. Gangguan produksi yang terjadi merupakan akibat dari adanya ketidakpastian proses. Ketidakpastian proses terkait dengan karakter probabilistik ketersediaan mesin, hasil, kualitas, dan jangka waktu pemrosesan. Ketidakpastian operasional internal mungkin juga terkait dengan kekhawatiran seperti masalah

ketenagakerjaan, pasokan modal kerja yang tidak stabil, dan masalah teknologi informasi. Semakin tidak jelas proses internal, semakin banyak fleksibilitas yang dibutuhkan (Angkiriwang et al., 2014). Ketika keandalan proses manufaktur rendah, penyangga kapasitas diperlukan untuk menjaga agar sistem tetap fleksibel dalam menyesuaikan ketercapaian rencana produksi dan kebermanfaatan sumberdaya.

Motivasi praktis untuk penelitian ini adalah kasus sebuah perusahaan multiproduk dari industri kertas tisu. Perusahaan berusaha untuk menerapkan prinsip “just-in-time” (JIT) sehingga pasokan bahan diharapkan tersedia pada jenis, jumlah, dan waktu yang sesuai (Taghipour et al., 2019). Data pencapaian produksi aktual selama 30 periode terbaru digunakan sebagai data historis untuk meninjau pencapaian rencana produksi mingguan. Analisa pencapaian rencana produksi mengkaji akan seberapa efektif atau ketepatan produksi aktual untuk memenuhi rencana produksi dalam hal kuantitas dan ketepatan jenis produk yang dikerjakan (District et al., 2023; Nwaubani et al., 2019; Zennaro et al., 2019). Hasil analisis menunjukkan bahwa rencana produksi untuk setiap periode dapat dipenuhi dari segi kuantitas, dengan efektivitas rata-rata 100% untuk setiap periode. Namun, kinerjanya buruk dalam hal ketepatan dari jenis produk yang diproduksi aktual terhadap rencana produksi dengan efektivitas rata-rata 94% untuk setiap periode. Ketidakpastian proses dari segi kualitas memberi pengaruh untuk adanya gangguan produksi berupa pasokan material yang tidak merata dan berkekurangan. Prinsip Tingkat persediaan yang terlalu rendah akibat dari prinsip JIT tidak dapat melindungi secara memadai dari ketidakpastian yang relatif tinggi dalam proses produksi.

Berdasarkan gap pada ketercapaian rencana produksi multiproduk oleh adanya gangguan produksi akibat dari ketidakpastian proses (Niu et al., 2021; Sutduean et al., 2019; Wu et al., 2019), penelitian lebih lanjut dibutuhkan dalam mengusulkan strategi fleksibilitas reaktif dan proaktif. Dalam kondisi ketidakpastian rantai pasokan, organisasi dapat menggunakan strategi proaktif atau reaktif atau keduanya untuk menghadapi situasi tersebut (Afifa & Santoso, 2022). Pendekatan model simulasi diusulkan untuk menentukan stock *buffer* optimal pada bagian produksi yang rawan gangguan sebagai bentuk dari strategi reaktif. *Buffer* dengan tingkat inventori yang optimal dapat memberikan perlindungan dan merespon terhadap gangguan produksi (Ali et al., 2021). Strategi reaktif adalah tindakan yang diambil setelah terjadi masalah, kemudian mengambil langkah untuk memulihkan kondisi yang tidak pasti akibat risiko (Alikhani et al., 2021). Strategi proaktif juga diusulkan dalam merancang ulang kualitas produk pada bagian produksi yang menghasilkan kualitas paling buruk. Strategi proaktif diusulkan sebagai langkah memulai fokus jangka panjang pada fleksibilitas daripada secara

reaktif menanggapi ketidakpastian dengan strategi *buffer* (Lee & Lee, 2021). Strategi proaktif adalah strategi pencegahan sebelum terjadi risiko dengan mengambil tindakan yang tepat (Samani et al., 2020).

Tujuan dari penelitian ini adalah menyiapkan strategi produksi multi produk dalam menghadapi potensi gangguan produksi akibat ketidakpastian kualitas. Strategi yang dikembangkan akan memberikan kesiapan dalam menghadapi risiko ketidakpastian proses sehingga perusahaan dapat memaksimalkan pemanfaatan sumber daya dan kestabilan jadwal produksi yang ditunjukkan dari tercapainya rencana produksi multi produk secara optimal antara kuantitas dan ketepatan jenis produksi. Area stok *buffer*, tingkat produksi fluktuatif, pengerjaan ulang produk cacat, dan tingkat pencapaian rencana produksi dari data historis merupakan variabel-variabel yang dipertimbangkan dalam pembangunan model strategi.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian latar belakang di atas maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana strategi fleksibilitas untuk memenuhi ketercapaian rencana produksi multiproduk dibawah faktor ketidakpastian kualitas material pasok.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah dalam penelitian ini, maka tujuan penelitian ini adalah mengusulkan strategi untuk tercapainya perencanaan produksi dari faktor ketidakpastian kualitas material pasok.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini mencakup sebagai berikut:

1. Ketidakteraturan sistem kerja diluar waktu jam kerja dalam memantau dan memberi konfirmasi rencana kerja penyesuaian dari bagian produksi dapat dikurangi dan atau dihilangkan sehingga pengelolaan tingkat stress serta kesehatan mental karyawan dapat terjaga.
2. Fokus bagian produksi yang sebelumnya terbagi untuk menjaga kesiapan rencana kerja penyesuaian dapat menjadi lebih teratur dalam memaksimalkan efisiensi sumberdaya produksi untuk memenuhi ketercapaian rencana produksi.
3. Mendukung keberlanjutan usaha perusahaan dalam mencapai sistem produksi yang lebih efektif.

### **1.5 Batasan Penelitian**

Batasan dari penelitian ini mencakup sebagai berikut:

1. Data yang digunakan dalam pengambilan keputusan menggunakan data historis perencanaan produksi selama 30 periode pada tahun 2022.
2. Aspek manajerial yang berada di luar cakupan manufaktur tidak dilakukan analisa lebih lanjut, seperti kebijakan bagian purchasing perusahaan dalam penetapan supplier material yang memiliki pengaruh terhadap kualitas dan kelancaran produksi.

### **1.6 Sistematika Penelitian**

Dalam penelitian ini menggunakan kaidah penelitian ilmiah dengan sistematika penelitian sebagai berikut.

#### **BAB I            PENDAHULUAN**

Bagian ini berisi latar belakang, rumus masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan laporan sistematik penelitian.

#### **BAB II           KAJIAN LITERATUR**

Bab ini menganalisis literatur deduktif dan induktif, teori, dan penelitian sebelumnya untuk posisi dan memecahkan masalah penelitian.

#### **BAB III          METODE PENELITIAN**

Bagian ini menggambarkan obyek penelitian, jenis data, metode, dan aliran, memastikan pemahaman yang ringkas dan jelas tentang tujuan dan metodologi penelitian.

#### **BAB IV          PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Bab ini mencakup pengumpulan dan pemrosesan data menggunakan prosedur spesifik, menampilkan hasil dalam tabel dan grafik. Ini berfungsi sebagai referensi untuk hasil bab berikutnya

#### **BAB V           PEMBAHASAN**

Bab ini membahas hasil pemrosesan data dari bab sebelumnya, mengatasi masalah yang ada dan membuat rekomendasi berdasarkan hasilnya. Hal ini bertujuan untuk menjawab rumus dan memberikan solusi untuk masalah yang ada.

#### **BAB VI          PENUTUP**

Hasil penelitian menggambarkan kesimpulan, rekomendasi untuk pengembangan masa depan, dan ringkasan singkat temuan.

**DAFTAR PUSTAKA**

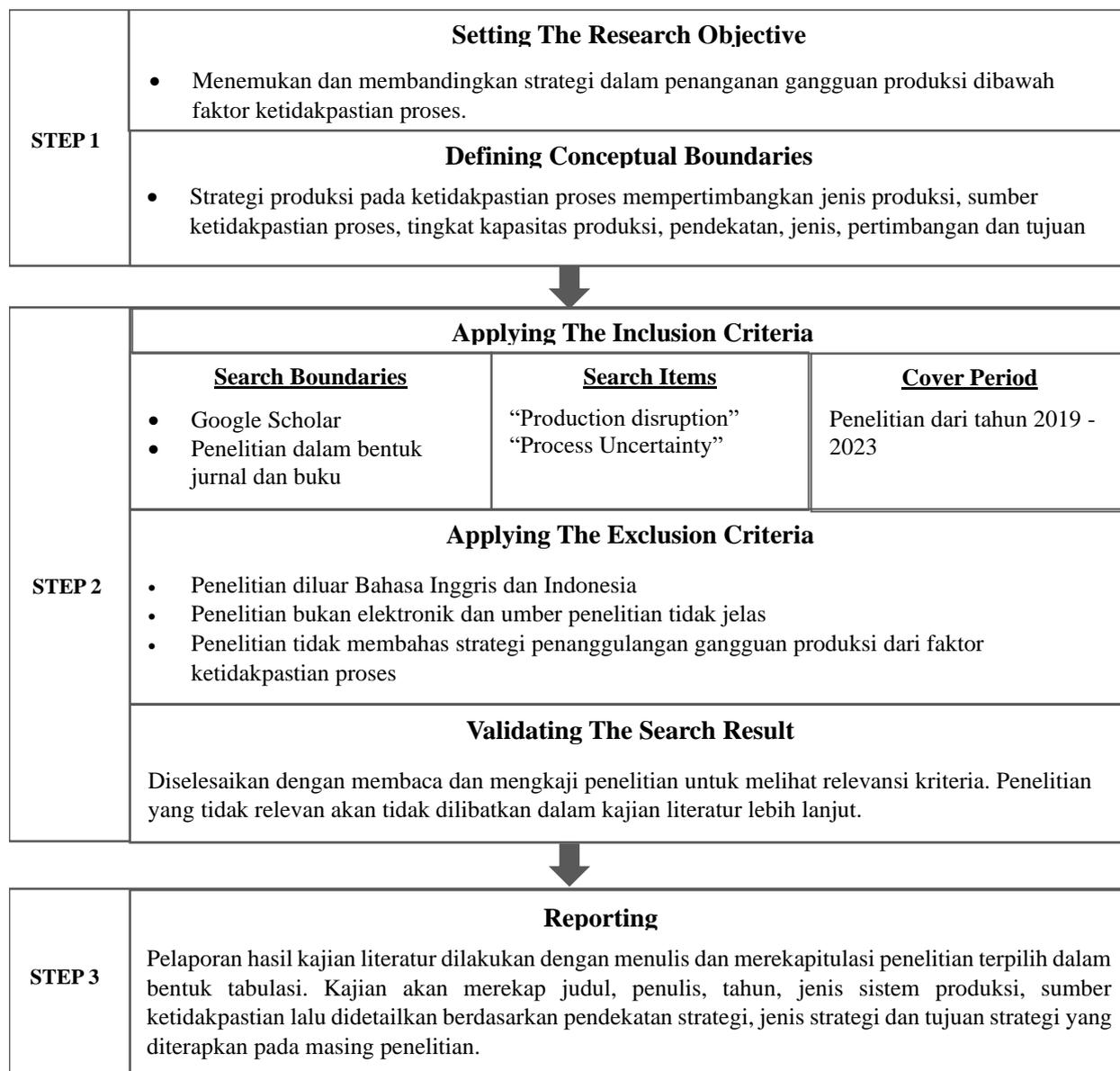
**LAMPIRAN**

## BAB II

### KAJIAN LITERATUR

#### 2.1 Kajian Induktif

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan yang berhubungan dengan penelitian ini. Pada sub bab ini akan dijelaskan beberapa penelitian sebelumnya untuk memposisikan penelitian yang dilakukan saat ini. Diagram *systematic literatur review* (Wilson *et al*, 2017) dalam penelitian ini digambarkan sebagai berikut.



**Gambar 2.1** Diagram *Systematic Literature Review* Penelitian

Pada step 1, “*setting the research objective*” menunjukkan tujuan dari riset dari studi literatur yang dilakukan. Tujuan studi literatur dalam penelitian ini adalah menemukan dan

membandingkan strategi dalam penanganan gangguan produksi dibawah faktor ketidakpastian proses. Kemudian dari penelitian – penelitian tersebut dilakukan perbandingan antar penelitian untuk menemukan gap atas asumsi penelitian dan strategi 1 dengan lainnya. Pada bagian “*defining conceptual boundaries*” menjelaskan batasan atau fokus dari tujuan studi literatur tersebut berada pada penelitian yang membahas dan mempertimbangkan jenis sistem produksi, sumber ketidakpastian, pendekatan strategi, jenis strategi dan tujuan strategi. Hal ini ditujukan untuk menjelaskan secara lebih detail terkait posisi dari penelitian yang dibangun mengingat konsep strategi produksi terdapat dua pendekatan yaitu secara reaktif maupun proaktif. Fokus multiproduk dan ketidakpastian dipilih berdasarkan fokus dari gap masalah yang dijelaskan dalam Bab 1 .

Pada step 2, “*Applying the inclusion criteria*” menjelaskan kriteria atau filter yang diterapkan dalam pencarian literatur. Pada “*search boundaries*” menunjukkan batasan pencarian artikel yang dikumpulkan dari google scholar mencakup artikel dari jurnal dan buku. Keseluruhan artikel yang dipilih adalah artikel yang memiliki index. Google scholar dipilih karena artikel yang tersedia dalam google scholar telah terindex. Pada “*search terms*” menunjukkan kata kunci yang digunakan dalam pencarian artikel pada google scholar. Kata kunci yang digunakan adalah mencakup tiga kata kunci yaitu “*production disruption*” dan “*uncertainty process*”. Hal ini ditujukan agar artikel yang muncul dalam pencarian mencakup penelitian yang membahas gangguan produksi dengan ruang lingkup yang disebabkan oleh adanya faktor ketidakpastian proses. Artikel yang dicari dibatas pada “*cover period*” dari tahun 2019 hingga 2023 dengan dasar agar penelitian yang dikaji mencakup penelitian terbaru. Penelitian terbaru didefinisikan sebagai penelitian yang masuk dalam rentang lima tahun terakhir dari waktu penulisan penelitian yang dibuat. Bagian “*Applying the exclusion criteria*” menunjukkan kriteria penelitian yang tidak masuk atau tidak dilibatkan dalam kajian literatur meskipun penelitian tersebut muncul dalam pencarian google scholar. Kriteria eksklusi tersebut mencakup (1) penelitian yang berbahasa selain bahasa Indonesia dan Inggris karena penelitian tersebut memerlukan usaha lebih untuk translate bahasa, (2) penelitian bukan elektronik, karena hal ini membutuhkan usaha lebih terkait waktu dan materi dalam mengakses artikel tersebut secara langsung dari sumber, (3) penelitian yang memiliki sitasi tidak lengkap atau tidak jelas karena hal ini akan mempengaruhi kredibilitas artikel yang dikaji, dan (4) penelitian tidak membahas strategi penanggulangan gangguan produksi dari adanya faktor ketidakpastian proses, hal ini tidak dapat menunjang pencapaian target dan fokus studi literatur penelitian ini. Ketidakpastian proses mencakup faktor kualitas, waktu proses, hasil produksi, ketersediaan mesin, masalah tenaga kerja, ketersediaan modal kerja yang tidak stabil, dan masalah dengan

teknologi informasi (Angkiriwang et al., 2014). Bagian selanjutnya adalah “*validating the search result*”, memilih dan mengeliminasi artikel yang terkumpulkan berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Bagian ini bertujuan agar penelitian tersebut dapat menunjang dan memiliki peran dalam pencapaian target dan fokus kajian literatur.

Step 3 yang mencakup “*reporting*” menjelaskan cara dalam pembahasan dan pelaporan kajian literatur yang dilakukan. Laporan dalam kajian literatur ini akan dipaparkan dalam bentuk tabulasi yang nantinya akan dijelaskan secara detail dalam bentuk deskripsi paragraf dengan pembahasan mencakup gap asumsi antar penelitian yang akan diminimalisir serta posisi penelitian yang akan dibangun dalam penelitian ini.

Hasil penulisan laporan dari kajian literatur berdasarkan systematic literatur review penelitian seperti pada Gambar 2.1 dirangkum pada tabel sebagai berikut.

Tabel 2.1 Studi Penelitian Terdahulu

Penelitian No	Nama Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Sumber Ketidakpastian Proses	Jenis Produksi	Jenis strategi	Tujuan strategi	Pendekatan strategi	Tingkat Kapasitas Produksi	Pertimbangan Strategi
				(Angkiriwang et al., 2014)	(Gurgur & Altiok, 2008)	(Angkiriwang et al., 2014)	(Angkiriwang et al., 2014)			
1	Karim, R. & Nakade, K	2019	A stochastic model of a production-inventory system with consideration of production disruption	Kualitas produk, tenaga kerja	<i>Single Product</i>	Reaktif ( <i>safety stock</i> )	<i>Service level</i>	Model matematika	Konstan	Waktu produksi dan efektifitas biaya
2	Malik, A.I. & Sarkar, B	2020	Disruption management in a constrained multi-product imperfect production system	Gangguan produksi acak	<i>Multiproduct</i>	Reaktif ( <i>batch size</i> )	<i>Resouce Utilization</i>	Model matematika	Konstan	Anggaran dan <i>space</i>
3	Puchkova, A et al.	2020	Resilient planning strategies to support disruption-tolerant production operations	Kualitas produk, Kerusakan mesin	<i>Single Product</i>	Reaktif ( <i>buffer stock</i> ) dan proaktif ( <i>maintenance</i> )	<i>Resouce Utilization</i>	Model matematika	Konstan	Biaya produksi
4	Strohhecker, J. & Größler, A.	2020	Threshold behavior of optimal safety stock coverage in the presence of extended production disruptions	Kualitas Produk	<i>Multiproduct</i>	Reaktif ( <i>buffer stock</i> )	<i>Service level</i>	Simulasi dinamis	Konstan	Reaksi pelanggan
5	Urlu, B. & Erkip, N.K.	2020	Safety stock placement for serial systems under supply process uncertainty	Gangguan produksi acak	<i>Single Product</i>	Reaktif ( <i>safety stock</i> )	<i>Service level</i>	Model matematika	Konstan	Biaya <i>safety stock</i>
6	Sánchez-Ramírez, C et al.	2019	A system dynamics model to evaluate the impact of production process disruption on order shipping	Kerusakan Mesin	<i>Single Product</i>	Reaktif ( <i>buffer sparepart</i> )	<i>Service level</i>	Simulasi dinamis	Konstan	<i>Order shipping</i>
7	Taleizadeh, A.A et al.	2019	Production models of multiple products using a single	Kualitas produk	<i>Multiproduct</i>	Reaktif ( <i>Harga diskon dan</i>	<i>Resouce Utilization</i>	Model matematika	Konstan	Inspeksi produk cacat

Penelitian No	Nama Peneliti	Tahun	Judul Penelitian	Sumber Ketidakpastian Proses	Jenis Produksi	Jenis strategi	Tujuan strategi	Pendekatan strategi	Tingkat Kapasitas Produksi	Pertimbangan Strategi
				(Angkiriwang et al., 2014)	(Gurgur & Altioik, 2008)	(Angkiriwang et al., 2014)	(Angkiriwang et al., 2014)			
			machine under quality screening and reworking policies.			pengerjaan ulang produk cacat)				
8	Sarkar, B.	2019	Mathematical and analytical approach for the management of defective items in a multi-stage production system	Kualitas produk	<i>Single Product</i>	Reaktif (pengerjaan produk cacat)	<i>Resouce Utilization</i>	Model matematika	Konstan	Inspeksi produk cacat
9	Rucitra, A.L. and Amna, A.U.F.,	2021	Integration of Statistical Quality Control (SQC) and Fault Tree Analysis (FTA) in the quality control of resina colophonium production in Company X	Kualitas produk	<i>Multiproduct</i>	Proaktif (Penambahan operator)	<i>Service Level</i>	Statistical process control (SPC) dan Fault Tree Analysis (FTA)	Konstan	Pengendalian Kualitas
10	Febriana, T.H. and Hasbullah, H.	2021	Analysis and defect improvement using FTA, FMEA, and MLR through DMAIC phase: Case study in mixing process tire manufacturing industry	Kualitas produk	<i>Single Product</i>	Proaktif (Desain Proses Kualiti)	<i>Service Level</i>	Statistical process control (SPC) dan Fault Tree Analysis (FTA)	Konstan	Pengendalian Kualitas
11	Penelitian ini	2023	Strategi Optimalisasi Ketercapaian Rencana Produksi Terhadap Gangguan Produksi Dari Ketidakpastian Proses	Kualitas produk	<i>Multiproduct</i>	Reaktif (Desain Buffer stock) dan proaktif (Desain Proses Kualiti)	<i>Resouce Utilization</i> dan kestabilan jadwal produksi	Discrete Event Simulation (DES)	Fluktuatif	Area buffer, ketercapaian rencana produksi

Penelitian (1) menyimpulkan bahwa *safety stock* dapat menjadi pilihan yang tepat atas *outsourcing* dan mempertahankan *safety stock* yang tepat dalam sistem persediaan produksi yang rawan gangguan, pada akhirnya membantu organisasi untuk meningkat tingkat layanan dan meminimalkan biaya rata-rata jangka panjang mereka. Kebaruan dari penelitian yang diklaim adalah menggabungkan dua fenomena antara batasan waktu produksi dengan periode pemulihan gangguan dalam model serta menampilkan efektivitas biaya *safety stock*. Meskipun demikian, model inventori yang dibangun masih menggunakan jenis produksi *single product*. Penelitian ini dapat diperluas lebih lanjut dengan membahas model barang yang mudah rusak pada jenis produksi multiproduk dimana setiap produk memiliki tingkat produksi dan permintaan yang unik (Karim & Nakade, 2019).

Penelitian (2) mengusulkan ukuran batch produksi yang optimal untuk multi-item dalam rentang waktu pemulihan sehingga keuntungan total dimaksimalkan. Untuk menjaga soal multi-produk, kendala anggaran dan ruang digunakan. Model ini mempertimbangkan gangguan produksi pada multiproduk dengan tingkat permintaan yang tetap sebagai batasan dari model ini. Kebaruan dari penelitian yang diklaim adalah sistem produksi *multiproduct* dipelajari dengan pertimbangan gangguan produksi yang tidak dapat dihindari dengan mempertimbangkan keterbatasan anggaran dan ruang. Model dalam penelitian ini belum mempertimbangkan proporsi dan proses rework produk cacat serta tingkat permintaan yang tidak tetap. Dalam situasi praktis, permintaan dapat berfluktuasi dalam kondisi yang berbeda (Iqbal & Sarkar, 2020).

Penelitian (3) mencakup analitis yang diusulkan untuk mengidentifikasi trade-off antara buffer persediaan dan lokasi penyimpanan terbaik. Model yang disajikan dalam penelitian ini mencakup tiga jenis gangguan: kerusakan sumber daya stokastik, kerugian kualitas produk, dan fluktuasi permintaan acak. Model dalam penelitian ini tidak mempertimbangkan proses rework produk cacat dan batasan space dalam buffer persediaan (Puchkova et al., 2020).

Penelitian (4) menjelaskan bila lebih baik memiliki biaya penyimpanan persediaan yang terus-menerus tinggi daripada menimbulkan kehabisan stok, kehilangan permintaan dan margin kontribusi. Namun, ketika situasi hanya sedikit berubah, persediaan yang ramping menjadi menguntungkan dan tingkat persediaan yang mendekati nol menjadi berguna. Penelitian selanjutnya dapat mencakup lebih banyak pola permintaan fluktuatif karena penelitian ini didasarkan pada asumsi permintaan pelanggan yang konstan (Strohhecker & Größler, 2020).

Penelitian (5) memiliki tujuan utama penelitian untuk mempertimbangkan ketidakpastian pasokan untuk masalah penempatan *safety stock* pada sistem serial. Sistem serial biasanya

beroperasi atas dasar just-in-time. Penelitian ini menyebut ketidakpastian proses sebagai akibat dari kegagalan peralatan atau kegagalan pemasok lapis kedua untuk memasok masukan yang diperlukan. Hal menarik dari masalah ini adalah bahwa struktur ketidakpastian proses membawa perlunya penempatan safety stock pada tahapan yang berbeda, meskipun permintaan tidak stokastik. Terbatasnya studi dalam menggabungkan ketidakpastian penawaran dan permintaan dalam lingkungan pemodelan yang sama menjadi pengembangan dari model ini kedepan (Urlu & Erkip, 2020).

Penelitian (6) menghasilkan model simulasi dinamis yang mengungkapkan bahwa kerusakan mekanis berdampak langsung pada tarif pengiriman pesanan dan itu memengaruhi reputasi perusahaan dan citra perusahaan. Model menunjukkan apabila suku cadang tidak tersedia dapat memperpanjang durasi peristiwa gangguan yang memengaruhi tanggal pengiriman yang dijanjikan. Penelitian ini menganalisis pentingnya pemeliharaan dan mengusulkan beberapa jenis model untuk memprediksi kegagalan bagian mesin dalam mempengaruhi pengiriman pesanan. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan melakukan analisis biaya yang berasal dari gangguan produksi dan mengevaluasi strategi lain yang meningkatkan kinerja perusahaan seperti menggunakan jalur produksi perusahaan lain atau menyesuaikan jadwal produksi (Sánchez-ramírez et al., 2020).

Penelitian (7) mengusulkan dua strategi dalam menangani produk cacat yaitu dengan menjualnya dengan harga diskon atau mengolahnya kembali dan menambahkannya ke proses produksi. Ide pokok dari penelitian ini adalah untuk memaksimalkan keuntungan total sistem manufaktur dengan mengoptimalkan panjang periode pada produk cacat. Diasumsikan bahwa produk yang tidak sempurna diproduksi dalam proporsi acak, dan semua produk yang tidak sempurna dapat diperbaiki, dan tidak ada yang dibuang. Proses penyaringan diterapkan untuk mengidentifikasi produk yang tidak sempurna. Dengan demikian, menambahkan ketidakpastian dalam hal kualitas produk, tingkat produksi dan tingkat permintaan setiap produk dan kerusakan stokastik mesin selama proses produksi dapat membantu menyempurnakan model dalam penelitian selanjutnya. Selain itu, perluasan lain untuk mempelajari sifat inspeksi dapat dilakukan dengan mengevaluasi kinerja inspeksi (Taleizadeh et al., 2019).

Penelitian (8) melakukan pengerjaan ulang di setiap tahap siklus atau di akhir tahap siklus dengan teknik desain peluang identifikasi. Sebuah desain dikembangkan untuk membuat sistem produksi multi-tahap tipe seperti itu. Untuk ini, produk yang tidak sempurna dapat dikerjakan ulang dalam setiap siklus sambil menghindari kekurangan atau dikerjakan ulang setelah akhir

siklus dengan kekurangan di setiap siklus. Tujuan dari model ini adalah untuk mengurangi pemborosan dengan strategi pengerjaan ulang untuk meminimalkan total biaya. Penelitian dapat dikembangkan dengan mempelajari lebih lanjut beberapa kesalahan inspeksi dalam model produksi *single product* maupun multiproduct dengan kebijakan garansi untuk barang cacat. Pertimbangan persediaan buffer dapat diterapkan dalam pengembangan model kedepan (Sarkar, 2019).

Penelitian (9) membahas permasalahan tertinggi yang mempengaruhi kualitas proses produksi terletak pada aspek tenaga kerja yang memiliki beban kerja tinggi. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengendalian kualitas proses produksi di Perusahaan X. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan topik sistem manufaktur multiproduk yang memiliki tingkat produksi fluktuatif dalam menghadapi masalah kualitas (Rucitra & Amna, 2021).

Penelitian (10) melakukan analisis dan perbaikan cacat pada proses pembuatan ban pencampuran. Pada penelitian ini telah dilakukan perbaikan bagaimana meminimalkan variasi material karet alam dengan menentukan desain proses berdasarkan hasil simulasi. Rekomendasi tindakan sebagai langkah solusi dalam pencegahan terjadinya cacat dibangun dengan menemukan akar masalah serta menguji korelasi antara faktor penyebab dan masalah utama. Penelitian selanjutnya perlu dipikirkan bagaimana menemukan formula model matematis untuk menentukan desain proses berdasarkan kapabilitas material (Febriana & Hasbullah, 2021).

Kerangka ketidakpastian dan strategi mengakomodir penelitian (Angkiriwang et al., 2014) dengan perbandingan posisi penelitian dengan penelitian lain digambarkan pada Gambar 2.2.

<b>Issue layer</b> (Masalah Penelitian)	<u>Gangguan Produksi akibat Ketidakpastian Proses</u> (1-11*)					
<b>System layer</b> (Faktor ketidakpastian proses)	<u>Waktu Proses</u> 2,3,6	<u>Ketersediaan Mesin</u> 2,3,6	<u>Tenaga Kerja</u> 1	<u>Hasil Produk</u> 2,5	<u>Kualitas Produk</u> 1-11*	
<b>Element layer</b> (Jenis Produksi)				<u>Single Product</u> 1,3,5,6,8,9,10	<u>Multiproduct</u> 2,4,7, 11*	
<b>Methodology layer</b> (Konsep strategi)				<u>Strategi Reaktif</u> 1-8, 11*	<u>Strategi Proaktif</u> 3,9,10, 11*	
	<b>(Jenis strategi)</b>	<u>Reaktif- Pengerjaan ulang</u> 7,8	<u>Reaktif- Buffer sparepart</u> 6	<u>Reaktif- Batch Size</u> 6	<u>Reaktif- Buffer / safety stock</u> 1,3,4,5, 11*	
					<u>Proaktif - Maintenance</u> 3	<u>Proaktif - Kualiti</u> 9,10, 11*
	<b>(Tujuan strategi)</b>	<u>Fleksibilitas – Responsiveness</u>	<u>Fleksibilitas – Service Level</u> 1,4,5,6	<u>Fleksibilitas – Resource Utilization</u> 2,3,7,8,9,10, 11*	<u>Kestabilan Jadwal Produksi – Ketercapaian rencana produksi</u> 11*	
	<b>(Pendekatan strategi)</b>	<u>Simulasi Dinamis</u> 6	<u>Model Matematika</u> 1-5,7-8	<u>Statistical Process Control</u> 9,10, 11*	<u>Root Cause Analysis</u> 9,10, 11*	
	<b>(Tingkat Kapasitas Produksi)</b>				<u>Konstan</u> 1-10	<u>Fluktuatif</u> 11*

\*11 = Penelitian ini

**Gambar 2.2** Posisi Penelitian dengan Penelitian Sebelumnya

Ketidakpastian proses dikutip dalam studi yang sedang dipertimbangkan sebagai akibat dari kegagalan peralatan atau kegagalan pemasok lapis kedua untuk menyediakan input yang diperlukan. Jika ada pasokan yang cukup pada awal proses, permintaan untuk tahap berikutnya segera terpenuhi. Penundaan, bagaimanapun, terjadi jika tidak ada persediaan dan produksi tidak dapat terjadi. Kurangnya material stok menunjukkan bahwa ada banyak fase berturut-turut dari produksi yang gagal. Tantangan ini menarik karena meskipun permintaan tidak berfluktuasi, ketidakpastian proses memerlukan penempatan stok buffer (Iqbal & Sarkar, 2020; Karim & Nakade, 2019; Puchkova et al., 2020; Sánchez-ramírez et al., 2020; Sarkar, 2019; Strohhecker & Größler, 2020; Taleizadeh et al., 2019; Urlu & Erkip, 2020). Suatu tahap mungkin memiliki cukup banyak pekerjaan yang sedang berjalan untuk menyelesaikannya, tetapi karena ketidakpastian proses, tahap itu mungkin tidak dapat diproduksi. Stok buffer diperlukan untuk mempertahankan fleksibilitas sistem saat keandalan proses produksi rendah (Angkiriwang et al., 2014). Tantangan utamanya adalah menggabungkan karakteristik model penempatan stok penyangga serta berbagai karakteristik masalah ketidakpastian pasokan (Karim & Nakade, 2019; Puchkova et al., 2020; Urlu & Erkip, 2020).

Desain stok penyangga memperhitungkan kebutuhan untuk mencapai rencana produksi selain dibatasi oleh kapasitas penyimpanan yang tersedia di manufaktur. Pencapaian jadwal produksi menunjukkan bahwa tingkat stabilitas jadwal terpenuhi (Dametew et al., 2019; Sun et al., 2020; Woschank et al., 2020). Namun, harus jelas bahwa terlalu mengandalkan strategi buffering sebagai taktik reaktif dapat merugikan dalam jangka panjang. Teknik penyangga biasanya melibatkan lebih sedikit tenaga kerja, risiko, dan kesulitan untuk diterapkan. (Karim & Nakade, 2019; Puchkova et al., 2020; Sánchez-ramírez et al., 2020; Urlu & Erkip, 2020). Seiring dengan waktu dan uang, mengadopsi pendekatan yang lebih proaktif atau didesain ulang memerlukan kepemimpinan yang berkomitmen untuk keuntungan jangka panjang dan kesiapan untuk mengambil risiko yang diperhitungkan dalam jangka pendek. Tetapi manajemen harus didorong untuk mulai memberikan penekanan jangka panjang pada fleksibilitas daripada hanya menggunakan strategi penyangga sebagai reaksi terhadap ketidakpastian (Angkiriwang et al., 2014). Pada akhirnya, manajemen harus terinspirasi untuk mempertimbangkan kemungkinan meningkatkan fleksibilitas rantai pasokan dengan strategi proaktif (Febriana & Hasbullah, 2021; Rucitra & Amna, 2021).

Isu masalah akan gangguan produksi akibat ketidakpastian proses sudah diteliti beberapa penelitian terdahulu. Penelitian lima tahun terakhir menunjukkan bila faktor kualitas produk menjadi topik ketidakpastian proses yang lebih banyak diteliti (Febriana & Hasbullah, 2021; Iqbal & Sarkar, 2020; Karim & Nakade, 2019; Puchkova et al., 2020; Rucitra & Amna, 2021; Sánchez-ramírez et al., 2020; Sarkar, 2019; Strohhecker & Größler, 2020; Taleizadeh et al., 2019; Urlu & Erkip, 2020) termasuk penelitian ini, daripada faktor lain seperti ketersediaan mesin serta, waktu proses (Iqbal & Sarkar, 2020; Puchkova et al., 2020; Sánchez-ramírez et al., 2020) dan hasil produk (Iqbal & Sarkar, 2020; Urlu & Erkip, 2020). Kesamaan posisi penelitian ini dengan penelitian lain selain pada faktor ketidakpastian proses adalah pada jenis produksi dan strategi yang digunakan. Meskipun penelitian terdahulu lebih banyak mempertimbangkan *single product* (Febriana & Hasbullah, 2021; Karim & Nakade, 2019; Puchkova et al., 2020; Rucitra & Amna, 2021; Sánchez-ramírez et al., 2020; Sarkar, 2019; Urlu & Erkip, 2020), namun penelitian menggunakan multiproduk juga sudah pernah dilakukan (Iqbal & Sarkar, 2020; Strohhecker & Größler, 2020; Taleizadeh et al., 2019) seperti penelitian ini. Pada strategi reaktif, penelitian ini mengusulkan *buffer* stok yang juga sudah pernah diteliti sebelumnya (Iqbal & Sarkar, 2020; Karim & Nakade, 2019; Puchkova et al., 2020; Sánchez-ramírez et al., 2020; Sarkar, 2019; Strohhecker & Größler, 2020; Taleizadeh et al., 2019; Urlu & Erkip, 2020). Sedangkan pada strategi proaktif, penelitian ini mengusulkan desain proses ulang kualiti dengan mekanisme seperti pada penelitian (Febriana & Hasbullah, 2021; Rucitra & Amna, 2021). Analisis biaya yang dibutuhkan dalam implementasi strategi juga dibahas dalam penelitian ini sebagai masukan dan pertimbangan untuk manajemen (Iqbal & Sarkar, 2020; Urlu & Erkip, 2020).

Secara khusus, kontribusi utama dan nilai dari penelitian ini yang membedakan dari penelitian lain adalah sebagai berikut:

1. Mengusulkan dua strategi fleksibilitas antara strategi reaktif-*buffer* dan proaktif-kualiti. Strategi proaktif-kualiti dibangun menggunakan pendekatan *statistical process control* (SPC) dengan pareto dan *root cause analysis* dengan *Fault tree analysis* (FTA) sebagai alatnya. Penelitian yang mengkaji penggunaan SPC dan FTA sebagai alat untuk menemukan akar permasalahan terlebih untuk topik kualitas telah dilakukan sebelumnya (Febriana & Hasbullah, 2021; Gachlou et al., 2019; Iriani & Mulyani, 2020; Masykur & Oktora, 2021; Mulyana et al., 2022; Rucitra & Amna, 2021) namun belum ada penelitian yang mengintegrasikannya dengan strategi reaktif. Penelitian (Puchkova et al., 2020)

mengusulkan strategi reaktif-*buffer* dan proaktif-*mainatanance*, namun belum ada penelitian yang secara khusus fokus pada strategi reaktif-*buffer* dengan proaktif-kualiti yang mengkaji pencegahan kualitas buruk.

2. Model simulasi mengakomodir proses rework material dari proses produksi dengan kualitas yang buruk. Pada penelitian sebelumnya mengasumsikan belum mempertimbangkan proporsi dan proses rework produk cacat (Iqbal & Sarkar, 2020; Karim & Nakade, 2019; Puchkova et al., 2020; Sánchez-ramírez et al., 2020; Sarkar, 2019; Strohhecker & Größler, 2020; Taleizadeh et al., 2019; Urlu & Erkip, 2020). Material buruk akan masuk kategori reject dan tidak dipertimbangkan dalam model yang dibangun.
3. Strategi reaktif *buffer* dibangun menggunakan model *Discrete Event Simulation* (DES) *software* Flexim dengan tingkat produksi fluktuatif untuk setiap periodenya. Flexsim adalah salah satu program evaluasi terbaik untuk pemodelan dan simulasi kompleks (Samani et al., 2020). Meskipun penelitian terdahulu yang menggunakan Flexsim telah banyak digunakan, namun masih menggunakan batasan bila kapasitas produksi mesin adalah konstan pada setiap periodenya (Aliyu & Mokhtar, 2021; Bruno et al., 2021; Vrecko et al., 2019). Penggunaan Flexsim selain mengakomodir proses dan tingkat produksi yang fluktuatif, juga mempertimbangkan adanya proses pengerjaan ulang dari produk cacat. Penelitian sebelumnya pernah membahas tentang pelibatan pengerjaan produk cacat, namun baru terakomodir dalam model matematika (Sarkar, 2019; Taleizadeh et al., 2019).
4. Tujuan strategi tidak hanya mengakomodir aspek fleksibilitas namun juga kestabilan jadwal produksi yang ditunjukkan dari tingkat ketercapaian rencana produksi secara optimal. Penelitian ini mengakomodir saran penelitian (Angkiriwang et al., 2014) untuk mencoba menemukan keseimbangan antara ketidakstabilan jadwal produksi dan fleksibilitas rantai pasokan. Hal ini ditunjukkan pada bagaimana variabel *space buffer* dan ketercapaian rencana produksi dipertimbangkan dalam pembangunan model simulasi untuk mendapatkan *buffer* stok optimal. Penelitian yang dikaji belum secara spesifik menjelaskan bagaimana strategi dibangun dapat menjaga kestabilan jadwal produksi (Febriana & Hasbullah, 2021; Iqbal & Sarkar, 2020; Karim & Nakade, 2019; Puchkova et al., 2020; Rucitra & Amna, 2021; Sánchez-ramírez et al., 2020; Sarkar, 2019; Strohhecker & Größler, 2020; Taleizadeh et al., 2019; Urlu & Erkip, 2020)

5. Model dibangun menggunakan sistem produksi multiproduk yang memiliki tingkat produksi fluktuatif. Penelitian dengan jenis produksi multiproduk masih menggunakan asumsi tingkat produksi konstan dalam pembangunan model (Iqbal & Sarkar, 2020; Karim & Nakade, 2019; Puchkova et al., 2020; Sánchez-ramírez et al., 2020; Sarkar, 2019; Strohhecker & Größler, 2020; Taleizadeh et al., 2019; Urlu & Erkip, 2020). Sedangkan pada produksi multiproduk, kompleksitas dan keragaman item yang dikerjakan akan menyebabkan variasi pada tingkat kapasitas produksi dari satu periode ke periode berikutnya (Lü et al., 2021; Mahmoud et al., 2019).

Selain merancang persediaan buffer, studi ini mencoba untuk mencapai keseimbangan antara fleksibilitas sistem produksi multiproduk yang tidak sempurna dari tingkat produksi fluktuatif dalam menghadapi gangguan produksi dengan ketidakstabilan penjadwalan yang berpengaruh pada ketercapaian rencana produksi. Meskipun topik ketidakstabilan jadwal telah dibahas secara luas dalam literatur, namun penelitian masih terus dilakukan. Mengakomodasi fleksibilitas produksi dapat mengindikasikan bila sistem memiliki gangguan jadwal produksi (Angkiriwang et al., 2014).

Area penting untuk penelitian adalah mencoba menyeimbangkan fleksibilitas rantai pasokan dengan ketidakstabilan jadwal menggunakan model kuantitatif atau studi empiris. Stok buffer yang didesain akan diberikan batasan dalam mengakomodir keseimbangan antara fleksibilitas yang mempertimbangkan kapasitas area buffer dan ketidakstabilan jadwal dalam mencapai rencana produksi. Strategi proaktif juga dibangun dalam penelitian ini dalam upaya untuk melakukan pencegahan atas sumber masalah gangguan produksi yang terjadi selama ini. Belum ada studi yang tersedia mengenai strategi reaktif-proaktif dari sistem produksi multiproduk yang tidak sempurna dengan tingkat produksi fluktuatif dalam menghadapi gangguan produksi akibat ketidakpastian proses.

## **2.2 Kajian Deduktif**

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan yang berhubungan dengan penelitian ini. Pada sub bab ini akan dijelaskan beberapa penelitian sebelumnya untuk memposisikan penelitian yang dilakukan saat ini.

### 2.1.1 Rencana Produksi

Kegiatan penting untuk perusahaan manufaktur adalah perencanaan produksi. Rencana produksi memberikan kerangka kerja strategis untuk produksi untuk memenuhi permintaan setiap periode selama tahun keuangan. Rencana produksi yang sempurna dilaksanakan mingguan, bulanan, triwulanan atau bahkan bertahun-tahun tergantung pada permintaan produk. Penjadwalan produksi mengalokasikan sumber daya produksi yang tersedia dari waktu ke waktu untuk memenuhi beberapa kriteria seperti kualitas, waktu pengiriman, permintaan dan penawaran. Masalah produksi meliputi masalah perencanaan kapasitas mesin, masalah penjadwalan produksi, masalah penjadwalan penyimpanan dan pengangkutan (M. F. Khan et al., 2021). Untuk memproduksi berbagai produk dalam memenuhi permintaan yang berubah, perencanaan produksi multi-produk memerlukan penetapan tidak hanya jumlah barang yang akan diproduksi tetapi juga sifatnya yang tepat (Csontos et al., 2022; Z. Li et al., 2021; Vanzetti et al., 2021). Kompleksitas dan keragaman item yang dikerjakan akan menyebabkan variasi pada kapasitas perencanaan produksi dari satu periode ke periode berikutnya (Lü et al., 2021; Mahmoud et al., 2019)

### 2.1.2 Sistem Manufaktur Multiproduk

Dalam memastikan ketepatan metode pengukuran performa baru dalam sistem produksi multiproduk, karakteristik sistem harus dianalisis. Berdasarkan kajian literatur sebelumnya menjelaskan karakteristik utama sistem yang disimpulkan sebagai berikut (X. Li et al., 2021).

#### 1. Kompleksitas Sistem Produksi

Sistem produksi multiproduk terdiri dari beragam peralatan manufaktur, macam produk, dan sebagainya. Sistem produksi kompleks ditandai dengan lebih banyaknya strategi produksi yang diterapkan dibandingkan dengan sistem manufaktur produk tunggal (Vogel-Heuser et al., 2014; Weber & Fayed, 2010; Yu & Greene, 2009).

#### 2. Keragaman *Bottleneck*

Sistem produksi yang menghasilkan berbagai produk memiliki hambatan produksi yang berbeda seperti mesin, bahan baku, spesifikasi, kecepatan produksi, dan sejenisnya (Nakata et al., 1999; Zhao & Li, 2015). Pada lini produksi yang sama, *bottleneck* yang berbeda mungkin muncul karena perubahan lingkungan manufaktur, jenis produk, dan status peralatan (Rofstad, 2000). Dengan demikian, *bottleneck* dalam sistem produksi

multiproduk adalah variabel yang dapat memberi efek buruk pada aliran produksi (Hoshino et al., 2010).

### 3. Keanekaragaman Spesifikasi Produk

Dalam sistem produksi multiproduk, produk dengan spesifikasi berbeda termasuk warna, ukuran, dan atribut lainnya harus diproduksi dalam satu lini produksi (X. Li et al., 2021). Spesifikasi produk yang cukup bervariasi tersebut memberikan dampak keberagaman dalam *input* dan proses produksi.

#### 2.1.3 Gangguan Produksi

gangguan produksi didefinisikan sebagai segala bentuk gangguan selama proses produksi, termasuk pemadaman listrik, kegagalan alat, kerusakan mesin, kekurangan material, atau segala jenis gangguan buatan manusia atau tidak disengaja (Paul et al., 2015, 2017). Gangguan produksi dapat mempengaruhi keuangan organisasi dan reputasi organisasi di pasar dapat menderita karena kekurangan barang dan permintaan pelanggan yang tidak terpenuhi selama periode ini. Untuk menghindari kerugian finansial dan reputasi, organisasi harus memiliki rencana pemulihan untuk jenis kejadian yang tak terhindarkan ini (Paul et al., 2015). Organisasi dapat menggunakan rencana seperti itu pada saat dibutuhkan dan dengan cepat mengurangi efek gangguan. Aspek lain dari sistem produksi adalah dampaknya terhadap lingkungan dan kehidupan manusia. Inilah sebabnya mengapa gangguan produksi baru-baru ini menarik minat para peneliti. Selain itu, keandalan sistem sangat terkait dengan gangguan produksi, dan jika sistem lebih andal, kemungkinan untuk berpindah dari in-control ke out-of-control jarang terjadi, sehingga menghasilkan produksi yang kurang sempurna (Kim et al., 2018). Biasanya, produk tidak sempurna yang ditolak dikerjakan ulang untuk mendapatkan kualitas sempurna atau dibuang. Membuang produk yang ditolak lebih berbahaya bagi lingkungan dan harus dihindari (Iqbal & Sarkar, 2020). Dalam situasi kehidupan nyata, sistem produksi juga menghasilkan beberapa produk cacat karena keterbatasan sistem. Gangguan produksi karena peristiwa yang tidak dapat dihindari seperti bencana alam atau kerusakan mesin tidak dapat diprediksi sebelumnya. Namun, ketika sistem produksi mengalami gangguan, rencana semula direvisi dan diperbarui dengan cepat untuk meringankan dampak gangguan tersebut (Iqbal & Sarkar, 2020). Dalam sistem manufaktur, tidak mengherankan jika masalah gangguan dapat muncul kapan saja selama waktu operasional manufaktur. Hampir setiap sistem manufaktur mungkin menghadapi gangguan selama waktu produksi dan pulih dari

gangguan; itu adalah tugas yang sulit dan berat bagi pabrikan. Biasanya, sangat sulit menyusun rencana pemulihan setelah terjadinya gangguan. Oleh karena itu, produsen harus memiliki rencana pemulihan sebelum terjadi gangguan. Ketika gangguan terjadi, butuh waktu untuk sampai ke titik di mana produsen dapat memulai produksi lagi. Dengan demikian, sistem kehilangan waktu karena proses pemulihan ini. Kadang-kadang sistem bahkan menghadapi gangguan lain. Perusahaan harus menjamin bahwa produksi berjalan lancar dan kinerja produksi dipantau secara teratur untuk memastikan bahwa produk memenuhi kriteria yang dibutuhkan dalam hal kuantitas dan jenis produk. Pengendalian produksi memainkan peran sentral dalam perencanaan dan pengendalian produksi multiproduk dalam menghadapi gangguan produksi (Joppen et al., 2019). Aliran produksi mempunyai peran penting dalam ketercapaian rencana produksi multi-produk. Aliran produksi yang lancar dari gangguan produksi membantu perusahaan dalam memastikan bahwa produksi terjadi secara efisien dan barang diproduksi dalam jumlah dan kualitas seperti yang direncanakan.

#### 2.1.4 Ketidakpastian Proses

Ketidakpastian dianggap sebagai faktor utama di balik perlunya fleksibilitas rantai pasok. Kami mengklasifikasikan ketidakpastian dalam konteks rantai pasokan sebagai ketidakpastian *upstream (supply) uncertainty, internal (process) uncertainty, and downstream (demand) uncertainty*. Ketidakpastian proses berkorelasi dengan karakteristik probabilistik ketersediaan mesin, hasil, kualitas, dan jangka waktu pemrosesan. Ketidakstabilan dalam ketersediaan modal kerja, masalah dengan teknologi informasi, dan masalah ketenagakerjaan hanyalah beberapa contoh elemen yang dapat menyebabkan ketidakpastian dalam operasi internal. Tingkat fleksibilitas yang dibutuhkan meningkat karena proses internal menjadi lebih ambigu. Misalnya, buffer kapasitas diperlukan untuk mempertahankan fleksibilitas sistem saat keandalan proses produksi rendah (Angkiriwang et al., 2014).

#### 2.1.5 Strategi Fleksibilitas

Pembahasan strategi fleksibilitas dibangun merujuk penelitian dari (Angkiriwang et al., 2014) yang membahas klasifikasi dan tujuan dari strategi fleksibilitas. Rantai pasokan dapat mengatasi ketidakpastian dengan bersikap fleksibel. Beberapa strategi untuk meningkatkan fleksibilitas telah ditelaah oleh berbagai penulis, sebagaimana disebutkan dalam tinjauan literatur. Fleksibilitas dapat berupa pendekatan proaktif atau reaktif.

### 1. Strategi Reaktif

Pada dasarnya, perusahaan bereaksi terhadap ketidakpastian daripada mencoba mengubahnya dalam upaya mempertahankan tingkat layanan pelanggan atau terus beroperasi secara efisien, misalnya dengan memanfaatkan kapasitas yang tersedia dengan lebih baik. Stok buffer adalah salah satu cara untuk menghadapi ketidakpastian dengan memiliki kapasitas yang fleksibel. Namun, menyesuaikan tingkat kapasitas secara dinamis seringkali mahal atau bahkan tidak mungkin. Oleh karena itu, untuk mencapai fleksibilitas, bisnis dapat menetapkan kapasitas lebih tinggi dari permintaan rata-rata untuk mencegah kekurangan parah selama periode puncak. Stok pengaman dapat diganti atau digabungkan dengan buffer kapasitas. Strategi reaktif adalah tindakan yang diambil setelah terjadi masalah, kemudian mengambil langkah untuk memulihkan kondisi yang tidak pasti akibat risiko (Alikhani et al., 2021).

### 2. Strategi Proaktif

Melalui perancangan ulang produk, proses, dan jaringan rantai pasokan secara proaktif adalah jenis strategi yang digunakan bisnis untuk meningkatkan fleksibilitas rantai pasokan. Desain ulang alat atau prosedur inspeksi kualitas dapat menjadi cara untuk mencegah permasalahan rantai pasokan terjadi. Strategi proaktif adalah strategi pencegahan sebelum terjadi risiko dengan mengambil tindakan yang tepat (Samani et al., 2020).

Meskipun mencapai tingkat fleksibilitas rantai pasokan yang memadai bisa jadi mahal, hal itu akan bermanfaat bagi bisnis yang beroperasi di lingkungan yang tidak pasti untuk melakukannya. Fleksibilitas dianggap sebagai kapasitas sistem untuk menghadapi perubahan internal dan eksternal. Tujuan strategi fleksibilitas yang ingin dicapai oleh perusahaan mencakup sebagai berikut.

#### 1. *Service Level*

Kapasitas perusahaan untuk memenuhi permintaan konsumen diukur dari tingkat layanannya. Biasanya, ini dinyatakan sebagai persentase permintaan pelanggan yang dipenuhi tanpa backlog. Untuk mempertahankan tingkat layanan yang tinggi ketika permintaan dan penawaran tidak pasti, diperlukan struktur rantai pasokan yang fleksibel.

#### 2. *Resource Utilization*

Persentase kapasitas sumber daya yang digunakan untuk keluaran produktif dikenal sebagai pemanfaatan sumber daya. Pemanfaatan sumber daya tingkat tinggi seringkali sulit dicapai dalam pengaturan pengoperasian yang tidak stabil. Namun, ada peluang untuk lebih efektif menggunakan sumber daya di sepanjang rantai pasokan ketika fleksibilitas rantai pasokan yang tepat tersedia.

### 3. *Responsiveness*

Perusahaan harus memiliki kemampuan untuk tanggap agar dapat menjalankan bisnisnya. Hanya jika terdapat fleksibilitas yang cukup di seluruh rantai pasokan, responsivitas dapat dicapai dalam lingkungan yang tidak pasti.

### 4. *Kestabilan Rencana Produksi*

Meskipun telah banyak dibahas dalam literatur sejak tahun 1970-an, ketidakstabilan jadwal masih menjadi topik hangat saat ini. Bisnis dengan tingkat fleksibilitas yang tinggi tidak akan memaksakan aturan seperti "jadwal beku" yang berlarut-larut dan "jumlah pesanan minimum" yang signifikan. Namun, mengakomodasi pelanggan dapat mengakibatkan gangguan jadwal produksi yang signifikan. Jadwal ketidakstabilan adalah istilah yang biasanya digunakan untuk menggambarkan gangguan tersebut. Studi masa depan harus fokus pada model kuantitatif atau studi empiris yang berupaya menyeimbangkan fleksibilitas rantai pasokan dan ketidakstabilan jadwal.

#### 2.1.6 *Discrete Event Simulation (DES)*

Penjelasan terkait *Discrete Event Simulation (DES)* merujuk literatur dari (Aliyu & Mokhtar, 2021). *Discrete Event Simulation (DES)* adalah pendekatan yang paling umum digunakan untuk pengembangan sistem simulasi. Elemen sistem dimodelkan sebagai objek atribut (Azadeh et al., 2015). Manfaat utama dari DES adalah kemudahan penggunaan, kemampuan untuk menyertakan elemen stokastik, memantau komponen perangkat tertentu, dan melakukan beberapa langkah kinerja (Azadeh et al., 2015). Istilah DES mengacu pada prosedur pemodelan di mana hanya perubahan dalam status sistem yang digambarkan. Pada dasarnya, ini menghasilkan garis kejadian yang mempengaruhi status skema (Alrabghi & Tiwari, 2016). Program DES tradisional memungkinkan simulasi visual interaktif di mana penyesuaian perangkat dianimasikan, dan pengguna dapat berinteraksi selama proses simulasi. Manfaat simulasi virtual digital mencakup pemahaman model yang lebih dalam melalui visualisasi, pengujian virtual, peningkatan

konektivitas ke semua pemangku kepentingan, dan mempromosikan verifikasi model (Bruno et al., 2021).

### 2.1.7 *FlexSim Simulation*

FlexSim adalah software komersial yang dikembangkan oleh FlexSim simulation Software Production Company (US). Ini adalah campuran pemodelan, kecerdasan buatan, analisis citra komputer 3D, dan teknologi pemrosesan data (Patil et al., 2019). Dengan kemampuan analitik yang kuat, FlexSim dapat dilakukan sesuai dengan berbagai kebutuhan penelitian simulasi untuk menangani sistem manajemen rantai pasokan sumber daya dan parameter pengoptimalan utama. Ini juga merupakan cara yang mudah, cepat, dan andal untuk membantu pengambilan keputusan. Simulasi telah banyak digunakan sebagai alat penting untuk analisis dan pengujian sistem di banyak bidang. Produksi simulasi sistem logistik modern melalui simulasi bertujuan untuk memahami berbagai statistik dan kinerja dinamis yang mengangkut material dan menyimpan proses dinamis (Kucukaltan et al., 2016). Langkah-langkah dasar yang terlibat dalam perangkat lunak FlexSim adalah menentukan tata letak model dan prosedur logistik, mengatur parameter, menyusun dan menjalankan model, menghasilkan hasil, dan menganalisis keluaran. Simulasi FlexSim terutama digunakan di banyak bidang, seperti logistik, pengoptimalan gudang, dan desain (Gelenbe & Guennouni, 1991).

### 2.1.8 *Statistical Process Control (SPC)*

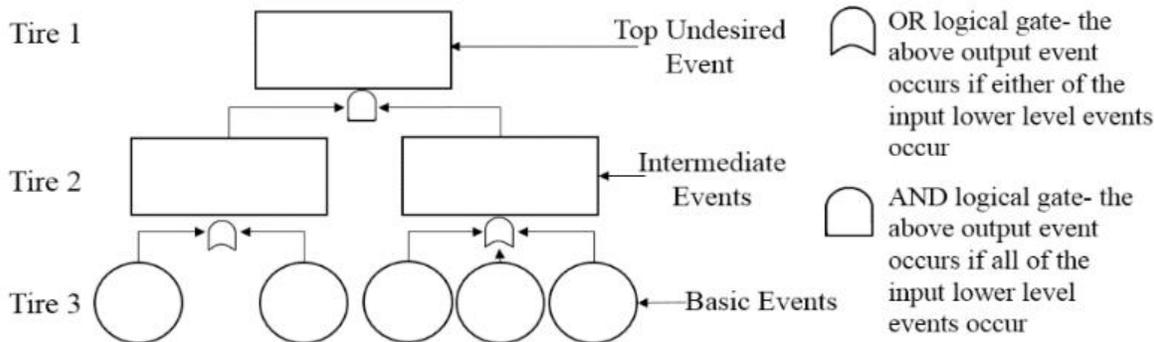
Alat dan teknik *Statistical Process Control (SPC)* yang digunakan untuk meningkatkan kualitas dikenal sebagai alat dan teknik manajemen kualitas. Alat dan teknik ini digunakan untuk memantau dan mengontrol proses serta memperbaiki atau mendesain ulang proses atau produk (Mengesha, Yonatan; Singh, Ajit Pal; Amedie, 2013). Alat dan teknik yang paling umum digunakan dalam tujuan kualitas adalah *fishbone diagram / Cause and effect diagram, pareto analysis, control charts, scatter diagram, control charts, histogram, flowchart*. Alat-alat tersebut juga dikenal sebagai tujuh alat kualitas dasar, yang digunakan untuk meningkatkan dan memantau tujuan kualitas. Prosedur penerapan sistem mutu di organisasi mana pun sangat sederhana dan banyak organisasi sudah mengerjakannya, karena memberikan keuntungan luar biasa dalam segala hal (Duffuaa & Ben-Daya, 1995; Raman & Basavaraj, 2019a). Beberapa di antaranya adalah meningkatkan tingkat kepuasan pelanggan, mengurangi variasi produk, perbaikan dalam proses manufaktur, peningkatan produktivitas, mengurangi aktivitas pengerjaan ulang, peningkatan

kinerja keuangan, peningkatan pangsa pasar, meningkatkan aktivitas komunikasi internal atau eksternal, dan tepat waktu pengiriman produk. Dalam produksi, kita dapat menggunakan teknik Pareto untuk menganalisis kinerja produk atau proses. Analisis Pareto adalah cara di mana kita dapat mempelajari penyebab masalah di organisasi mana pun sehingga dapat dianalisis dan setelah itu perbaikan dapat dilakukan (Raman & Basavaraj, 2019b). Ini didasarkan pada prinsip 80/20, yang mengatakan bahwa sekitar 20 persen skor risiko tertinggi menghasilkan sekitar 80 persen masalah dalam prosesnya (Richter & Fahlund, 2005).

### 2.1.9 *Root Cause Analysis* (RCA) dan *Fault Tree Analysis* (FTA)

Berbagai metode telah diusulkan untuk mengidentifikasi penyebab kejadian yang tidak diinginkan dalam suatu proses atau produk untuk mencegahnya terjadi kembali. *Root Cause Analysis* adalah salah satu pendekatan yang dikembangkan untuk memenuhi tujuan ini (Hsu et al., 2020). Teknik yang paling umum diterapkan untuk mengeksekusi RCA adalah alat *Fault Tree Analysis* (FTA) yang melakukan penyelidikan deduktif (Sklet, 2004). Penelitian sebelumnya menjelaskan bahwa *Fault Tree Analysis* (FTA) adalah pendekatan analisis deduktif untuk menyelesaikan kejadian yang tidak diinginkan menjadi penyebabnya (Sunaryo & Hamka, 2017). FTA adalah analisis melihat ke belakang, melihat ke belakang penyebab dari suatu peristiwa tertentu. Logika bertahap khusus digunakan dalam proses, dan simbol dan diagram logika khusus digunakan untuk mengilustrasikan hubungan peristiwa. FTA bertujuan untuk mengidentifikasi secara mendalam penyebab kegagalan; untuk mengidentifikasi kelemahan dalam suatu sistem; untuk menilai desain yang diusulkan untuk keandalan atau keamanannya; untuk mengidentifikasi efek dari kesalahan manusia; untuk memprioritaskan kontributor kegagalan; untuk mengidentifikasi pemutakhiran yang efektif untuk suatu sistem; untuk mengukur probabilitas kegagalan dan kontributor; dan untuk mengoptimalkan pengujian dan pemeliharaan (Sunaryo & Hamka, 2017). Secara umum diakui bahwa FTA dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang hubungan antar peristiwa daripada pendekatan RCA lainnya seperti *Fishbone* Diagram dan *5Why Analysis* (Al-Humaidi & Hadipriono Tan, 2010; Burhan, 2010; Shahhosseini et al., 2018). *Fault Tree Analysis* (FTA) terdiri dari beberapa tingkatan. Seperti yang ditunjukkan pada contoh di Gambar 2.3 (Hsu et al., 2017), kejadian yang tidak diinginkan ada di puncak pohon. Peristiwa perantara yang memicu peristiwa yang tidak diinginkan terletak di bagian tengah pohon, dan di bagian bawah pohon terdapat peristiwa utama. Selain itu, hubungan logis antar peristiwa ditunjukkan oleh simbol

gerbang logis tertentu. Gerbang logika AND menunjukkan bahwa peristiwa di tingkat di atas akan dipicu ketika semua peristiwa di tingkat di bawah terjadi. Secara berbeda, gerbang-OR logis berarti bahwa jika salah satu kejadian di ban di bawah terjadi, kejadian di ban di atas akan terpicu.



**Gambar 2.3** Struktur Pohon Kesalahan FTA

Penentuan minimal cut set menggunakan aturan dari *Boolean Algebra* seperti pada gambar berikut (Averett, 1988).

Rules of Boolean Algebra		
Mathematical Notation	Engineering Notation	Designation
$X \cap Y = Y \cap X$	$X \cdot Y = Y \cdot X$	Commutative Law
$X \cup Y = Y \cup X$	$X + Y = Y + X$	
$X \cap (Y \cap Z) = (X \cap Y) \cap Z$	$X \cdot (Y \cdot Z) = (X \cdot Y) \cdot Z$	Associative Law
$X \cup (Y \cup Z) = (X \cup Y) \cup Z$	$X + (Y + Z) = (X + Y) + Z$	
$X \cap (Y \cup Z) = (X \cap Y) \cup (X \cap Z)$	$X \cdot (Y + Z) = X \cdot Y + X \cdot Z$	Distributive Law
$X \cup (Y \cap Z) = (X \cup Y) \cap (X \cup Z)$	$X + (Y \cdot Z) = (X + Y) \cdot (X + Z)$	
$X \cap X = X$	$X \cdot X = X$	Idempotent Law
$X \cup X = X$	$X + X = X$	
$X \cap (X \cup Y) = X$	$X \cdot (X + Y) = X$	Law of Absorption
$X \cup (X \cap Y) = X$	$X + (X \cdot Y) = X$	
$X \cap \bar{X} = \phi$	$X \cdot \bar{X} = \phi$	Complementation
$X \cup \bar{X} = \Omega = I$	$X + \bar{X} = \Omega = I$	
$\overline{X \cap Y} = \bar{X} \cup \bar{Y}$	$\overline{X \cdot Y} = \bar{X} + \bar{Y}$	de Morgan's Rule
$\overline{X \cup Y} = \bar{X} \cap \bar{Y}$	$\overline{X + Y} = \bar{X} \cdot \bar{Y}$	
$\phi \cap X = \phi$	$\phi \cdot X = \phi$	Operations with $\phi$ and $\Omega$
$\phi \cup X = X$	$\phi + X = X$	
$\Omega \cap X = X$	$\Omega \cdot X = X$	
$\Omega \cup X = \Omega$	$\Omega + X = \Omega$	
$\bar{\phi} = \Omega$	$\bar{\phi} = \Omega$	
$\bar{\Omega} = \phi$	$\bar{\Omega} = \phi$	
$X \cup (\bar{X} \cap Y) = X \cup Y$	$X + (\bar{X} \cdot Y) = X + Y$	Other relationships
$\bar{X} \cap (X \cup Y) = \bar{X} \cap Y$	$\bar{X} \cdot (X + Y) = \bar{X} \cdot Y$	

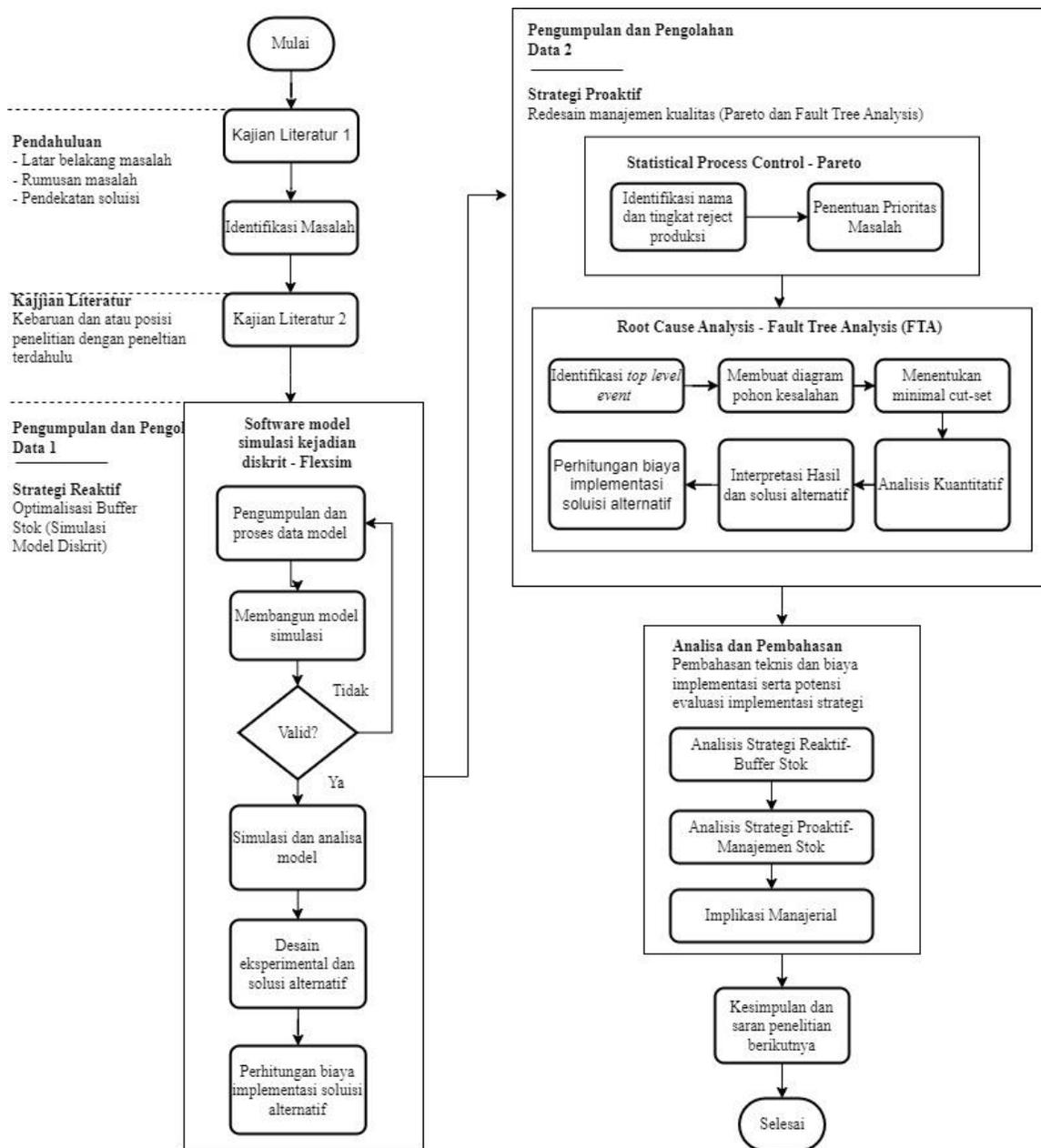
$\phi$  is the empty or null set which is equal to zero  
 $\Omega$  or  $I$  is the universal set which is equal to one

**Gambar 2.4** Aturan Boolean Algebra

## BAB III

### METODE PENELITIAN

Bab ini memberikan penjelasan terkait tahapan penelitian yang mencakup cara pengumpulan dan analisis data untuk membangun strategi fleksibilitas dalam mengelola ketercapaian rencana produksi multiproduk terhadap gangguan produksi dari ketidakpastian proses. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah yang tergambar pada gambar berikut.



**Gambar 3.1** Alur Proses Penelitian

### 3.1 Alur Penelitian

Berdasarkan Gambar 3.1, prosedur penelitian dalam setiap tahapan dijelaskan sebagai berikut.

#### 3.1.1 Pendahuluan

Kajian literatur awal dilakukan untuk menganalisis informasi dasar terkait industri manufaktur multiproduk yang mengalami gangguan produksi akibat ketidakpastian rantai pasok. Analisa gap dilakukan dari literatur yang dikaji untuk mengidentifikasi dan mendefinisikan masalah yang akan diteliti lebih lanjut.

#### 3.1.2 Kajian Literatur

Kajian literatur 2 pada tahap ini menganalisis posisi penelitian ini terhadap penelitian terdahulu terkait strategi yang dibangun dalam menghadapi dan menyesuaikan gangguan produksi yang terjadi akibat ketidakpastian proses. Tahap ini memaparkan nilai dan kontribusi yang diusulkan dalam penelitian ini.

#### 3.1.3 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Tahap ini terbagi menjadi dua macam dalam mengakomodir pengumpulan dan pengolahan data pada strategi reaktif dan proaktif.

**Tabel 3.1** Kebutuhan Data Penelitian

Jenis Strategi	Nama Data	Tujuan Data	Jenis Data	Metode Pengumpulan Data	Sumber Data	Keterangan
Reaktif	Alur proses produksi	Data input model simulasi	Primer	Observasi	Dept. PPIC, Produksi	Sistem produksi
Reaktif	Tingkat kapasitas produksi	Data input model simulasi	Sekunder	Data Laporan Perusahaan	Dept. PPIC, Produksi	Sistem produksi
Reaktif	Kapasitas area buffer	Pertimbangan Alternatif Solusi	Primer	Observasi	Dept. PPIC	Area Penyimpanan <i>work in process</i> (WIP) Rol dan Sheet
Proaktif	Jenis dan tingkat masalah kualitas/reject produksi	Data input Pareto	Sekunder	Data Laporan Perusahaan	Dept. QC	

Jenis Strategi	Nama Data	Tujuan Data	Jenis Data	Metode Pengumpulan Data	Sumber Data	Keterangan
Proaktif	Potensial penyebab masalah kualitas/reject utama	Data input FTA	Primer	Diskusi Grup	Dept. QC, PPIC, Produksi	Proses data bergantung hasil Pareto

Pada strategi reaktif, alur penelitian memaparkan tahapan dalam proses simulasi model menggunakan software Flexim dalam menentukan buffer stok optimal. Langkah dalam model simulasi merujuk penelitian terdahulu (Amalia & Cahyati, 2020). Data set model yang mencakup tingkat produksi selama 30 periode terbaru pada setiap mesin merupakan data sekunder historis yang akan diolah dalam simulasi. Setelah data didapatkan, data tersebut akan diolah pada software FlexSim 21.0 untuk digunakan sebagai dasar dalam menentukan waktu proses dalam struktur model untuk mendapatkan model yang lebih representatif. Validasi model merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui apakah data yang diperoleh sudah sesuai dengan sistem yang sebenarnya. Verifikasi model adalah proses pemeriksaan apakah logika operasional model cocok dengan logika konseptual. Jika ini tidak valid, maka pengambilan data dan penyesuaian model simulasi harus dilakukan kembali. Setelah melakukan validasi dengan uji rata – rata, variansi dan chi-square, model akan dijalankan dan dianalisis. Hasil simulasi, yang akan menjadi dasar untuk menentukan rancangan percobaan dan pemilihan alternatif. Hasil ini juga menunjukkan analisa lokasi yang paling tepat untuk diberikan buffer. Penentuan jumlah buffer optimal dilakukan pada eksperimen desain alternatif. Beberapa eksperimen desain alternatif ditunjukkan untuk memecahkan masalah sistem atau meningkatkan kinerja sistem. Alternatif yang akan dipilih harus memiliki signifikansi yang lebih besar daripada pilihan lainnya. Menentukan alternatif desain eksperimen terbaik yang dapat memecahkan masalah sistem atau meningkatkan kinerja sistem. Pertimbangan dalam penentuan alternatif terbaik adalah merujuk kapasitas area buffer dan tingkat ketercapaian rencana produksi dalam 30 periode. Setelah mendapatkan hasil berdasarkan desain dan analisis eksperimental, dapat ditarik kesimpulan berdasarkan temuan alternatif yang memecahkan masalah dalam gangguan produksi berupa stok buffer optimal.

Pengumpulan dan pengolahan data pada strategi proaktif merujuk prosedur pendekatan *fault tree analysis* (FTA) dari penelitian sebelumnya (Baig et al., 2013). Fault tree analysis (FTA) merupakan alat dalam *root cause analysis* (RCA). Penggunaan pendekatan ini ditujukan untuk menentukan akar masalah dari buruknya kualitas produk yang dipasok dalam aliran produksi.

Sebelum melakukan pengolahan dan analisa menggunakan FTA, penelitian akan melakukan identifikasi prioritas masalah kualitas dengan alat *Statistical Process Control* (SPC) menggunakan Pareto. Masalah kualitas yang memiliki presentase 20% teratas pada hasil Pareto akan menjadi dasar pembuatan FTA dalam menelusuri akar penyebab permasalahan kualitas. Selain akar masalah, analisa pendekatan ini ditujukan untuk mengetahui bagian produksi mana yang tepat untuk dilakukan penanganan untuk mencegah adanya kualitas buruk pada produk yang dihasilkan. Batas-batas kepentingan ditentukan dalam langkah awal di mana analisis harus dilakukan bersama berdasarkan permasalahan sistem yang terjadi. Langkah berikutnya adalah mentukan masalah yang akan dibuat analisisnya berdasarkan isu yang terjadi dalam sistem, dalam hal ini adalah buruknya kualitas produk dari hasil prioritas masalah utama pada pengolahan Pareto. Identifikasi peristiwa dan kondisi yang mengarah ke peristiwa teratas pohon kesalahan dilakukan untuk selanjutnya mengeksplor setiap cabang dalam tingkat detail yang berurutan. Identifikasi peristiwa dan kondisi yang mengarah ke peristiwa dilakukan pada pada tingkat berikutnya atau bawahnya secara berturut-turut hingga kerangka Fault tree selesai dieksplor. Menganalisa pohon kesalahan secara utuh berdasarkan kombinasi kejadian - kejadian yang berkontribusi pada kejadian puncak. Langkah selanjutnya adalah identifikasi potensi kegagalan dependen yang penting dan menyesuaikan model dengan tepat. Hal ini perlu mempelajari kejadian dan menemukan ketergantungan di antara kejadian yang dapat menyebabkan satu atau beberapa kejadian dan kondisi terjadi secara bersamaan. Analisis kuantitatif dilakukan sebagai dasar dalam menentukan kondisi dimana sistem paling berpotensi bahaya dan tempatkan tindakan dan rekomendasi yang sesuai untuk mengatasi risiko tersebut.

#### 3.1.4 Analisis dan Pembahasan

Tahap ini akan memberikan diskusi terkait hasil dari peneltian yang telah didapatkan. Diskusi dan pembahasan dalam tahap ini mencakup bagaimana implementasi strategi reaktif-buffer dan proaktif-kualiti secara teknis dan potensial biaya yang dibutuhkan. Analisa implikasi manajerial dibahas berdasarkan strategi yang diusulkan juga dibahas dalam tahap ini.

#### 3.1.5 Kesimpulan dan Saran Penelitian Berikutnya

Kesimpulan dan saran menjadi bagian penutup dari peneitian ini. Kesimpulan ini akan menjawab secara jelas terkait bagaimana menyiapkan strategi produksi multi produk dalam menghadapi

potensi gangguan produksi akibat ketidakpastian proses. Kesimpulan ini dapat dijadikan sebagai dasar dalam pengembangan manajemen perusahaan menyesuaikan ketidakpastian yang terjadi dalam rantai pasok. Variabel yang dapat dikembangkan lebih luas maupun batasan yang terdapat dalam penelitian ini akan diulas sebagai saran penelitian berikutnya.

### **3.2 Subjek dan Objek Penelitian**

Studi kasus pada salah satu perusahaan multiproduk dari industri kertas tisu di Indonesia dilakukan untuk menguji model dan membangun strategi reaktif-proaktif dalam permasalahan gangguan produksi dari ketidakpastian proses yang terjadi pada industri manufaktur global. Subjek dari penelitian ini adalah sistem produksi multiproduk pada perusahaan industri kertas dan objek penelitiannya adalah ketercapaian rencana produksi secara jumlah kuantiti produk dan akurasi jenis produk. Ketidakpastian rantai pasok pada dasarnya mencakup ketidakpastian pasok, proses dan permintaan, namun ruang lingkup dalam penelitian ini adalah membahas ketidakpastian proses.

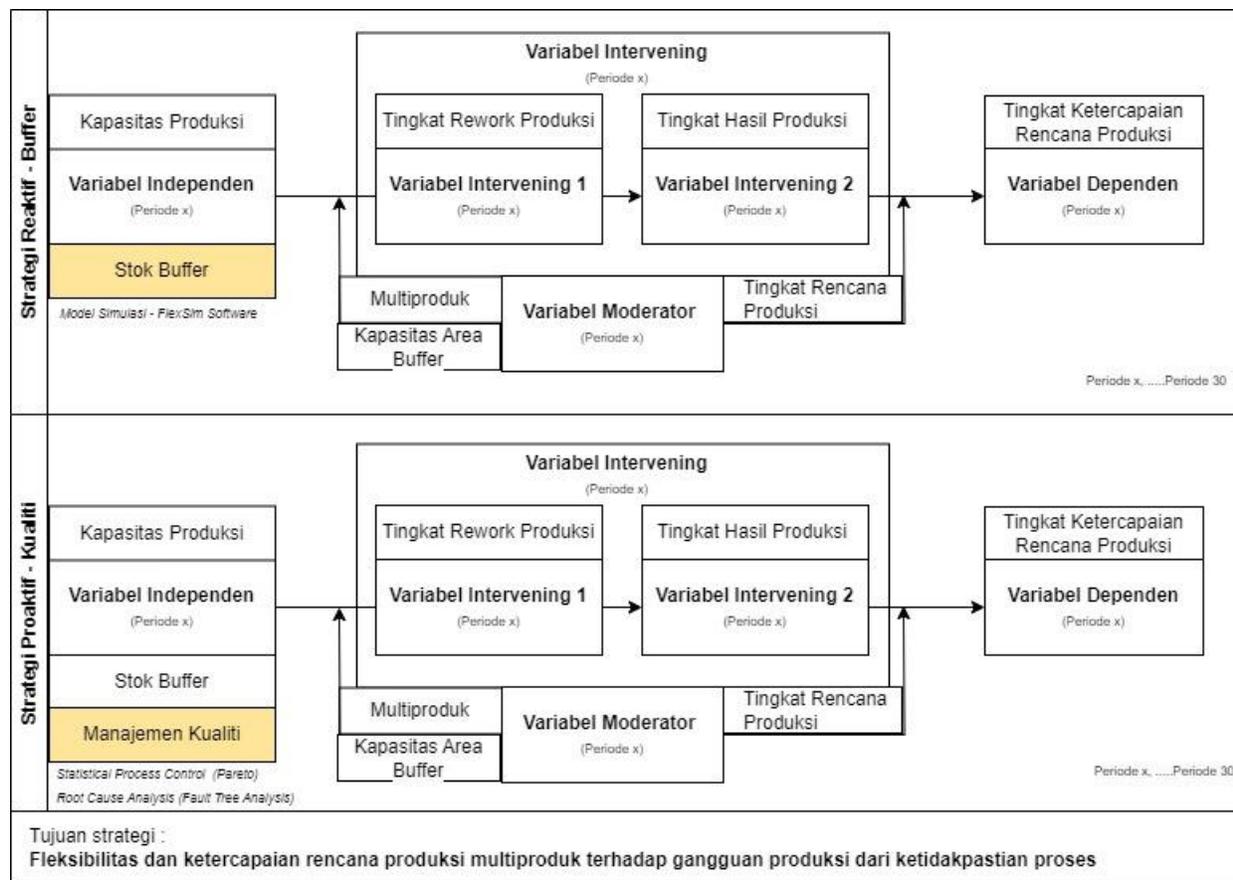
### **3.3 Populasi dan Sampel**

Populasi penelitian ini mencakup industri manufaktur dengan sistem multiproduk, sedangkan sampel dari penelitian ini adalah salah satu industri manufaktur multiproduk yang bergerak pada kertas tisu.

### **3.4 Variabel dan Definisi Operasional**

Hubungan variabel dalam penelitian ini dibangun tidak hanya mencakup variabel dependen dan independen, namun melibatkan variabel intervening dan moderator. Variabel dependen penelitian ini adalah tingkat ketercapaian rencana produksi dari model simulasi selama 30 periode yang didapatkan dari variabel antara tingkat rework material dan tingkat hasil produksi pada masing periode. Variabel dependen tersebut dibangun dari simulasi model diskrit dengan variabel independen adalah tingkat kapasitas produksi yang fluktuatif selama 30 periode. Implementasi strategi reaktif stok buffer dan strategi proaktif manajemen kualiti menjadi tambahan pada variabel independen dalam memberi hubungan dan penanganan terhadap gangguan produksi dari ketidakpastian proses. Peran strategi fleksibilitas tersebut dalam sistem sebagai variabel independen dapat diperkuat dan atau diperlemah oleh variabel moderator berupa kapasitas area

buffer dan tingkat rencana produksi. Penelitian yang dibangun dapat memberi masukan untuk industri manufaktur global dalam menghadapi ketidaktercapaian rencana produksi maupun utilisasi sumberdaya akibat adanya ketidakpastian proses.



**Gambar 3.2** Hubungan Variabel Penelitian

Definisi variabel untuk masing item dijelaskan sebagai berikut:

1. Kapasitas produksi

Tingkat kemampuan maksimal melakukan produksi dengan satuan bal per minggu. Satuan tersebut dapat dikonversi menjadi satuan waktu sebagai input data dalam simulasi model. Kapasitas produksi adalah variabel independent yang ada pada strategi reaktif dan proaktif. Besar tingkat produksi antar periode adalah fluktuatif yang dipengaruhi oleh adanya jenis produksi multiproduk sebagai variabel moderator.

2. Stok buffer

Stok buffer adalah stok yang disediakan untuk penyangga dalam aliran pasokan material produksi sebagai bentuk dari implementasi strategi reaktif yang disusun. Strategi reaktif berusaha menentukan jumlah optimal stok buffer yang mampu mengakomodir

ketercapaian rencana produksi dan menyesuaikan tingkat kapasitas area buffer yang dimiliki perusahaan. Stok buffer merupakan variabel independent yang memiliki satuan bal.

### 3. Manajemen kualiti

Perancangan ulang manajemen kualiti adalah langkah yang dilakukan dalam implementasi strategi proaktif dalam mencegah adanya gangguan produksi terjadi dari adanya ketidakpastian proses kualiti. perancangan manajemen kualiti ditambahkan dalam variabel independent untuk memberi pengaruh dalam sistem keseluruhan. Bentuk desain ulang kualitas dipengaruhi oleh hasil pengolahan pareto dan *fault tree analysis* dalam mengidentifikasi masalah utama beserta penyebabnya. Desain ulang kualitas dapat berbentuk *administrative control seperti* penyesuaian SOP kerja dan atau *engineering control* seperti penambahan alat kerja dan modifikasi mesin.

### 4. Tingkat rework produksi

Rework produksi merupakan proses yang dilakukan untuk mengerjakan ulang material produksi yang memiliki masalah kualitas dari proses produksi yang dijalankan. Satuan dari tingkat rework produksi adalah bal. Nilai persentase rework dalam penelitian akan dirata-rata dari semua periode. Rework produksi masuk dalam kategori variabel intervening yang berada diantar variabel independen dan dependen.

### 5. Tingkat hasil produksi

Hasil produksi merupakan bentuk akhir dari proses produksi yang dilakukan berdasarkan kapasitas produksi yang dimiliki dengan juga telah melalui proses rework produksi. Satuan dari tingkat hasil produksi adalah bal. Nilai tingkat produksi pada semua periode akan dapat bernilai fluktuatif menyesuaikan tingkat kapasitas sumberdaya produksi yang juga fluktuatif oleh adanya multiproduk sebagai variabel moderator. Tingkat hasil produksi masuk dalam kategori variabel intervening yang berada diantar variabel independen dan dependen.

### 6. Multiproduk

Multiproduk adalah variabel moderator yang memberi pengaruh dalam tingkat kapasitas produksi yang fluktuatif. Variabel ini memberikan kompleksitas dalam aliran produksi berupa varian produk yang beragam. Studi kasus dalam penelitian ini mengkategorikan

banyaknya varian produk yang ada tersedia menjadi 2 jenis produk utama yaitu banded dan pegged. Pengkategorian didasarkan pada jenis pengemasan produk akhir.

7. Kapasitas area buffer

Kapasitas area buffer adalah variabel moderator yang memberi batasan akan jumlah stok buffer yang diusulkan. Kapasitas area menunjukkan tingkat ketersediaan area yang dimiliki dalam menyimpan stok buffer. Penelitian ini akan meninjau bagaimana penentuan tingkat buffer sebagai stok penyangga dalam mencapai mendukung ketercapaian rencana produksi dipengaruhi oleh kapasitas area. Satuan dari kapasitas area ditunjukkan dalam bal seperti halnya pada satuan yang ada pada stok buffer.

8. Tingkat rencana produksi

Tingkat rencana produksi merupakan variabel moderator yang memiliki hubungan dalam pengaruhnya terhadap variabel dependen. Data ini memiliki satuan bal dengan tingkat per periodenya adalah fluktuatif. Data ini ditentukan oleh departemen PPIC menyesuaikan analisa kebutuhan produksi menyesuaikan item produksi yang dikerjakan.

9. Tingkat ketercapaian rencana produksi

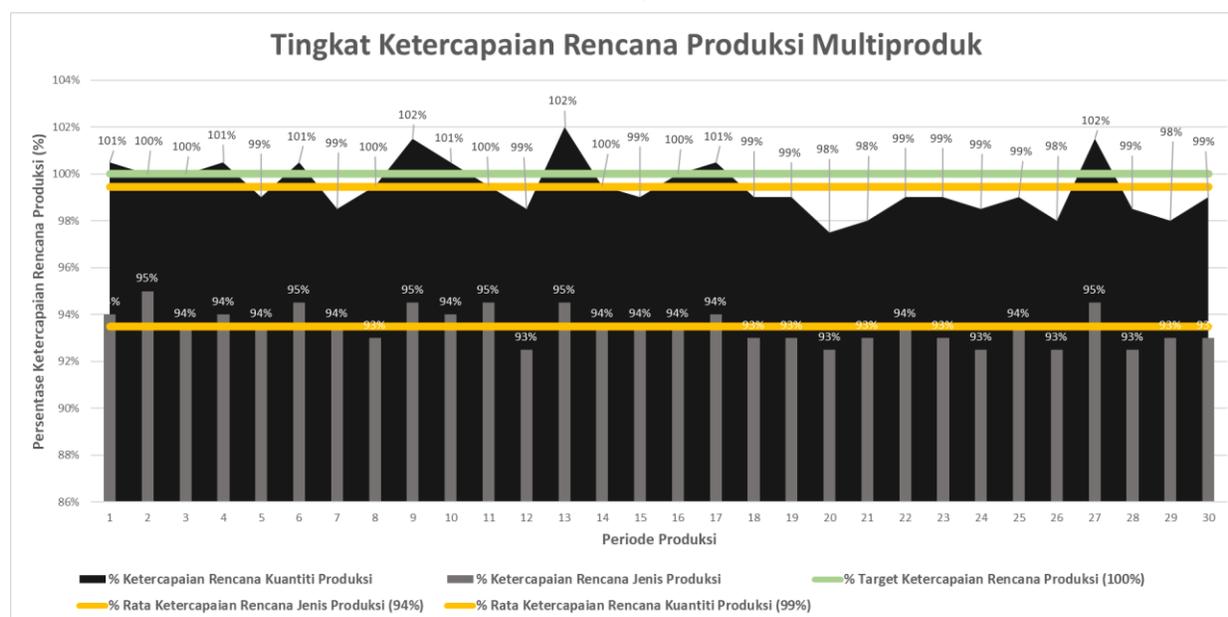
Data ini merupakan variabel dependen yang dihasilkan dari perbandingan antara tingkat hasil produksi dibagi dengan tingkat rencana produksi dalam suatu periode yang sama. Berdasarkan sifat data pada tingkat rencana produksi dan hasil produksi yang fluktuatif, maka tingkat ketercapaian rencana produksi juga akan memiliki kecenderungan sama. Satuan dari data ini adalah persentase dengan nilai idealnya adalah 100%. Data yang memiliki persentase dibawah 100% menandakan bila dalam periode tersebut tidak dapat mencapai rencana produksi yang diharapkan.

## BAB IV

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

#### 4.1 Pengumpulan Data

Studi kasus dilakukan pada salah satu perusahaan industri kertas tisu di Indonesia untuk menguji model dan membangun strategi reaktif-proaktif dalam permasalahan gangguan produksi dari ketidakpastian proses yang terjadi pada industri manufaktur multiproduk. Perusahaan terbagi menjadi tiga tahap produksi yaitu proses *primary* yang akan memasok bahan *printing* kepada bagian *sheeting* sehingga proses *secondary* dapat dilakukan. Analisis dilakukan pada proses *secondary* yang memiliki rencana produksi mingguan dengan *leadtime* yang singkat dari pemasok materialnya. *Leadtime* yang singkat didasarkan pada stok *buffer* yang hanya memasok kebutuhan *secondary* pada rata-rata 0,2 hari. Perusahaan berusaha untuk menerapkan prinsip “*just-in-time*” (JIT) sehingga pasokan bahan diharapkan tersedia pada jenis, jumlah, dan waktu yang sesuai (Taghipour et al., 2019). Data pencapaian produksi aktual selama 30 periode pada tahun 2022 digunakan sebagai data historis untuk meninjau pencapaian rencana produksi mingguan. Analisa pencapaian rencana produksi mengkaji akan seberapa efektif atau ketepatan produksi aktual untuk memenuhi rencana produksi dalam hal kuantitas dan jenis produk yang dikerjakan (District et al., 2023; Nwaubani et al., 2019; Zennaro et al., 2019).



**Gambar 4.1** Grafik Data Tingkat Ketercapaian Rencana Produksi

Data pada gambar diatas didapatkan dari pengolahan data historis hasil produksi selama 30 periode untuk jenis produk banded dan pegged dari bulan Agustus 2022 hingga Februari 2023.

**Tabel 4.1** Data Ketercapaian Rencana Produksi Multiproduk

Jenis Produksi	Periode	Rencana Produksi (Bal)	Tingkat Hasil Produksi Secondary (Bal)	% Ketercapaian Rencana Jenis Produksi	% Ketercapaian Rencana Kuantiti Produksi	% Target Ketercapaian Rencana Produksi
Banded	1	666	586	88%	101%	100%
Pegged	1	330	373	100%	101%	100%
Banded	2	199	179	90%	100%	100%
Pegged	2	645	709	100%	100%	100%
Banded	3	462	402	87%	100%	100%
Pegged	3	227	256	100%	100%	100%
Banded	4	518	456	88%	101%	100%
Pegged	4	496	560	100%	101%	100%
Banded	5	776	675	87%	99%	100%
Pegged	5	441	489	100%	99%	100%
Banded	6	180	160	89%	101%	100%
Pegged	6	132	148	100%	101%	100%
Banded	7	530	461	87%	99%	100%
Pegged	7	3	3	100%	99%	100%
Banded	8	1,515	1,303	86%	100%	100%
Pegged	8	356	402	100%	100%	100%
Banded	9	1,887	1,679	89%	102%	100%
Pegged	9	377	430	100%	102%	100%
Banded	10	1,520	1,338	88%	101%	100%
Pegged	10	464	524	100%	101%	100%
Banded	11	1,634	1,454	89%	100%	100%
Pegged	11	249	274	100%	100%	100%
Banded	12	1,434	1,219	85%	99%	100%
Pegged	12	391	438	100%	99%	100%
Banded	13	1,681	1,496	89%	102%	100%
Pegged	13	344	396	100%	102%	100%
Banded	14	1,405	1,222	87%	100%	100%
Pegged	14	417	467	100%	100%	100%
Banded	15	1,086	945	87%	99%	100%
Pegged	15	345	383	100%	99%	100%
Banded	16	646	562	87%	100%	100%
Pegged	16	345	390	100%	100%	100%
Banded	17	1,053	927	88%	101%	100%
Pegged	17	225	254	100%	101%	100%
Banded	18	906	779	86%	99%	100%
Pegged	18	216	242	100%	99%	100%
Banded	19	765	658	86%	99%	100%
Pegged	19	331	371	100%	99%	100%
Banded	20	868	738	85%	98%	100%
Pegged	20	375	413	100%	98%	100%
Banded	21	134	115	86%	98%	100%
Pegged	21	730	803	100%	98%	100%
Banded	22	460	400	87%	99%	100%
Pegged	22	768	852	100%	99%	100%
Banded	23	1,779	1,530	86%	99%	100%
Pegged	23	473	530	100%	99%	100%
Banded	24	680	578	85%	99%	100%
Pegged	24	597	669	100%	99%	100%
Banded	25	74	64	87%	99%	100%
Pegged	25	993	1,102	100%	99%	100%
Banded	26	848	721	85%	98%	100%
Pegged	26	914	1,015	100%	98%	100%
Banded	27	1,293	1,151	89%	102%	100%

Jenis Produksi	Periode	Rencana Produksi (Bal)	Tingkat Hasil Produksi Secondary (Bal)	% Ketercapaian Rencana Jenis Produksi	% Ketercapaian Rencana Kuantiti Produksi	% Target Ketercapaian Rencana Produksi
Pegged	27	375	427	100%	102%	100%
Banded	28	2,018	1,715	85%	99%	100%
Pegged	28	353	395	100%	99%	100%
Banded	29	1,467	1,262	86%	98%	100%
Pegged	29	592	651	100%	98%	100%
Banded	30	1,584	1,362	86%	99%	100%
Pegged	30	355	398	100%	99%	100%
<b>% Rata Ketercapaian Rencana Jenis Produksi</b>				<b>94%</b>		
<b>% Rata Ketercapaian Rencana Kuantiti Produksi</b>					<b>99%</b>	
<b>% Target Ketercapaian Rencana Produksi</b>						<b>100%</b>

Gambar 4.1 menunjukkan hasil analisis bahwa rencana produksi dapat dipenuhi dari segi kuantitas, dengan efektivitas rata-rata 99.5% untuk setiap periode. Namun, kinerjanya buruk dalam hal akurasi dari jenis produk yang diproduksi aktual terhadap rencana produksi dengan efektivitas rata-rata 94% untuk setiap periode. Kondisi ini menunjukkan adanya masalah dalam sistem produksi dan perlu diidentifikasi area mana yang perlu diperbaiki untuk mencapai efektivitas sistem. Pengendalian produksi memainkan peran sentral dalam perencanaan dan pengendalian produksi multiproduk (Joppen et al., 2019). Fakta bahwa selalu ada penyesuaian rencana kerja dari aliran produksi yang tidak lancar disetiap periode berkontribusi pada pencapaian rencana produksi dari segi kuantitas yang tidak diikuti dengan akurasi jenis produk. Aliran produksi terganggu karena adanya isu kualitas pada pasokan material produksi sehingga tingkat pasokan material memiliki faktor ketidakpastian (Niu et al., 2021; Sutduean et al., 2019; Wu et al., 2019). Proses pengerjaan ulang memakan waktu lebih untuk diselesaikan. *Leadtime* yang singkat dengan kondisi *buffer* stok yang rendah membuat pemulihan pengerjaan ulang menjadi tidak mungkin selama periode rencana produksi berlangsung. Ketidakpastian pasokan material *printing* dalam proses *sheeting* berdampak pada tingkat stok *buffer* pada bagian *sheeting* yang kurang atau belum siap dalam mendukung penyesuaian rencana kerja bagian *secondary*. Hal ini menyebabkan adanya penyesuaian rencana kerja bagian *secondary* dengan memanfaatkan material lain yang tersedia untuk dapat dikerjakan, meskipun material tersebut tidak termasuk dalam rencana produksi periode tersebut. Langkah tersebut merupakan strategi reaktif untuk menjaga efisiensi sumber daya pada bagian *secondary*.

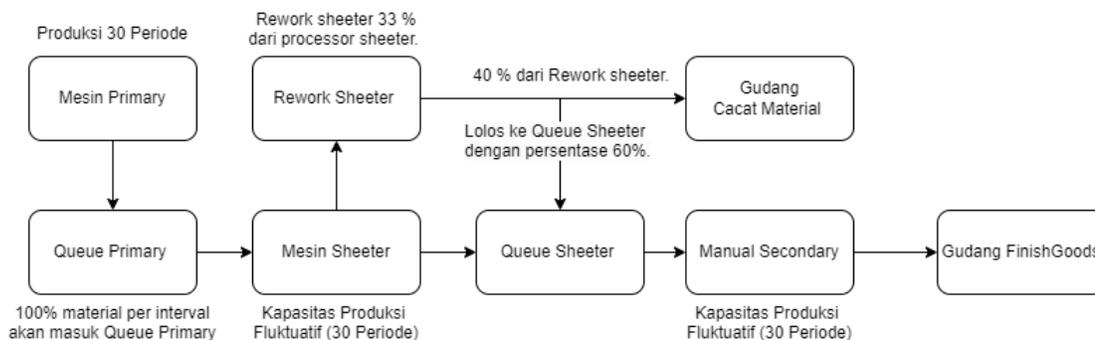
Strategi reaktif lebih luas dibutuhkan agar langkah yang diambil selain menjaga tingkat efisiensi sumber daya, juga dapat menjaga kestabilan jadwal produksi dengan tercapainya rencana produksi yang dibuat. Selain kebutuhan untuk memperluas konteks dari tujuan strategi reaktif yang dibangun, analisa lebih lanjut diperlukan untuk mengusulkan solusi preventif yang

dapat menghasilkan keteraturan sistem secara menyeluruh dalam jangka waktu Panjang dalam bentuk stratehi proaktif. Strategi reaktif hanya mcenjadi solusi korektif yang bersifat sementara, singkat, dan hanya tertuju pada bagian khusus yangc secara langsung mengalami sebab akibat (Fazekas & Kertész, 2011). Sedangkan strategi proaktif adalah strategi pencegahan sebelum terjadi risiko dengan mengambil tindakan yang tepat (Samani et al., 2020). Strategi reaktif dan proaktif adalah bentuk dari strategi fleksibilitas dalam merespon ketidakpastian proses yang mengakibatkan gangguan produksi.

#### 4.1.1 Pengumpulan Data Strategi Reaktif

##### a. Alur Proses Produksi

Data alur produksi didapatkan dengan melakukan obervasi lapangan. Data ini dibutuhkan dalam membuat rancangan model simulasi yang dibangun. Gambaran umum dari alur proses produksi studi kasus ditunjukkan dengan adanya aliran produksi material dari bagian *primary* mencakup proses *primary* lanjut ke proses pemotongan dalam bagian *sheeting* dan diproses akhir dilakukan pelipatan serta packaging dalam bagian *secondary*. Proses *rework* adalah pengerjaan ulang untuk material yang memiliki isu kualitas. Hasil proses *rework* adalah material yang terkonfirmasi masuk kategori *reject* mati dan material yang dapat digunakan kembali. *Leadtime* pendek antar proses menjadikan tingginya tingkat gangguan produksi dari adanya ketidakpastian proses dalam isu kualitas. Tidak ada waktu dan mekanisme untuk dapat melakukan *recovery* agar rencana dan jadwal produksi awal tetap terjaga. Langkah *recovery* yang dilakukan selama ini lebih tertuju agar efisiensi produksi tetap terjaga walau harus jalan diluar jadwal produksi yang seharusnya. Meski demikian, langkah tersebut masih dalam persetujuan dan cakupan rencana produksi yang disusun tim PPIC. Detil dan gambar alur proses produksi studi kasus ditunjukkan gambar dibawah. Proses inti produksi berada pada *primary*, *sheeter* dan *secondary*. *Primary* dan *sheeter* menggunakan mesin sedangkan *secondary* menggunakan proses manual dengan sumberdaya manusia.



**Gambar 4.2** Alur Proses Produksi Studi Kasus

Proses primary mencakup aktivitas pencetakan tisu dalam bentuk rol yang memiliki motif atau warna solid. Proses *sheeter* adalah aktivitas pemotongan *work in process* (WIP) rol dari *primary* untuk menjadi bentuk *sheet*. Proses secondary adalah proses terakhir yang memproses wip *sheet* dari *sheeter* untuk dilipat dan pengemasan akhir. Proses tambahan dalam proses produksi adalah rework material dari hasil mesin *sheeter*. *Queue* merupakan istilah yang menandakan adanya penyimpanan sementara dari proses sebelumnya. Istilah lain dari *queue* yang dimaksud adalah area penyimpanan material WIP. Proses produksi berakhir saat material setelah diproses dalam *secondary* untuk masuk ke gudang *finishgood*. Alur proses produksi pada gambar di atas berlaku untuk semua jenis produk pada *banded dan pegged*.

#### b. Tingkat Kapasitas Produksi

Data kapasitas produksi merupakan data sekunder yang dikumpulkan dari studi dokumen laporan perusahaan. Data ini digunakan sebagai dasar dalam mendefinisikan kapasitas dalam model simulasi. Data yang dibutuhkan mencakup waktu proses yang terdapat dalam *primary*, *sheeter* dan *secondary*. Data proses rework juga dilibatkan dalam pendefinisian model. Produksi multiproduk yang terdapat dalam studi kasus menyebabkan data tingkat kapasitas produksi bersifat fluktuatif atau dalam setiap periodenya memiliki perbedaan nilai. Data stok wip sheet dalam masing periode juga dikumpulkan untuk mendefinisikan alur material produksi dari masing proses. Data tingkat kapasitas produksi selama 30 periode pada bulan Agustus 2022 hingga Februari 2023 ditunjukkan pada tabel berikut. 1 periode menandakan 1 minggu atau 6 hari produksi berlangsung. 30 periode menunjukkan rentang waktu 1 siklus musim produksi.

**Tabel 4.2** Tingkat Kapasitas Produksi Studi Kasus

Periode	Jenis Produksi	Kapasitas Produksi Primary (Bal)	Kapasitas Produksi Sheeting (Bal)	Kapasitas Sheeting to Rework (Bal)	Kapasitas Produksi Secondary (Bal)	CT Produksi Primary (1/periode)	CT Produksi Sheeting (1/periode)	CT Sheeting to Rework (1/periode)	Hasil Produksi Secondary (Bal)	Jumlah masalah kualitas (Bal)
1	Banded	679	666	220	666	0.0015	0.0015	0.0045	586	88
1	Pegged	463	454	150	373	0.0022	0.0022	0.0067	373	60
2	Banded	211	209	69	199	0.0047	0.0048	0.0145	179	28
2	Pegged	824	816	270	709	0.0012	0.0012	0.0037	709	108
3	Banded	482	472	156	462	0.0021	0.0021	0.0064	402	63
3	Pegged	301	295	98	256	0.0033	0.0034	0.0102	256	40
4	Banded	533	528	175	518	0.0019	0.0019	0.0057	456	70
4	Pegged	657	645	213	560	0.0015	0.0016	0.0047	560	86
5	Banded	802	786	260	776	0.0012	0.0013	0.0038	675	104
5	Pegged	568	563	186	489	0.0018	0.0018	0.0054	489	75
6	Banded	192	190	63	180	0.0052	0.0053	0.0159	160	26
6	Pegged	174	170	57	148	0.0058	0.0059	0.0175	148	23
7	Banded	551	540	179	530	0.0018	0.0019	0.0056	461	72
7	Pegged	3	3	2	3	0.2868	0.2896	0.5000	3	1
8	Banded	1556	1525	504	1515	0.0006	0.0007	0.0020	1303	202
8	Pegged	472	463	153	402	0.0021	0.0022	0.0065	402	62
9	Banded	1934	1897	626	1887	0.0005	0.0005	0.0016	1679	251
9	Pegged	505	495	164	430	0.0020	0.0020	0.0061	430	66
10	Banded	1561	1530	506	1520	0.0006	0.0007	0.0020	1338	203
10	Pegged	609	603	200	524	0.0016	0.0017	0.0050	524	80
11	Banded	1677	1644	543	1634	0.0006	0.0006	0.0018	1454	218
11	Pegged	322	315	105	274	0.0031	0.0032	0.0095	274	42
12	Banded	1473	1444	477	1434	0.0007	0.0007	0.0021	1219	191
12	Pegged	514	504	167	438	0.0019	0.0020	0.0060	438	67
13	Banded	1708	1691	558	1681	0.0006	0.0006	0.0018	1496	224
13	Pegged	465	456	151	396	0.0022	0.0022	0.0066	396	61
14	Banded	1443	1415	467	1405	0.0007	0.0007	0.0021	1222	187
14	Pegged	548	537	178	467	0.0018	0.0019	0.0056	467	72
15	Banded	1107	1096	362	1086	0.0009	0.0009	0.0028	945	145
15	Pegged	445	441	146	383	0.0022	0.0023	0.0068	383	59
16	Banded	669	656	217	646	0.0015	0.0015	0.0046	562	87
16	Pegged	458	449	149	390	0.0022	0.0022	0.0067	390	60
17	Banded	1085	1063	351	1053	0.0009	0.0009	0.0028	927	141
17	Pegged	298	292	97	254	0.0034	0.0034	0.0103	254	39
18	Banded	925	916	303	906	0.0011	0.0011	0.0033	779	122
18	Pegged	284	279	92	242	0.0035	0.0036	0.0109	242	37
19	Banded	791	775	256	765	0.0013	0.0013	0.0039	658	103
19	Pegged	431	427	141	371	0.0023	0.0023	0.0071	371	57
20	Banded	896	878	290	868	0.0011	0.0011	0.0034	738	116

<b>Periode</b>	<b>Jenis Produksi</b>	<b>Kapasitas Produksi Primary (Bal)</b>	<b>Kapasitas Produksi Sheeting (Bal)</b>	<b>Kapasitas Sheeting to Rework (Bal)</b>	<b>Kapasitas Produksi Secondary (Bal)</b>	<b>CT Produksi Primary (1/periode)</b>	<b>CT Produksi Sheeting (1/periode)</b>	<b>CT Sheeting to Rework (1/periode)</b>	<b>Hasil Produksi Secondary (Bal)</b>	<b>Jumlah masalah kualitas (Bal)</b>
20	Pegged	480	475	157	413	0.0021	0.0021	0.0064	413	63
21	Banded	147	144	48	134	0.0068	0.0070	0.0208	115	20
21	Pegged	933	924	305	803	0.0011	0.0011	0.0033	803	122
22	Banded	474	470	156	460	0.0021	0.0021	0.0064	400	63
22	Pegged	990	981	324	852	0.0010	0.0010	0.0031	852	130
23	Banded	1807	1789	591	1779	0.0006	0.0006	0.0017	1530	237
23	Pegged	616	610	202	530	0.0016	0.0016	0.0050	530	81
24	Banded	704	690	228	680	0.0014	0.0014	0.0044	578	92
24	Pegged	785	770	255	669	0.0013	0.0013	0.0039	669	102
25	Banded	85	84	28	74	0.0117	0.0120	0.0357	64	12
25	Pegged	1281	1268	419	1102	0.0008	0.0008	0.0024	1102	168
26	Banded	867	858	284	848	0.0012	0.0012	0.0035	721	114
26	Pegged	1180	1168	386	1015	0.0008	0.0009	0.0026	1015	155
27	Banded	1316	1303	431	1293	0.0008	0.0008	0.0023	1151	173
27	Pegged	496	491	163	427	0.0020	0.0020	0.0061	427	66
28	Banded	2068	2028	670	2018	0.0005	0.0005	0.0015	1715	268
28	Pegged	459	455	151	395	0.0022	0.0022	0.0066	395	61
29	Banded	1507	1477	488	1467	0.0007	0.0007	0.0020	1262	196
29	Pegged	764	749	248	651	0.0013	0.0013	0.0040	651	100
30	Banded	1626	1594	526	1584	0.0006	0.0006	0.0019	1362	211
30	Pegged	463	458	152	398	0.0022	0.0022	0.0066	398	61

Informasi terkait jenis produk yang diproduksi pada studi kasus memiliki asumsi pada penentuan harga untuk setiap produknya. Asumsi dibangun berdasarkan rata – rata harga produk untuk setiap jenisnya yang masuk dalam proses produksi pada periode tersebut. Jenis produk banded memiliki asumsi harga sebanyak RP 2.040.000 per bal dan Rp 2.100.000 per bal untuk produk pegged. Informasi harga produk untuk setiap jenisnya tersebut akan digunakan sebagai dasar dalam memberikan analisa potensial dampak implementasi strategi reaktif dan proaktif dalam nilai uang.

c. Kapasitas Area Buffer

Area buffer adalah area yang dapat disediakan perusahaan dalam menampung stok buffer yang akan ditentukan dalam pengolahan data. Data didapatkan dengan melakukan observasi pada area penampungan sementara material hasil produksi atau WIP. Observasi dilakukan pada area penampungan WIP sheet dan rol dengan melihat tampungan material dalam setiap paletnya. Stok sheet adalah material wip hasil produksi mesin sheeter. Sedangkan mesin primary menghasilkan wip material dalam bentuk rol.

**Tabel 4.3** Kapasitas Area Buffer

Nama Area	Kapasitas Palet	Kapasitas Kg	Kapasitas Bal	Keterangan Asumsi
Maksimal kapasitas stok buffer rol	50	24.000	1.380	1 palet besar = 400 kg = 27,6 Bal
Maksimal kapasitas stok buffer sheet	42	29.185	1.680	1 palet besar = 695 kg = 40 Bal
Aktual kapasitas stok buffer Rol	27	10.800	750	1 palet besar = 400 kg = 27,6 Bal
Aktual kapasitas stok buffer sheet	5	1.295	26	1 palet besar = 263 kg = 15 Bal

Aktual kapasitas stok buffer didapatkan melalui data sekunder dari stok akhir WIP rol dan sheet pada 30 periode produksi berlangsung. Pada dasarnya nilai wip produksi mencakup waktu leadtime produksi antar mesin yang berkisar 3 hari untuk *primary* ke *sheeter* dan 0.2 hari untuk *sheeter* ke *secondary*. Hal tersebut merujuk data Tabel 4.2, leadtime material WIP rol dikonsumsi bagian sheeting adalah 0.95 periode atau 5.75 hari hasil pembagian aktual kapasitas stok buffer rol sebesar 750 bal dengan rata-rata konsumsi produksi sheeting dalam setiap periodenya (6 hari) yaitu 782 bal. Sedangkan pada wip sheet memiliki leadtime 0.038 periode atau 0.23 hari hasil pembagian

pembagian aktual kapasitas stok buffer rol sebesar 26 bal dengan rata-rata konsumsi produksi sheeting dalam setiap periodenya (6 hari) yaitu 675 bal. Asumsi kapasitas palet diberlakukan dalam hal ini. Satuan yang digunakan untuk diproses pada pengolahan data adalah bal yang berlaku untuk semua jenis produk pada banded dan pegged. Material dalam bentuk sheet memiliki kapasitas lebih besar daripada masih dalam bentuk rol. Tujuan dari pengumpulan data ini adalah untuk mejadi batasan eksperimen model dalam menentukan stok buffer optimal. Stok buffer diharapkan dapat menyangga kebutuhan dalam mencapai rencana produksi dalam setiap periodenya namun masih dalam cakupan batasan kapasitas area buffer. Berdasarkan hal tersebut, kapasitas buffer memiliki posisi sebagai variabel moderator dalam memberikan pengaruh pada variabel independen terhadap variabel dependen. Adanya upaya untuk memaksimalkan kapasitas tidak membutuhkan biaya tambahan karena area dan palet sudah tersedia serta kapasitas dan kapabilitas operator WIP yang masih dapat diterima untuk menyesuaikan.

#### 4.1.2 Pengumpulan Data Strategi Proaktif

##### a. Jenis dan Tingkat Masalah Kualitas Produksi

Data masalah kualitas produksi dikumpulkan melalui studi dokemntasi laporan perusahaan yang dikelola oleh departemen quality control. Data sekunder yang didapatkan akan digunakan sebagai data input dalam pengolahan pareto. Data dikumpulkan pada semua jenis produk dari data historis 30 periode (Agustus 2022 – Februari 2023). Jenis masalah kualitas produksi yang ditemukan mencakup cetakan kotor, miss register, cetakan garis, cetakan mrampang, keriput dan retak.

**Tabel 4.4** Jenis dan Tingkat Masalah Kualitas Produksi

Periode	Jenis Produksi	Kapasitas Produksi Secondary (bal)	Cetakan kotor (bal)	Miss register (bal)	Cetakan garis (Bal)	Cetakan merampang (Bal)	Keriput (bal)	Retak (bal)	Jumlah masalah kualitas (Bal)
1	Banded	666	29	21	14	13	6	5	88
1	Pegged	373	20	14	9	9	4	3	60
2	Banded	199	9	7	4	4	2	2	28
2	Pegged	709	36	25	17	16	8	6	108
3	Banded	462	21	15	10	9	4	4	63
3	Pegged	256	13	9	6	6	3	2	40
4	Banded	518	23	16	11	10	5	4	70
4	Pegged	560	29	20	13	13	6	5	86
5	Banded	776	35	24	16	16	7	6	104
5	Pegged	489	25	18	12	11	5	4	75
6	Banded	180	9	6	4	4	2	2	26
6	Pegged	148	8	5	4	3	2	1	23

Periode	Jenis Produksi	Kapasitas Produksi Secondary (bal)	Cetakan kotor (bal)	Miss register (bal)	Cetakan garis (Bal)	Cetakan merampang (Bal)	Keriput (bal)	Retak (bal)	Jumlah masalah kualitas (Bal)
7	Banded	530	24	17	11	11	5	4	72
7	Pegged	3	0	0	0	0	0	0	1
8	Banded	1,515	67	47	31	30	14	12	202
8	Pegged	402	21	15	10	9	4	4	62
9	Banded	1,887	83	59	39	38	18	14	251
9	Pegged	430	22	15	10	10	5	4	66
10	Banded	1,520	68	48	32	30	14	12	203
10	Pegged	524	27	19	12	12	6	5	80
11	Banded	1,634	73	51	34	33	15	13	218
11	Pegged	274	14	10	7	6	3	2	42
12	Banded	1,434	64	45	30	29	13	11	191
12	Pegged	438	22	16	10	10	5	4	67
13	Banded	1,681	75	52	35	33	16	13	224
13	Pegged	396	20	14	9	9	4	4	61
14	Banded	1,405	62	44	29	28	13	11	187
14	Pegged	467	24	17	11	11	5	4	72
15	Banded	1,086	48	34	23	22	10	8	145
15	Pegged	383	20	14	9	9	4	3	59
16	Banded	646	29	20	14	13	6	5	87
16	Pegged	390	20	14	9	9	4	3	60
17	Banded	1,053	47	33	22	21	10	8	141
17	Pegged	254	13	9	6	6	3	2	39
18	Banded	906	41	29	19	18	9	7	122
18	Pegged	242	12	9	6	6	3	2	37
19	Banded	765	34	24	16	15	7	6	103
19	Pegged	371	19	13	9	9	4	3	57
20	Banded	868	39	27	18	17	8	7	116
20	Pegged	413	21	15	10	9	4	4	63
21	Banded	134	7	5	3	3	1	1	20
21	Pegged	803	41	29	19	18	9	7	122
22	Banded	460	21	15	10	9	4	4	63
22	Pegged	852	43	30	20	19	9	8	130
23	Banded	1,779	79	55	37	35	17	14	237
23	Pegged	530	27	19	13	12	6	5	81
24	Banded	680	31	22	14	14	6	5	92
24	Pegged	669	34	24	16	15	7	6	102
25	Banded	74	4	3	2	2	1	1	12
25	Pegged	1,102	56	39	26	25	12	10	168
26	Banded	848	38	27	18	17	8	7	114
26	Pegged	1,015	52	36	24	23	11	9	155
27	Banded	1,293	58	41	27	26	12	10	173
27	Pegged	427	22	15	10	10	5	4	66
28	Banded	2,018	89	63	42	40	19	15	268
28	Pegged	395	20	14	9	9	4	4	61
29	Banded	1,467	65	46	31	29	14	11	196
29	Pegged	651	33	23	16	15	7	6	100
30	Banded	1,584	70	49	33	32	15	12	211
30	Pegged	398	20	14	9	9	4	4	61

Sumber masalah tersebut terdapat pada proses *primary* dalam proses cetak. Secara garis besar, masalah kualitas yang ditemukan selama ini ditemukan saat proses *secondary* akan dijalankan.

b. Potensial Penyebab Masalah Kualitas Utama

Data primer dengan melaksanakan diskusi grup kepada departemen produksi dan QC dilakukan untuk mengidentifikasi penyebab masalah kualitas utama. Masalah kualitas utama didapatkan setelah pengolahan pareto dihasilkan. Data ini digunakan sebagai dasar input dalam pengolahan *fault tree analysis* dalam mencari akar dari masalah kualitas utama. Data potensial penyebab masalah dari cetakan kotor diidentifikasi berdasarkan pengolahan pareto yang dihasilkan.

**Tabel 4.5** Potensial Masalah Kualitas Cetakan kotor

No	Potensial Penyebab Masalah Kualitas
1	Ampas powder masuk dalam aliran pipa dan keran
2	Powder tidak larut sempurna
3	Suhu heater kurang panas
4	Tekanan mixer kurang kuat
5	Kualitas powder supplier tidak premium
6	Pembersihan keran dan pipa kurang bersih
7	Tekanan minimasi downtime
8	Pembersihan dilakukan hanya pada bagian tertentu yang terjangkau di area mesin
9	Korosi keran dan pipa
10	Penggunaan secara berlebihan
11	Setiap mesin hanya memiliki 1 keran dan pipa
12	Keran dan pipa tidak pernah diganti
13	Pembersihan keran dan pipa tidak teratur
14	Pembersihan hanya dilakukan saat terdeteksi powder tidak larut dalam proses awal
15	Keran dan pipa harus digunakan seterusnya untuk operasional produksi
16	Belum ada studi standar metode dan alat ukur kualitas powder larut
17	Pertimbangan MTC menjaga ketahanan mesin
18	Mixer rusak dan perlu penggantian
19	Belum ada alokasi keran dan pipa cadangan

## 4.2 Pengolahan Data

Berdasarkan Gambar 3.1, prosedur penelitian dalam setiap tahapan dijelaskan sebagai berikut.

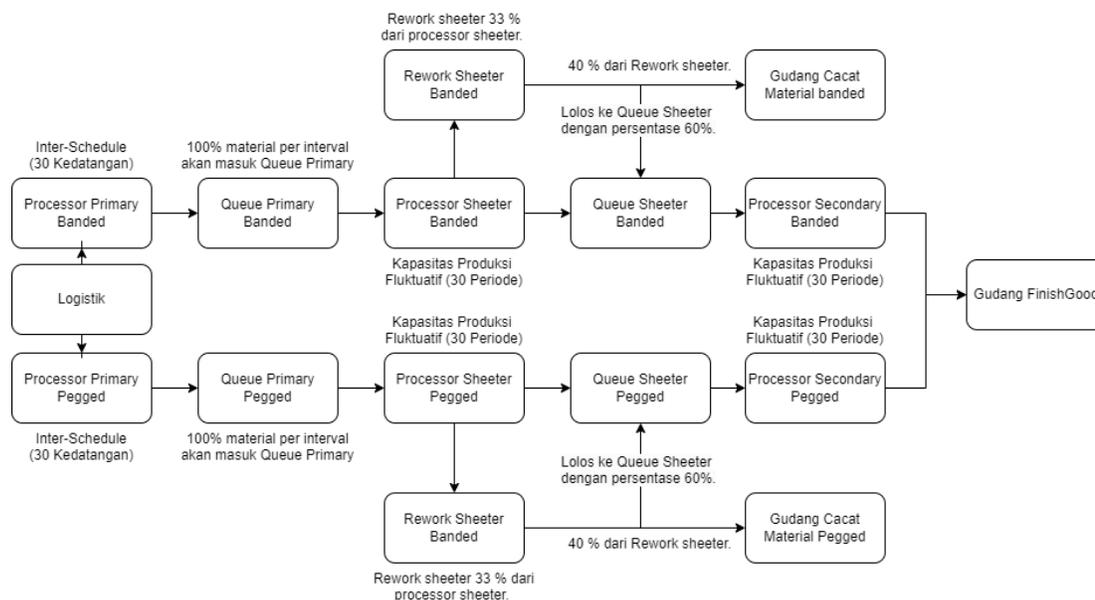
### 4.1.3 Pengolahan Data Strategi Reaktif

Pendekatan simulasi diskrit dilakukan untuk melakukan analisa dari sistem produksi yang terjadi pada perusahaan studi kasus. Langkah awal yang dilakukan adalah membuat model simulasi produksi yang merepresentasikan kondisi produksi tempat studi kasus sesuai data historis selama 30 periode. Model dikatakan valid apabila pengolahan data model sesuai dengan hasil pada

Gamabr 4.1. Aplikasi yang digunakan dalam langkah ini adalah menggunakan FlexSim 2021. Solusi alternatif yang dibangun adalah ditentukannya stok buffer optimal yang diatur pada periode pertama data histori untuk dapat mendukung ketercapaian rencana produksi pada semua periode dari dari gangguan produksi yang terjadi akibat ketidakpastian proses pada tempat studi kasus.

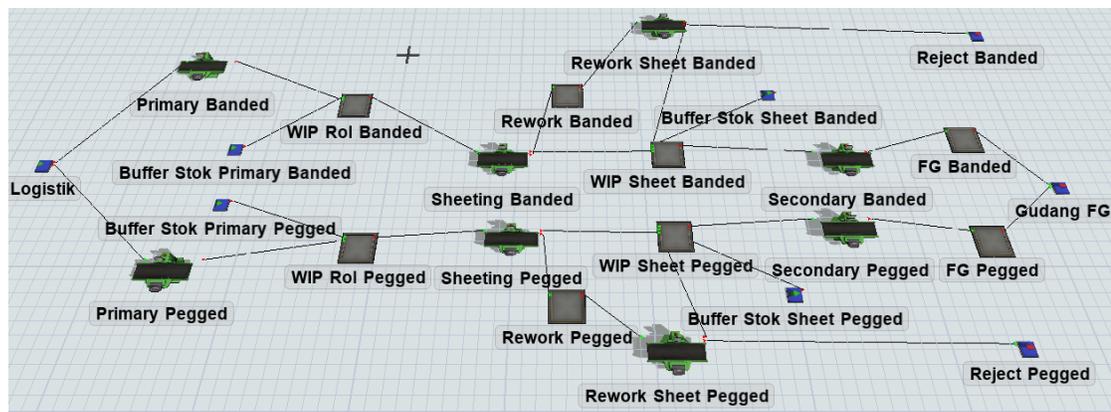
a. Model Simulasi

Sistem produksi yang mencakup alur dan mesin produksi yang tersedia dalam tempat studi kasus multiproduk dirancang dan dikembangkan di FlexSim 21. Model simulasi dioperasikan berdasarkan skema konsep berikut.



**Gambar 4.3** Skema Model Sistem Produksi Studi Kasus Multiproduk

Proses produksi dalam skema diatas menggambarkan alur produksi dalam banyaknya jenis produk yang berinduk model produk banded dan pegged. Keterangan pada setiap proses menunjukkan informasi yang akan didefinisikan dalam FlexSim 2021. Berikut model simulasi diskrit yang dibuat berdasarkan skema model produksi tersebut.



**Gambar 4.4** Model Simulasi Produksi Studi Kasus Multiproduk

Terdapat 23 item dibutuhkan dalam memodelkan sistem produksi studi kasus dalam mewakili 1 set periode yang nantinya dapat dijalankan selama 30 periode. Deskripsi dan keterangan dari item model ditunjukkan dalam tabel berikut.

**Tabel 4.6** Diskripsi Item Model Simulasi

No	Nama Item	Kategori Item	Fungsi Item	Supplier Input	Customer Output	Kapasitas Per Periode	Keterangan
1	Logistik	Source	Pemasok bahan baku produksi untuk primary		100% Primary banded dan pegged		
2	Primary Banded	Processor	Produksi material primary	Material Logistik	100% WIP Rol	Tabel tingkat kapasitas produksi	Kapasitas fluktuatif dengan Set cycle time = Periodic rates hourly rates
3	Primary Pegged	Processor	Produksi material primary	Material Logistik	100% WIP Rol	Tabel tingkat kapasitas produksi	Kapasitas fluktuatif dengan Set cycle time = Periodic rates hourly rates
4	Buffer Stok Primary Banded	Source	Kontrol dan set buffer model		100% WIP Rol Primary Banded	Tabel tingkat kapasitas produksi	Stok penyangga pada model simulasi awal awal belum diatur
5	Buffer Stok Primary Pegged	Source	Kontrol dan set buffer model		100% WIP Rol Primary Pegged	Tabel tingkat kapasitas produksi	Stok penyangga pada model simulasi awal awal belum diatur
6	WIP Rol Primary Banded	Queue	Penyimpanan sementara WIP Stok	100% Kedatangan material dan buffer stok Pegged	100% Sheeting Banded		Stok penyangga hampir hanya mencukup kebutuhan produksi inline
7	WIP Rol Primary Pegged	Queue	Penyimpanan sementara WIP Stok	100% Kedatangan material dan buffer stok Banded	100% Sheeting Pegged		Maksimal kapasitas area WIP Rol merujuk Tabel kapasitas area buffer
8	Sheeting Banded	Processor	Produksi material sheeting	100% WIP Rol Banded	33 % Rework dan 67%	Tabel tingkat kapasitas produksi	Kapasitas fluktuatif dengan Set cycle time = Periodic rates hourly rates

No	Nama Item	Kategori Item	Fungsi Item	Supplier Input	Customer Output	Kapasitas Per Periode	Keterangan
9	Sheeting Pegged	Processor	Produksi material sheeting	100% WIP Rol Pegged	WIP Sheet Banded 33 % Rework dan 67% WIP Sheet Pegged	Tabel tingkat kapasitas produksi	Kapasitas fluktuatif dengan Set cycle time = Periodic rates hourly rates
10	Rework Banded	Queue	Penyimpanan sementara Stok dengan isu kualitas	40% Sheeting Banded	100% Rework sheet banded		Maksimal kapasitas area WIP Rol merujuk Tabel kapasitas area buffer
11	Rework Pegged	Queue	Penyimpanan sementara Stok dengan isu kualitas	40% Sheeting Pegged	100% Rework sheet pegged		Maksimal kapasitas area WIP Rol merujuk Tabel kapasitas area buffer
12	Rework Sheet Banded	Processor	Proses tambahan material dengan isu kualitas	100% Penampung material rework banded	60 % Reject dan 40% WIP Sheet Banded	Tabel tingkat kapasitas produksi	Kapasitas fluktuatif dengan Set cycle time = Periodic rates hourly rates
13	Rework Sheet Pegged	Processor	Proses tambahan material dengan isu kualitas	100% Penampung material rework Pegged	60 % Reject dan 40% WIP Sheet Pegged	Tabel tingkat kapasitas produksi	Kapasitas fluktuatif dengan Set cycle time = Periodic rates hourly rates
14	Buffer Stok Sheet Banded	Source	Kontrol dan set buffer model		100% WIP Rol Primary Banded	Tabel tingkat kapasitas produksi	Stok penyangga pada model simulasi awal awal belum diatur
15	Buffer Stok Sheet Pegged	Source	Kontrol dan set buffer model		100% WIP Rol Primary Pegged	Tabel tingkat kapasitas produksi	Stok penyangga pada model simulasi awal awal belum diatur
16	WIP Sheet Banded	Queue	Penyimpanan sementara WIP Sheet	60% Sheeting Banded	100% Secondary Banded		Maksimal kapasitas area WIP sheet merujuk Tabel kapasitas area buffer
17	WIP Sheet Pegged	Queue	Penyimpanan sementara WIP Sheet	60% Sheeting Pegged	100% Secondary Pegged		Maksimal kapasitas area WIP sheet merujuk Tabel kapasitas area buffer
18	Secondary Banded	Processor	Produksi bagian secondary banded	100 % Wip Sheet Banded	100% FG Banded	Tabel tingkat kapasitas produksi	Kapasitas fluktuatif dengan Set cycle time = Periodic rates hourly rates
19	Secondary Pegged	Processor	Produksi bagian secondary banded	100 % Wip Sheet Pegged	100% FG Pegged	Tabel tingkat kapasitas produksi	Kapasitas fluktuatif dengan Set cycle time = Periodic rates hourly rates
20	FG Banded	Queue	Penyimpanan sementara FG Banded	100 % Secondary Banded	100% Gudang FG		
21	FG Pegged	Queue	Penyimpanan sementara FG Pegged	100 % Secondary Pegged	100% Gudang FG		
22	Reject Banded	Sink	Penyimpanan akhir material reject banded	50 % Rework sheet banded			

No	Nama Item	Kategori Item	Fungsi Item	Supplier Input	Customer Output	Kapasitas Per Periode	Keterangan
23	Reject Pegged	SInk	Penyimpanan akhir material reject banded	50 % Rework sheet pegged			
24	Gudang FG	SInk	Penyimpanan akhir finish good semua produk	100 % FG Banded dan Pegged			

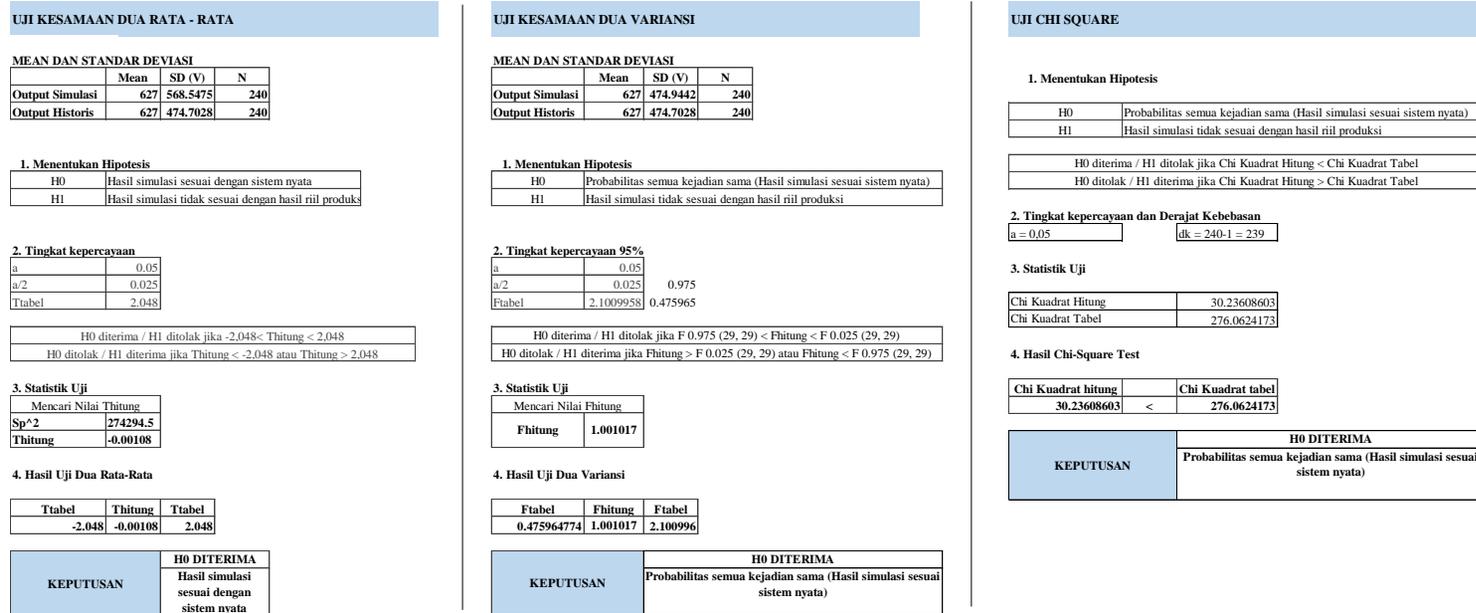
Simulasi model menggunakan model unit waktu dalam “hour” atau jam untuk mewakili satuan periode. 30 periode yang dimodelkan menandakan bila terdapat 30 jam untuk proses simulasi berlangsung dalam pendefinisian model pada setiap itemnya. Setiap kedatangan material atau item *source* menggunakan *interval sequence* selama 30 periode dengan ketentuan jumlah per periode menyesuaikan kapasitas produksi primary pada Tabel 4.2. Waktu proses pada masing item *processor* diatur dengan pengaturan waktu *periodic rates – hourly daily custom rates* sebanyak 30 jam. Nilai pengaturan waktu pada setiap processor merujuk keterangan kapasitas produksi yang tertera pada Tabel 4.2. Kapasitas serap dari port output memiliki pengaturan persentase hanya pada hasil produksi sheeter. Hal ini menyesuaikan kondisi dari adanya isu kualitas yang memberi pengaruh pada kelancaran produksi. Hasil dari *processor* sheeter akan menuju WIP sheet sebanyak 67% dan 33% menuju proses *rework*. Persentase ini merupakan asumsi dari rata-rata 30 periode. Hasil dari proses rework memiliki persentase 60% untuk menuju WIP Sheet dan 40% sisanya menuju *scrap reject* produksi atau dibuang.

#### b. Validasi Model

Validasi model dilakukan untuk meninjau seberapa representatif model yang dibangun dengan Flexsim terhadap aktual sistem produksi studi kasus. Data yang dibutuhkan dalam tahap ini adalah nilai hasil produksi model dari masing item model produksi selama 30 periode. Data tersebut nantinya akan dibandingkan dengan nilai produksi aktual sistem untuk dilakukan uji kesamaan dua rata – rata, uji kesamaan dua variansi, dan uji chi square. Data rekap hasil produksi model dan sistem sebagai data input validasi model ditunjukkan tabel dibawah. Setelah data terekap, dilakukan pengolahan data dalam melakukan ketiga uji sebagai upaya memvalidasi model. Hasil uji validasi ditunjukkan pada gambar dibawah.

No Data	Periode	Item Model	Hasil Produksi Sistem (Bal)	Hasil Produksi Model (Bal)	Chi Square Test	No Data	Periode	Item Model	Hasil Produksi Sistem (Bal)	Hasil Produksi Model (Bal)	Chi Square Test	No Data	Periode	Item Model	Hasil Produksi Sistem (Bal)	Hasil Produksi Model (Bal)	Chi Square Test	No Data	Periode	Item Model	Hasil Produksi Sistem (Bal)	Hasil Produksi Model (Bal)	Chi Square Test
1	1	Primary Banded	679	678	0.00	61	1	Rework Sheet Banded	220	200	1.82	121	1	Secondary Banded	586	570	0.44	181	1	Sheeting Banded	666	665	0.00
2	2	Primary Banded	211	211	0.00	62	2	Rework Sheet Banded	69	69	0.00	122	2	Secondary Banded	179	172	0.27	182	2	Sheeting Banded	209	209	0.00
3	3	Primary Banded	482	482	0.00	63	3	Rework Sheet Banded	156	156	0.00	123	3	Secondary Banded	402	395	0.12	183	3	Sheeting Banded	472	472	0.00
4	4	Primary Banded	533	533	0.00	64	4	Rework Sheet Banded	175	175	0.00	124	4	Secondary Banded	456	463	0.11	184	4	Sheeting Banded	528	528	0.00
5	5	Primary Banded	802	802	0.00	65	5	Rework Sheet Banded	260	260	0.00	125	5	Secondary Banded	675	688	0.25	185	5	Sheeting Banded	786	785	0.00
6	6	Primary Banded	192	192	0.00	66	6	Rework Sheet Banded	63	63	0.00	126	6	Secondary Banded	160	166	0.23	186	6	Sheeting Banded	190	190	0.00
7	7	Primary Banded	551	551	0.00	67	7	Rework Sheet Banded	179	179	0.00	127	7	Secondary Banded	461	453	0.14	187	7	Sheeting Banded	540	540	0.00
8	8	Primary Banded	1556	1556	0.00	68	8	Rework Sheet Banded	504	504	0.00	128	8	Secondary Banded	1303	1292	0.09	188	8	Sheeting Banded	1525	1525	0.00
9	9	Primary Banded	1934	1934	0.00	69	9	Rework Sheet Banded	626	625	0.00	129	9	Secondary Banded	1679	1631	1.37	189	9	Sheeting Banded	1897	1897	0.00
10	10	Primary Banded	1561	1561	0.00	70	10	Rework Sheet Banded	506	506	0.00	130	10	Secondary Banded	1338	1304	0.86	190	10	Sheeting Banded	1530	1530	0.00
11	11	Primary Banded	1677	1677	0.00	71	11	Rework Sheet Banded	543	543	0.00	131	11	Secondary Banded	1454	1375	4.29	191	11	Sheeting Banded	1644	1644	0.00
12	12	Primary Banded	1473	1473	0.00	72	12	Rework Sheet Banded	477	477	0.00	132	12	Secondary Banded	1219	1252	0.89	192	12	Sheeting Banded	1444	1444	0.00
13	13	Primary Banded	1708	1708	0.00	73	13	Rework Sheet Banded	558	558	0.00	133	13	Secondary Banded	1496	1433	2.65	193	13	Sheeting Banded	1691	1691	0.00
14	14	Primary Banded	1443	1443	0.00	74	14	Rework Sheet Banded	467	467	0.00	134	14	Secondary Banded	1222	1217	0.02	194	14	Sheeting Banded	1415	1415	0.00
15	15	Primary Banded	1107	1107	0.00	75	15	Rework Sheet Banded	362	362	0.00	135	15	Secondary Banded	945	964	0.38	195	15	Sheeting Banded	1096	1096	0.00
16	16	Primary Banded	669	669	0.00	76	16	Rework Sheet Banded	217	217	0.00	136	16	Secondary Banded	562	574	0.26	196	16	Sheeting Banded	656	656	0.00
17	17	Primary Banded	1085	1085	0.00	77	17	Rework Sheet Banded	351	351	0.00	137	17	Secondary Banded	927	920	0.05	197	17	Sheeting Banded	1063	1063	0.00
18	18	Primary Banded	925	925	0.00	78	18	Rework Sheet Banded	303	303	0.00	138	18	Secondary Banded	779	814	1.57	198	18	Sheeting Banded	916	916	0.00
19	19	Primary Banded	791	791	0.00	79	19	Rework Sheet Banded	256	256	0.00	139	19	Secondary Banded	658	693	1.86	199	19	Sheeting Banded	775	775	0.00
20	20	Primary Banded	896	896	0.00	80	20	Primary Banded	290	290	0.00	140	20	Secondary Banded	738	780	2.39	200	20	Sheeting Banded	878	878	0.00
21	21	Primary Banded	147	147	0.00	81	21	Rework Sheet Banded	48	48	0.00	141	21	Secondary Banded	115	120	0.22	201	21	Sheeting Banded	144	144	0.00
22	22	Primary Banded	474	474	0.00	82	22	Rework Sheet Banded	156	156	0.00	142	22	Secondary Banded	400	403	0.02	202	22	Sheeting Banded	470	470	0.00
23	23	Primary Banded	1807	1807	0.00	83	23	Rework Sheet Banded	591	591	0.00	143	23	Secondary Banded	1530	1537	0.03	203	23	Sheeting Banded	1789	1789	0.00
24	24	Primary Banded	704	704	0.00	84	24	Rework Sheet Banded	228	228	0.00	144	24	Secondary Banded	578	608	1.56	204	24	Sheeting Banded	690	690	0.00
25	25	Primary Banded	85	85	0.00	85	25	Rework Sheet Banded	28	28	0.00	145	25	Secondary Banded	64	74	1.56	205	25	Sheeting Banded	84	84	0.00
26	26	Primary Banded	867	867	0.00	86	26	Rework Sheet Banded	284	284	0.00	146	26	Secondary Banded	721	745	0.80	206	26	Sheeting Banded	858	858	0.00
27	27	Primary Banded	1316	1316	0.00	87	27	Rework Sheet Banded	431	431	0.00	147	27	Secondary Banded	1151	1117	1.00	207	27	Sheeting Banded	1303	1303	0.00
28	28	Primary Banded	2068	2068	0.00	88	28	Rework Sheet Banded	670	670	0.00	148	28	Secondary Banded	1715	1805	4.72	208	28	Sheeting Banded	2028	2028	0.00
29	29	Primary Banded	1507	1507	0.00	89	29	Rework Sheet Banded	488	488	0.00	149	29	Secondary Banded	1262	1289	0.58	209	29	Sheeting Banded	1477	1477	0.00
30	30	Primary Banded	1626	1626	0.00	90	30	Rework Sheet Banded	526	526	0.00	150	30	Secondary Banded	1362	1374	0.11	210	30	Sheeting Banded	1594	1594	0.00
31	1	Primary Pegged	463	462	0.00	91	1	Rework Sheet Pegged	150	139	0.81	151	1	Secondary Pegged	373	367	0.10	211	1	Sheeting Pegged	454	453	0.00
32	2	Primary Pegged	824	824	0.00	92	2	Rework Sheet Pegged	270	270	0.00	152	2	Secondary Pegged	709	708	0.00	212	2	Sheeting Pegged	816	815	0.00
33	3	Primary Pegged	301	301	0.00	93	3	Rework Sheet Pegged	98	98	0.00	153	3	Secondary Pegged	256	256	0.00	213	3	Sheeting Pegged	295	295	0.00
34	4	Primary Pegged	657	657	0.00	94	4	Rework Sheet Pegged	213	213	0.00	154	4	Secondary Pegged	560	560	0.00	214	4	Sheeting Pegged	645	645	0.00
35	5	Primary Pegged	568	568	0.00	95	5	Rework Sheet Pegged	186	186	0.00	155	5	Secondary Pegged	489	489	0.00	215	5	Sheeting Pegged	563	563	0.00
36	6	Primary Pegged	174	174	0.00	96	6	Rework Sheet Pegged	57	57	0.00	156	6	Secondary Pegged	148	148	0.00	216	6	Sheeting Pegged	170	170	0.00
37	7	Primary Pegged	3	3	0.07	97	7	Rework Sheet Pegged	2	2	0.00	157	7	Secondary Pegged	3	3	0.00	217	7	Sheeting Pegged	3	3	0.06
38	8	Primary Pegged	472	472	0.00	98	8	Rework Sheet Pegged	153	151	0.03	158	8	Secondary Pegged	402	402	0.00	218	8	Sheeting Pegged	463	463	0.00
39	9	Primary Pegged	505	505	0.00	99	9	Rework Sheet Pegged	164	156	0.39	159	9	Secondary Pegged	430	430	0.00	219	9	Sheeting Pegged	495	495	0.00
40	10	Primary Pegged	609	609	0.00	100	10	Rework Sheet Pegged	200	194	0.18	160	10	Secondary Pegged	524	524	0.00	220	10	Sheeting Pegged	603	603	0.00
41	11	Primary Pegged	322	322	0.00	101	11	Rework Sheet Pegged	105	96	0.77	161	11	Secondary Pegged	274	274	0.00	221	11	Sheeting Pegged	315	315	0.00
42	12	Primary Pegged	514	514	0.00	102	12	Rework Sheet Pegged	167	162	0.15	162	12	Secondary Pegged	438	438	0.00	222	12	Sheeting Pegged	504	504	0.00
43	13	Primary Pegged	465	465	0.00	103	13	Rework Sheet Pegged	151	151	0.00	163	13	Secondary Pegged	396	396	0.00	223	13	Sheeting Pegged	456	456	0.00
44	14	Primary Pegged	548	548	0.00	104	14	Rework Sheet Pegged	178	178	0.00	164	14	Secondary Pegged	467	454	0.36	224	14	Sheeting Pegged	537	537	0.00
45	15	Primary Pegged	445	445	0.00	105	15	Rework Sheet Pegged	146	146	0.00	165	15	Secondary Pegged	383	383	0.00	225	15	Sheeting Pegged	441	441	0.00
46	16	Primary Pegged	458	449	0.00	106	16	Rework Sheet Pegged	149	149	0.00	166	16	Secondary Pegged	390	390	0.00	226	16	Sheeting Pegged	449	449	0.00
47	17	Primary Pegged	298	298	0.00	107	17	Rework Sheet Pegged	97	93	0.16	167	17	Secondary Pegged	254	254	0.00	227	17	Sheeting Pegged	292	292	0.00
48	18	Primary Pegged	284	284	0.00	108	18	Rework Sheet Pegged	92	92	0.00	168	18	Secondary Pegged	242	242	0.00	228	18	Sheeting Pegged	279	279	0.00
49	19	Primary Pegged	431	431	0.00	109	19	Rework Sheet Pegged	141	141	0.00	169	19	Secondary Pegged	371	371	0.00	229	19	Sheeting Pegged	427	427	0.00
50	20	Primary Pegged	480	480	0.00	110	20	Rework Sheet Pegged	157	157	0.00	170	20	Secondary Pegged	413	413	0.00	230	20	Sheeting Pegged	475	475	0.00
51	21	Primary Pegged	933	933	0.00	111	21	Rework Sheet Pegged	305	303	0.00	171	21	Secondary Pegged	803	802	0.00	231	21	Sheeting Pegged	924	924	0.00
52	22	Primary Pegged	990	990	0.00	112	22	Rework Sheet Pegged	324	324	0.00	172	22	Secondary Pegged	852	852	0.00	232	22	Sheeting Pegged	981	981	0.00
53	23	Primary Pegged	616	616	0.00	113	23	Rework Sheet Pegged	202	190	0.71	173	23	Secondary Pegged	530	530	0.00	233	23	Sheeting Pegged	610	610	0.00
54	24	Primary Pegged	785	785	0.00	114	24	Rework Sheet Pegged	255	252	0.04	174	24	Secondary Pegged	669	669	0.00	234	24	Sheeting Pegged	770	770	0.00
55	25	Primary Pegged	1281	1281	0.00	115	25	Rework Sheet Pegged	419	414	0.06	175	25	Secondary Pegged	1102	1102	0.00	235	25	Sheeting Pegged	1268	1268	0.00
56	26	Primary Pegged	1180	1180	0.00	116	26	Rework Sheet Pegged	386	385	0.00	176	26	Secondary Pegged	1015	1015	0.00	236	26	Sheeting Pegged	1168	1168	0.00
57	27	Primary Pegged	496	496	0.00	117	27	Rework Sheet Pegged	163	163	0.00	177	27	Secondary Pegged	427	427	0.00	237	27	Sheeting Pegged	491	491	0.00
58	28	Primary Pegged	459	459	0.00	118	28	Rework Sheet Pegged	151	151	0.00	178	28	Secondary Pegged	395	389	0.09	238	28	Sheeting Pegged	455	455	0.00
59	29	Primary Pegged	764	764	0.00	119	29	Rework Sheet Pegged	248	248	0.00	179	29	Secondary Pegged	651	628	0.81	239	29	Sheeting Pegged	749	749	0.00
60	30	Primary Pegged	463	463	0.00	120	30	Rework Sheet Pegged	152	152	0.00	180	30	Secondary Pegged	398	396	0.01	240	30	Sheeting Pegged	458	458	0.00

Gambar 4.5 Tabel Data Input Validasi Model

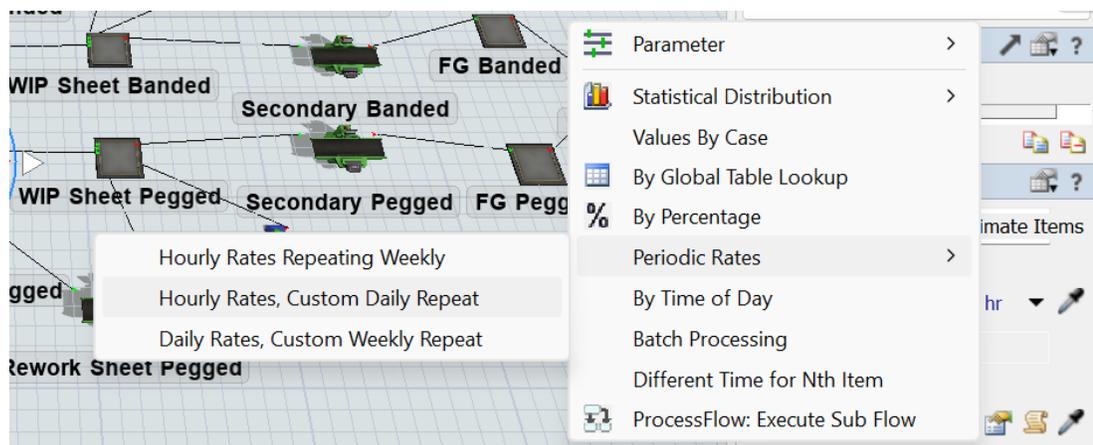


**Gambar 4.6** Hasil Uji Validasi Model

Berdasarkan uji rata – rata, variansi dan chi-square keseluruhan menunjukkan hasil bila H0 diterima sehingga model yang dibuat sudah sesuai dan memiliki probabilitas kejadian yang sama dengan kondisi sistem produksi tempat studi kasus. Langkah berikutnya dalam membuat desain eksperimental dan alternatif solusi dapat dilakukan berdasarkan model yang sudah valid tersebut.

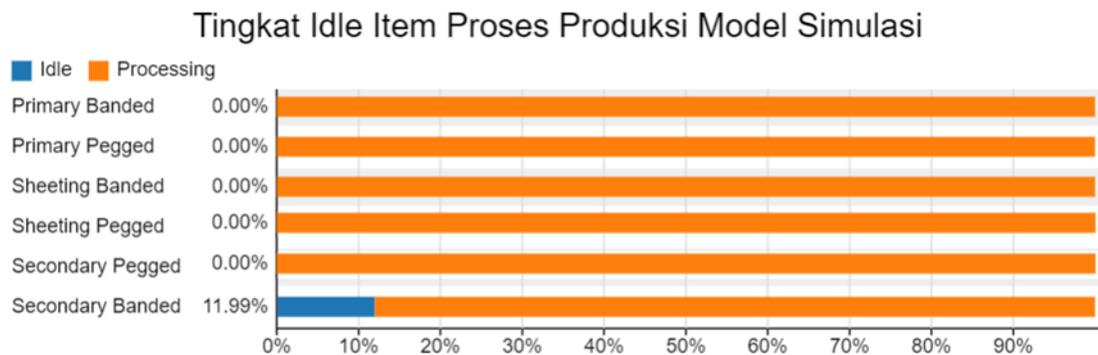
### c. Simulasi dan Analisa Model

Salah satu tantangan terbesar dalam pembuatan model Flexsim ini adalah bagaimana melakukan pengaturan dalam pendefinisian waktu proses pada masing item processor. Hal ini didasarkan pada tingkat kapasitas produksi yang antar periode memiliki perbedaan yang fluktuatif. Pengaturan yang dilakukan dalam penyesuaian kondisi tersebut adalah dengan menggunakan fitur *periodic rates* lalu memilih *hourly rates custom daily repeat* seperti ditunjukkan pada gambar berikut.



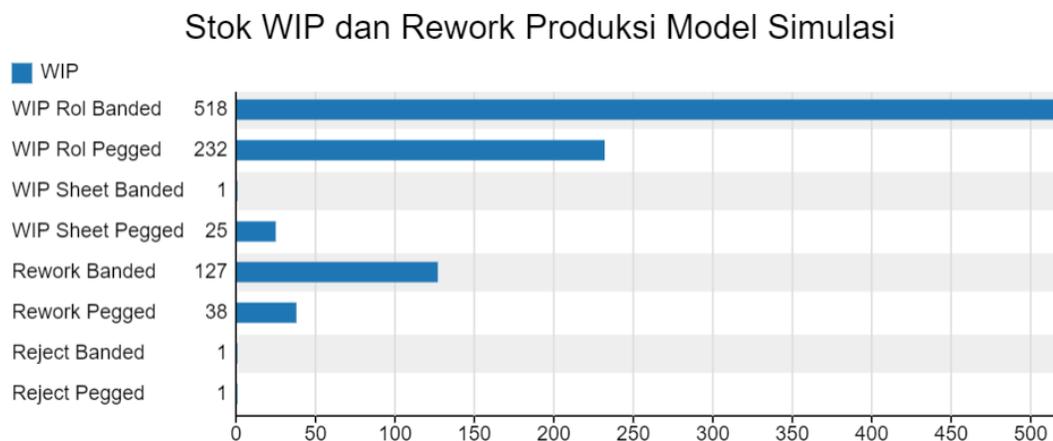
**Gambar 4.7** Pengaturan Waktu Proses Pada Tingkat Produksi Fluktuatif

Fitur ini memberikan pengaturan dalam menyesuaikan kapasitas produksi pada setiap jamnya. Model ini memberikan asumsi dalam mendefinisikan satu periode produksi aktual yang mencakup satu minggu menjadi satu jam dalam model Flexsim. Meskipun terdapat satuan waktu namun secara hasil keseluruhan model ini dapat memberikan keakuratan dengan kondisi sistem produksi aktual berdasarkan hasil uji validasi. Model simulasi telah dinilai valid mewakili aktual sistem produksi aktual dengan terpenuhinya asumsi pada uji beda rata-rata, variansi, dan chi square. Langkah berikutnya adalah melakukan analisa mendalam terkait bagian mana atau item mana yang membutuhkan penyesuaian stok buffer. Langkah ini dapat dipenuhi dengan menjalankan simulasi model dan melakukan penarikan evaluasi produksi khususnya pada bagian atau item yang memiliki tingkat % *idle*. Tingkat *idle* menunjukkan bila pada bagian tersebut terdampak akan adanya gangguan produksi akibat dari ketidakpastian kualitas material pasok. Model disimulasikan mencakup 30 periode dengan hasil performa produksi model sebagai berikut.



**Gambar 4.8** Tingkat Idle Item Proses Produksi Model Simulasi

Grafik data diatas menunjukkan bila semua item model yang melakukan proses produksi memiliki efisiensi tinggi atau kapasitas produksi dapat terserap maksimal kecuali hanya pada item proses secondary banded. Merujuk gambar grafik tersebut, maka tingkat ketercapaian produksi model pada *secondary pegged* dan *banded* adalah 99.66% dan 88.11%. Rata – rata dari ketercapaian rencana jenis produksi model tersebut adalah 93.88% dimana nilai tersebut mendekati atau sama dengan nilai data sistem aktual sebesar 94%. Perbandingan nilai performa tersebut mengindikasikan bila model juga telah representatif. Kendala pasokan material yang bermasalah akibat isu kualitas menjadi faktor tidak tercapainya rencana produksi pada produk banded. Merujuk data pada Tabel 4.2, keseluruhan nilai rencana produksi dan keseluruhan hasil produksi secondary banded dalam kurun 30 periode adalah 30.067 bal dan 26.137 bal dimana selisihnya adalah 3.930 bal. Hal ini mendukung dengan hasil material yang masuk dalam gudang reject model simulasi dalam 30 periode yang mencapai nilai sebesar 3.998 bal. Gambar berikut merupakan hasil simulasi model pada stok WIP dan bagian rework.

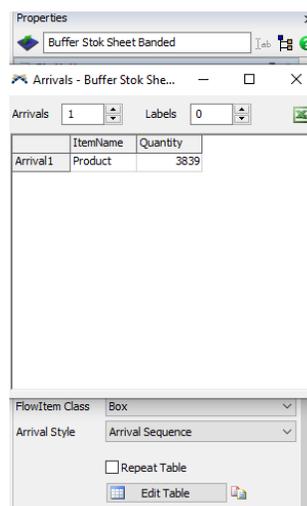


**Gambar 4.9** Stok WIP dan Rework Produksi Model Simulasi

Stok akhir WIP Sheet pada simulasi model juga menunjukkan bila pasokan pada produk banded tidak memiliki stok cukup namun pada bagian rework memiliki nilai yang besar. Pemaparan data ini menunjukkan bila bagian *secondary banded* adalah bagian yang akan lebih difokuskan dalam optimalisasi stok buffer mempertimbangkan tingkat idle bagian lain yang rendah bahkan mendekati 0%. Tingkat idle rendah menandakan bila kapasitas produksi pada bagian tersebut telah terserap dengan baik. Berbeda dengan bagian *secondary banded* yang memiliki nilai idle paling besar sebesar 12.12%. Kondisi ini ditunjang dengan stok pasokan produk banded yang tidak mumpuni akibat adanya dampak isu kualitas yang menyebabkan nilai stok rework lebih besar daripada stok WIP. Dengan demikian, pada tahap berikutnya pengaturan stok buffer optimal harus dilakukan untuk mengupayakan pemenuhan rencana produksi pada jenis produk banded yang tertuju pada bagian *secondary banded* sebagai upaya menghadapi dan mengantisipasi gangguan produksi dari adanya ketidakpastian proses kualitas produk pasokan.

#### d. Desain Eksperimental dan Solusi Alternatif

Optimalisasi stok buffer pada wip sheet dilakukan untuk mendukung ketercapaian rencana produksi bagian secondary terkhusus untuk jenis produk banded. Stok buffer yang diatur diharapkan dapat menjadi strategi fleksibilitas dalam sistem menghadapi adanya ketidakpastian proses kualiti produk yang menyebabkan gangguan produksi. Stok buffer akan melindungi kestabilan pasokan material sehingga proses di secondary dapat dilakukan secara maksimal dalam menyerap kapasitas produksi.



**Gambar 4.10** Pendefinisian Eksperimen Flexsim Stok Buffer Sheet Banded

Eksperimen dengan menggunakan FlexSim dilakukan untuk meninjau jumlah stok buffer yang optimal untuk diterapkan dalam sistem berdasarkan data historis 30 periode. Eksperimen akan meninjau potensi pemberian stok buffer optimal dalam 1 *sequence* waktu atau secara parsial bertahap. Langkah teknis yang dilakukan dalam simulasi FlexSim adalah dengan :

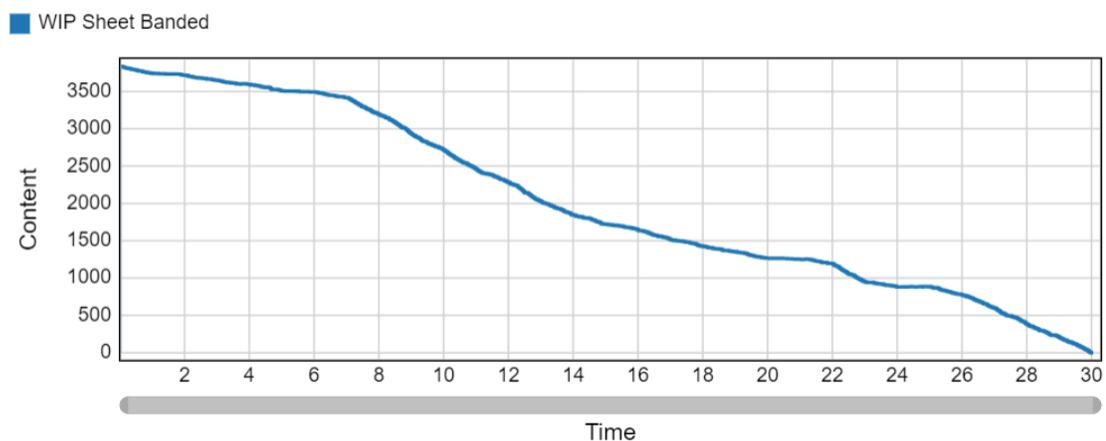
- 1) Definisi nilai stok item source “*buffer stok sheet banded*”
- 2) Jalan simulasi Flexsim 30 periode,
- 3) Eksport hasil *throughput secondary banded dan pegged*
- 4) Perhitungan % rata ketercapaian rencana jenis produksi dari hasil throughput dibagi rencana produksi setiap produ, dan
- 5) *Trial error* eksperimen hingga nilai ketercapaian rencana jenis produksi 100%

Pada eksperimen satu *sequence*, *stok* buffer dinyatakan optimal apabila dapat mengakomodir 100% ketercapaian rencana produksi jenis produk banded pada keseluruhan periode. Item souce pada Flexsim yang bernama “*buffer stok sheet banded*” dilakukan pendefinisian pada *arrival style* dengan “*arrival sequence*” pada periode 1 diatur dalam nilai tertentu seperti pada gambar diatas. Langkah tersebut dilakukan secara *trial error* hingga target ketercapaian rencana produksi terpenuhi. Berikut tabel rekap hasil pencapaian rencana jenis produksi berdasarkan eksperimen terhadap jumlah stok buffer.

**Tabel 4.7** Rekap Hasil Eksperimen Stok Buffer Sheet Banded Satu *Sequence*

Jumlah Stok Buffer WIP Sheet (Bal)	% Rata Ketercapaian Rencana Jenis Produksi Banded	% Rata Ketercapaian Rencana Jenis Produksi Pegged	% Target Ketercapaian Rencana Produksi	Sisa WIP Banded (Bal)	Sisa WIP Banded (Bal)	Keterangan
165	88,1%	100,0%	100%	0	25	Kapasitas aktual area buffer
1685	93,5%	100,0%	100%	0	25	Kapasitas maksimal area buffer
2000	94,3%	100,0%	100%	0	25	
2500	96,1%	100,0%	100%	0	25	
2750	97,4%	100,0%	100%	0	25	
3000	98,1%	100,0%	100%	0	25	
3250	98,8%	100,0%	100%	0	25	
3500	99,3%	100,0%	100%	0	25	
3750	99,8%	100,0%	100%	0	25	
3839	100,0%	100,0%	100%	0	25	Stok Buffer Optimal Satu Sequence
3850	100,0%	100,0%	100%	12	25	
3864	100,0%	100,0%	100%	26	25	
3875	100,0%	100,0%	100%	37	25	
4000	100,0%	100,0%	100%	162	25	

Jumlah stok buffer wip sheet satu sequence dengan jumlah 3.839 bal memberi dampak positif dengan tercapainya rencana produksi secara keseluruhan periode. Nilai stok buffer tersebut diatur dalam FlexSim akan tersedia langsung dalam periode pertama. Namun pada praktiknya ini akan memiliki banyak hambatan untuk dipenuhi dalam aspek ketersediaan waktu produksi tambahan dan ketersediaan area stok buffer. Kapasitas area buffer yang tersedia maksimal hanya pada 1.685 bal dimana nilai ini hanya dapat mengakomodir nilai stok buffer tersebut. Sedangkan produksi bagian sheeting sebagai pemasok material buffer hanya memiliki rata-rata kapasitas tambahan sebesar 392 - 400 bal dalam satu periodenya. Nilai tersebut didapatkan berdasarkan kapasitas produksi rata-rata dalam 1 periode untuk 1 shift. Kondisi aktual bagian sheeter baru menggunakan 2 shift dimana kapasitas maksimumnya dapat berjalan 3 shift. Hal ini mengindikasikan bila kapasitas produksi dalam satu periodenya hanya dapat mengakomodir 1/9 kebutuhan stok buffer atau butuh 9-10 periode tambahan waktu produksi untuk memenuhi. Hasil tersebut juga mengindikasikan bila pemberian buffer stok dalam 1 waktu tidak memungkinkan terpenuhi meninjau dari kapasitas produksi dan area buffer. Berdasarkan hal tersebut, analisa lanjutan dilakukan untuk meninjau potensi akan nilai stok buffer tersebut dipenuhi secara parsial atau bertahap. Analisa dilakukan menggunakan simulasi Flexsim berdasarkan data tingkat penyerapan stok buffer pada item penyimpanan “*Queue WIP sheet banded*”.



**Gambar 4.11** Tingkat Penyerapan Stok Buffer WIP Sheet Banded Satu Sequence

Hasil menunjukkan bila stok buffer satu *sequence* dalam simulasi tidak terserap secara langsung pada awal periode. Penyerapan signifikan baru ditunjukkan pada 15 periode akhir. Hal ini menunjukkan bila penentuan jumlah stok buffer dapat dilakukan secara

parsial atau bertahap. Pada penelitian ini, pemenuhan parsial stok buffer pada setiap periodenya ditetapkan dengan melakukan percobaan secara *trial dan error* hingga terpenuhi nilai ketercapaian rencana produksi 100% dan menjangkau keterbatasan sistem. Nilai buffer stok yang ditetapkan untuk tersedia setiap periodenya dengan nilai yang sama rata untuk menjaga kestabilan jadwal produksi dalam mengoptimalkan ketercapaian rencana produksi.

Arrival	ArrivalTime	ItemName	Quantity
Arrival1	0	Product	155
Arrival2	1	Product	155
Arrival3	2	Product	155
Arrival4	3	Product	155
Arrival5	4	Product	155
Arrival6	5	Product	155
Arrival7	6	Product	155
Arrival8	7	Product	155
Arrival9	8	Product	155
Arrival10	9	Product	155
Arrival11	10	Product	155
Arrival12	11	Product	155
Arrival13	12	Product	155
Arrival14	13	Product	155
Arrival15	14	Product	155
Arrival16	15	Product	155
Arrival17	16	Product	155
Arrival18	17	Product	155
Arrival19	18	Product	155
Arrival20	19	Product	155
Arrival21	20	Product	155
Arrival22	21	Product	155
Arrival23	22	Product	155
Arrival24	23	Product	155
Arrival25	24	Product	155
Arrival26	25	Product	155
Arrival27	26	Product	155
Arrival28	27	Product	155
Arrival29	28	Product	155
Arrival30	29	Product	155

Arrival	ArrivalTime	ItemName	Quantity
Arrival1	0	Product	150
Arrival2	1	Product	150
Arrival3	2	Product	150
Arrival4	3	Product	150
Arrival5	4	Product	150
Arrival6	5	Product	150
Arrival7	6	Product	150
Arrival8	7	Product	150
Arrival9	8	Product	150
Arrival10	9	Product	150
Arrival11	10	Product	150
Arrival12	11	Product	150
Arrival13	12	Product	150
Arrival14	13	Product	150
Arrival15	14	Product	150
Arrival16	15	Product	150
Arrival17	16	Product	150
Arrival18	17	Product	150
Arrival19	18	Product	150
Arrival20	19	Product	150
Arrival21	20	Product	150
Arrival22	21	Product	150
Arrival23	22	Product	150
Arrival24	23	Product	150
Arrival25	24	Product	150
Arrival26	25	Product	150
Arrival27	26	Product	150
Arrival28	27	Product	150
Arrival29	28	Product	150
Arrival30	29	Product	150

Arrival	ArrivalTime	ItemName	Quantity
Arrival1	0	Product	145
Arrival2	1	Product	145
Arrival3	2	Product	145
Arrival4	3	Product	145
Arrival5	4	Product	145
Arrival6	5	Product	145
Arrival7	6	Product	145
Arrival8	7	Product	145
Arrival9	8	Product	145
Arrival10	9	Product	145
Arrival11	10	Product	145
Arrival12	11	Product	145
Arrival13	12	Product	145
Arrival14	13	Product	145
Arrival15	14	Product	145
Arrival16	15	Product	145
Arrival17	16	Product	145
Arrival18	17	Product	145
Arrival19	18	Product	145
Arrival20	19	Product	145
Arrival21	20	Product	145
Arrival22	21	Product	145
Arrival23	22	Product	145
Arrival24	23	Product	145
Arrival25	24	Product	145
Arrival26	25	Product	145
Arrival27	26	Product	145
Arrival28	27	Product	145
Arrival29	28	Product	145
Arrival30	29	Product	145

Arrival	ArrivalTime	ItemName	Quantity
Arrival1	0	Product	140
Arrival2	1	Product	140
Arrival3	2	Product	140
Arrival4	3	Product	140
Arrival5	4	Product	140
Arrival6	5	Product	140
Arrival7	6	Product	140
Arrival8	7	Product	140
Arrival9	8	Product	140
Arrival10	9	Product	140
Arrival11	10	Product	140
Arrival12	11	Product	140
Arrival13	12	Product	140
Arrival14	13	Product	140
Arrival15	14	Product	140
Arrival16	15	Product	140
Arrival17	16	Product	140
Arrival18	17	Product	140
Arrival19	18	Product	140
Arrival20	19	Product	140
Arrival21	20	Product	140
Arrival22	21	Product	140
Arrival23	22	Product	140
Arrival24	23	Product	140
Arrival25	24	Product	140
Arrival26	25	Product	140
Arrival27	26	Product	140
Arrival28	27	Product	140
Arrival29	28	Product	140
Arrival30	29	Product	140

**Gambar 4.12** Pendefinisian Eksperimen Flexsim Stok Buffer Sheet Banded Bertahap  
Eksperimen dilakukan kembali menggunakan simulasi FlexSim dengan mendefinisikan nilai 155, 150, 145, dan 140 bal dalam *arrival schedule* item *source* stok *buffer sheet banded* dari periode 1 hingga 30 secara konstan sama.

**Tabel 4.8** Rekap Hasil Eksperimen Stok Buffer Sheet Banded Bertahap

Jumlah Stok Buffer WIP Sheet (Bal) Per periode	% Rata Ketercapaian Rencana Jenis Produksi Banded	% Rata Ketercapaian Rencana Jenis Produksi Pegged	Sisa WIP Banded (Bal)	Sisa WIP Banded (Bal)	Total Sisa WIP Semua Produk (Bal)	% Target Ketercapaian Rencana Produksi	Kapasitas Produksi Sheeter Tambahan Per Periode (Bal)	Kapasitas Area Buffer (Bal)	Keterangan
140	99.9%	100.0%	397	25	422	100%	392	1685	
145	100.0%	100.0%	512	25	537	100%	392	1685	Stok Buffer optimal
150	100.0%	100.0%	662	25	687	100%	392	1685	
155	100.0%	100.0%	812	25	837	100%	392	1685	

Nilai hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan rumus perhitungan safety stok dalam model matematika. Perhitungan stok buffer dengan menggunakan rumus safety stock menunjukkan nilai dengan pilihan service level 90 – 99%. Semakin besar nilai service level yang ditetapkan, maka nilai buffer terpilih juga semakin besar, namun akan berpengaruh buruk untuk semakin besarnya nilai inventory dalam sistem. Perhitungan rumus tidak dapat memberikan analisa lebih sejauh mana kapasitas area buffer dapat mengakomodir nilai maksimal inventory yang terdapat dalam sistem produksi. Hasil perhitungan rumus safety stok juga tidak mampu dalam memberikan informasi potensial tingkat ketercapaian rencana produksi dalam masing service level.

**Tabel 4.9** Standar Deviasi Permintaan Produksi Banded

Periode	Jenis Produksi	Tingkat Permintaan Produksi Secondary (x)	Rata - Rata Permintaan Produksi Secondary ( $\bar{x}$ )	$(x-\bar{x})^2$
1	Banded	666	1002	113118
2	Banded	199	1002	645371
3	Banded	462	1002	291784
4	Banded	518	1002	234311
5	Banded	776	1002	51246
6	Banded	180	1002	676446
7	Banded	530	1002	223118
8	Banded	1515	1002	263043
9	Banded	1887	1002	781947
10	Banded	1520	1002	268547
11	Banded	1634	1002	398753
12	Banded	1434	1002	186519
13	Banded	1681	1002	460579
14	Banded	1405	1002	161893
15	Banded	1086	1002	7051
16	Banded	646	1002	126923
17	Banded	1053	1002	2618
18	Banded	906	1002	9298
19	Banded	765	1002	56227
20	Banded	868	1002	17957
21	Banded	134	1002	754323
22	Banded	460	1002	294272
23	Banded	1779	1002	603466
24	Banded	680	1002	103838
25	Banded	74	1002	862439
26	Banded	848	1002	23717
27	Banded	1293	1002	84692
28	Banded	2018	1002	1031054
29	Banded	1467	1002	216414
30	Banded	1584	1002	338121
			$\sqrt{ \Sigma(x-\bar{x})^2}$	<b>3048</b>
			Jumlah Data N	<b>30</b>
			N-1	<b>29</b>
			<b>Standar Deviasi Permintaan Produksi <math>\sigma = \sqrt{ \Sigma(x-\bar{x})^2/(n-1) }</math></b>	<b>105,10</b>

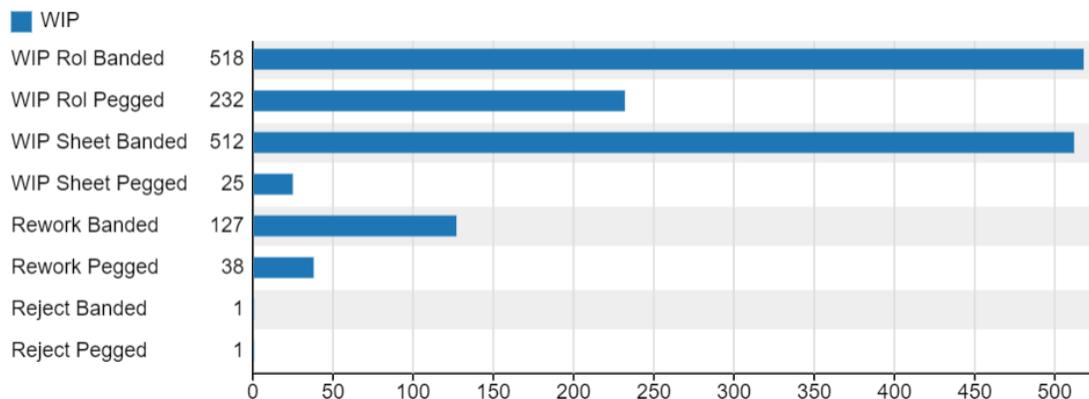
Hasil nilai standar deviasi permintaan produksi kemudian diolah dalam perhitungan safety stok dengan asumsi leadtime memiliki kepastian atau diharapkan dapat stabil

selama 1 periode. Hasil simulasi flexSim menunjukkan stok buffer optimal berada pada nilai 145 bal. Nilai ini setara dengan hasil perhitungan rumus safety stock dengan service level 91.75%. Apabila perhitungan rumus safety stok diatur pada service level maksimal dengan nilai 99%, maka nilai stok buffer akan lebih besar dari hasil simulasi flexSim. Sistem akan terhindar dari risiko gangguan produksi, namun nilai inventory mengalami overstock yang akan menambah biaya kapasitas tambahan dan juga inventory. Nilai stok inventory dalam perhitungan rumus safety stok dapat diatur pada target service level 91,75 % untuk mencapai ketercapaian rencana produksi multiproduk dengan nilai stok buffer optimal.

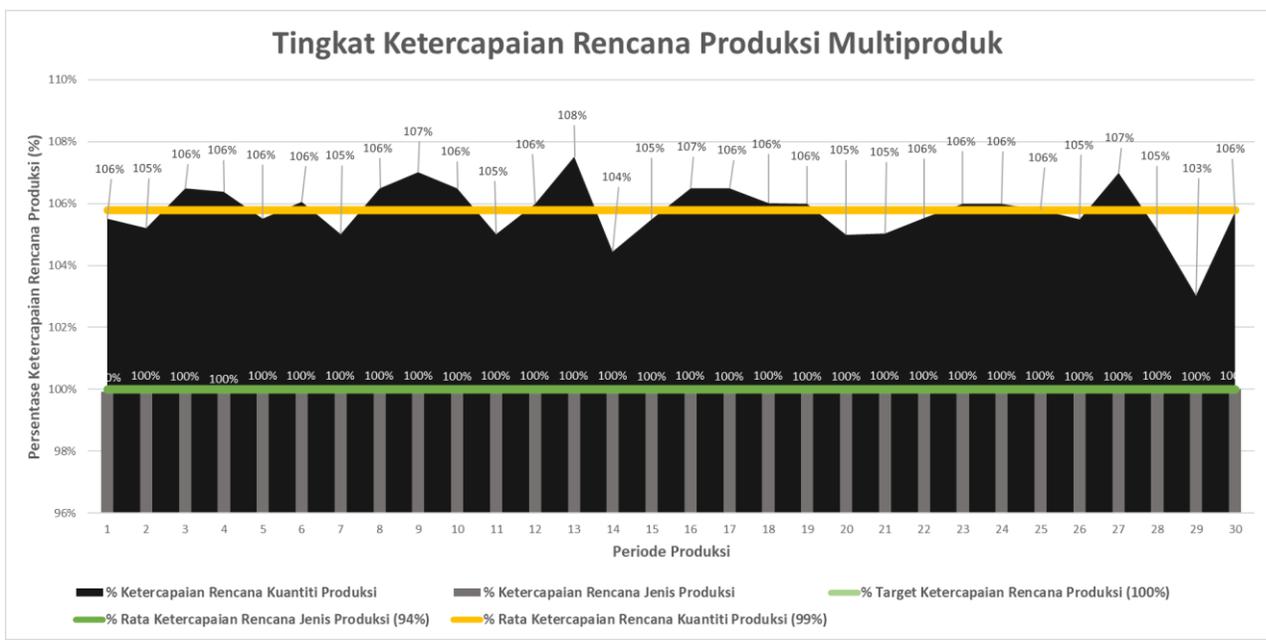
**Tabel 4.10** Hasil Perhitungan Safety Stok Model Matematika dan simulasi FlexSim

Service Level	Z	$\sigma$ Stdev Permintaan Produksi	$\sqrt{\text{Leadtime}}$	Safety Stock (Model Matematika) = z $\times \sigma \times \sqrt{\text{Leadtime}}$	Safety Stock (Simulasi Tesis)
90,00%	1,2815516	105,10	1,00	134,69	145,00
90,25%	1,2959288	105,10	1,00	136,20	145,00
90,50%	1,3105791	105,10	1,00	137,74	145,00
90,75%	1,3255162	105,10	1,00	139,31	145,00
91,00%	1,340755	105,10	1,00	140,91	145,00
91,25%	1,3563117	105,10	1,00	142,54	145,00
91,50%	1,3722038	105,10	1,00	144,21	145,00
91,75%	1,3884502	105,10	1,00	145,92	145,00
92,00%	1,4050716	105,10	1,00	147,67	145,00
92,25%	1,4220904	105,10	1,00	149,46	145,00
92,50%	1,4395315	105,10	1,00	151,29	145,00
92,75%	1,4574217	105,10	1,00	153,17	145,00
93,00%	1,475791	105,10	1,00	155,10	145,00
93,25%	1,4946722	105,10	1,00	157,08	145,00
93,50%	1,5141019	105,10	1,00	159,13	145,00
93,75%	1,5341205	105,10	1,00	161,23	145,00
94,00%	1,5547736	105,10	1,00	163,40	145,00
94,25%	1,576112	105,10	1,00	165,64	145,00
94,50%	1,5981931	105,10	1,00	167,96	145,00
94,75%	1,6210823	105,10	1,00	170,37	145,00
95,00%	1,6448536	105,10	1,00	172,87	145,00
95,25%	1,6695926	105,10	1,00	175,47	145,00
95,50%	1,6953977	105,10	1,00	178,18	145,00
95,75%	1,7223839	105,10	1,00	181,02	145,00
96,00%	1,7506861	105,10	1,00	183,99	145,00
96,25%	1,7804643	105,10	1,00	187,12	145,00
96,50%	1,8119107	105,10	1,00	190,43	145,00
96,75%	1,8452581	105,10	1,00	193,93	145,00
97,00%	1,8807936	105,10	1,00	197,66	145,00
97,25%	1,9188762	105,10	1,00	201,67	145,00
97,50%	1,959964	105,10	1,00	205,99	145,00
97,75%	2,0046545	105,10	1,00	210,68	145,00
98,00%	2,0537489	105,10	1,00	215,84	145,00
98,25%	2,1083584	105,10	1,00	221,58	145,00
98,50%	2,1700904	105,10	1,00	228,07	145,00
98,75%	2,2414027	105,10	1,00	235,56	145,00
99,00%	2,3263479	105,10	1,00	244,49	145,00

Stok buffer sheet banded yang berjumlah 145 bal menandakan bila saat suatu periode dimulai, sistem memiliki stok material wip sheet sejumlah 145 bal. Hasil menunjukkan bila alternatif solusi dengan menetapkan 145 bal sebagai stok buffer dalam setiap periodenya masih tetap dapat memberikan dampak positif dengan tercapainya 100% rencana produksi dari periode 1 hingga 30 pada jenis produk banded dan pegged dengan nilai sisa stok WIP paling sedikit.



**Gambar 4.13** Sisa Stok WIP dan Rework Produksi Simulasi Stok Buffer 145 Bal Bertahap



**Gambar 4.14** Tingkat Ketercapaian Rencana Produksi Simulasi Strategi Reaktif

Grafik diatas didapatkan berdasarkan data hasil simulasi model yang dibandingkan dengan rencana produksi data historis yang ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 4.11** Data Ketercapaian Rencana Produksi Simulasi Strategi Reaktif

Jenis Produksi	Periode	Rencana Produksi (Bal)	Tingkat Hasil Produksi Secondary (Bal)	% Ketercapaian Rencana Jenis Produksi	% Ketercapaian Rencana Kuantiti Produksi	% Target Ketercapaian Rencana Produksi
Banded	1	666	665	100%	106%	100%
Pegged	1	330	367	100%	106%	100%
Banded	2	199	200	100%	105%	100%
Pegged	2	645	708	100%	105%	100%
Banded	3	462	462	100%	106%	100%
Pegged	3	227	256	100%	106%	100%
Banded	4	518	517	100%	106%	100%
Pegged	4	496	560	100%	106%	100%
Banded	5	776	776	100%	106%	100%
Pegged	5	441	489	100%	106%	100%
Banded	6	180	180	100%	106%	100%
Pegged	6	132	148	100%	106%	100%
Banded	7	530	530	100%	105%	100%
Pegged	7	3	3	100%	105%	100%
Banded	8	1,515	1,515	100%	106%	100%
Pegged	8	356	402	100%	106%	100%
Banded	9	1,887	1,887	100%	107%	100%
Pegged	9	377	430	100%	107%	100%
Banded	10	1,520	1,520	100%	106%	100%
Pegged	10	464	524	100%	106%	100%
Banded	11	1,634	1,634	100%	105%	100%
Pegged	11	249	274	100%	105%	100%
Banded	12	1,434	1,434	100%	106%	100%
Pegged	12	391	438	100%	106%	100%
Banded	13	1,681	1,681	100%	108%	100%
Pegged	13	344	396	100%	108%	100%
Banded	14	1,405	1,405	100%	104%	100%
Pegged	14	417	454	100%	104%	100%
Banded	15	1,086	1,086	100%	105%	100%
Pegged	15	345	383	100%	105%	100%
Banded	16	646	646	100%	107%	100%
Pegged	16	345	390	100%	107%	100%
Banded	17	1,053	1,053	100%	106%	100%
Pegged	17	225	254	100%	106%	100%
Banded	18	906	906	100%	106%	100%
Pegged	18	216	242	100%	106%	100%
Banded	19	765	765	100%	106%	100%
Pegged	19	331	371	100%	106%	100%
Banded	20	868	868	100%	105%	100%
Pegged	20	375	413	100%	105%	100%
Banded	21	134	134	100%	105%	100%
Pegged	21	730	802	100%	105%	100%
Banded	22	460	460	100%	106%	100%
Pegged	22	768	852	100%	106%	100%
Banded	23	1,779	1,779	100%	106%	100%
Pegged	23	473	530	100%	106%	100%
Banded	24	680	680	100%	106%	100%
Pegged	24	597	669	100%	106%	100%
Banded	25	74	74	100%	106%	100%
Pegged	25	993	1,102	100%	106%	100%
Banded	26	848	848	100%	105%	100%
Pegged	26	914	1,015	100%	105%	100%

Jenis Produksi	Periode	Rencana Produksi (Bal)	Tingkat Hasil Produksi Secondary (Bal)	% Ketercapaian Rencana Jenis Produksi	% Ketercapaian Rencana Kuantiti Produksi	% Target Ketercapaian Rencana Produksi
Banded	27	1,293	1,293	100%	107%	100%
Pegged	27	375	427	100%	107%	100%
Banded	28	2,018	2,018	100%	105%	100%
Pegged	28	353	389	100%	105%	100%
Banded	29	1,467	1,467	100%	103%	100%
Pegged	29	592	628	100%	103%	100%
Banded	30	1,584	1,584	100%	106%	100%
Pegged	30	355	396	100%	106%	100%
% Rata Ketercapaian Rencana Jenis Produksi				100%		
% Rata Ketercapaian Rencana Kuantiti Produksi					106%	
% Target Ketercapaian Rencana Produksi						100%

Hasil simulasi menunjukkan bila potensial dampak dari implementasi strategi reaktif akan memberi peningkatan ketercapaian target rencana produksi jenis produk dari yang sebelumnya 94 % dapat menjadi 100 %. Nilai stok buffer bertahap tersebut masih dibawah ambang batas kapasitas produksi tambahan dan area buffer sehingga dapat ditetapkan sebagai alternatif solusi yang diusulkan. Hal yang harus dipertimbangkan dalam teknis implementasi stok buffer sheet banded 145 bal dalam setiap periodenya adalah dengan melihat (1) kapasitas area *stok buffer* (2) kapasitas produksi tambahan bagian *sheeter* (3) kapasitas produksi bagian *primary*.

#### 1) Kapasitas area stok buffer

Kapasitas maksimum dari area stok buffer adalah 1.685 bal.

WIP Sheet Banded					WIP Sheet Pegged				
Statistics					Statistics				
State releasing					State releasing				
Throughput					Throughput				
Input		Output			Input		Output		
30580.00		30068.00			14338.00		14313.00		
Content					Content				
Curr	Min	Max	Avg		Curr	Min	Max	Avg	
512.00	0.00	854.00	428.35		25.00	0.00	53.00	25.63	
Staytime					Staytime				
Min	Max	Avg			Min	Max	Avg		
0.00	1.75	0.42			0.00	1.15	0.05		

**Gambar 4.15** Hasil Simulasi Model FlexSim Stok Buffer Bertahap

Simulasi Flexsim menunjukkan bila item *queue* penyimpanan WIP *sheet banded* dan *pegged* memiliki konten maksimum sebesar 854 bal dan 52 bal. Penetapan stok buffer sejumlah 145 bal menjadikan potensial konten maksimum dalam area penyimpanan stok menjadi 906 Bal. Jumlah tersebut masih dibawah kapasitas maksimum area dengan 1.685 bal sehingga alternatif solusi dari penetapan stok buffer 145 bal dapat dipenuhi dalam segi area penyimpanan stok yang tersedia.

## 2) Kapasitas produksi bagian primary

Kebutuhan stok buffer WIP sheet menyebabkan adanya penambahan tambahan kapasitas produksi Sheeter. Analisa dilakukan untuk melihat ketersediaan kapasitas primary dalam memasok material menyesuaikan kebutuhan buffer. Analisa dilakukan dengan merujuk hasil data simulasi pada Gambar 4.13 dimana Primary memiliki sisa stok WIP per periode pada rata – rata 518 bal untuk banded. Nilai ini masih cukup untuk memenuhi kebutuhan tambahan sheeter dengan kapasitas maksimal primary yang dapat diserap seperti pada Gambar 4.14. Hal yang harus diperhatikan adalah jadwal produksi yang diberikan *planner* harus dijalankan semestinya sesuai jenis dan kuantiti. Risiko kehilangan material akibat isu kualitas yang dapat ditemukan di bagian primary harus segera dicover untuk kelancaran dan stabilnya jadwal rencana produksi.

## 3) Kapasitas produksi tambahan bagian sheeter

Implementasi penambahan stok buffer bertahap 145 bal per periode mengharuskan adanya tambahan kapasitas produksi pada bagian sheeter. Berdasarkan observasi, bagian sheeter produksi dengan menggunakan alokasi 2 shift dalam setiap periodenya dengan jumlah 6 mesin untuk setiap shift sehingga setiap harinya terdapat 12 mesin yang beroperasi dalam 2 shift.

**Tabel 4.12** Kebutuhan Kapasitas Produksi Sheeter Tambahan

Variabel	Satuan	Kuantiti	Keterangan
Kapasitas produksi per periode	bal / periode	782	
Kebutuhan stok buffer per periode	bal / periode	145	
<b>Kebutuhan hasil produksi per periode</b>	<b>bal / periode</b>	<b>927</b>	1 periode
Kapasitas produksi per periode	bal / periode	782	terdiri 6
Jumlah hari per periode	hari / periode	6	hari. 1 hari
<b>Kapasitas hasil produksi mesin per hari</b>	<b>bal / 12 mesin / hari</b>	<b>131</b>	terdiri 2
<b>Kapasitas hasil produksi mesin per hari</b>	<b>bal / mesin / hari</b>	<b>10</b>	shift. Setiap
Kebutuhan hasil produksi per periode	bal / periode	927	shift jalan 6
Kebutuhan hasil produksi per hari	bal / hari	155	mesin.
Kapasitas hasil produksi mesin per hari	bal / mesin / hari	10	Kapasitas
<b>Kebutuhan mesin sheeter per hari</b>	<b>mesin</b>	<b>15</b>	maksimum
Kapasitas aktual shift beroperasi per hari	shift / hari	2	mesin dan
Kapasitas aktual mesin beroperasi per shift	mesin / shift	12	shift kerja
Kapasitas maksimum mesin beroperasi per hari	mesin / hari	18	beroperasi
Kapasitas maksimum shift beroperasi per hari	shift / hari	3	per hari
<b>Kebutuhan mesin sheeter per hari</b>	mesin / hari	15	adalah 18
<b>Kebutuhan shift kerja sheeter per hari</b>	shift / hari	3	mesin dan 3
<b>Jumlah mesin produksi tambahan</b>	<b>mesin / hari</b>	<b>3</b>	shift.
<b>Jumlah shift kerja produksi tambahan</b>	<b>shift / hari</b>	<b>1</b>	

Tambahan kapasitas dapat dilakukan dengan menjalankan produksi pada 3 shift dengan akumulasi maksimal jumlah mesin dapat beroperasi adalah 15 mesin / hari (5 mesin per shift x 3 shift). Kapasitas produksi sheeter bertambah dengan menjalankan 3 shift dari yang sebelumnya 2 shift. Shift 1, 2 dan 3 masing - masing jalan 5 mesin. Total mesin beroperasi dalam 1 hari adalah 15 mesin dari yang sebelumnya sejumlah 12 dan kapasitas maksimumnya sejumlah 18 mesin per hari. Berdasarkan perhitungan dari jumlah mesin yang dibutuhkan, maka perusahaan harus menambah 9 operator mesin sheeter (1 mesin = 3 operator) untuk 3 mesin dapat berjalan 3 shift dengan total 15 mesin beroperasi per harinya.

e. Perhitungan Biaya Implementasi Solusi Alternatif

Strategi reaktif dibangun dengan menyediakan stok buffer sejumlah 145 bal pada setiap periodenya dengan menambah kapasitas produksi bagian sheeter. Penambahan kapasitas mencakup adanya penambahan operator untuk menjalankan 3 mesin tambahan pada sheeter sehingga total akan ada 15 mesin beroperasi pada 3 shift. Perhitungan biaya dari implementasi strategi reaktif diuraikan pada tabel berikut.

**Tabel 4.13** Perhitungan Biaya Implementasi Strategi Reaktif

Variabel	Satuan	Kuantiti / Biaya
Operator per mesin	mp / mesin	3
Kebutuhan kapasitas produksi tambahan (mesin)	mesin / hari	3
Kebutuhan kapasitas produksi tambahan (operator)	mp / hari	0
Biaya operator tambahan per bulan	Rp / mp / bulan	Rp 2,159,519
Jumlah periode dalam bulan	periode / bulan	4
Total biaya operator tambahan per bulan	Rp / 9 mp / 4 periode	Rp 19.435.671
Total biaya operator tambahan per periode	Rp / 9 mp / 1 periode	Rp 4.858.918
Kebutuhan waktu penambahan kapasitas produksi	periode	30
<b>Total biaya strategi reaktif (stok buffer)</b>	<b>Rp / 9 mp / 30 periode</b>	<b>Rp 145.767.533</b>

Perhitungan biaya implementasi menggunakan asumsi gaji UMR Sleman 2023 dalam menentukan biaya operator tambahan dalam 1 bulannya atau per 4 periode. Perhitungan biaya implementasi ini menggunakan asumsi bahwasanya strategi ini diterapkan untuk sejumlah data historis yang digunakan yaitu 30 periode. Adanya penambahan kapasitas produksi yang terdiri dari 3 mesin maka dibutuhkan 9 orang dimana formasinya membutuhkan 3 orang per mesin. Berdasarkan tambahan kapasitas tersebut serta asumsi gaji yang telah disebutkan maka total biaya yang perlu dikeluarkan oleh perusahaan dalam usahanya untuk mengimplementasikan strategi reaktif ini membutuhkan biaya sebesar Rp

145.767.533. Perhitungan biaya ini adalah dasar untuk dilakukan analisa tambahan dalam melihat sejumlah berapa pengorbanan yang perlu diperhitungkan oleh perusahaan agar strategi reaktif berupa penyediaan stok buffer dapat terlaksana. Adanya implementasi strategi reaktif ini meskipun memberikan adanya biaya yang harus dikeluarkan oleh perusahaan namun dampak yang akan ditimbulkan dengan stabilnya jadwal dan juga ketercapaian rencana produksi harus dianalisa lebih lanjut untuk melihat seberapa dampak positif yang diberikan. Biaya implementasi yang dikeluarkan sebanding dengan hasil yang didapatkan pada keuntungan atau nilai lain yang tentukan oleh perusahaan.

#### 4.1.4 Pengolahan Data Strategi Proaktif

Pareto dan *Fault Tree Analysis (FTA)* memiliki tujuan untuk memperoleh akar masalah dari sumber masalah kualitas yang terjadi. Hasil dari pengolahan data ini adalah strategi untuk dapat mencegah masalah kualitas terjadi sehingga dapat mengoptimalkan ketercapaian rencana produksi.

##### 1. Pareto – Identifikasi Jenis Dan Tingkat Masalah kualitas Produksi

Pengolahan data pada tahap ini merujuk data pada Tabel 4.2 untuk merekap data dalam mengidentifikasi jenis masalah dan tingkat masalah kualitas produksi. Data berikut merujuk rekapan dari 30 periode pada bulan Agustus 2022 hingga Februari 2023.

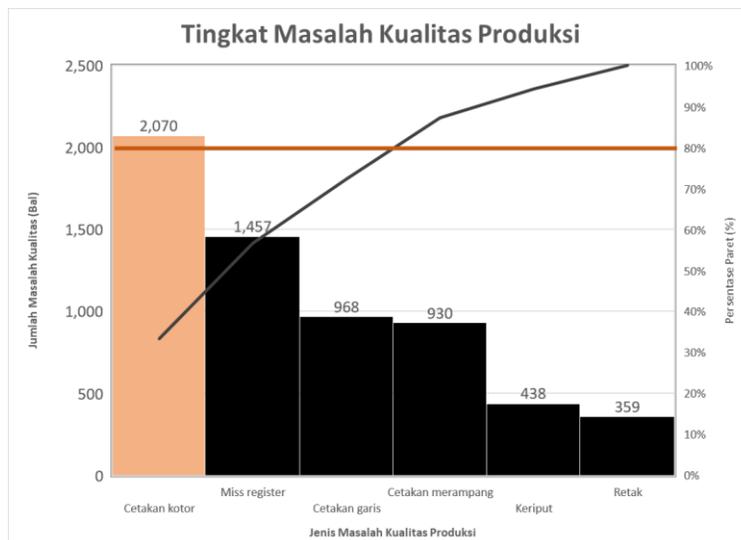
**Tabel 4.14** Data Identifikasi Jenis dan Tingkat Masalah Kualitas

Jenis masalah kualitas (bal / keseluruhan periode)	Jumlah masalah kualitas	Persentase masalah kualitas (%)	Peringkat masalah kualitas
Cetakan kotor	2,073	33.26%	1
Miss register	1,459	23.41%	2
Cetakan garis	970	15.56%	3
Cetakan merampang	932	14.95%	4
Keriput	438	7.03%	5
Retak	360	5.78%	6
<b>Total</b>	<b>6,231</b>	<b>100%</b>	

Tabel data ini akan diolah lebih lanjut dalam grafik pareto untuk menentukan prioritas masalah kualitas utama.

## 2. Pareto – Penentuan Prioritas Masalah Utama

Grafik pareto dipaparkan dalam tahap ini. Hasil dari pengolahan data ini adalah mendapatkan prioritas masalah kualitas yang terdapat dalam proses produksi.



**Gambar 4.16** Grafik Pareto Tingkat Masalah Kualitas Produksi

Dasar dalam penentuan prioritas berdasarkan nilai presentase yang mencakup rentang 20% teratas. Nilai 20% teratas ini mengindikasikan bila masalah tersebut diselesaikan maka dapat menyelesaikan 80% masalah kualitas keseluruhan. Berdasarkan gambar pareto diatas, maka jenis masalah kualitas yang masuk dalam rentang 80% pareto terpilih untuk dilakukan tindak lanjut dalam pencarian akar masalah. Hanya terdapat 1 jenis masalah kualitas yang masuk dalam rentang 80% pareto yaitu cetakan kotor. Nilai presentase dari cetakan kotor juga menunjukkan nilai yang besar yaitu 33.26%. Cetakan kotor dihasilkan dari 6 mesin primary yang mencetak desain warna dengan powder sebagai bahan baku warna. Banyaknya material dengan kasus cetakan kotor yang baru ditemukan di proses secondary mengindikasikan bila adanya kendala tim QC dalam melakukan inspeksi produksi. Proses QC dilakukan secara inline produksi dan tidak ada inspeksi setelah proses produksi berakhir. Hal ini disebabkan hasil produksi yang tidak memungkinkan untuk dilakukan pengecekan menyeluruh kecuali hanya dari segi visual. Hasil produksi berbentuk gulungan rol dengan rata-rata panjang apabila dibentangkan adalah 5000 meter. Proses ineksi dilakukan saat produksi berlangsung dengan menyobek hasil produksi yang menggulung dalam proses dyeing. Proses inspeksi dilakukan saat awal proses akan berjalan atau setelah proses mixing warna baru, dilanjut

awal, tengah dan akhir proses dari setiap batch rol beroperasi. Setiap batch rol jalan hingga 5000-meter dengan waktu 1 hingga 2 jam. Cetakan kotor yang tidak ditemukan atau lolos hingga proses secondary disebabkan oleh pola kotoran yang tak menentu dari segi waktu dan lokasi dalam mengkontaminasi hasil cetakan produksi. Pola tak menentu menjadikan aktivitas saat inspeksi berlangsung tidak ditemukan kotoran tersebut. Kecenderungan paling sering untuk tertangkapnya hasil produksi kotor adalah saat awal proses jalan produksi setelah proses mixing berlangsung. Apabila hal tersebut terjadi maka kondisi keran dan pipa dinilai sudah sangat kotor dan terverifikasi harus dilakukan pembersihan terlebih dahulu untuk bisa melanjutkan kembali proses produksi. Proses pembersihan dinilai tidak efektif karena proses berlangsung saat proses produksi dengan tekanan waktu yang hadir oleh tidak adanya cadangan keran dan pipa tersebut. Hal yang tidak dipungkiri apabila proses pembersihan belum optimal sehingga cetakan kotor tidak ditemukan hanya pada proses produksi awal dan akan kembali mengkontaminasi pada waktu yang tak menentu kedepan. Ketidakmampuan proses inspeksi menyeluruh terhadap proses produksi mendasari banyaknya cetakan kotor yang lolos dan baru ditemukan diproses selanjutnya. Penelitian ini tidak berfokus akan bagaimana meningkatkan kapasitas dan kapabilitas proses inspeksi, namun lebih pada bagaimana potensi terjadinya kejadian cetakan kotor pada proses primary dapat diminimalkan atau dikurangi. Identifikasi penyebab masalah kualitas dari cetakan kotor akan dibahas lebih lanjut dalam pengolahan data *Fault Tree Analysis* (FTA).

### 3. Fault Tree Analysis (FTA) – Identifikasi *Top Level Event*

Langkah ini mengidentifikasi kejadian yang tidak diinginkan untuk mengidentifikasi masalah pada sistem. Penetapan *top level event* mengacu pada hasil pareto dalam menunjukkan masalah kualitas utama yang terjadi dalam sistem. Cetakan kotor adalah masalah kualitas produksi yang terpilih untuk dilakukan analisa lebih lanjut dalam FTA.

### 4. Fault Tree Analysis (FTA) – Pembuatan Diagram Pohon Kesalahan

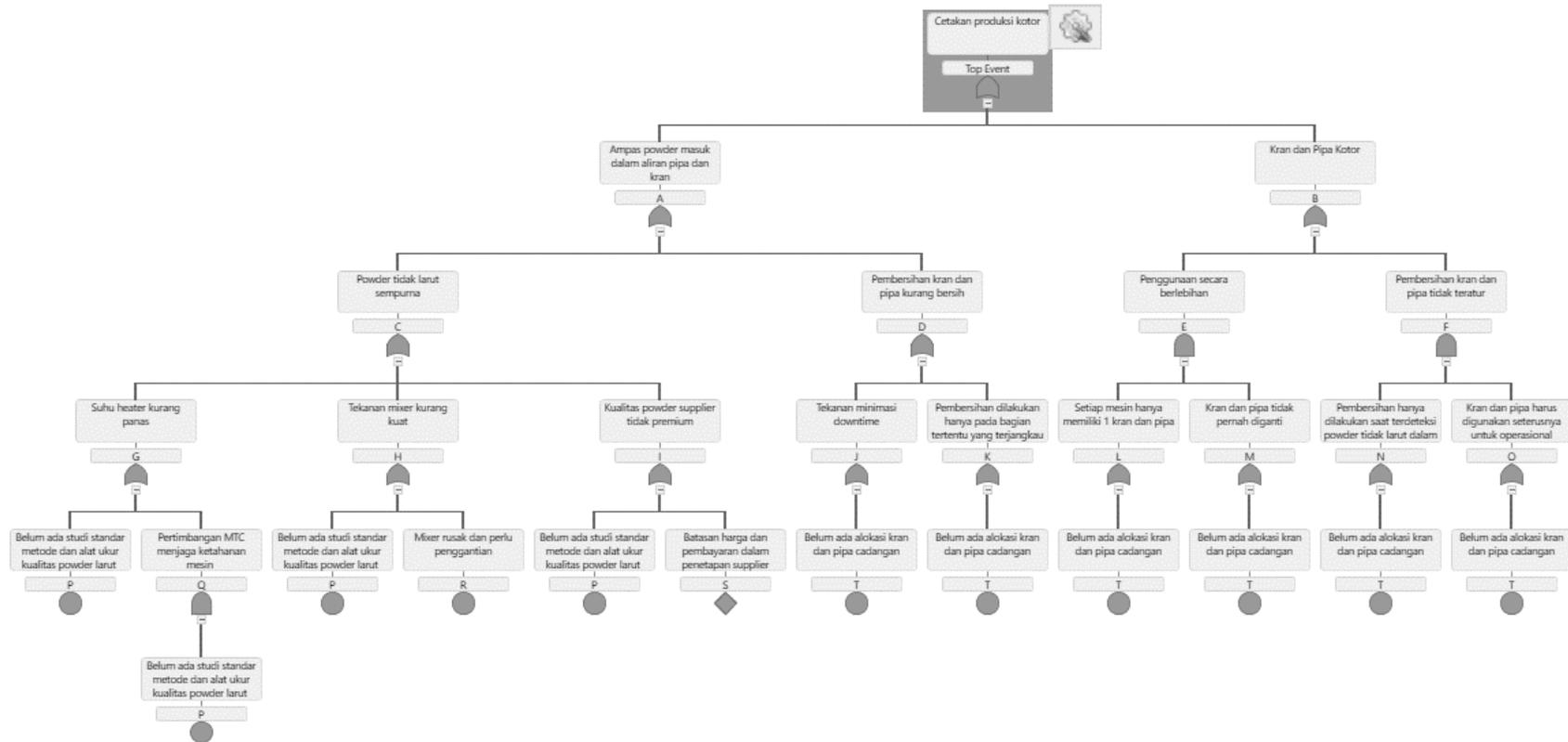
Diagram pohon kesalahan (*Fault tree diagram*) menunjukkan bagaimana masalah kualitas utama pada tingkat atas dapat muncul di jaringan potensial penyebab masalahnya. Diagram ini bersifat deduktif dan *top-down* (dari atas ke bawah). *Fault Tree Diagram* dibuat dengan simbol yang berisi deskripsi kejadian pada sistem dan gerbang logika untuk menjelaskan hubungan antara kejadian satu sama lain. Pembuatan

diagram pohon kesalahan meruju data potensial penyebab masalah cetakan kotor dari Tabel 4.4. Tabel berikut menunjukkan kategori dari masing-masing kejadian pohon kesalahan.

**Tabel 4.15** Tabel Kejadian Pohon Kesalahan

<b>Nama</b>	<b>Tipe</b>	<b>Deskripsi</b>
Top Event	Gate-Or	Cetakan produksi kotor
A	Gate-Or	Ampas powder masuk dalam aliran pipa dan keran
C	Gate-Or	Powder tidak larut sempurna
G	Gate-Or	Suhu heater kurang panas
H	Gate-Or	Tekanan mixer kurang kuat
I	Gate-Or	Kualitas powder supplier tidak premium
D	Gate-Or	Pembersihan keran dan pipa kurang bersih
J	Gate-Or	Tekanan minimasi downtime
K	Gate-Or	Pembersihan dilakukan hanya pada bagian tertentu yang terjangkau di area mesin
B	Gate-Or	Korosi keran dan pipa
E	Gate-And	Penggunaan secara berlebihan
L	Gate-Or	Setiap mesin hanya memiliki 1 keran dan pipa
M	Gate-Or	Keran dan pipa tidak pernah diganti
F	Gate-And	Pembersihan keran dan pipa tidak teratur
N	Gate-Or	Pembersihan hanya dilakukan saat terdeteksi powder tidak larut dalam proses awal
O	Gate-Or	Keran dan pipa harus digunakan seterusnya untuk operasional produksi
P	Basic Event	Belum ada studi standar metode dan alat ukur kualitas powder larut
Q	Basic Event	Pertimbangan MTC menjaga ketahanan mesin
R	Basic Event	Mixer rusak dan perlu penggantian
S	Basic Event	Batasan harga dan pembayaran dalam penetapan supplier powder
T	Basic Event	Belum ada alokasi keran dan pipa cadangan

Tabel diatas menjadi rujukan untuk diolah menjadi diagram pohon kesalahan atau *Fault Tree Analysis* (FTA) dalam menelusuri akar masalah yang menimbulkan cetakan kotor. Diagram pohon kesalahan ditunjukkan gambar sebagai berikut.



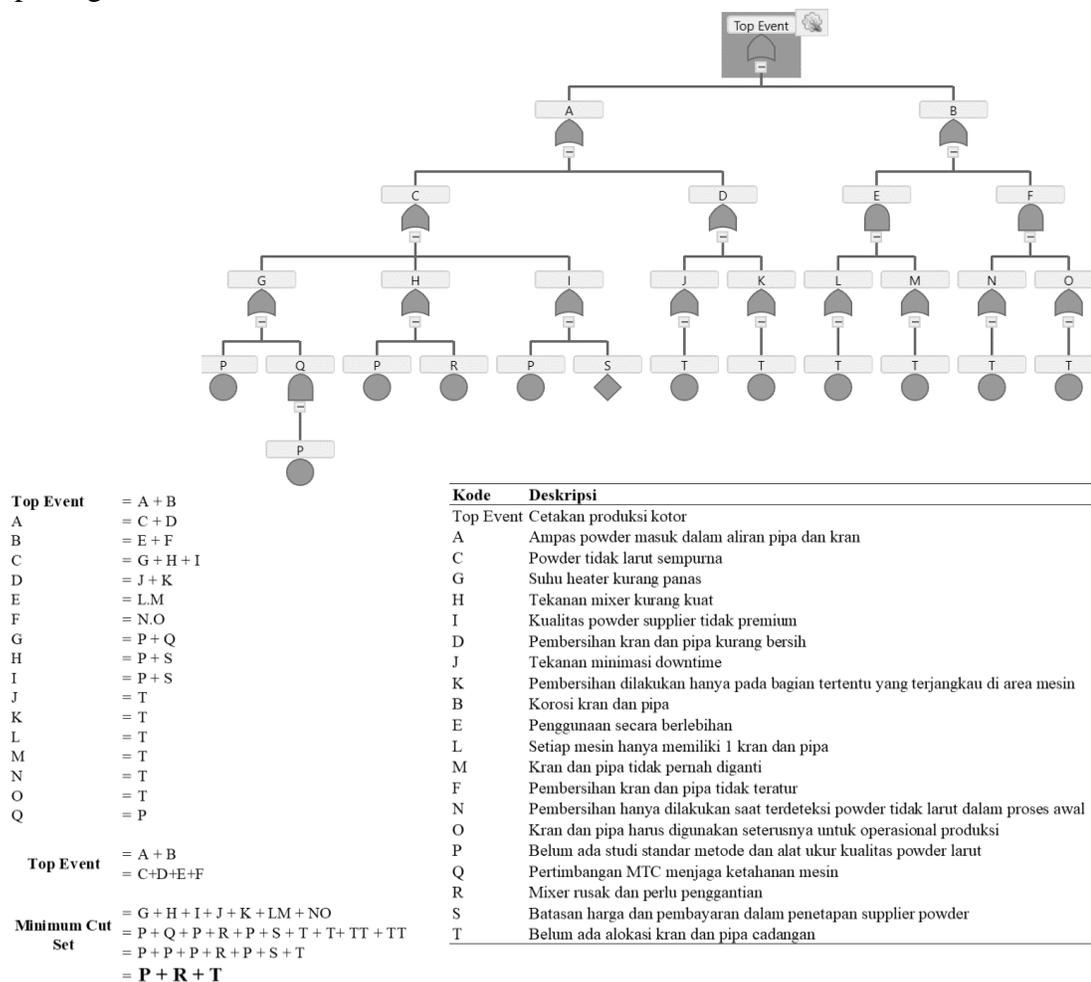
Gambar 4.17 Diagram Pohon Kesalahan

Gambar diatas menunjukkan jaringan pohon untuk terjadinya kejadian cetakan kotor dengan terdapat 15 kejadian *intermediate* dan 5 kejadian *basic*. Cetakan kotor dapat disebabkan oleh adanya kejadian keran dan pipa yang kotor atau dari ampas powder yang masuk dalam aliran pipa dan keran. Ampas powder yang masuk dalam aliran disebabkan oleh powder yang tidak larut sempurna atau oleh faktor pembersihan keran dan pipa yang kurang bersih. Powder yang tidak larut sempurna disebabkan dari suhu heater yang kurang panas atau tekanan mixer kurang kuat atau dari faktor kualitas powder supplier yang tidak masuk dalam grade premium. Ketiga faktor ini memiliki dasar faktor dari belum adanya studi akan standar metode dan alat ukur terhadap kualitas powder larut. Faktor dasar lainnya adalah adanya pertimbangan maintenance (MTC) dalam menjaga ketahanan mesin dari suhu heater yang dinaikan, mixer yang rusak dan diperlukan penggantian pada kejadian tekanan mixer kurang kuat serta adanya faktor batasan harga dan pembayaran untuk penetapan supplier powder yang mempengaruhi tingkat kualitas premium powder. Pertimbangan bagian *maintanance* dalam menjaga ketahanan mesin dipengaruhi juga oleh belum adanya studi lebih lanjut dalam menetapkan standar metode pengaturan alat penunjang produksi seperti heater. Pada kejadian keran dan pipa yang kurang bersih disebabkan oleh tekanan manajemen dalam minimasi downtime termasuk dari proses pembersihan pipa dan keran tersebut. Hal ini ditambah dengan pembersihan dilakukan hanya pada bagian tertentu yang terjangkau operator karena pipa dan keran tidak dilepas dari pengaturan mesin. Kondisi ini disebabkan karena keran dan pipa tersebut tidak memiliki cadangan sehingga proses harus dilakukan secara langsung. Faktor dasar tersebut juga mempengaruhi untuk terjadinya stok pipa dan keran yang hanya satu dan tidak pernah dilakukan pergantian sehingga menyebabkan penggunaan secara berlebihan. Faktor dasar ini juga dapat memicu terjadinya pembersihan keran dan pipa yang tidak teratur oleh adanya tuntutan untuk keran dan pipa harus digunakan seterusnya untuk proses operasional produksi kecuali terdapat temuan kotor saat pengecekan kualitas pada saat setelah proses mixing. Berdasarkan gambar tersebut dapat ditarik informasi bila faktor dasar yang menyebabkan terjadinya masalah cetakan kotor adalah pada belum ada alokasi keran dan pipa cadangan, mixer rusak dan perlu penggantian, belum ada studi standar metode dan alat ukur kualitas powder larut, dan batasan harga dan pembayaran dalam penetapan

supplier powder. Pada tahap selanjutnya dilakukan proses penentuan minimal cut set untuk mendapatkan faktor dasar yang paling mempengaruhi terjadinya masalah utama.

### 5. Fault Tree Analysis (FTA) – Penentuan Minimal Cut-set

Tahap ini mengidentifikasi kumpulan faktor dasar dalam pohon kesalahan. *Fault Tree Analysis* bertujuan untuk mendapatkan informasi yang lebih jelas tentang suatu sistem dan perbaikannya. Sebelum melakukan analisa lebih dalam, hal pertama yang harus dilakukan adalah mencari minimal cut set. Minimum cut set adalah berbagai kemungkinan kombinasi kegagalan (*basic event*) yang terdapat pada pohon kesalahan yang dapat menyebabkan terjadinya Top Event. *Minimal cut set* dapat ditemukan dengan merepresentasikan pohon kesalahan sebagai aljabar Boolean (Averett, 1988). Setelah pohon kesalahan diubah dalam bentuk matematis, bentuk matematis tersebut dapat direduksi menggunakan aturan aljabar Boolean untuk mendapatkan himpunan potong minimum.



**Gambar 4.18** Penentuan Minimal Cut Set Pohon Kesalahan

Pengolahan cut set minimal menunjukkan bila terdapat 5 faktor dasar yang menjadi akar permasalahan terjadinya cetakan kotor yaitu pada kode even P, R, T. Langkah berikutnya adalah melakukan analisis kuantitatif untuk menentukan kejadian dasar yang menjadi prioritas dalam perbaikan.

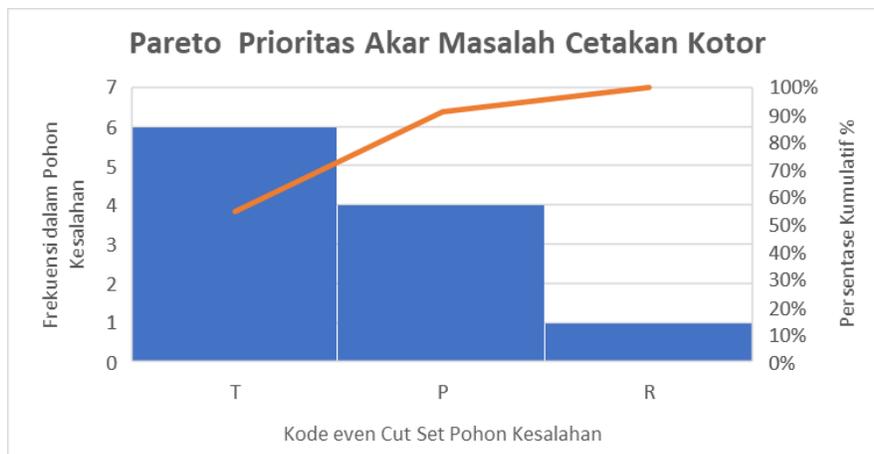
#### 6. Fault Tree Analysis (FTA) – Analisis Kuantitatif

Faktor dengan kode even P, R, T adalah faktor dasar yang terpilih dalam pengolahan data minimal cut set. Hal ini menunjukkan bila kode even P, R, dan T adalah akar masalah dari terjadi masalah kualitas pada cetakan kotor. Analisis kuantitatif ditambahkan untuk memprioritaskan langkah perbaikan strategis. Metode untuk analisis kuantitatif adalah analisis pareto (Cooper et al., 2019). Pareto membantu kita memprioritaskan upaya dan memusatkan perhatian pada masalah atau gejala yang paling mendesak (Mengesha, Yonatan; Singh, Ajit Pal; Amedie, 2013). Data input dalam pareto berikut didapatkan berdasarkan jumlah frekuensi dari masing-masing cutset dalam pohon kesalahan. Berikut data rekap frekuensi cutset dan pareto.

**Tabel 4.16** Data Input Pareto Cutset FTA

Basic Event	Deskripsi	Frekuensi	Kumulatif Frekuensi (%)
T	Belum ada alokasi keran dan pipa cadangan	6	55%
P	Belum ada studi standar metode dan alat ukur kualitas powder larut	4	36%
R	Mixer rusak dan perlu penggantian	1	9%
<b>Total</b>		<b>11</b>	<b>100%</b>

Data rekap tersebut diolah menjadi bagan pareto seperti pada gambar berikut.



**Gambar 4.19** Penentuan Minimal Cut Set Pohon Kesalahan

## 7. Fault Tree Analysis (FTA) – Interpretasi Hasil dan Solusi Alternatif

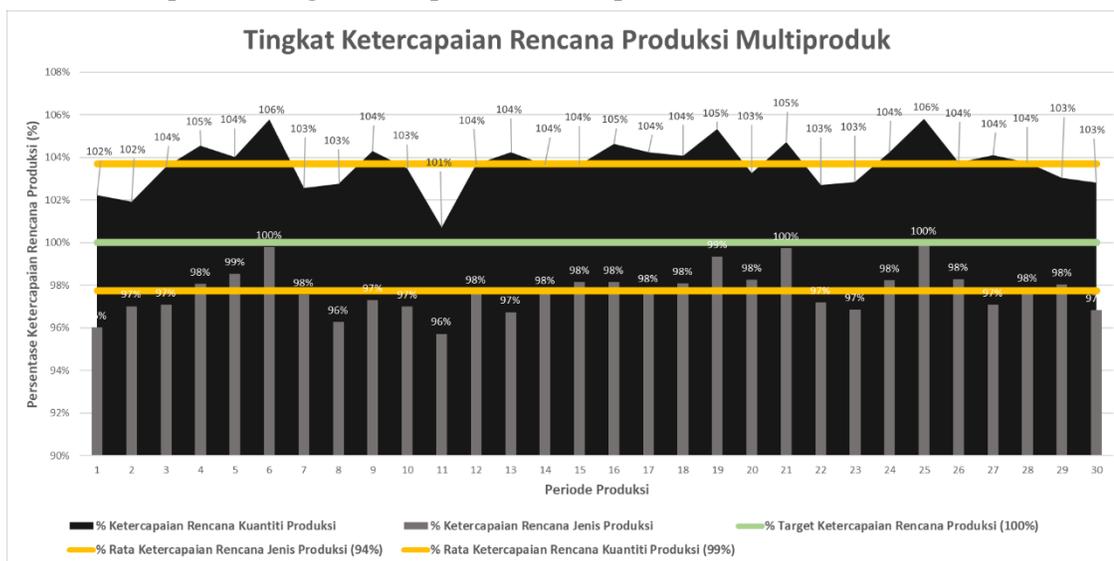
Solusi alternatif dibangun untuk memberikan perbaikan dalam mencegah terjadinya cetakan kotor yang mempengaruhi kelancaran produksi. Analisis kuantitatif menjadi dasar dalam memprioritaskan upaya perbaikan dan memusatkan perhatian pada akar masalah yang paling memberikan dampak. Hasil dari analisis kuantitatif menggunakan pareto menunjukkan bila kode T adalah akar masalah yang dapat diprioritaskan untuk dibangun alternatif solusinya. Kode T adalah akar masalah dari belum adanya alokasi keran dan pipa cadangan. Hasil ini menunjukkan bila cetakan kotor yang menjadi isu kualitas disebabkan dari penanganan tidak sempurna atas ampas powder yang tidak pada aliran pipa dan keran. Solusi alternatif yang dibangun adalah dengan menyediakan stok cadangan pipa dan keran pada setiap mesinnya. Terdapat 6 mesin primary yang menjadi sumber akar dari adanya permasalahan tersebut. Setiap mesin diatur untuk memiliki minimal 2 pasang set pipa dan keran agar kejadian masalah yang terjadi seperti yang tertera dalam pohon kesalahan dapat dihilangkan. Apabila strategi proaktif ini diimplementasikan akan memiliki potensial hasil sebagai berikut.

**Tabel 4.17** Potensial Dampak Implementasi Strategi Proaktif

Variabel data	Satuan	Jumlah Bal	Keterangan
Aktual Jumlah produksi banded	Bal / Total Periode	26,137	
Aktual Jumlah produksi pegged	Bal / Total Periode	14,364	
Aktual Jumlah reject cetakan kotor banded	Bal / Total Periode	1,339	
Aktual Jumlah reject cetakan kotor pegged	Bal / Total Periode	733	
Potensial Jumlah produksi banded setelah implementasi strategi proaktif	Bal / Total Periode	27,476	Jumlah Bal aktual hasil produksi ditambah jumlah produksi yang hilang akibat reject cetakan kotor
Potensial Jumlah produksi pegged setelah implementasi strategi proaktif	Bal / Total Periode	15,097	
Potensial Jumlah reject cetakan kotor banded setelah implementasi strategi proaktif	Bal / Total Periode	0	Asumsi setelah implementasi strategi proaktif tidak ada isu cetakan kotor
Potensial Jumlah reject cetakan kotor pegged setelah implementasi strategi proaktif	Bal / Total Periode	0	
Aktual Jumlah reject keseluruhan sebelum implementasi strategi proaktif	Bal / Total Periode	<b>6,231</b>	Semua jenis produk sebelum implementasi strategi

Variabel data	Satuan	Jumlah Bal	Keterangan
Potensial jumlah reject keseluruhan setelah implementasi strategi proaktif	Bal / Total Periode	<b>4,158</b>	Semua jenis produk sebelum implementasi strategi
Aktual Tingkat reject sebelum implementasi strategi proaktif	%	<b>4.0%</b>	rasio reject % hasil proses sortir sebelum implementasi strategi
<b>Potensial Tingkat reject setelah implementasi strategi proaktif</b>	%	<b>2.7%</b>	rasio reject % hasil proses sortir setelah implementasi strategi

Tabel diatas menunjukkan potensial rasio reject yang akan berkurang saat strategi proaktif diimplementasikan. Penurunan rasio reject merujuk data reject pada dari 4% menjadi 2.7% pada saat hasil proses rework sheeter banded dan pegged. Data rejt yang digunakan sebagai perbandingan merujuk data Tabel 4.11. Nilai penurunan ini kemudian akan disimulasikan dengan simulasi model diskrit melalui FlexSim untuk melihat dampak dari segi ketercapaian rencana produksi.



**Gambar 4.20** Tingkat Ketercapaian Rencana Produksi Simulasi Strategi Proaktif

Grafik diatas didapatkan berdasarkan data hasil simulasi model yang dibandingkan dengan rencana produksi data historis yang ditunjukkan pada tabel berikut.

**Tabel 4.18** Data Ketercapaian Rencana Produksi Simulasi Strategi Proaktif

Jenis Produksi	Periode	Rencana Produksi (Bal)	Tingkat Hasil Produksi Secondary (Bal)	% Ketercapaian Rencana Jenis Produksi	% Ketercapaian Rencana Kuantiti Produksi	% Target Ketercapaian Rencana Produksi
Banded	1	666	613	92%	102%	100%
Pegged	1	330	371	100%	102%	100%
Banded	2	199	187	94%	102%	100%
Pegged	2	645	708	100%	102%	100%
Banded	3	462	435	94%	104%	100%

Jenis Produksi	Periode	Rencana Produksi (Bal)	Tingkat Hasil Produksi Secondary (Bal)	% Ketercapaian Rencana Jenis Produksi	% Ketercapaian Rencana Kuantiti Produksi	% Target Ketercapaian Rencana Produksi
Pegged	3	227	256	100%	104%	100%
Banded	4	518	498	96%	105%	100%
Pegged	4	496	560	100%	105%	100%
Banded	5	776	753	97%	104%	100%
Pegged	5	441	489	100%	104%	100%
Banded	6	180	179	100%	106%	100%
Pegged	6	132	148	100%	106%	100%
Banded	7	530	504	95%	103%	100%
Pegged	7	3	3	100%	103%	100%
Banded	8	1,515	1,402	93%	103%	100%
Pegged	8	356	402	100%	103%	100%
Banded	9	1,887	1,785	95%	104%	100%
Pegged	9	377	430	100%	104%	100%
Banded	10	1,520	1,429	94%	103%	100%
Pegged	10	464	524	100%	103%	100%
Banded	11	1,634	1,494	91%	101%	100%
Pegged	11	249	274	100%	101%	100%
Banded	12	1,434	1,368	95%	104%	100%
Pegged	12	391	438	100%	104%	100%
Banded	13	1,681	1,571	93%	104%	100%
Pegged	13	344	396	100%	104%	100%
Banded	14	1,405	1,339	95%	104%	100%
Pegged	14	417	467	100%	104%	100%
Banded	15	1,086	1,046	96%	104%	100%
Pegged	15	345	383	100%	104%	100%
Banded	16	646	622	96%	105%	100%
Pegged	16	345	390	100%	105%	100%
Banded	17	1,053	1,006	95%	104%	100%
Pegged	17	225	254	100%	104%	100%
Banded	18	906	871	96%	104%	100%
Pegged	18	216	242	100%	104%	100%
Banded	19	765	755	99%	105%	100%
Pegged	19	331	371	100%	105%	100%
Banded	20	868	838	97%	103%	100%
Pegged	20	375	413	100%	103%	100%
Banded	21	134	133	99%	105%	100%
Pegged	21	730	803	100%	105%	100%
Banded	22	460	434	94%	103%	100%
Pegged	22	768	852	100%	103%	100%
Banded	23	1,779	1,667	94%	103%	100%
Pegged	23	473	530	100%	103%	100%
Banded	24	680	656	96%	104%	100%
Pegged	24	597	669	100%	104%	100%
Banded	25	74	74	100%	106%	100%
Pegged	25	993	1,102	100%	106%	100%
Banded	26	848	819	97%	104%	100%
Pegged	26	914	1,015	100%	104%	100%
Banded	27	1,293	1,218	94%	104%	100%
Pegged	27	375	427	100%	104%	100%
Banded	28	2,018	1,928	96%	104%	100%
Pegged	28	353	395	100%	104%	100%
Banded	29	1,467	1,410	96%	103%	100%
Pegged	29	592	651	100%	103%	100%
Banded	30	1,584	1,483	94%	103%	100%
Pegged	30	355	398	100%	103%	100%
<b>% Rata Ketercapaian Rencana Jenis Produksi</b>				98%		
<b>% Rata Ketercapaian Rencana Kuantiti Produksi</b>					104%	
<b>% Target Ketercapaian Rencana Produksi</b>						100%

Hasil simulasi menunjukkan bila potensial dampak dari implementasi strategi proaktif akan memberi peningkatan ketercapaian rencana produksi jenis produk dari yang sebelumnya 94 % dapat menjadi 98 %.

#### 8. Fault Tree Analysis (FTA) – Perhitungan Biaya Implementasi Solusi Alternatif

Upaya perbaikan dalam mencegah terjadinya masalah cetakan kotor difokuskan pada penanganan kejadian akan belum adanya alokasi keran dan pipa cadangan. Perencanaan pengadaan keran dan pipa cadangan dilakukan berdasarkan dasar masalah, kepentingan dan potensial dampak yang dibahas pada poin sebelumnya. Pengadaan cadangan alat ditujukan kepada 6 mesin primary yang pada kondisi sekarang hanya memiliki 1 set keran pipa. Setiap mesin akan diatur untuk memiliki 2 pasang keran dan pipa dimana 1 set digunakan untuk operasional produksi, sedangkan 1 set lainnya difungsikan sebagai cadangan dengan catatan adanya pembersihan berkala dan teratur pada alat cadangan tersebut. Terdapat penambahan 3 operator sebagai pembantu untuk pembersihan pada pipa yang dialokasikan pada setiap shift. Bagian primary jalan produksi dengan 3 shift. Tabel berikut menunjukkan rincian bagian pipa dan keran yang dibutuhkan beserta biaya yang perlu dialokasikan dalam pengadaan cadangan keran dan pipa.

**Tabel 4.19** Rincian Biaya Strategi Proaktif

No	Nama Bagian	Satuan	Harga Satuan	Kebutuhan Periode	Kebutuhan per 6 Mesin	Total Harga	Keterangan
1	Operator pembersih pipa	orang / 4 periode	Rp 2.159.519,00	30	3	Rp 48.589.177,50	Bertugas membersihkan pipa keran semua mesin secara rutin
1	Pipa cetakan dyeing	pcs / 30 periode	Rp 550.000,00	30	6	Rp 3.300.000,00	
2	Stopkeran pipa dyeing	pcs / 30 periode	Rp 35.000,00	30	54	Rp 1.890.000,00	1 pipa membutuhkan 9 stopkeran
3	Jasa custom pipa dan keran	pcs / 30 periode	Rp 125.000,00	30	6	Rp 750.000,00	
Total kebutuhan biaya pengadaan pipa dan keran untuk 6 mesin						<b>Rp 54.529.177,50</b>	
Total kebutuhan biaya pengadaan pipa dan keran untuk 1 mesin						<b>Rp 9.088.196,25</b>	

Implementasi strategi proaktif membutuhkan penambahan 6 set pipa dan keran cadangan untuk masing mesin dengan 3 operator pembersih pipa untuk masing shift. Biaya yang dibutuhkan untuk implementasi strategi proaktif sebesar Rp 54.529.177,50 dan dapat digunakan sebagai data input dalam mengevaluasi potensial dampak yang

ditimbulkan. Biaya yang dipaparkan tersebut berlaku untuk menjangkau siklus 30 periode sesuai jumlah data historis bahkan memiliki potensi biaya tersebut tidak bertambah dengan manajemen perawatan sparepart yang sesuai. Implementasi strategi ini dapat menghemat atau mengurangi nilai kehilangan material reject akibat adanya masalah kualitas cetakan kotor. Data biaya ini dapat menjadi evaluasi berkala dan pertimbangan untuk manajemen dalam menjaga komitmen untuk meningkatkan kualitas produksi dengan mengupayakan pencegahan cetakan kotor.

## **BAB V**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

Strategi fleksibilitas yang mencakup strategi reaktif dan proaktif dalam menghadapi gangguan produksi oleh adanya ketidakpastian proses dalam kualitas material telah dirumuskan atau telah ditetapkan. Pembahasan diuraikan untuk menganalisa lebih lanjut akan bagaimana masing-masing strategi memiliki kepentingan untuk diimplemengtasikan dalam mengatasi kendala produksi yang terjadi. Analisis juga dilakukan untuk melihat potensi risiko yang akan menghambat implementasi strategi. Berdasarkan hal tersebut akan diuraikan upaya preventif yang dapat menjadi dasar standar operasional prosedur sebagai upaya menjaga agar strategi dapat dijalankan. Pembahasan terkait dampak yang ditimbulkan dari implementasi strategi juga dilakukan untuk melihat tingkat dampak positif yang ditimbulkan dari implementasi strategi tersebut.

#### **5.1 Analisa Strategi Reaktif**

Strategi reaktif yang mencakup upaya untuk menjalankan rencana produksi dengan adanya gangguan produksi yang tetap terjadi, ditetapkan dengan menyediakan stok buffer WIP Sheet sejumlah 145 bal untuk setiap periodenya berdasarkan hasil simulasi menggunakan FlexSim. Nilai 145 bal adalah stok buffer optimal hasil simulasi FlexSim yang dapat mengakomodir ketercapaian rencana produksi 100% dengan masih tetap memenuhi batasaan kapasitas area buffer meskipun nilai service level dari perhtungan rumus Safety stock cukup dipenuhi pada nilai 91,75%. Perusahaan dalam mengakomodir ketercapaian rencana produksi 100% tidak memerlukan pemenuhan service level maksimal (99% rumus SS). Usaha Perusahaan dalam mencapai rencana produksi 100% mempertimbangkan batasan kapasitas area stok buffer, biaya buffer (penambahan kapasitas), dan service level. Semakin besar nilai service level, maka semakin besar nilai stok buffer dan biaya yang dikeluarkan untuk penambahan kapasitas produksi. Nilai stok buffer berbanding lurus dengan ketercapaian rencana produksi dan service level, namun berbanding terbalik dengan nilai kapasitas area dan biaya stok buffer.

Pemenuhan rencana produksi multiproduk tidak hanya fokus pada kuantiti namun juga ketepatan jenis produk (District et al., 2023; Nwaubani et al., 2019; Zennaro et al., 2019). Item multiproduk pada studikasu memiliki produk dengan jenis banded. Proses ini termasuk produk assortment dimana untuk bisa masuk proses akhir membutuhkan kombinasi material *work in*

*process* (WIP) menyesuaikan spesifikasi produk. Apabila terdapat satu atau beberapa material yang memiliki masalah kualitas, maka proses secondary banded akan terganggu hingga proses pemulihan selesai. Berbeda dengan item produk dengan jenis pegged dimana proses ini hanya butuh single material WIP. Proses pemulihan gangguan produksi akibat ketidakpastian kualitas material pasok akan lebih lama untuk jenis produk banded. Pemulihan dari kendala kualitas material membutuhkan proses rework (Sarkar, 2019). Proses ini berlangsung dengan adanya proses sortir dan counting WIP sheet yang bermasalah. Hasil dari proses ini tidak dapat seluruhnya digunakan untuk proses secondary sehingga untuk pemulihannya diperlukan pasokan material kembali dari proses sebelumnya. Respon yang diterapkan perusahaan studi kasus adalah dengan memaksimalkan efisiensi produksi pegged untuk mencapai lebih dari target sebagai upaya menjaga ketercapaian rencana produksi meskipun hanya pada segi kuantiti (Alikhani et al., 2021). Bila laporan yang disampaikan kepada manajemen hanya berdasarkan ketercapaian kuantiti produksi, maka ketercapaian target yang dicapai akan dinilai bahwa produksi tidak mengalami adanya kemunduruan atau ketidakstabilan jadwal produksi (Sezer & Altan, 2021). Sedangkan respon perusahaan tersebut hanya mengakomodir ketercapaian kuantiti saja untuk menjaga pemanfaatan sumberdaya namun tidak untuk kestabilan jadwal. Pada akhirnya jadwal produksi yang dirancang akan bernilai tidak stabil dan mengalami kemundururan berdasarkan kendala produksi yang dialami (Sezer & Altan, 2021). Hal ini akan menjadi isu krusial apabila selisih waktu antara penyelesaian produksi dengan pengiriman barang berdurasi pendek, namun terdapat kemunduran atau tidak stabilnya jawal produksi. Sedangkan pada satu sisi laporan perusahaan terhadap manajemen menunjukkan ketercapaian target. Kondisi ini mengindikasikan bahwa ketercapaian rencana kuantiti produksi yang selama ini didapatkan perusahaan tidak sejalan dengan kestabilan jadwal produksi yang ditunjukkan dari ketercapaian rencana jenis produksi. Untuk dapat menganalisa kestabilan jadwal produksi, manajemen dan perusahaan harus memiliki fokus pada bagaimana produksi dapat mencapai ketercapaian rencana jenis produk selain juga melihat ketercapaian rencana kuantitinya.

Kemampuan pemulihan banded dari gangguan produksi yang lebih lama dan panjang prosesnya daripada pegged menyebabkan nilai ketercapaian rencana jenis produksi tidak tercapai maksimal daripada produk pegged seperti pada data historis dan hasil simulasi model. Penggunaan simulasi model diskrit memiliki kontribusi besar dalam penelitian ini untuk memberikan kestabilan

jadwal prododuksi dengan mengacu kapasitas produksi perusahaan yang fluktuatif oleh adanya faktor multiproduk (Csontos et al., 2022; Z. Li et al., 2021; Vanzetti et al., 2021).

Gangguan produksi disebabkan pasokan material terhambat akibat ketidakpastian kualitas material pasok. Ketidakmampuan proses inspeksi menyeluruh dari proses primary menyebabkan proses isu kualitas terdeteksi saat inspeksi hasil produksi sheeter. Pasokan material yang tidak pasti dengan proses rework material tidak dapat dipulihkan dengan stok WIP tersedia. Gangguan produksi akan sulit dipulihkan bila tidak memiliki stok buffer atau WIP yang cukup (Sezer & Altan, 2021). Stok WIP sheet tidak memiliki stok buffer oleh adanya tekanan manajemen untuk melakukan implementasi lean production dengan *just in time*. Adanya gangguan produksi tidak dapat dipulihkan dengan fleksibel dari tidak tersedianya stok WIP sheet saat gangguan terjadi. Hal ini menyebabkan ketidakstabilan pada jadwal produksi meskipun tingkat *resource utilization* masih menunjukkan nilai maksimal.

Pasokan material yang tidak pasti dengan adanya proses rework material menjadikan sistem membutuhkan stok buffer atau penyangga dalam mengatasi proses pemulihan yang lama dan panjang (Sezer & Altan, 2021). Stok buffer akan memiliki peran penting untuk menggantikan material yang bermasalah sehingga pasokan material untuk secondary dapat terus berjalan lancar sesuai kapasitas dan rencana produksi. Material bermasalah atau memiliki isu kualitas dapat masuk proses rework tanpa mengganggu pemenuhan dan kestabilan jadwal rencana produksi (Taleizadeh et al., 2019). Jumlah stok buffer diatur dan ditentukan menggunakan simulasi diskrit menyesuaikan kondisi sistem produksi berdasarkan data historis.

Pengaturan stok buffer signifikan akan mempengaruhi kestabilan jadwal produksi dan pemanfaatan sumberdaya produksi multproduk pada perusahaan studi kasus (Xu, 2020). Jenis produk banded dan pegged akan menghasilkan ketercapaian rencana produksi optimal antara kuantiti dan jenis produk yang harus dikerjakan pada masing-masing periode. Upaya perusahaan dalam mengimplementasikan stok buffer dipengaruhi oleh batasan kapasitas area dan kapasitas produksi sheeter serta primary. Berdasarkan uraian data pengolahan, kapasitas produksi sheeter adalah bagian yang memerlukan tambahan kapasitas. Sedangkan kapasitas area buffer dan produksi primary dapat memenuhi kebutuhan stok buffer dalam setiap periodenya.

Potensial risiko dalam implementasi strategi reaktif dapat terjadi pada bagian produksi, PPIC dan WIP. Risiko pertama yaitu pada departemen PPIC dan produksi yaitu hasil produksi tidak set 1 paket assortment (banded) dalam waktu lebih dari 1 periode. Dampak yang terjadi adalah

memakan kapasitas area buffer namun tidak dapat diproses sheeter dan atau secondary. Risiko kedua adalah tidak ada komunikasi antara departemen PPIC dan produksi kepada bagian primary untuk melakukan produksi pengganti dari material yang masuk proses rework. Dampak dari risiko tersebut adalah jumlah WIP sheet pada item yang bermasalah tidak sesuai permintaan. Perencanaan stok buffer tidak terpenuhi untuk menyesuaikan rencana jenis produksi pada periode berikutnya. Risiko ketiga dari departemen produksi dan maintenance berupa adanya breakdown mesin primary dan sheeter yang akan memberi dampak target stok buffer per periode tidak terpenuhi. Risiko terakhir dari bagian WIP berupa pengaturan stok tidak berjalan maksimal. Dampak dari risiko tersebut adalah waktu tidak bernilai teralokasi untuk proses mencari stok WIP dan potensi kesalahan laporan ketersediaan stok.

**Tabel 5.1** Manajemen Risiko Implementasi Strategi Reaktif

No	Bagian	Standar Operasional Procedure (SOP)	Risiko	Dampak	Langkah Pencegahan
1	Produksi dan PPIC	1. Produksi menjalankan jadwal produksi yang telah diatur PPIC untuk dapat set 1 paket assortment (banded) dalam 1 periode	Hasil produksi sheeter tidak set 1 paket assortment (banded) dalam waktu lebih dari 1 periode	Memakan kapasitas area buffer namun tidak dapat diproses secondary.	1. Manuver produksi dalam memaksimalkan kapasitas atau menghadapi kendala pasokan harus persetujuan PPIC 2. PPIC melakukan pembaruan backup rencana produksi kepada bagian produksi secara harian untuk menjaga keteraturan rencana produksi.
2	Produksi, QC dan PPIC	2. Terdapat info dan <i>rework note</i> untuk material bermasalah dan masuk rework diserahkan kepada PPIC	Tidak ada komunikasi kepada bagian primary untuk melakukan produksi pengganti dari material yang masuk proses rework	Jumlah WIP sheet pada item yang bermasalah tidak sesuai permintaan. Perencanaan stok buffer tidak terpenuhi untuk menyesuaikan rencana jenis produksi pada periode berikutnya.	3. QC dan produksi proaktif melaporkan isu dan kendala kualitas material produksi secara harian kepada PPIC 4. PPIC melakukan penyesuaian rencana produksi primary untuk memenuhi kekurangan produksi yang terdeteksi memiliki isu kualitas dan masuk proses rework
3	Produksi dan Maintenance	3. Kapasitas produksi diserap semaksimal mungkin menyesuaikan item produksi multiproduk yang dijadwalkan PPIC	Breakdown mesin primary dan sheeter	Target stok buffer per periode tidak terpenuhi	5. Manajemen stok buffer harian pada semua bagian produksi. 6. PPIC menganalisa kemungkinan tidak tercapainya stok buffer untuk pengaturan tambahan jam kerja.
4	WIP	Mejaga progres dan akurasi stok WIP untuk	Pengaturan stok dan 5R tidak	Waktu tidak bernilai teralokasi untuk proses mencari stok	7. Manajemen 5R pada area penyimpanan buffer dan WIP

No	Bagian	Standar Operasional Procedure (SOP)	Risiko	Dampak	Langkah Pencegahan
		mengatur proses <i>First in First out (FIFO)</i>	berjalan maksimal	WIP dan potensi kesalahan laporan ketersediaan stok.	8. WIP menontrol dan memperbarui data stok WIP harian untuk mengevaluasi FIFO stok buffer

Implementasi strategi reaktif ini akan menghasilkan dampak positif tidak hanya dari segi ketercapaian rencana produksi namun juga dari segi nilai penjualan yang ditunjukkan tabel berikut.

**Tabel 5.2** Potensial Tingkat Efisiensi Implementasi Strategi Reaktif

Variabel data	Satuan	Jumlah Bal	Penjualan / Biaya Per Bal	Total Penjualan / Biaya	Satuan
Aktual Jumlah produksi banded	Bal / Total Periode	26,137	Rp 2,040,000	Rp 53,319,480,000	Harga penjualan produk
Aktual Jumlah produksi pegged	Bal / Total Periode	14,364	Rp 2,100,000	Rp 30,164,400,000	
Kapasitas maksimum jumlah produksi banded setelah implementasi strategi reaktif	Bal / Total Periode	30,067			Potensial jumlah produksi setelah implementasi strategi reaktif menyesuaikan kapasitas maksimum produksi
Kapasitas maksimum jumlah produksi pegged setelah implementasi strategi reaktif	Bal / Total Periode	14,364			
Potensial Jumlah produksi banded setelah implementasi strategi reaktif	Bal / Total Periode	30,067	Rp 2,040,000	Rp 61,336,680,000	Potensial jumlah produksi setelah implementasi strategi reaktif menyesuaikan kapasitas maksimum produksi
Potensial Jumlah produksi pegged setelah implementasi strategi reaktif	Bal / Total Periode	14,364	Rp 2,100,000	Rp 30,164,400,000	
			<b>Biaya Implementasi Strategi reaktif</b>	<b>Rp 145,767,533</b>	Penambahan operator untuk komposisi 1 shift tambahan di bagian sheeting
			<b>Aktual Total Penjualan Hasil Produksi</b>	<b>Rp 83,483,880,000</b>	Semua jenis produk sebelum implementasi strategi
			<b>Potensial Total Penjualan Keseluruhan Hasil Produksi</b>	<b>Rp 91,355,312,468</b>	Potensial dampak implementasi strategi proaktif. Total penjualan potensial dikurangi biaya implementasi strategi
			<b>Total Peningkatan Penjualan</b>	<b>Rp 7,871,432,468</b>	Implementasi strategi memberikan dampak positif dalam penghematan biaya produksi dari biaya kehilangan material
			<b>Persentase Efisiensi Peningkatan Penjualan Strategi Reaktif</b>	<b>9.43%</b>	Implementasi strategi memberikan dampak positif dalam penghematan biaya produksi dari biaya kehilangan material
			<b>Rasio Peningkatan Penjualan Dengan Biaya Implementasi Strategi Reaktif</b>	<b>54</b>	Perbandingan total peningkatan penjualan dengan biaya implementasi strategi reaktif
			<b>Persentase Efisiensi Hasil Produksi (Bal) Strategi Reaktif</b>	<b>9.70%</b>	Potensial Keseluruhan Jumlah produksi dibandingkan dengan Aktial Keseluruhan Jumlah produksi

Nilai ketercapaian rencana jenis produksi telah mencapai target yang menandakan apabila strategi ini diimplementasikan akan memberikan potensi kestabilan jadwal produksi. Sedangkan pada aspek *resource utilization*, sebelum ada strategi reaktif dijalankan produksi telah dapat mencapai target pemanfaatan sumberdaya sehingga adanya strategi ini semakin memberikan kenaikan nilai *resource utilization*. Hal ini menandakan bila sistem memiliki potensi untuk melakukan kenaikan kapasitas produksi apabila implementasi strategi reaktif telah stabil. Penyediaan stok buffer adalah bentuk strategi reaktif dalam mengupayakan fleksibilitas dalam sistem (Angkiriwang et al., 2014). Fleksibilitas adalah dasar dari kelincahan sistem (Zhu et al., 2022). Fleksibilitas menghasilkan kelincahan sistem dalam menghadapi gangguan produksi dengan tetap memperoleh optimal ketercapaian rencana produksi multiproduk dari sisi kuantiti dan jenis produk. Stok buffer yang mencukupi untuk menyangga pasokan material yang tidak lancar menjadi kelincahan yang diharapkan. Implementasi strategi reaktif ini selain dapat memberi ketercapaian rencana produksi hingga maksimal 100% juga dapat meningkatkan 9 – 10 % pada nilai penjualan produk meskipun harus mengalokasikan biaya khusus untuk penambahan kapasitas produksi dengan perbandingan antara peningkatan penjualan dengan biaya strategi yang dikeluarkan sejumlah 54. Berdasarkan uraian dan hasil perhitungan dampak implementasi strategi tersebut, strategi reaktif dengan menggunakan stok buffer dapat memberi pengaruh dan dampak positif yang signifikan dalam menunjang kestabilan jadwal produksi yang ditunjukkan dengan tercapainya ketercapaian rencana jenis produk (Dametew et al., 2019; Sun et al., 2020; Woschank et al., 2020). Dampak lainnya adalah pemanfaatan sumber daya atau *resource utilization* yang ditunjukkan dengan tercapainya ketercapaian rencana kuantiti multiproduk meskipun terdapat kendala kualitas material yang memberi gangguan produksi.

## **5.2 Analisa Strategi Proaktif**

Strategi proaktif adalah upaya untuk mencegah akan bagaimana masalah utama timbul berupa kualitas material pada bagian primary, dilakukan dengan melakukan manajemen kualitas melalui pengadaan cadangan set pipa dan keran untuk masing mesin. Kualitas material merupakan faktor dari terjadinya gangguan produksi yang menyebabkan ketidaktercapainnya rencana produksi multiproduk dalam penelitian ini. Berdasarkan hasil pengolahan data pada analisa akar penyebab masalah ditemukan bila cetakan kotor merupakan permasalahan yang paling dominan

mempengaruhi kualitas material produksi. Terdapat ketidakpastian proses dalam menjamin kualitas material yang diproduksi primary menuju secondary dari adanya kendala cetakan kotor. Cetakan kotor pada material produksi ditunjukkan adanya bercak kotor akibat ampas powder yang tidak larut sempurna dimana apabila gangguan ini terjadi akan muncul secara acak tidak beraturan dalam proses pencetakan. Kemunculan cetakan kotor yang tidak menentu dari segi lokasi dan waktu menyebabkan tidak seluruhnya proses inspeksi manual yang dilakukan dapat menangkap dengan mudah (Abdulkareem et al., 2022; Badrick et al., 2020). Kendala tersebut yang menyebabkan cetakan kotor dari primary baru terdeteksi saat proses sheeter. Ketidakpastian selanjutnya dari proses kualitas adalah tidak adanya inspeksi setelah proses selesai. Kondisi ini disebabkan hasil produksi primary rata – rata berjumlah 5000-meter yang tergulung padat dalam bentuk rol. Terdapat ketidakmampuan untuk menginspeksi hasil cetakan terkhusus pada isu kotor karena rol harus diurai Panjang. Sedangkan saat rol diurai maka tidak bisa dilakukan penggulan dengan rapi dan padat sehingga proses berikutnya terganggu. Berdasarkan hal tersebut maka proses inspeksi primary memang diandalkan hanya saat proses cetak berlangsung. Namun kondisi acak dari cetakan kotor yang terjadi menyebabkan proses inspeksi sering lolos dan tidak terdeteksi lebih dini.

Strategi proaktif disusun untuk merancang manajemen kualitas dengan upaya mencegah masalah cetakan kotor terjadi pada bagian primary sehingga pasokan material pada proses berikutnya tidak terhambat oleh proses rework (Samani et al., 2020). Analisa *fault tree analysis (FTA)* menjelaskan bila faktor dasar yang dapat menjadi solusi alternatif dalam penyusunan strategi proaktif adalah pada tidak adanya alokasi cadangan pipa dan keran. Tidak adanya cadangan keran dan pipa merupakan even dasar terpilih pada minimal cut set. Apabila perusahaan memberi ruang untuk implementasi strategi ini akan memberikan dampak yang signifikan pada pencegahan cetakan kotor dari proses primary. Pengadaan cadangan pipa dan keran dapat menjadi solusi untuk mengatasi masalah pada pipa dan keran kotor yang menjadi penyebab cetakan. Penelitian sebelumnya melakukan berbagai kebijakan pengelolaan inventaris suku cadang yang membantu perusahaan mengurangi durasi gangguan produksi akibat kegagalan mekanis secara tiba-tiba (Sánchez-ramírez et al., 2020).

Analisa lebih dalam menghasilkan fakta bila kotor pada pipa dan keran disebabkan oleh ampas powder yang tidak larut. Solusi alternatif pengadaan pipa dan keran merupakan bentuk strategi proaktif terhadap sistem keseluruhan namun apabila pembahasan dipersempit pada proses

primary saja, maka strategi tersebut berada pada strategi reaktif dalam mengatasi ampas powder yang tidak larut sempurna yang akan mengkontaminasi cetakan melalui endapan pipa dan keran. Selagi solusi alternatif dapat berkontribusi efektif dalam pencegahan isu kualitas cetakan kotor, maka strategi ini menjadi strategi proaktif yang efisien. Hal ini didasarkan pada potensial biaya dan usaha yang diberikan apabila fokus perusahaan adalah pada bagaimana menangani ampas powder agar larut sempurna. Langkah tersebut memang masuk dalam salah satu even dasar pada FTA, namun kurang dominan dari segi perhitungan minimal cut set sehingga langkah ini memiliki tingkat efisiensi yang lebih rendah daripada solusi pengadaan pipa. Minimum cut set adalah berbagai kemungkinan kombinasi kegagalan (basic event) yang terdapat pada Fault Tree yang dapat menyebabkan terjadinya top event (Mulyana et al., 2022). Namun perusahaan juga dapat memulai rencana untuk studi akan bagaimana powder dapat larut secara maksimal entah dari faktor heater, mixer, kualitas supplier dan lainnya. Analisa menunjukkan bila solusi pengadaan pipa merupakan langkah strategi reaktif dalam lingkup primary namun bernilai strategi proaktif dalam lingkup sistem secara keseluruhan.

Perusahaan dapat menaruh fokus dalam implementasi strategi pengadaan pipa sebagai upaya mencegah terkontaminasinya kotoran dalam proses primary yang menyebabkan pasokan material terhambat dari isu kualitas yang terdeteksi diproses sheeter. Implementasi strategi ini akan dapat mengatasi kendala dari ketidakmampuan proses inspeksi secara menyeluruh pada proses produksi berlangsung. Implementasi strategi ini juga akan membantu menjaga penjaminan mutu produksi dari ketidaktersediaan proses inspeksi pada proses primary telah selesai. Dampak dari implementasi ini akan memberikan pasokan material yang lancar sehingga gangguan produksi menjadi minim dari ketidakpastian proses kualitas yang berkurang bahkan hilang (Niu et al., 2021; Sutduean et al., 2019; Wu et al., 2019).

Risiko yang berpotensi menghambat efektifitas dari implementasi strategi proaktif ini ditunjukkan pada tabel sebagai berikut.

**Tabel 5.3** Manajemen Risiko Implementasi Strategi Proaktif

No	Bagian	Standar Operasional Procedure (SOP)	Risiko	Dampak	Langkah Preventif
1	Produksi	Pipa dan keran cadangan yang tidak digunakan harus dipastikan tersedia dengan kondisi bersih siap digunakan	Jadwal pembersihan pipa dan keran cadangan tidak teratur	tidak ada pipa dan keran yang siap sebagai pengganti proses saat ada indikasi atau deteksi kontaminasi cetakan kotor.	Penggantian pipa dan keran pada setiap mesin dilakukan saat adanya pergantian cetakan warna (rata - rata minimal per shift) Pipa dan keran yang diganti harus segera dibersihkan dan selesai pada shift yang sama

2	Produksi dan QC	Data monitoring pemakaian pipa dan keran cadangan serta dampak prosesnya	Pembersihan pipa dan keran tidak tuntas menyeluruh tidak ada laporan proses dan dampak pergantian dan pembersihan pipa dan keran	cetakan kotor lolos dari proses inspeksi pada bagian primary.  tidak ada manajemen dampak implementasi strategi	Pembersihan pipa dan keran menggunakan air dan steam angin yang telah tersedia Frekuensi inspeksi QC saat proses cetak primary diperbanyak menyesuaikan studi khusus mengenai optimal proses inspeksi QC laporan pemakaian dan pembersihan pipa dan keran cadangan masuk dalam laporan harian bagian primary setiap shift teralokasi 1 operator untuk mengatur proses penggantian dan pembersihan pipa dan keran cadangan data kontrol pada cetakan kotor dari bagian primary didetaikan untuk setiap mesin untuk mempermudah evaluasi alat
---	-----------------	--	--	---	---

Kondisi aktual setiap mesin hanya memiliki 1 pasang keran dan pipa yang digunakan untuk operasional produksi. Saat dimana terdapat temuan dalam proses pencetakan, maka proses pembersihan tidak dapat dilakukan secara menyeluruh karena tingkat downtime terpengaruh oleh hal tersebut. Hal ini juga berdampak pada manajemen kualitas dari alat produksi yang tidak dapat diatur untuk adanya pembersihan berkala di luar jam kerja. Penetapan adanya cadangan keran dan pipa pada setiap mesinnya akan memberikan ruang untuk tim produksi melakukan manajemen kualitas dari bersihnya alat penunjang produksi yang dilakukan diluar waktu pemakaian. Dengan demikian saat terjadi temuan ataupun terdapat kondisi tertentu yang berdasarkan adanya prosedur standar operasional baru memerlukan penggantian alat, keran dan pipa cadangan sudah siap untuk digunakan. Hal ini memiliki potensial dampak untuk turunnya tingkat downtime akibat penanganan cetakan kotor dan juga tingkat hasil produksi yang bertambah akibat tingkat tingkat rework produksi yang berkurang pada masalah cetakan kotor (Umair & Wani, 2022). Prosedur standar operasional dari penggunaan cadangan pipa dan keran juga ditetapkan untuk memaksimalkan implementasi solusi alternatif tersebut. Implementasi strategi proaktif ini akan menghasilkan dampak positif tidak hanya dari segi ketercapaian rencana produksi namun juga dari segi nilai penjualan yang ditunjukkan tabel berikut.

**Tabel 5.4** Potensial Tingkat Efisiensi Implementasi Strategi Proaktif

Variabel data	Satuan	Jumlah Bal	Penjualan / Biaya Per Bal	Total Penjualan / Biaya	Satuan
Aktual Jumlah produksi banded	Bal / Total Periode	26,137	Rp 2,040,000	Rp 53,319,480,000	Harga penjualan produk
Aktual Jumlah produksi pegged	Bal / Total Periode	14,364	Rp 2,100,000	Rp 30,164,400,000	

Variabel data	Satuan	Jumlah Bal	Penjualan / Biaya Per Bal	Total Penjualan / Biaya	Satuan
Aktual Jumlah reject cetakan kotor banded	Bal / Total Periode	1,339	Rp 2,040,000	Rp 2,732,574,150	Biaya kehilangan material
Aktual Jumlah reject cetakan kotor pegged	Bal / Total Periode	733	Rp 2,100,000	Rp 1,539,540,235	
Kapasitas maksimum Jumlah produksi banded setelah implementasi strategi proaktif	Bal / Total Periode	30,067			Jumlah Bal dan Harga penjualan produk ditambah jumlah produksi yang hilang akibat reject cetakan kotor
Kapasitas maksimum Jumlah produksi pegged setelah implementasi strategi proaktif	Bal / Total Periode	14,364			
Potensial Jumlah produksi banded setelah implementasi strategi proaktif	Bal / Total Periode	27,476	Rp 2,040,000	Rp 56,052,054,150	Jumlah Bal dan Harga penjualan produk ditambah jumlah produksi yang hilang akibat reject cetakan kotor menyesuaikan kapasitas maksimum produksi
Potensial Jumlah produksi pegged setelah implementasi strategi proaktif	Bal / Total Periode	14,364	Rp 2,100,000	Rp 30,164,400,000	
Potensial Jumlah reject cetakan kotor banded setelah implementasi strategi proaktif	Bal / Total Periode	0	Rp 2,040,000	Rp 0	Biaya kehilangan material
Potensial Jumlah reject cetakan kotor pegged setelah implementasi strategi proaktif	Bal / Total Periode	0	Rp 2,100,000	Rp 0	
<b>Biaya Implementasi Strategi reaktif</b>				<b>Rp 54,529,178</b>	Biaya pengadaan operator dan cadangan pipa dan kran setiap mesin
<b>Aktual Total Penjualan Hasil Produksi</b>				<b>Rp 83,483,880,000</b>	Semua jenis produk sebelum implementasi strategi
<b>Potensial Total Penjualan Keseluruhan Hasil Produksi</b>				<b>Rp 86,161,924,973</b>	Potensial dampak implementasi strategi proaktif. Total penjualan potensial dikurangi biaya implementasi strategi
<b>Total Peningkatan Penjualan</b>				<b>Rp 2,678,044,973</b>	Implementasi strategi memberikan dampak positif dalam penghematan biaya produksi dari biaya kehilangan material
<b>Persentase Efisiensi Peningkatan Penjualan Strategi Proaktif</b>				<b>3.21%</b>	Implementasi strategi memberikan dampak positif dalam penghematan biaya produksi dari biaya kehilangan material

Variabel data	Satuan	Jumlah Bal	Penjualan / Biaya Per Bal	Total Penjualan / Biaya	Satuan
<b>Rasio Peningkatan Penjualan Dengan Biaya Implementasi Strategi Proaktif</b>				<b>49</b>	Perbandingan total peningkatan penjualan dengan biaya implementasi strategi proaktif
<b>Persentase Efisiensi Hasil Produksi (Bal) Strategi Proaktif</b>				<b>3.31%</b>	Potensial Keseluruhan Jumlah produksi dibandingkan dengan Aktial Keseluruhan Jumlah produksi

Nilai ketercapaian rencana jenis produksi belum mencapai 100%, namun dari segi penjualan produk, strategi ini dapat memberikan potensial peningkatan sebesar 3.31% dengan nilai rasio penjualan per biaya strategi sebesar 49. Nilai ini didapatkan dari turunnya rasio reject dari yang sebelumnya 4% menjadi 2.7% dengan asumsi hilangnya isu cetakan kotor dalam aliran proses produksi. Berdasarkan uraian dan hasil perhitungan dampak implementasi strategi tersebut, pada akhirnya strategi proaktif dengan melakukan pengadaan pipa dan keran cadangan akan akan menghasilkan kenaikan 4% dari 94% menjadi 98 % sesuai pada hasil pengolahan data Tabel 4.16. Hal ini mengindikasikan bila kestabilan jadwal produksi juga akan meningkat sebanding dengan nilai tersebut. Sedangkan untuk aspek *resource utilization*, sistem masih dapat menjaga pencapaian target akan pemanfaatan sumber daya produksi.

### 5.3 Implikasi Manajerial

Penelitian ini telah menghasilkan langkah perbaikan dan pencegahan sebagai upaya memberikan fleksibilitas sistem yang menghadapi ketidakpastian kualitas pasokan material. Permasalahan gangguan produksi dalam penelitian dapat dikaji dalam beberapa tahap mulai dari (1) pengukuran performa produksi dari dampak gangguan produksi (2) respon sistem menghadapi gangguan produksi terjadi dan (3) respon sistem mencegah gangguan produksi terjadi. Penelitian ini memiliki posisi dalam mendukung poin nomor 2 dengan strategi reaktif dan nomor 3 dengan strategi proaktif. Strategi reaktif dalam penelitian ini menghasilkan tindakan untuk tetap menjaga rencana sistem tercapai walau masalah produksi masih terjadi dengan mengusulkan *buffer* stok yang juga sudah pernah diteliti sebelumnya (Iqbal & Sarkar, 2020; Karim & Nakade, 2019; Puchkova et al., 2020; Sánchez-ramírez et al., 2020; Sarkar, 2019; Strohhecker & Größler, 2020; Taleizadeh et al., 2019; Urlu & Erkip, 2020). Penelitian ini memberi langkah agar sistem tidak kacau dengan masalah sistem yang terjadi. Sedangkan pada strategi proaktif, penelitian ini memberikan tindakan dan upaya agar sistem tidak kacau dengan dengan mencegah agar masalah

sistem jangan sampai terjadi dengan mengusulkan manajemen inventori sparepart seperti pada penelitian (Febriana & Hasbullah, 2021; Rucitra & Amna, 2021).

Langkah teknis dalam implementasi strategi reaktif dan proaktif telah dijelaskan beserta potensial risiko dan dampak yang ditimbulkan. Manajemen perusahaan studikamus perlu untuk melihat bagaimana masalah ini dikelola dan dievaluasi selama ini. Hal ini penting karena meskipun strategi tersebut sudah memiliki tahapan teknis yang matang namun manajemen memiliki sudut pandang yang tidak sejalan, maka strategi tersebut tidak efektif dijalankan. Penelitian sebelumnya menyebutkan bila komitmen manajemen adalah faktor keberhasilan yang paling signifikan untuk keberhasilan perbaikan berkelanjutan (A. A. Khan et al., 2019; Pambreni et al., 2019). Terdapat kendala dan batasan yang muncul dari manajemen yang pada akhirnya sistem akan tetap harus beradaptasi dengan sistem yang kacau dari gangguan produksi yang dihadapi seperti yang terjadi pada 30 periode data historis yang digunakan pada penelitian ini. Sistem produksi menjadi tidak sehat secara perencanaan dan pelaksanaan akibat intervensi dari manajemen untuk menjalankan prinsip lean production untuk memproduksi dengan tepat jumlah pada waktu yang tepat (Taghipour et al., 2019). Hal ini ditunjukkan dari keinginan manajemen untuk melarang adanya stok buffer WIP sheet. Kondisi ini yang menyebabkan sistem tidak dapat merespon gangguan produksi terjadi dengan sehat seperti waktu dan aktivitas tambahan yang harus dilakukan oleh team PPIC dan produksi dalam merespon ketidakpastian proses yang terjadi. Stok buffer dapat membantu dalam memenuhi permintaan pelanggan tepat waktu dan dapat meningkatkan fleksibilitas dan produktivitas sistem manufaktur (Hadian et al., 2021). Oleh karena itu, mengoptimalkan tingkat stok buffer adalah masalah penting dan metode efektif untuk meningkatkan efisiensi proses produksi yang tidak dapat diandalkan dan tidak sempurna (Alfieri et al., 2020; Mosayeb Motlagh et al., 2019). Organisasi kerja yang buruk paling sering ditunjukkan oleh orang yang bekerja lembur (Brauner et al., 2019; Kuutila et al., 2020; Yang et al., 2021). Dengan tidak adanya stok buffer dalam menghadapi ketidakpastian kualitas material akan menjadikan keterbatasan besar dalam sistem tanggap dan efektif menghadapi kekacauan dari gangguan produksi (Iqbal & Sarkar, 2020; Karim & Nakade, 2019; Puchkova et al., 2020; Sánchez-ramírez et al., 2020; Sarkar, 2019; Strohhecker & Größler, 2020; Taleizadeh et al., 2019; Urlu & Erkip, 2020). Sistem akan merespon dengan hanya mengerjakan material yang tersedia meskipun tidak sesuai jadwal produksi sebagai bentuk untuk menjaga sistem tetap berjalan. Kondisi ini dapat ditunjukkan dari bagaimana pencapaian rencana produksi tidak tercapai dari segi kestabilan jadwal produksi. Hal ini penting

untuk sistem produksi multiproduk menjamin rencana produksi tercapai tidak hanya dari segi jumlah namun juga dari ketepatan jenis produk yang memang harus dikerjakan dalam periode tersebut (District et al., 2023; Nwaubani et al., 2019; Zennaro et al., 2019).

Perusahaan harus menganalisa posisi perusahaan dalam mencapai level perusahaan yang tangguh dalam menerapkan prinsip lean sehingga penetapan target perbaikan berkelanjutan dapat dijalankan sistem secara keseluruhan. Perusahaan memiliki isu besar terhadap penjaminan kualitas material pasok. Kemampuan dan posisi perusahaan dalam menuju lean perlu dihitung dan dianalisa terlebih dahulu agar teknis implementasi dapat secara sehat dijalankan pada semua lini. Pemilihan alat yang tidak tepat, kurangnya sistem pengukuran kinerja, kurangnya keterlibatan total karyawan, pemilihan proyek yang tidak tepat, kurangnya roadmap untuk implementasi lean, kurangnya kesadaran tentang lean, biaya implementasi yang tinggi, dll., juga merupakan hambatan internal yang bertanggung jawab untuk kegagalan implementasi lean (Singh et al., 2019). Penerapan lean adalah suatu hal yang baik untuk manufaktur, namun tidak semua manufaktur dapat secara mudah dan sesuai untuk menerapkan lean. Perusahaan yang memiliki masalah kualitas membutuhkan fleksibilitas untuk memenuhi permintaan atau rencana produksi dalam memberikan reaksi atau respon yang cepat terhadap gangguan. Kondisi ini perlu dipertimbangkan manajemen perusahaan untuk menuju *agile manufacturing* daripada fokus tertumpu dalam usaha menuju *lean manufacturing*. Praktik lean manufacturing memiliki hubungan positif langsung dengan agile manufacturing kecuali untuk produksi just-in-time (Khalfallah & Lakhali, 2021). Tujuan utama *agile manufacturing* adalah untuk mengembangkan daya tanggap, yaitu fleksibilitas tinggi dapat dicapai tidak hanya dalam konfigurasi produksi tetapi juga dalam pasokan dan volume produk. *Agile manufacturing* tidak selalu hemat biaya, tetapi memungkinkan perusahaan untuk mendapatkan keuntungan fleksibilitas. Saat membandingkan *lean manufacturing* dengan *agile manufacturing*, sistem lean diprioritaskan efisiensi biaya sedangkan sistem tangkas mengutamakan fleksibilitas (Ding et al., 2021).

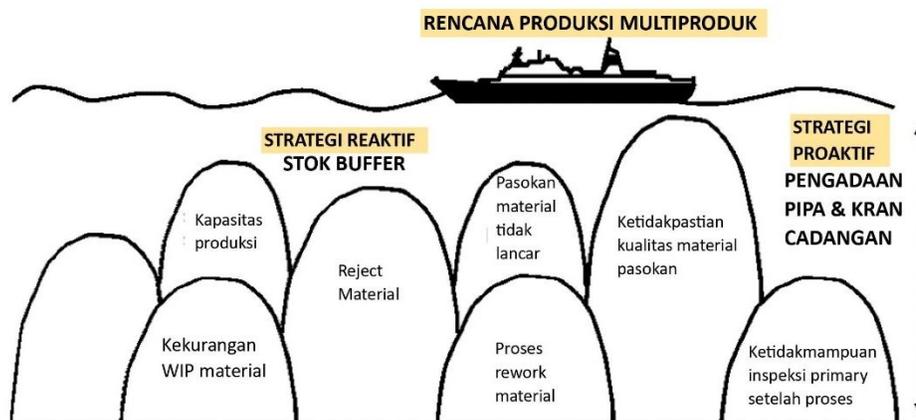
Visualisasi dari permasalahan yang terjadi dan bagaimana strategi reaktif dan atau proaktif merespon dengan sehat kecacauan dari ketidakpastian kualitas dijelaskan pada Gambar 5.1. Selain fokus berada pada bagaimana manajemen mengelola dan mengevaluasi kecacauan sistem, fokus lainnya tertuju pada bagaimana perusahaan melakukan manajemen harian menggunakan kontrol data. Strategi yang diusulkan setelah dianalisa lebih dalam dengan data menunjukkan bila kebutuhan biaya yang dibutuhkan untuk memulihkan dan mempersiapkan sistem justru dapat

memberikan kenaikan penjualan juga pada ketangguhan sistem dengan tercapaian rencana produksi. Perusahaan dengan manajemen yang berbasis data akan memiliki kemampuan yang lebih baik untuk meningkatkan efektifitas kinerja daripada perusahaan yang mengandalkan keputusan berdasarkan kumpulan data yang terbatas (Del Giudice et al., 2020). Perusahaan dapat menggunakan basis data dalam berkomunikasi kepada manajemen dalam membahas solusi alternatif dari gangguan produksi yang terjadi. Solusi yang dapat melahirkan kenaikan penjualan atau keuntungan akan mudah diterima manajemen. Namun apabila masalah tidak dijelaskan dengan rinci menggunakan data, maka prospek dari solusi alternatif tidak dapat ditangkap sepenuhnya dengan baik oleh manajemen. Pemanfaatan data untuk melakukan pengukuran, evaluasi dan perencanaan yang juga dikonversikan dalam nilai uang akan memberi kemudahan untuk sistem dan juga manajemen dalam menganalisa dasar dan prospek dari kajian masalah.

Berdasarkan pertimbangan tingkat ketercapaian rencana produksi dengan dampak nilai penjualan yang dihasilkan maka strategi reaktif adalah strategi yang lebih efektif bagi perusahaan untuk menjadi solusi dalam menjaga kestabilan sistem dari gangguan ketidakpastian kualitas material pasok. Dalam segi ketercapaian rencana produksi, strategi proaktif belum dapat mencapai target perusahaan. Berbeda dengan strategi reaktif yang dapat memberikan dampak ketercapaian rencana produksi sesuai target. Strategi reaktif juga dapat memberi kenaikan penjualan di range 9% daripada strategi proaktif yang hanya di range 3%. Kondisi ini didukung dengan perbandingan nilai peningkatan penjualan dengan biaya strategi yang menunjukkan bila strategi reaktif lebih unggul dari pada strategi proaktif dengan nilai 54 berbanding 49. Meskipun demikian, biaya yang dibutuhkan strategi reaktif memiliki jumlah yang lebih besar daripada proaktif. Hal ini tidak sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menyebutkan bila strategi proaktif memiliki biaya lebih besar (Baah et al., 2021). Namun hal ini juga bisa disebabkan karena solusi alternatif yang diberikan pada strategi proaktif masih belum menuntaskan secara menyeluruh akar masalah dari cetakan kotor. Solusi strategi proaktif lebih mengarah pada tindakan agar akar masalah utama yaitu ampas powder tidak larut sempurna tidak mengkontaminasi proses hingga menghasilkan cetakan kotor.

Implementasi strategi pada penelitian ini telah mengakomodir siklus produksi dari tahun 2022 – 2023 berdasarkan tingkat permintaan produksi dari 30 data historis. Apabila kedepan terdapat perubahan tingkat permintaan produksi dari adanya perubahan spesifikasi dan customer, maka diperlukan penyesuaian strategi khususnya dalam penentuan stok buffer (Gonçalves et al., 2020; Hadian et al., 2021; Perdana et al., 2022). Gambar dibawah memberi penjelasan akhir akan

rekomendasi strategi yang dapat dipilih perusahaan untuk mengatasi masalah ketidakpastian kualitas material. Pertimbangan rekomendasi mengacu pada tujuan penelitian yaitu strategi yang dapat memenuhi ketercapain rencana produksi dari segi kuantiti dan jenis produksinya serta rasio peningkatan penjualan tertinggi.



#### STRATEGI REAKTIF

Upaya memberikan perlindungan dan merespon dengan menetapkan stok buffer 145 bal per periode terhadap gangguan produksi berupa ketidakpastian kualitas material pasokan sebagai langkah untuk memulihkan kondisi yang tidak pasti akibat

Variabel	Satuan	Kondisi terkini Sebelum implementasi strategi	Kondisi potensial Sesudah implementasi strategi
Pasokan material		terhambat	<b>lancar</b>
Stok buffer	Bal per Periode	0	<b>145</b>
Ketercapaian rencana jenis produk	% per Total Periode	94%	<b>100%</b>
Ketercapaian rencana kuantiti produk	% per Total Periode	99.5%	<b>106%</b>
Biaya strategi	Rp per Total Periode	Rp 0	<b>Rp 145.767.533</b>
Nilai Penjualan	Rp per Total Periode	Rp 83.483.880.000	<b>Rp 91.355.312.468</b>
Rasio penjualan	Peningkatan Penjualan / biaya strategi	0	<b>54</b>

#### STRATEGI PROAKTIF

Upaya pencegahan sebelum terjadi risiko cetakan kotor dari proses primary dengan mengambil tindakan yang tepat berupa pengadaan pipa dan kran cadangan 2 set per mesin.

Variabel	Satuan	Kondisi terkini Sebelum implementasi strategi	Kondisi potensial Sesudah implementasi strategi
Reject material cetakan kotor	% per periode	4%	2.70%
Pipa dan Kran	set / mesin	1	2
Ketercapaian rencana jenis produk	% per Total Periode	94%	<b>98%</b>
Ketercapaian rencana kuantiti produk	% per Total Periode	99.5%	<b>104%</b>
Biaya strategi	Rp per Total Periode	Rp 0	<b>Rp 54.529.178</b>
Nilai Penjualan	Rp per Total Periode	Rp 83.483.880.000	<b>Rp 86.016.157.440</b>
Rasio penjualan	Peningkatan Penjualan / biaya strategi	0	<b>49</b>

#### REKOMENDASI STRATEGI FLEKSIBILITAS MANUFAKTUR

Dasar rekomendasi merujuk potensi hasil implementasi strategi fleksibilitas pada ketercapaian rencana produksi keseluruhan pada nilai 100% dengan rasio penjualan tertinggi.

Variabel Uji	Satuan	Strategi Reaktif Stok buffer WIP sheet 145 Bal per periode	Strategi Proaktif Pengadaan pipa dan kran 2 set per mesin primary	Keterangan Rekomendasi strategi
Biaya Strategi	Rp per Total Periode	Rp 145.767.533	Rp 54.529.178	
Ketercapaian rencana kuantiti produksi multiproduk	% per Total Periode	100%	100%	
Ketercapaian rencana jenis produksi multiproduk	% per Total Periode	100%	98%	Tinggi semakin baik
Nilai Penjualan	Rp per Total Periode	Rp 91.355.312.468	Rp 86.161.924.973	Tinggi semakin baik
Rasio penjualan	Peningkatan Penjualan / biaya strategi	54	49	Tinggi semakin baik
<b>Rekomendasi strategi terpilih</b> (memenuhi target dan tujuan penelitian)				<b>Strategi Reaktif</b> Stok buffer WIP sheet 145 Bal per periode

**Gambar 5.1** Rekomendasi Strategi Fleksibilitas Perusahaan Studikasuk

Penelitian ini belum mempertimbangkan faktor gangguan produksi lain seperti gangguan mesin, pasokan material eksternal dan lain-lain yang dapat mempengaruhi ketersediaan kapasitas produksi maksimal (Chen et al., 2020; Guo et al., 2021; Usuga Cadavid et al., 2020). Penelitian selanjutnya dapat mengakomodir variabel gangguan produksi lainnya serta menetapkan gejala dan ambang batas control sistem dalam menganalisa kemampuan sistem dalam memenuhi kebutuhan stok buffer setiap periodenya. Hal ini dapat membantu sistem untuk mengantisipasi dan merespon kendala tersebut dengan adanya penyesuaian sistem seperti tambahan jam kerja dan tambahan sumber daya lainnya

Pada penelitian ini belum melakukan perhitungan dan simulasi apabila tindakan dan respon terhadap gangguan produksi diselesaikan dengan mengintegrasikan strategi proaktif dan reaktif. Integrasi strategi ini ditunjukkan dengan perusahaan mengimplemntasikan pengadaan cadangan pipa dan keran lalu menghitung jumlah stok buffer ideal untuk mendukung target ketercapaian rencana produksi. Penelitian selanjutnya dapat fokus akan penyusunan strategi integrasi reaktif-proaktif yang berpotensi menghasilkan jumlah biaya yang lebih kecil dengan rencana produksi yang berhasil juga dicapai. Pertimbangan biaya selalu fokus dan faktor penting namun perlu mempertimbangkan untuk tidak mengorbankan kualitas (Potkány et al., 2021; Stentoft et al., 2021).

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1 Kesimpulan Penelitian**

Penelitian ini membahas tentang perusahaan multiproduk dari industri kertas tisu di Indonesia yang mengalami kekacauan dalam pemulihan sistem dari gangguan produksi berupa pasokan material yang terhambat akibat proses pemulihan dari ketidakpastian kualitas material pasok. Kekacauan sistem ini menyebabkan tidak tercapainya rencana produksi multiproduk. Penelitian dibangun untuk merancang dan mengusulkan strategi fleksibilitas pada sistem produksi multi produk dalam menghadapi potensi gangguan produksi akibat ketidakpastian kualitas material pasok. Strategi yang dikembangkan akan memberikan kesiapan dalam menghadapi risiko ketidakpastian proses sehingga perusahaan dapat memaksimalkan pemanfaatan sumber daya dan kestabilan jadwal produksi yang ditunjukkan dari tercapainya rencana produksi multiproduk secara optimal antara kuantitas dan ketepatan jenis produksi. Strategi reaktif terpilih sebagai strategi yang lebih efektif bagi perusahaan untuk menjadi solusi dalam menjaga kestabilan sistem dari gangguan ketidakpastian kualitas material pasok. Dalam segi ketercapaian rencana produksi, hanya strategi reaktif dapat memberikan dampak ketercapaian rencana produksi sesuai target 100% pada ketercapaian kuantiti dan akurasi jenis produksi. Strategi reaktif juga dapat memberi kenaikan penjualan di kisaran 9% daripada strategi proaktif yang hanya di kisaran 3% walau total biaya yang dibutuhkan implementasi strategi reaktif lebih besar daripada proaktif. Strategi reaktif buffer dibangun menggunakan model Discrete Event Simulation (DES) software FlexSim untuk mengolaha data dari sistem produksi multiproduk yang memiliki tingkat produksi fluktuatif untuk setiap periodenya. Model simulasi mengakomodir sistem produksi multiproduk proses rework material dari proses produksi dengan kualitas yang buruk. Tujuan strategi tidak hanya mengakomodir aspek fleksibilitas namun juga kestabilan jadwal produksi dan pemanfaatan sumberdaya yang ditunjukkan dari tingkat ketercapaian rencana produksi secara optimal. Hal ini ditunjukkan pada bagaimana variabel kapasitas area stok buffer dan ketercapaian rencana produksi dipertimbangkan dalam pembangunan model simulasi untuk mendapatkan buffer stok optimal. Strategi reaktif yang mencakup upaya sistem untuk merespon gangguan produksi ditetapkan dengan menyediakan stok buffer WIP Sheet sejumlah 145 bal untuk setiap periodenya. Strategi reaktif dalam penelitian ini menghasilkan tindakan untuk memberi langkah agar sistem tidak kacau

dengan masalah sistem yang terjadi sehingga rencana produksi sistem multiproduk tetap tercapai dan terjaga walau masalah produksi masih dari ketidakpastian kualitas material pasok tetap terjadi. Studi ini berhasil menyusun strategi untuk mencapai keseimbangan antara fleksibilitas sistem produksi multiproduk yang tidak sempurna dari tingkat produksi fluktuatif dalam menghadapi gangguan produksi dengan ketidakstabilan penjadwalan yang berpengaruh pada ketercapaian rencana produksi.

## **6.2 Saran Penelitian**

Saran penelitian tertuju untuk manajemen perusahaan secara umum dan penelitian selanjutnya. Saran yang ditunjukkan untuk manajemen perusahaan mencakup pertimbangan untuk (1) beralihnya fokus strategi perusahaan dari lean manufacturing menuju agile manufacturing dan (2) Data-driven dalam setiap evaluasi, kontrol dan perencanaan perbaikan sistem berkelanjutan. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah penelitian selanjutnya dibangun dengan (1) melakukan integrasi strategi reaktif dan proaktif dalam merespon gangguan produksi, (2) adanya penelitian sejenis ini dengan mempertimbangkan rasio reject per periodenya diasumsikan tidak sama, (3) mempertimbangkan variabel gangguan produksi lainnya dan menetapkan gejala dan ambang batas kontrol dalam menganalisa ketersediaan dan kemampuan sistem memenuhi kebutuhan stok buffer dan (4) manajemen dan mitigasi risiko terpadu dalam implementasi strategi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdulkareem, M., Brahier, M. S., Zou, F., Taylor, A., Thomaidis, A., Bergquist, P. J., Srichai, M. B., Lee, A. M., Vargas, J. D., & Petersen, S. E. (2022). Generalizable Framework for Atrial Volume Estimation for Cardiac CT Images Using Deep Learning With Quality Control Assessment. *Frontiers in Cardiovascular Medicine*, 9(January), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fcvm.2022.822269>
- Afifa, Y. N., & Santoso, I. (2022). Proactive risk mitigation strategies and building strategic resilience in the food supply chain: a review. *Food Research*, 6(2), 9–17. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(2\).257](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(2).257)
- Al-Humaidi, H. M., & Hadipriono Tan, F. H. (2010). A fuzzy logic approach to model delays in construction projects using rotational fuzzy fault tree models. *Civil Engineering and Environmental Systems*, 27(4), 329–351. <https://doi.org/10.1080/10286600903150721>
- Alfieri, A., Matta, A., & Pastore, E. (2020). The time buffer approximated Buffer Allocation Problem: A row–column generation approach. *Computers and Operations Research*, 115, 104835. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2019.104835>
- Ali, M. H., Suleiman, N., Khalid, N., Tan, K. H., Tseng, M. L., & Kumar, M. (2021). Supply chain resilience reactive strategies for food SMEs in coping to COVID-19 crisis. *Trends in Food Science and Technology*, 109(January), 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.021>
- Alikhani, R., Torabi, S. A., & Altay, N. (2021). Retail supply chain network design with concurrent resilience capabilities. *International Journal of Production Economics*, 234(January), 108042. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108042>
- Aliyu, R., & Mokhtar, A. A. (2021). Research Advances in the Application of FlexSim : A Perspective on Machine Reliability , Availability , and Maintainability Optimization. *Journal of Human University (Natural Sciences)*, 48(9), 518–563.
- Alrabghi, A., & Tiwari, A. (2016). A novel approach for modelling complex maintenance systems using discrete event simulation. *Reliability Engineering and System Safety*, 154, 160–170. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2016.06.003>
- Amalia, P., & Cahyati, N. (2020). Queue analysis of public healthcare system to reduce waiting time using flexsim 6.0. *International Journal of Industrial Optimization*, 1(2), 101. <https://doi.org/10.12928/ijio.v1i2.2428>
- Angkiriwang, R., Pujawan, I. N., & Santosa, B. (2014). Managing uncertainty through supply chain flexibility: reactive vs. proactive approaches. *Production and Manufacturing Research*, 2(1), 50–70. <https://doi.org/10.1080/21693277.2014.882804>
- Averett, M. W. (1988). Fault Tree Analysis. *Risk Analysis*, 8(3), 463–464. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.1988.tb00510.x>
- Azadeh, A., Asadzadeh, S. M., Salehi, N., & Firoozi, M. (2015). Condition-based maintenance effectiveness for series-parallel power generation system - A combined Markovian simulation model. *Reliability Engineering and System Safety*, 142, 357–368. <https://doi.org/10.1016/j.ress.2015.04.009>
- Baah, C., Opoku-Agyeman, D., Acquah, I. S. K., Issau, K., & Moro Abdoulaye, F. A. (2021). Understanding the influence of environmental production practices on firm performance: a proactive versus reactive approach. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(2), 266–289. <https://doi.org/10.1108/JMTM-05-2020-0195>
- Badrick, T., Bietenbeck, A., Katayev, A., van Rossum, H. H., Loh, T. P., & Cervinski, M. A. (2020). Implementation of patient-based real-time quality control. *Critical Reviews in*

- Clinical Laboratory Sciences*, 57(8), 532–547.  
<https://doi.org/10.1080/10408363.2020.1765731>
- Baig, A. A., Ruzli, R., & Buang, A. B. (2013). Reliability Analysis Using Fault Tree Analysis: A Review. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 4(3), 169–173.  
<https://doi.org/10.7763/ijcea.2013.v4.287>
- Bo, H., Chen, X., & Wang, R. (2021). Manufacturing Rescheduling after Crisis or Disaster-Caused Supply Chain Disruption. *SSRN Electronic Journal*. <https://doi.org/10.2139/ssrn.3902825>
- Brauner, C., Wöhrmann, A. M., Frank, K., & Michel, A. (2019). Health and work-life balance across types of work schedules: A latent class analysis. *Applied Ergonomics*, 81(July), 102906. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102906>
- Bruno, G., Antonelli, D., & Stadnicka, D. (2021). Evaluating the effect of learning rate, batch size and assignment strategies on the production performance. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 38(2), 137–147. <https://doi.org/10.1080/21681015.2021.1883133>
- Burhan, A. M. (2010). Fault Tree Analysis as a Modern Technique for Investigating Causes of Some Construction Project Problems. *Journal of Engineering*, 16(2), 5214–5223.  
<http://www.iasj.net/iasj?func=fulltext&aId=24547>
- Chen, W., Liu, H., & Qi, E. (2020). Discrete event-driven model predictive control for real-time work-in-process optimization in serial production systems. *Journal of Manufacturing Systems*, 55(March), 132–142. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.03.002>
- Cooper, L., Kang, S. Y., Bisanzio, D., Maxwell, K., Rodriguez-barraquer, I., Greenhouse, B., Drakeley, C., Arinaitwe, E., Staedke, S. G., Gething, P. W., Eckhoff, P., Jr, R. C. R., Hay, S. I., Dorsey, G., & Kanya, M. R. (2019). Pareto rules for malaria super-spreaders and super-spreading. *Nature Communications*, 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-11861-y>
- Csontos, B., Halász, L., & Heckl, I. (2022). Improved event-driven simulation method for fuel transport in a mesh-like pipeline network. *Computers and Chemical Engineering*, 168(April). <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2022.108066>
- Dametew, A. W., Ketaw, D., & Ebinger, F. (2019). Production planning and control strategies used as a gear train for the death and birth of manufacturing industries. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 12(2), 21–32.  
<https://doi.org/10.22094/JOIE.2018.774.1494>
- Del Giudice, M., Chierici, R., Mazzucchelli, A., & Fiano, F. (2020). Supply chain management in the era of circular economy: the moderating effect of big data. *International Journal of Logistics Management*, 32(2), 337–356. <https://doi.org/10.1108/IJLM-03-2020-0119>
- Ding, B., Ferràs Hernández, X., & Agell Jané, N. (2021). Combining lean and agile manufacturing competitive advantages through Industry 4.0 technologies: an integrative approach. *Production Planning and Control*, 0(0), 1–17.  
<https://doi.org/10.1080/09537287.2021.1934587>
- District, C., Road, B., & District, C. (2023). A pull order fulfillment method combining jit with group technology for online supermarket. 19(1), 269–278.  
<https://doi.org/10.24507/ijcic.19.01.269>
- Duffuaa, S. O., & Ben-Daya, M. (1995). Improving maintenance quality using SPC tools. *Journal of Quality in Maintenance Engineering*, 1(2), 25–33.  
<https://doi.org/10.1108/13552519510089565>
- Esmaeili-Najafabadi, E., Azad, N., Pourmohammadi, H., & Fallah Nezhad, M. S. (2021). Risk-averse outsourcing strategy in the presence of demand and supply uncertainties. *Computers and Industrial Engineering*, 151, 106906. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106906>

- Febriana, T. H., & Hasbullah, H. (2021). Analysis and defect improvement using FTA, FMEA, and MLR through DMAIC phase: Case study in mixing process tire manufacturing industry. *Journal Europeen Des Systemes Automatisees*, 54(5), 721–731. <https://doi.org/10.18280/JESA.540507>
- Gachlou, M., Roozbahani, A., & Banihabib, M. E. (2019). Comprehensive risk assessment of river basins using Fault Tree Analysis. *Journal of Hydrology*, 577(June), 123974. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.123974>
- Gelenbe, E., & Guennouni, H. (1991). Theory and Methodology FLEXSIM: A flexible manufacturing system simulator. *European Journal of Operational Research*, 53, 149.
- Georgiadis, G. P., Elekidis, A. P., & Georgiadis, M. C. (2021). Optimal production planning and scheduling in breweries. *Food and Bioproducts Processing*, 125, 204–221. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2020.11.008>
- Gonçalves, J. N. C., Sameiro Carvalho, M., & Cortez, P. (2020). Operations research models and methods for safety stock determination: A review. *Operations Research Perspectives*, 7(August), 100164. <https://doi.org/10.1016/j.orp.2020.100164>
- Guo, D., Li, M., Lyu, Z., Kang, K., Wu, W., Zhong, R. Y., & Huang, G. Q. (2021). Synchronoperation in industry 4.0 manufacturing. *International Journal of Production Economics*, 238(March), 108171. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2021.108171>
- Gurgur, C. Z., & Altioek, T. (2008). Decentralized multi-product multi-stage systems with backorders. *IIE Transactions (Institute of Industrial Engineers)*, 40(3), 238–251. <https://doi.org/10.1080/07408170701488011>
- Hadian, S. M., Farughi, H., & Rasay, H. (2021). Joint planning of maintenance, buffer stock and quality control for unreliable, imperfect manufacturing systems. *Computers and Industrial Engineering*, 157(October 2020), 107304. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107304>
- Hoshino, S., Seki, H., Naka, Y., & Ota, J. (2010). Multirobot coordination for flexible batch manufacturing systems experiencing bottlenecks. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 7(4), 887–901. <https://doi.org/10.1109/TASE.2010.2047857>
- Hsu, P. Y., Aurisicchio, M., & Angeloudis, P. (2017). Investigating Schedule Deviation in Construction Projects through Root Cause Analysis. *Procedia Computer Science*, 121, 732–739. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.11.095>
- Hsu, P. Y., Aurisicchio, M., Angeloudis, P., & Whyte, J. (2020). Understanding and visualizing schedule deviations in construction projects using fault tree analysis. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 27(9), 2501–2522. <https://doi.org/10.1108/ECAM-01-2020-0058>
- Iqbal, A., & Sarkar, B. (2020). Disruption management in a constrained multi-product imperfect production system. *Journal of Manufacturing Systems*, 56(November 2018), 227–240. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2020.05.015>
- Iriani, Y., & Mulyani, Y. (2020). Proposed Product Quality Control by Using Six Sigma Method, Fault Tree Analysis (FTA), Failure Mode and Effect Analysis (FMEA). *Solid State Technology*, 63(3), 3965–3975. [www.solidstatetechnology.us](http://www.solidstatetechnology.us)
- Joppen, R., von Enzberg, S., Gundlach, J., Kühn, A., & Dumitrescu, R. (2019). Key performance indicators in the production of the future. *Procedia CIRP*, 81, 759–764. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.190>
- Karim, R., & Nakade, K. (2019). A stochastic model of a production-inventory system with consideration of production disruption. *International Journal of Advanced Operations Management*, 11(4), 287–316. <https://doi.org/10.1504/IJAOM.2019.103152>

- Khalfallah, M., & Lakhali, L. (2021). The impact of lean manufacturing practices on operational and financial performance: the mediating role of agile manufacturing. *International Journal of Quality and Reliability Management*, 38(1), 147–168. <https://doi.org/10.1108/IJQRM-07-2019-0244>
- Khan, A. A., Shameem, M., Kumar, R. R., Hussain, S., & Yan, X. (2019). Fuzzy AHP based prioritization and taxonomy of software process improvement success factors in global software development. *Applied Soft Computing Journal*, 83, 105648. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2019.105648>
- Khan, M. F., Haq, A., Ahmed, A., & Ali, I. (2021). Multiobjective multi-product production planning problem using intuitionistic and neutrosophic fuzzy programming. *IEEE Access*, 9, 37466–37486. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3063725>
- Kim, M. S., Kim, J. S., Sarkar, B., Sarkar, M., & Iqbal, M. W. (2018). An improved way to calculate imperfect items during long-run production in an integrated inventory model with backorders. *Journal of Manufacturing Systems*, 47(February), 153–167. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2018.04.016>
- Kucukaltan, B., Irani, Z., & Aktas, E. (2016). A decision support model for identification and prioritization of key performance indicators in the logistics industry. *Computers in Human Behavior*, 65, 346–358. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2016.08.045>
- Kuuttila, M., Mäntylä, M., Farooq, U., & Claes, M. (2020). Time pressure in software engineering: A systematic review. *Information and Software Technology*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2020.106257>
- Lee, S. Y., & Lee, J. Y. (2021). Fixing the barn door before the horse bolts: Effects of pre-crisis engagement and stealing thunder in crisis communication. *Public Relations Review*, 47(1), 101930. <https://doi.org/10.1016/j.pubrev.2020.101930>
- Li, X., Liu, G., & Hao, X. (2021). Research on improved oee measurement method based on the multiproduct production system. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(2), 1–19. <https://doi.org/10.3390/app11020490>
- Li, Z., Liang, Y., Liao, Q., Zhang, B., & Zhang, H. (2021). A review of multiproduct pipeline scheduling: from bibliometric analysis to research framework and future research directions. *Journal of Pipeline Science and Engineering*, 1(4), 395–406. <https://doi.org/10.1016/j.jpse.2021.08.001>
- Lü, Z. min, Jiang, T. ru, & Li, Z. wei. (2021). Multiproduct and multistage integrated production planning model and algorithm based on an available production capacity network. *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials*, 28(8), 1343–1352. <https://doi.org/10.1007/s12613-021-2310-6>
- Mahmoud, A. A., Aly, M. F., Mohib, A. M., & Afefy, I. H. (2019). New optimization model for multi-period multi-product production planning system with uncertainty. *Industrial Engineering and Management Systems*, 18(4), 872–883. <https://doi.org/10.7232/iems.2019.18.4.872>
- Masykur, R. S., & Oktora, A. (2021). Quality Improvement on Optical Fiber Coloring Process using Fault Tree Analysis and Failure Mode and Effect Analysis. *International Journal of Engineering Research and Advanced Technology*, 07(02), 06–12. <https://doi.org/10.31695/ijerat.2021.3690>
- Mengesha, Yonatan; Singh, Ajit Pal; Amedie, W. Y. (2013). Quality Improvement Using Statistical Process Control Tools in Glass Bottles Manufacturing Company. *International Journal for Quality Research*, 7(1), 107–126.

- Mokhtari, H., Hasani, A., & Fallahi, A. (2021). Multi-Product Constrained Economic Production Quantity Models for Imperfect Quality Items with Rework. *International Journal of Industrial Engineering and Production Research*, 32(3), 1–23. <https://doi.org/10.22068/ijiepr.950>
- Mosayeb Motlagh, M., Azimi, P., Amiri, M., & Madraki, G. (2019). An efficient simulation optimization methodology to solve a multi-objective problem in unreliable unbalanced production lines. *Expert Systems with Applications*, 138, 112836. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.112836>
- Mulyana, I. J., Hartoyo, S. S., & Sianto, M. E. (2022). Defect Analysis of Printing Process in Offset Printing Industry by Using Failure Mode Effect Analysis (FMEA) and Fault Tree Analysis (FTA). *Journal of Integrated System*, 5(2), 143–155. <https://doi.org/10.28932/jis.v5i2.5241>
- Nakata, T., Matsui, K., Miyake, Y., & Nishioka, K. (1999). Dynamic bottleneck control in wide variety production factory. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 12(3), 273–280. <https://doi.org/10.1109/66.778190>
- Niu, B., Shen, Z., & Xie, F. (2021). The value of blockchain and agricultural supply chain parties' participation confronting random bacteria pollution. *Journal of Cleaner Production*, 319(April 2020), 128579. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128579>
- Nwaubani, J. C., Tsianta, A., & Zelka, M. (2019). A Quantitative Research on The Effectiveness of The Implementation of Supply Chain Management, Logistics & Marketing Function - The Greek Paradigm. *European Journal of Business and Management Research*, 4(6). <https://doi.org/10.24018/ejbmr.2019.4.6.146>
- Pambreni, Y., Khatibi, A., Ferdous Azam, S. M., & Tham, J. (2019). The influence of total quality management toward organization performance. *Management Science Letters*, 9(9), 1397–1406. <https://doi.org/10.5267/j.msl.2019.5.011>
- Patil, R. J., Kubade, P. R., & Kulkarni, H. B. (2019). Optimization of machine shop layout by using flexsim software. *AIP Conference Proceedings*, 2200(December). <https://doi.org/10.1063/1.5141203>
- Paul, S. K., Sarker, R., & Essam, D. (2015). Managing disruption in an imperfect production-inventory system. *Computers and Industrial Engineering*, 84(September), 101–112. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2014.09.013>
- Paul, S. K., Sarker, R., & Essam, D. (2017). A quantitative model for disruption mitigation in a supply chain. *European Journal of Operational Research*, 257(3), 881–895. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2016.08.035>
- Perdana, T., Chaerani, D., Hermiatin, F. R., Achmad, A. L. H., & Fridayana, A. (2022). Improving the capacity of local food network through local food hubs' development. *Open Agriculture*, 7(1), 311–322. <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0088>
- Potkány, M., Krajčírová, L., & Stasiak-Betlejewska, R. (2021). Use of Target Costing methodology in the construction of wood-aluminium windows - Case study. *Engineering Management in Production and Services*, 13(4), 148–159. <https://doi.org/10.2478/emj-2021-0037>
- Puchkova, A., McFarlane, D., Srinivasan, R., & Thorne, A. (2020). Resilient planning strategies to support disruption-tolerant production operations. *International Journal of Production Economics*, 226, 107614. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107614>
- Raman, R. S., & Basavaraj, Y. (2019a). Defect reduction in a capacitor manufacturing process through six sigma concept: A case study. *Management Science Letters*, 9(2), 253–260.

- <https://doi.org/10.5267/j.msl.2018.11.014>
- Raman, R. S., & Basavaraj, Y. (2019b). Quality improvement of capacitors through fishbone and pareto techniques. *International Journal of Recent Technology and Engineering*, 8(2), 2248–2252. <https://doi.org/10.3940/ijrte.B2444.078219>
- Richter, B. B. D., & Fahlund, A. C. (2005). *A Framework for*. 2(August).
- Rofstad, E. K. (2000). *Review Microenvironment-induced cancer metastasis*. 76(5).
- Rucitra, A. L., & Amna, A. U. F. (2021). Integration of Statistical Quality Control (SQC) and Fault Tree Analysis (FTA) in the quality control of resina colophonium production in Company X. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 924(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/924/1/012062>
- Samani, M. R. G., Hosseini-Motlagh, S. M., & Homaei, S. (2020). A reactive phase against disruptions for designing a proactive platelet supply network. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 140(May), 102008. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102008>
- Sánchez-ramírez, C., Ramos-hernández, R., Fong, J. R. M., Alor-Hernández, G., & García-alcaraz, J. L. (2020). A system dynamics model to evaluate the impact of production process disruption on order shipping. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(1). <https://doi.org/10.3390/app10010208>
- Sarkar, B. (2019). Mathematical and analytical approach for the management of defective items in a multi-stage production system. *Journal of Cleaner Production*, 218, 896–919. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.078>
- Sezer, A., & Altan, A. (2021). Detection of solder paste defects with an optimization-based deep learning model using image processing techniques. *Soldering and Surface Mount Technology*, 33(5), 291–298. <https://doi.org/10.1108/SSMT-04-2021-0013>
- Shahhosseini, V., Afshar, M. R., & Amiri, O. (2018). The root causes of construction project failure. *Scientia Iranica*, 25(1), 93–108. <https://doi.org/10.24200/sci.2017.4178>
- Singh, M., Kumar, P., & Rathi, R. (2019). Modelling the barriers of Lean Six Sigma for Indian micro-small medium enterprises: An ISM and MICMAC approach. *TQM Journal*, 31(5), 673–695. <https://doi.org/10.1108/TQM-12-2018-0205>
- Sklet, S. (2004). Comparison of some selected methods for accident investigation. *Journal of Hazardous Materials*, 111(1–3), 29–37. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.02.005>
- Stentoft, J., Aadsbøll Wickstrøm, K., Philipsen, K., & Haug, A. (2021). Drivers and barriers for Industry 4.0 readiness and practice: empirical evidence from small and medium-sized manufacturers. *Production Planning and Control*, 32(10), 811–828. <https://doi.org/10.1080/09537287.2020.1768318>
- Strohhecker, J., & Größler, A. (2020). Threshold behavior of optimal safety stock coverage in the presence of extended production disruptions. *Journal of Modelling in Management*, 15(2), 441–458. <https://doi.org/10.1108/JM2-03-2019-0074>
- Sun, D., Huang, R., Chen, Y., Wang, Y., Zeng, J., Yuan, M., Pong, T. C., & Qu, H. (2020). PlanningVis: A Visual Analytics Approach to Production Planning in Smart Factories. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 26(1), 579–589. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2019.2934275>
- Sunaryo, & Hamka, M. A. (2017). Safety risks assessment on container terminal using hazard identification and risk assessment and fault tree analysis methods. *Procedia Engineering*, 194, 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.08.150>
- Sutdualan, J., Joemsittiprasert, W., & Jermsittiparsert, K. (2019). Uncertainty as an antecedent of

- the supply chain risk: Does supply chain flexibility matter in risk mitigation? *Humanities and Social Sciences Reviews*, 7(2), 503–509. <https://doi.org/10.18510/hssr.2019.7259>
- Taghipour, A., Hoang, P., & Cao, X. (2019). x. *Journal of Advanced Management Science, January 2019*, 43–48. <https://doi.org/10.18178/joams.8.2.43-48>
- Taleizadeh, A. A., Yadegari, M., & Sana, S. S. (2019). Production models of multiple products using a single machine under quality screening and reworking policies. *Journal of Modelling in Management*, 14(1), 232–259. <https://doi.org/10.1108/JM2-06-2018-0086>
- Umair, M., & Wani, T. A. (2022). Construction Quality over Quantity Take Off. *Saudi Journal of Engineering and Technology*, 7(1), 11–15. <https://doi.org/10.36348/sjet.2022.v07i01.002>
- Urlu, B., & Erkip, N. K. (2020). Safety stock placement for serial systems under supply process uncertainty. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 32(2), 395–424. <https://doi.org/10.1007/s10696-019-09374-3>
- Usuga Cadavid, J. P., Lamouri, S., Grabot, B., Pellerin, R., & Fortin, A. (2020). Machine learning applied in production planning and control: a state-of-the-art in the era of industry 4.0. *Journal of Intelligent Manufacturing*, 31(6), 1531–1558. <https://doi.org/10.1007/s10845-019-01531-7>
- Vanzetti, N., Corsano, G., & Montagna, J. M. (2021). Integrated scheduling of the drying process in a sawmill. *Computers and Chemical Engineering*, 153. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2021.107407>
- Vogel-Heuser, B., Schütz, D., Frank, T., & Legat, C. (2014). Model-driven engineering of Manufacturing Automation Software Projects - A SysML-based approach. *Mechatronics*, 24(7), 883–897. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2014.05.003>
- Vrecko, I., Kovac, J., Rupnik, B., & Gajsek, B. (2019). Using queuing simulation model in production process innovations. *International Journal of Simulation Modelling*, 18(1), 47–58. [https://doi.org/10.2507/IJSIMM18\(1\)458](https://doi.org/10.2507/IJSIMM18(1)458)
- Weber, C. M., & Fayed, A. (2010). Scale, scope, and speed - Managing the challenges of multiproduct manufacturing. *IEEE Transactions on Semiconductor Manufacturing*, 23(1), 30–38. <https://doi.org/10.1109/TSM.2009.2039249>
- Woschank, M., Dallasega, P., & Kapeller, J. A. (2020). The impact of planning granularity on production planning and control strategies in MTO: A discrete event simulation study. *Procedia Manufacturing*, 51(2019), 1502–1507. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.10.209>
- Wu, J., Wang, H., & Shang, J. (2019). Multi-sourcing and information sharing under competition and supply uncertainty. *European Journal of Operational Research*, 278(2), 658–671. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.04.039>
- Xu, H. (2020). Minimizing the ripple effect caused by operational risks in a make-to-order supply chain. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 50(4), 381–402. <https://doi.org/10.1108/IJPDLM-06-2018-0213>
- Yang, M., Chen, H., & Li, S. (2021). The influence of working time characteristics on employee perceptions of physical and mental health: The moderating role of value orientations. *Current Psychology*, 40(12), 6029–6044. <https://doi.org/10.1007/s12144-019-00483-8>
- Yu, M. C., & Greene, T. J. (2009). An operational measure of routing flexibility in a multi-stage multi-product production system. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43(3–4), 357–364. <https://doi.org/10.1007/s00170-008-1711-2>
- Zennaro, I., Finco, S., Battini, D., & Persona, A. (2019). Big size highly customised product manufacturing systems: a literature review and future research agenda. *International Journal*

- of Production Research*, 57(15–16), 5362–5385.  
<https://doi.org/10.1080/00207543.2019.1582819>
- Zhao, C., & Li, J. (2015). Analysis and Improvement of Multiproduct Bernoulli Serial Lines: Theory and Application. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 45(9), 1218–1230. <https://doi.org/10.1109/TSMC.2015.2399868>
- Zhu, X. N., Peko, G., Sundaram, D., & Piramuthu, S. (2022). Blockchain-Based Agile Supply Chain Framework with IoT. *Information Systems Frontiers*, 24(2), 563–578. <https://doi.org/10.1007/s10796-021-10114-y>