

ANALISIS *BOTTLENECK* DAN PENINGKATAN KINERJA LINI PRODUKSI PADA INDUSTRI MAKANAN DENGAN PENDEKATAN SIMULASI

Ahmed RaECKy Baihaqy^{1*}, Hamdan Muhammadi¹, Nurhadi Siswanto¹

*E-mail Korespondensi : ahmed.baihaqy@its.ac.id

¹Departemen Teknik Sistem dan Industri, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

ABSTRAK

Sebuah lini produksi dirancang untuk memastikan bahwa aktivitas produksi berlangsung lancar dengan *output* maksimal. Namun, kelancaran lini produksi dapat terganggu jika terjadi *bottleneck* dalam aktivitas atau proses tertentu, yang dapat menurunkan tingkat produksi secara signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis *bottleneck* dalam lini produksi industri makanan menggunakan pendekatan simulasi. Hasil simulasi kondisi eksisting menunjukkan bahwa proses *packing* menjadi *bottleneck* utama. Melalui skenario perbaikan berupa kombinasi penugasan mesin manual *packing* yang lebih fleksibel dan penambahan konveyor, simulasi membuktikan bahwa *throughput* produksi per jam dapat meningkat sebesar 8,6%.

Kata kunci: *bottleneck*, lini produksi, simulasi

ABSTRACT

A production line is designed to ensure that production activities run smoothly and achieve maximum output. However, its smooth operation can be disrupted if a bottleneck occurs in certain activities or processes, significantly reducing the production rate. This research aims to identify and analyze bottlenecks within a food industry production line using a simulation-based approach. The simulation results of the existing conditions indicate that the packing process is the primary bottleneck. Through an improvement scenario involving a combination of more flexible manual packing machine assignments and the addition of conveyors, the simulation demonstrated that hourly production throughput could increase by 8.6%.

Keywords: *bottleneck*, production line, simulation

PENDAHULUAN

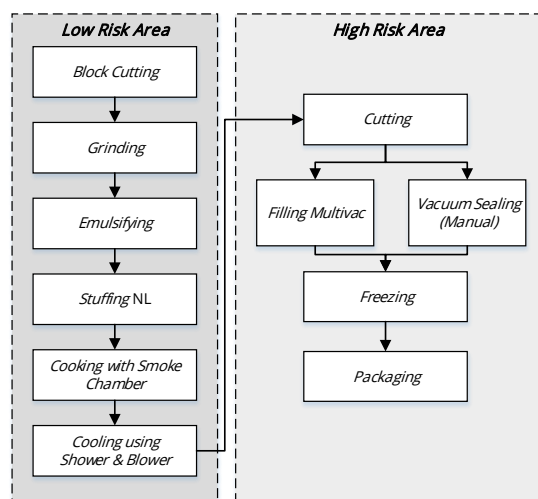
Penelitian ini mengkaji dan menganalisis proses *bottleneck* yang terdapat pada lini produksi sebuah industri makanan serta mengusulkan skenario perbaikan yang dapat dilakukan untuk meningkatkan kinerja lini produksi tersebut. Industri makanan termasuk ke dalam kategori industri sekunder yang mengolah hasil dari industri primer dalam bentuk bahan mentah, menjadi produk makanan siap saji (Groover, 2015). Proses pengolahan tersebut dilakukan pada lini produksi, yang merupakan sebuah jalur yang terdiri atas mesin, pekerja, dan elemen lainnya yang digunakan untuk mengolah produk. Lini produksi dirancang sedemikian rupa dengan tujuan untuk meningkatkan kecepatan dan efisiensi dari kegiatan produksi yang dilakukan (Bartholdi & Eisenstein, 1996; Lewis, 2019). Oleh karena itu, penting dilakukan sebuah analisis untuk meningkatkan efisiensi pada sebuah lini produksi. Dengan demikian, tujuan perusahaan untuk

memaksimalkan profitabilitas dapat tercapai.

Penelitian ini berfokus pada sebuah perusahaan industri makanan di Indonesia yang memproduksi makanan olahan beku. Perusahaan ini memproduksi 15 jenis makanan olahan beku dengan kapasitas produksi lebih dari 10 ton per hari. Perusahaan ini beroperasi secara kontinu, 24 jam per hari dan 7 hari dalam seminggu, di mana setiap harinya terbagi menjadi 3 shift kerja. *Layout* lini produksi pada perusahaan ini mengadopsi *product layout*, di mana mesin dan proses produksi disusun berdasarkan jenis produk yang dihasilkan karena produksi dilakukan secara massal untuk setiap produknya (Heragu, 2008). Salah satu permasalahan yang terjadi oleh lini produksi pada perusahaan ini adalah banyaknya *work-in-process* (WIP) yang terjadi pada proses pengemasan (*packing*), baik yang dilakukan secara otomatis menggunakan mesin *filling multivac* maupun secara manual menggunakan mesin *vacuum seal*. Fenomena penumpukan WIP disebabkan oleh masih banyak proses yang dilakukan secara manual. Di samping itu, penumpukan WIP pada proses *packing* selalu terjadi setiap hari dengan

jumlah yang variatif. Banyaknya WIP atau barang yang menunggu untuk diproses pada aktivitas atau proses tertentu menandakan bahwa proses tersebut mengalami *bottleneck* (Conway *et al.*, 1988; Hopp & Spearman, 2011). Untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas atas proses apa saja yang terjadi pada lini produksi amatan, Gambar 1 berikut ini menampilkan alur proses produksi pada perusahaan yang diamati.

Jika dibandingkan dengan target produksi mingguan, *output* produksi aktual dapat dikatakan masih jauh di bawah target produksi dengan rata-rata ketercapaian sebesar 89.8%. Hal ini disebabkan oleh adanya *bottleneck* pada proses *packing*. Oleh karena itu, perlu adanya inisiatif perbaikan terhadap lini produksi ini, terutama pada proses-proses yang sedang maupun berpotensi mengalami *bottleneck* demi mendapatkan *output* yang optimal secara efisien. Memfokuskan upaya perbaikan pada proses yang mengalami *bottleneck* biasanya merupakan cara tercepat dan paling efektif untuk meningkatkan profitabilitas sebuah perusahaan (Goldratt, 2004). Dengan demikian, penelitian berusaha menjawab pertanyaan yang menjadi fokus utama pada permasalahan yang dihadapi. Apakah lini produksi benar-benar mengalami *bottleneck* dan di bagian manakan proses yang mengalami *bottleneck*? Serta, bagaimana usaha yang diusulkan untuk mengeliminasi *bottleneck* dengan harapan untuk meningkatkan kinerja lini produksi?



Gambar 1. Alur proses produksi pada objek amatan

Sistem amatan, yang merupakan lini produksi, memiliki tingkat kompleksitas tinggi yang disebabkan oleh adanya variabilitas atau *uncertainties* serta interdependensi antar komponen. Sistem dengan kompleksitas tinggi kurang sesuai untuk dimodelkan dan diselesaikan menggunakan pendekatan matematis dikarenakan limitasi yang dimiliki oleh pendekatan matematis tersebut. Dengan demikian, pada kasus seperti ini,

model simulasi lebih sesuai untuk mengakomodasi pemodelan sistem dengan kompleksitas tinggi yang disebabkan interdependensi antara elemen dan variabilitas tiap elemen (Law, 2011).

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis proses yang mengalami *bottleneck* di dalam sebuah lini produksi maupun peningkatan kinerja lini produksi. Pengembangan model telah dilakukan dengan tujuan untuk mendeteksi titik *bottleneck* (Li *et al.*, 2023; Sharda & Bury, 2010) dan memprediksi kejadian *bottleneck* (Rocha & Lopes, 2022). Analisis *bottleneck* dapat dilakukan berdasarkan panjang antrian atau WIP yang akan masuk ke dalam sebuah proses (Abed, 2008; Velumani & Tang, 2017; Zahraee *et al.*, 2014), lamanya waktu mengantri (Krishnan *et al.*, 2018), utilisasi mesin (Eskandari *et al.*, 2013; Zahraee *et al.*, 2014), serta *average active period* dan *criticality indicator* (Eskandari *et al.*, 2013). Setelah diperoleh titik atau proses mana yang mengalami *bottleneck*, maka usaha perbaikan sistem melalui eksperimentasi skenario perbaikan dilakukan dengan berbagai macam cara (Abed, 2008; Eskandari *et al.*, 2013; Grenzfurtnner *et al.*, 2025; Krishnan *et al.*, 2018; Velumani & Tang, 2017; Zahraee *et al.*, 2014). Penelitian sejenis terdahulu menggunakan berbagai macam pendekatan seperti analitis (Azwir & Pratomo, 2017; Li *et al.*, 2023). Akan tetapi, sebagian besar penelitian terdahulu menggunakan simulasi kejadian diskrit atau *discrete-event simulation* (DES) sebagai pendekatan utama (Abed, 2008; Eskandari *et al.*, 2013; Grenzfurtnner *et al.*, 2025; Krishnan *et al.*, 2018; Sharda & Bury, 2010; Velumani & Tang, 2017; Zahraee *et al.*, 2014).

Penelitian terdahulu yang sangat berkaitan dengan penelitian ini adalah penelitian yang dilakukan oleh Abed (2008) dan Grenzfurtnner *et al.* (2025), di mana objek amatannya berada pada industri makanan yang memproduksi biskuit dan roti. Akan tetapi, pada penelitian ini, objek amatan merupakan industri makanan yang memproduksi sosis. Selain itu, pengembangan yang dilakukan oleh penelitian ini terletak pada analisis *bottleneck* yang juga mempertimbangkan *average active period* seperti yang dilakukan oleh Eskandari *et al.* (2013). Penelitian ini menggunakan simulasi kejadian diskrit (DES) sebagai metode simulasi pilihan untuk pendekatan utama dalam penyelesaian permasalahan dalam penelitian ini.

METODE PENELITIAN

Studi Sistem

Aktivitas pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah studi sistem. Studi sistem dilakukan dengan tujuan untuk mengidentifikasi komponen apa saja yang menyusun sistem. Harret

et al. (2004) mengelompokkan komponen-komponen ini ke dalam 3 kategori antara lain elemen, variabel, dan *key performance indicator* (KPI) sistem. Tabel 1 berikut ini menampilkan komponen penyusun sistem yang diamati pada penelitian ini.

Tabel 1. Komponen dalam sistem

Komponen	Subkomponen	Item
Elemen Sistem	Entitas	Produk berupa sosis
	Aktivitas	Proses produksi (pada lini produksi), aktivitas <i>rework</i>
	Sumber Daya	Mesin pada lini produksi
	Kontrol	Aliran proses produksi, aturan batching, penjadwalan produksi
Variabel Sistem	Keputusan	Kebijakan pada aliran proses produksi
	Respon	Utilisasi mesin, <i>average active period</i> , rata-rata panjang antrian, durasi/waktu penyelesaian produksi
	Status	Jumlah WIP, status mesin (<i>uptime</i> , <i>downtime</i>)
KPI Sistem	-	Jumlah <i>output</i> /hasil produksi

Tabel 2. Jenis data yang dikumpulkan

Jenis Data	Item	Keterangan
Data Struktural	Jenis/SKU produk	15 SKU
	Jenis mesin pada lini produksi	Sesuai dengan proses produksi
Data Operasional	Aliran aktivitas produksi	Terbagi menjadi 3 alur berdasarkan penggunaan mesin <i>packing</i> (Manual 1, Manual 2, Multivac)
	Aturan <i>batching</i> produk saat produksi	-
	Penjadwalan produksi	Produksi setiap hari, terbagi menjadi 3 <i>shift</i> kerja, 8 jam per <i>shift</i>
Data Numerikal	Ukuran <i>batch</i> produk	Kuantitas <i>batch</i> yang berbeda per produk
	Jumlah mesin	22 mesin
	Jumlah stasiun kerja	10 stasiun kerja
	Presentase <i>downtime</i> mesin	-

Jenis Data	Item	Keterangan
	Presentase <i>rework</i> produk	2% dari total <i>output</i> produksi
	<i>Cycle time</i> produksi	-

Pengumpulan Data

Setelah dilakukan identifikasi komponen dalam sistem, langkah selanjutnya yang dilakukan adalah identifikasi kebutuhan dan pengumpulan data. Dalam penelitian ini, data yang dikumpulkan selanjutnya dikategorikan menjadi 3 kelompok yakni data struktural, data operasional, dan data numerikal (Harrel et al., 2004). Tabel 2 berikut ini menampilkan ringkasan atas pengelompokan data yang dikumpulkan.

Pengolahan Data

Data yang telah dikumpulkan selanjutnya perlu diolah terlebih dahulu sebelum dijadikan sebagai *input* model. Sebagian besar data yang memerlukan pengolahan lebih lanjut merupakan data berjenis numerikal. Terdapat beberapa jenis data numerikal yang perlu diolah.

Pertama adalah data ukuran *batch* setiap produk. *Batch* masing-masing produk memiliki berat yang berbeda, yang mempengaruhi beberapa aspek seperti banyaknya karung daging dan *casing* sosis yang diperlukan, dan jumlah sosis yang dapat diproduksi. Oleh karena itu, diperlukan konversi dari data *batch* ini untuk menjadi satuan aktivitas sehingga dapat dimodelkan ke dalam model simulasi.

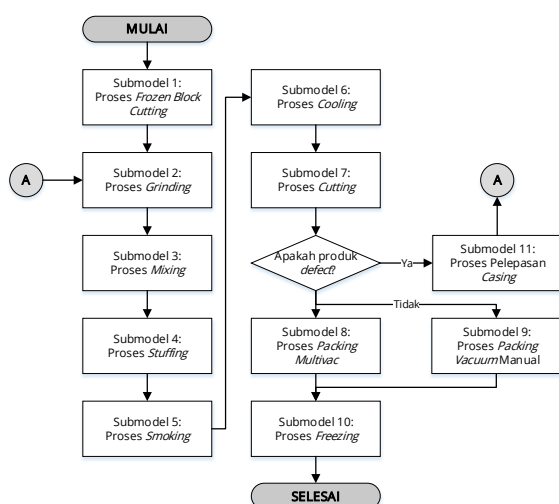
Selanjutnya adalah data *downtime* dan *time to failure*. *Downtime* merupakan durasi yang menggambarkan lamanya sebuah mesin dalam kondisi tidak dapat digunakan baik dalam keadaan rusak (sehingga memerlukan *reactive maintenance*) atau dalam pemeliharaan terencana (*preventive maintenance*). *Time to failure* (TTF) menggambarkan rentang waktu antara 2 *downtime* yang disebabkan oleh kerusakan mesin atau pemeliharaan. Karena 2 data ini bersifat stokastik, maka kedua data ini perlu melalui proses *fitting distribution* untuk memodelkan sifat stokastik tersebut. Dalam hal ini, data TTF dimodelkan ke dalam distribusi Weibull dan data *downtime* didekati menggunakan distribusi Lognormal sesuai dengan distribusi teoritisnya (Robinson, 2014).

Data terakhir yang diolah adalah *cycle time* masing-masing aktivitas dalam proses produksi. Setiap proses produksi terbagi menjadi aktivitas-aktivitas yang lebih kecil. Setiap aktivitas memiliki durasi waktu pengerjaan yang bervariasi. Dengan demikian, ditemukan sebuah proses yang bersifat stokastik pada aktivitas produksi. Pada kondisi ini, data *cycle time* akan dimodelkan ke dalam

distribusi teoritis yang bersesuaian seperti distribusi Uniform, Triangular, Lognormal, Erlang, dan Gamma (Robinson, 2014). Pemilihan distribusi mana yang sesuai didasarkan pada *ranking* yang menggambarkan *fitness* sebuah data terhadap distribusinya. Semakin tinggi *ranking*-nya, maka semakin sesuai distribusi tersebut digunakan untuk memodelkan data tersebut.

Pengembangan Model

Tahapan selanjutnya yang dilakukan adalah pengembangan model. Tahapan ini diawali oleh pengembangan model konseptual. Model konseptual dibangun menggunakan *logic flow diagram* seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Model simulasi utuh terbagi menjadi beberapa submodel berdasarkan pada stasiun kerja maupun proses produksinya dan saling berhubungan satu sama lain yang disesuaikan dengan alur proses produksi. Pada model yang dibangun, telah ditentukan bahwa terdapat 11 submodel yang menggambarkan setiap proses produksi, mulai dari proses *frozen block cutting*, *grinding*, hingga *freezing*.



Gambar 2. Model konseptual pada sistem amatan

Setelah model konseptual dikembangkan, langkah selanjutnya adalah menerjemahkan dan menuangkan model konseptual ini ke dalam model simulasi. Model simulasi yang dibangun menggunakan *software* harus sesuai dan selaras dengan model konseptual yang telah dibangun sebelumnya.

Replikasi, Verifikasi, dan Validasi

Pada dasarnya, simulasi memiliki sifat *random input-random output* (RIRO) yang berimplikasi pada kebutuhan bahwa model simulasi perlu dijalankan (*running*) beberapa kali. Banyaknya jumlah *running* model simulasi ini yang disebut dengan replikasi. Replikasi diperlukan untuk menangkap (*capture*) segala kemungkinan

output yang dihasilkan model simulasi. Semakin banyak jumlah replikasi, maka variansi antara hasil simulasi dapat menurun. Pada penelitian ini, jumlah replikasi ditentukan berdasarkan nilai *half-width* (hw) dan *expected half-width* (hw').

Jumlah replikasi dinyatakan cukup apabila kondisi di mana $hw < hw'$ telah tercapai (Siswanto *et al.*, 2017). Pada awal *running*, model simulasi dijalankan sebanyak 5 kali dan kondisi $hw < hw'$ telah tercapai. Dengan demikian, jumlah replikasi sebanyak 5 dinyatakan telah cukup untuk merepresentasikan hasil sistem aktual.

Selanjutnya, langkah yang dilakukan adalah verifikasi. Verifikasi adalah proses yang dilakukan untuk memastikan bahwa model simulasi telah berjalan sesuai harapan (Harrell *et al.*, 2004). Pada penelitian ini, terdapat 2 jenis verifikasi yang dilakukan: verifikasi *syntax error* dan verifikasi *semantic error*. Berdasarkan hasil verifikasi, dapat dinyatakan bahwa model simulasi telah bebas dari *error* dan berjalan sesuai dengan harapan.

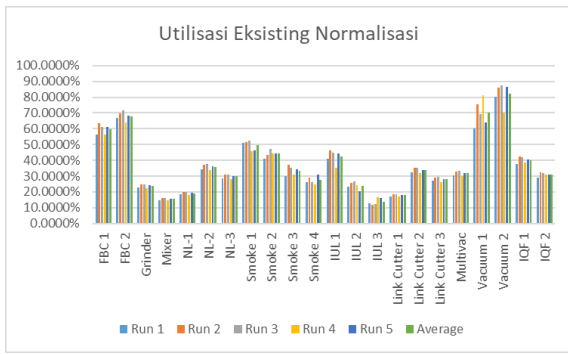
Tahapan terakhir yang dilakukan adalah validasi. Validasi merupakan proses yang dilakukan untuk memastikan apakah model yang dibangun telah mampu mewakili sistem aktualnya secara tepat (Hoover & Perry, 1990). Pada penelitian ini, validasi dilakukan menggunakan metode *black-box validation*, di mana *output* dari model simulasi akan dibandingkan dengan *output* sistem aktual menggunakan uji statistik *t-test*. Variabel *output* yang dibandingkan adalah *output* produksi per hari pada setiap lini proses *packing*. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara *output* model simulasi dengan *output* sistem aktual. Dengan demikian, dapat ditarik kesimpulan bahwa model simulasi telah valid dan mampu digunakan untuk mewakili sistem aktual.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi dan Analisis *Bottleneck*

Model simulasi kondisi eksisting telah dikembangkan dan dijalankan sebanyak 5 kali dengan waktu simulasi selama 264 jam (11 hari) per *running*. Waktu 264 jam dipilih karena pada aktualnya, diperlukan waktu selama 11 hari untuk menyelesaikan jadwal dan target produksi untuk 7 hari. Setelah model simulasi dikembangkan, langkah selanjutnya adalah melakukan identifikasi dan analisis proses *bottleneck*. Tahapan ini bertujuan untuk memvalidasi apakah benar proses *packing* merupakan proses yang mengalami *bottleneck*. Analisis mendalam terhadap mesin-mesin pada lini produksi akan dilakukan untuk menentukan pada mesin mana tepatnya proses *bottleneck* ini terjadi. Parameter yang digunakan pada analisis *bottleneck* antara lain utilisasi setiap

mesin serta rata-rata panjang antrian pada mesin.

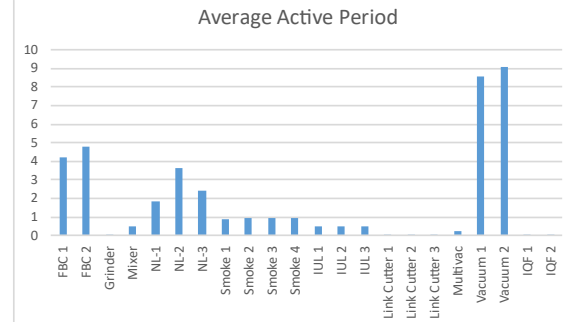


Gambar 3. Nilai utilisasi ternormalisasi untuk setiap mesin pada kondisi eksisting

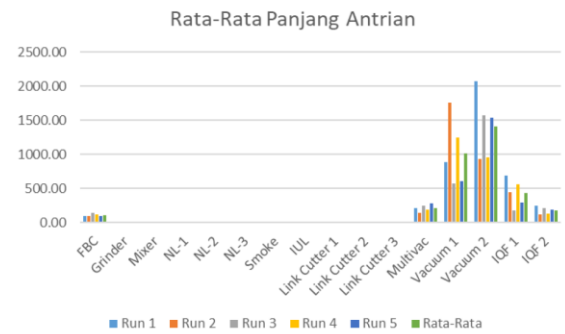
Gambar 3 menampilkan statistik utilisasi setiap mesin pada kondisi eksisting. Dari Gambar 3, dapat dilihat bahwa mesin dengan tingkat utilisasi yang cukup tinggi antara lain mesin FBC (1 dan 2) serta mesin *vacuum* manual (1 dan 2). Dari sisi utilisasi, dapat diambil informasi bahwa seolah-olah terdapat 2 proses yang mengalami *bottleneck* yakni *frozen block cutting* dan *packing manual*. Namun, penelitian ini berfokus untuk mencari satu proses yang merupakan letak eksak *bottleneck* pada sistem. Sehingga, diperlukan analisis lanjutan dengan menggunakan metode *average active period* untuk mendeteksi proses mana yang mengalami *bottleneck* (Roser *et al.*, 2001). Pada metode ini, total lama mesin beroperasi (*active period*) dibagi dengan berapa kali mesin tersebut mengalami *active period* atau dengan kata lain jumlah *active period* mesin. Perhitungan *average active period* dapat dilakukan dengan Persamaan 1 berikut. Menurut Roser *et al.* (2001), sebuah proses teridentifikasi sebagai *bottleneck* apabila memiliki nilai *average active period* yang paling tinggi dibandingkan proses lainnya.

$$\bar{a}_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{n} \quad (1)$$

Gambar 4 menampilkan hasil perhitungan *average active period* untuk setiap mesin. Dari Gambar 4, dapat dilihat bahwa mesin *vacuum* 1 dan 2 memiliki *average active period* yang paling tinggi jika dibandingkan dengan mesin lainnya. Hal ini disebabkan oleh penumpukan dengan jumlah yang tinggi pada area *vacuum* yang menyebabkan mesin *vacuum* terus bekerja dengan frekuensi istirahat yang sedikit. Dengan sedikitnya frekuensi istirahat pada mesin *vacuum*, maka jumlah *active period* untuk mesin *vacuum* pun juga menjadi lebih sedikit, sehingga rata-rata waktu *active period* mesin *vacuum* 1 dan 2 menjadi sangat tinggi.



Gambar 4. Nilai *average active period* untuk setiap mesin pada lini produksi



Gambar 5. Nilai rata-rata panjang antrian material yang menunggu diproses di setiap mesin

Selain menggunakan *average active period*, *bottleneck* dapat diidentifikasi dengan melihat antrian dari lini produksi untuk proses yang berkaitan. Semakin banyak penumpukan atau semakin panjang antrian yang hendak masuk ke proses tersebut, maka dapat dikatakan bahwa proses tersebut mengalami *bottleneck* (Banks *et al.*, 2005). Gambar 5 berikut ini menampilkan rata-rata panjang antrian yang terjadi pada tiap mesin. Pada Gambar 5, dapat dilihat bahwa mesin *vacuum* 1 dan 2 memiliki antrian yang paling panjang jika dibandingkan dengan mesin lainnya dalam lini produksi. Hal ini mengimplikasikan bahwa terjadi penumpukan dalam jumlah yang cukup besar pada proses *manual packing*. Sehingga, proses ini dapat diidentifikasi sebagai *bottleneck*.

Berdasarkan hasil analisis menyeluruh, mulai dari tinjauan utilisasi mesin, perhitungan *average active period*, dan evaluasi panjang antrian, dapat disimpulkan bahwa proses *manual packing* adalah proses yang mengalami *bottleneck*. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya perbaikan proses yang berfokus pada proses tersebut. Dengan berfokus pada proses *manual packing*, diharapkan *bottleneck* dapat dieliminasi sehingga kinerja proses secara menyeluruh dapat meningkat.

Eksperimentasi dan Perbaikan Sistem

Telah diketahui sebelumnya bahwa proses *manual packing* adalah titik di mana *bottleneck* terjadi. Selanjutnya, eksperimentasi atas sistem

akan dilakukan pada proses *manual packing* untuk mengurangi *bottleneck* dengan harapan untuk memperbaiki dan meningkatkan kinerja sistem secara keseluruhan. Terdapat dua konfigurasi pada proses *manual packing* pada kondisi eksisting yang perlu dijabarkan terlebih dahulu.

Pertama, penugasan mesin *vacuum* 1 dan 2 didasarkan pada atribut penjadwalan produksi. Sebagai ilustrasi, produk-produk yang di-assign pada lini manual 1 akan diproses oleh mesin *vacuum* 1. Begitu pula untuk produk yang di-assign pada lini manual 2 akan menuju mesin *vacuum* 2 untuk menjalani proses *packing*. Dengan konfigurasi seperti ini, diperoleh bahwa untuk menyelesaikan jadwal produksi 7 hari, mesin *vacuum* 1 memerlukan waktu 174.9 jam (7.28 hari) dan mesin *vacuum* 2 membutuhkan waktu 199.86 jam (8.33 hari). Dari hasil tersebut, dapat dilihat bahwa terjadi selisih waktu penyelesaian sebanyak 1 hari. Hal ini mengindikasikan adanya ketidakseimbangan beban kerja antara mesin *vacuum* 1 dan *vacuum* 2, di mana mesin *vacuum* 2 mendapatkan tugas untuk memproses produk dengan *batch* besar yang tentukan memakan waktu lebih lama. Maka, upaya *line balancing* diperlukan untuk menyeimbangkan beban kerja antara kedua mesin.

Kedua, perpindahan produk dari proses *manual filling* menuju mesin *vacuum* dilakukan secara *batch*. Pada kondisi saat ini, produk-produk yang telah melalui proses *manual filling* akan dikumpulkan terlebih dahulu pada sebuah keranjang. Apabila keranjang telah penuh, produk baru akan dipindahkan ke mesin *vacuum*. Hal ini akan berpotensi menyebabkan *bottleneck* karena produk harus menunggu terlebih dahulu hingga kuantitas *batch* tercapai sebelum dipindahkan ke proses selanjutnya. Namun, apabila alur *one piece flow* diterapkan, maka waktu tunggu atas produk dapat diminimalkan (Protzman *et al.*, 2016).

Tabel 3. Konfigurasi skenario perbaikan

Skenario	Penugasan Mesin Vacuum	Perpindahan Produk dari Manual Filling ke Vacuum
0 (Eksisting)	Dedicated, berdasarkan atribut jadwal produksi	Batching
1	Fleksibel, penugasan berdasarkan kondisi mesin vacuum mana yang sedang idle	Batching
2	Dedicated, berdasarkan atribut jadwal produksi	One piece flow, menggunakan konveyor

Skenario	Penugasan Mesin Vacuum	Perpindahan Produk dari Manual Filling ke Vacuum
3	Fleksibel, penugasan berdasarkan kondisi mesin vacuum mana yang sedang idle	One piece flow, menggunakan konveyor

Berdasarkan dua kondisi konfigurasi pada proses *manual packing* yang dijelaskan sebelumnya, terdapat 3 skenario perbaikan yang dirumuskan dan diusulkan dalam rangka peningkatan kinerja sistem. Tabel 3 menampilkan ikhtisar atas skenario perbaikan yang diusulkan. Berdasarkan hasil simulasi atas ketiga skenario, diperoleh bahwa untuk menyelesaikan jadwal produksi 7 hari, Skenario 1 dan 2 masih memerlukan waktu 11 hari meskipun *output* pada hari ke-11 lebih sedikit jika dibandingkan dengan kondisi eksisting. Di sisi lain, Skenario 3 hanya memerlukan waktu 10 hari untuk menyelesaikan target produksinya. Untuk melihat perbedaan yang signifikan dari sisi kinerja antar skenario, diperlukan perbandingan dari sisi *throughput* produksi per satuan jam. Tabel 4 berikut ini menampilkan *throughput* produksi dalam satuan kilogram per jam.

Tabel 4. *Throughput* produksi per jam setiap skenario

Run	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
1	946.23	1094.80	993.49	1032.85
2	1025.30	1037.56	1005.56	1074.83
3	1027.47	1056.47	979.16	1072.15
4	923.84	1079.09	968.15	1065.46
5	991.92	986.05	1030.14	1091.96
Average	982.95	1050.79	995.30	1067.45

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	3	25571	8524	6.81	0.004
Error	16	20033	1252		
Total	19	45604			

Gambar 6. Hasil uji *one-way* ANOVA untuk seluruh skenario perbaikan

Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

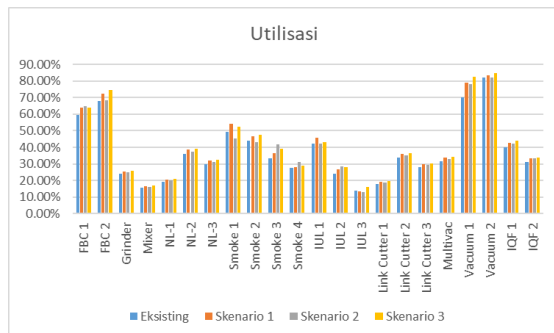
Factor	N	Mean	Grouping
Skenario 3	5	1067.45	A
Skenario 1	5	1050.8	A B
Skenario 2	5	995.3	B C
Eksisting	5	983.0	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Gambar 7. Hasil uji *Tukey pairwise comparison* untuk memilih scenario terbaik

Jika ditinjau dari Tabel 4, sekilas dapat dilihat bahwa Skenario 3 memiliki *throughput* produksi per jam yang paling tinggi dibandingkan dengan kondisi eksisting maupun skenario lainnya. Artinya, Skenario 3 memiliki kinerja yang terbaik. Akan tetapi, masih diperlukan pengujian secara statistik untuk memastikan apakah terdapat setidaknya 1 skenario yang berbeda dibandingkan lainnya. Oleh karena itu, prosedur *one-way ANOVA* perlu dilakukan.

Pada Gambar 7, dapat dilihat bahwa Skenario 1 dan 3 keluar sebagai skenario yang terbaik. Karena Skenario 1 dan 3 memiliki *grouping* yang sama, artinya secara statistik tidak ada perbedaan yang signifikan antara kinerja Skenario 1 dengan Skenario 3. Oleh karena itu, diperlukan analisis lanjutan untuk menentukan skenario mana yang akan dipilih. Dalam hal ini, analisis lanjutan dilakukan dari aspek utilisasi setiap mesin.



Gambar 8. Nilai rata-rata utilisasi setiap mesin berdasarkan Skenario 3

Dari Gambar 8, dapat dilihat bahwa secara rata-rata, utilisasi seluruh mesin pada Skenario 3 lebih tinggi jika dibandingkan pada skenario lainnya. Sehingga, dapat disimpulkan bahwa pada Skenario 3, seluruh mesin telah digunakan secara efektif dan efisien, yang dapat berujung pada peningkatan *output* secara signifikan. Dengan diperolehnya fakta ini, maka Skenario 3 keluar sebagai skenario terbaik dan terpilih menjadi skenario yang dapat diimplementasikan untuk memperbaiki kinerja sistem. Berdasarkan hasil simulasi, Skenario 3 dapat meningkatkan *throughput* produksi sebesar 84.5 kilogram per jam atau setara dengan 2.03 ton per harinya.

Analisis Skenario Terpilih

Pada bagian sebelumnya, dijelaskan bahwa Skenario 3 keluar sebagai skenario terpilih yang menghasilkan kinerja terbaik di antara skenario-skenario lainnya, baik dari sisi *throughput* produksi maupun utilisasi mesin. Skenario 3 menyarankan perbaikan pada proses atau mesin *vacuum*, di mana proses penugasan bersifat fleksible dengan meninjau mesin mana yang sedang *idle* dan

perpindahan material menerapkan konsep *one-piece flow* dengan bantuan *conveyor*.

Pada dasarnya, penugasan mesin yang bersifat fleksible bertujuan untuk menyeimbangkan beban kerja (*workload*) kedua mesin *vacuum*. Pada penugasan yang bersifat *dedicated*, besar kemungkinan ada satu mesin yang memiliki beban kerja tinggi karena bekerja terus menerus yang disebabkan oleh adanya ketidakseimbangan jumlah material yang diproses. Penugasan fleksible ini keluar sebagai solusi untuk permasalahan ini. Penyeimbangan beban kerja pada sebuah lini produksi terbukti mampu meningkatkan kinerja lini produksi baik dari sisi efisiensi (Potts & Whitehead, 2001; Sagwekar *et al.*, 2019) maupun utilisasi (Knop, 2021). Peningkatan efisiensi lini produksi menyebabkan waktu produksi dapat berkurang, sehingga *throughput* produksi dapat meningkat.

Penerapan *one piece flow* menggunakan *conveyor* untuk memindahkan material dari satu proses ke proses lainnya juga bertujuan untuk meningkatkan efisiensi lini produksi. Implementasi *batch* pada kondisi sebelumnya menyebabkan produksi memakan waktu yang lama, karena material perlu menunggu untuk ditimbun atau dikumpulkan hingga jumlah tertentu sesuai dengan ukuran *batch*-nya. Ketika sudah mencapai *batch size*, baru material akan dipindahkan ke proses selanjutnya. Perpindahan secara *batch* juga berpotensi meningkatkan level WIP pada proses tertentu. Penerapan *one piece flow* diharapkan mampu mengurangi waktu tunggu material untuk masuk ke proses selanjutnya. Dengan demikian, proses produksi dapat berjalan lebih cepat. Penerapan *one piece flow* dapat menurunkan WIP, meningkatkan produktivitas, dan memaksimalkan utilitas mesin (Attia *et al.*, 2023; Vijaya & Amirthavarshini, 2025).

PENUTUP

Lini produksi dirancang sedemikian rupa agar proses produksi dapat berjalan secara efektif dan efisien. Kelancaran aktivitas produksi pada sebuah lini produksi dapat terganggu apabila terjadi *bottleneck* pada proses tertentu yang berakibat pada penurunan *output* produksi. Penelitian ini mengidentifikasi proses *bottleneck* pada lini produksi di sebuah industri makanan dengan pendekatan simulasi kejadian diskrit.

Berdasarkan hasil simulasi, diperoleh bahwa *packing* merupakan proses yang mengalami *bottleneck*, terutama pada mesin *vacuum*. Hal ini telah divalidasi melalui berbagai analisis seperti analisis utilisasi mesin, *average active period*, dan rata-rata panjang antrian. Eksperimentasi

dilakukan untuk menentukan skenario perbaikan yang terbaik untuk meminimalisasi *bottleneck* yang terjadi. Dengan menerapkan mekanisme pemilihan mesin *vacuum* secara fleksibel untuk menyeimbangkan beban kerja dan memasang konveyor untuk mendukung sistem *one piece flow* untuk perpindahan produk, *throughput* produksi meningkat sebanyak 84.5 kg per jam atau 8.6%.

Penelitian ini masih memiliki keterbatasan dari durasi jadwal produksi yang menjadi fokus penelitian. Penelitian ini hanya mengambil jadwal produksi selama 7 hari saja. Panjang jadwal produksi ini dapat dikatakan masih pendek untuk melakukan analisis kondisi dan kinerja lini produksi secara holistik. Oleh karena itu, pada penelitian selanjutnya, sangat direkomendasikan untuk mengumpulkan data 1 bulan penuh. Dengan demikian, simulasi dapat dijalankan untuk jadwal produksi selama 1 bulan penuh pula. Dengan melakukan hal ini, diharapkan hasil yang diperoleh lebih representatif dalam menggambarkan kondisi dan kinerja lini produksi, baik pada kondisi eksisting maupun pada skenario yang terpilih nantinya.

DAFTAR PUSTAKA

- Abed, S. Y. (2008). Improving productivity in food processing industries using simulation: a case study. *ICS'08: Proceedings of the 12th WSEAS international conference on Systems*. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/1580134.1580277>
- Attia, E. A., Sobhi, N., Alarjani, A., & Karam, A. (2023). Improving electric motor assembly using one piece flow, ergonomics, and cellular layout. *International Journal of Simulation Modelling*, 22(2), 255–266. <https://doi.org/10.2507/IJSIMM22-2-643>
- Azwir, H. H., & Pratomo, H. W. (2017). Implementasi Line Balancing untuk Peningkatan Efisiensi di Line Welding Studi Kasus: PT X. *Jurnal Rekayasa Teknik Industri*, 6(1), 57–64. <https://doi.org/10.26593/jrsi.v6i1.2428.57-64>
- Banks, J., Carson, J. S., Nelson, B. L., & Nicol, D. M. (2005). *Discrete-Event System Simulation*. Pearson Education.
- Bartholdi, J. J., Eisenstein, D. D. (1996). A Production Line that Balances Itself. *Operations Research*, 44(1), 21–34. <https://doi.org/10.1287/opre.44.1.21>
- Conway, R., Maxwell W., McClain, J. O., Thomas, L. J. (1988). The Role of Work-in-Process Inventory in Serial Production Lines. *Operations Research*, 36(2), 229–241. <https://doi.org/10.1287/opre.36.2.229>
- Eskandari, H., & Babolmorad, N. (2013). Bottleneck analysis in a pharmaceutical production line using simulation approach. *SCSC '13: Proceedings of the 2013 Summer Computer Simulation Conference*. <https://dl.acm.org/doi/abs/10.5555/2557696.2557711>
- Goldratt, E. M. (2004). *The Goal: A Process of Ongoing Improvement*. North River Press.
- Grenzfurtnner, W., Tizghadam, P., & Gruchmann, T. (2025). Production line balancing and reconfiguration in the food industry: A simulation study from a baked goods manufacturer. *Procedia Computer Science*, 253, 2684–2692. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.01.328>
- Groover, M. P. (2015). *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*. Pearson Higher Education.
- Harrell, C., Gosh, B. K. & Bowden, R. O. (2004). *Simulation Using Promodel*. 2nd ed. Mc. Graw Hill.
- Heragu, S. S. (2008). *Facilities Design*. Taylor & Francis Group.
- Hoover, S., & Perry, R. (1990). *Simulation: A Problem Solving Approach*. Addison-Wesley.
- Hopp, W. J., Spearman, M. L. (2011). *Factory Physics*. Waveland Press.
- Knop, K. (2021). Analysing the machines working time utilization for improvement purposes. *Production Engineering Archives*, 27(2), 137–147. <https://doi.org/10.30657/pea.2021.27.18>
- Krishnan, S., Dev, A. S., Suresh, R., Sumesh, A., & Rameshkumar, K. (2018). Bottleneck identification in a tyre manufacturing plant

- using simulation analysis and productivity improvement. In *Materials Today: Proceedings* (Vol. 5). <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.10.270>
- Law, A. M. (2011). *Simulation Modeling and Analysis*. McGraw-Hill Education.
- Lewis, M. A. (2019). *Operations Management: A Research Overview*. McGraw-Hill Education.
- Li, C., Yu, T., Fan, H.-T., Xiao, G., Arinez, J., & Chang, Q. (2023). Manufacturing Letters Dynamic Bottleneck Identification and Production Loss Evaluation for Assembly Lines. In *Manufacturing Letters* (Vol. 35). <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2023.08.089>
- Potts, C. N., & Whitehead, J. D. (2001). Workload balancing and loop layout in the design of a flexible manufacturing system. *European Journal of Operational Research*, 129(2), 326–336. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(00\)00230-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0377-2217(00)00230-7)
- Protzman, C., McNamara J., Protzman, D. (2016). *One-Piece Flow vs. Batching: A Guide to Understanding How Continuous Flow Maximizes Productivity and Customer Value*. 1st ed. CRC Press.
- Robinson, S. (2014). *Simulation: the practice of model development and use*. Bloomsbury Publishing.
- Rocha, E. M., & Lopes, M. J. (2022). Bottleneck prediction and data-driven discrete-event simulation for a balanced manufacturing line. *Procedia Computer Science*, 200, 1145–1154. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.01.314>
- Roser, C., Nakano, M., Tanaka M. (2001). A Practical Bottleneck Detection Method. *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*. <https://doi.org/10.1109/WSC.2001.977398>
- Sagwekar, A., Rajhans, N. R., & Hans, N. (2019, February). Workload balancing of assembly line in an automobile manufacturing industry. *International Conference on Manufacturing Excellence*. <https://www.researchgate.net/publication/331248194>
- Sharda, B., & Bury, S. J. (2010). Bottleneck Analysis of a Chemical Plant using Discrete Event Simulation. *Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference*. <https://doi.org/10.1109/WSC.2010.5678916>
- Siswanto, N., Latiffianti, E., Wiratno, S. E. (2017). Simulasi Sistem Diskrit Implementasi dengan Software Arena. ITS Tekno Sains.
- Vijaya, M. A., & Amirthavarshini, V. (2025). Effectiveness of Single Piece Flow Implementation in Assembly Line Operations. *International Journal Of Scientific Research In Engineering And Management*, 09(05), 1–9. <https://doi.org/10.55041/IJSREM46931>
- Velumani, S., & Tang, H. (2017). Operations Status and Bottleneck Analysis and Improvement of a Batch Process Manufacturing Line Using Discrete Event Simulation. *Procedia Manufacturing*, 10, 100–111. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.033>
- Zahraee, S. M., Golroudbary, S. R., Hashemi, A., Afshar, J., & Haghghi, M. (2014). Simulation of manufacturing production line based on Arena. *Advanced Materials Research*, 933, 744–748. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.933.744>