

Perencanaan Sumber Daya untuk Produksi Tinta *Packaging* dengan Pendekatan *Discrete-Event Simulation*

Kadek Wahyu Suarta Putra dan Niniet Indah Arvitrida

Departemen Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: niniet@ie.its.ac.id.

Abstrak—PT XYZ merupakan pemasok tinta *packaging* dengan model *business to business* dengan sumber *revenue* dari tiga pelanggan utama. Tantangan yang dihadapi perusahaan adalah rendahnya tingkat pengiriman tepat waktu akibat penerimaan 17,62% pesanan dengan permintaan *lead time* yang lebih singkat dari yang bisa PT XYZ tawarkan. Salah satu upaya yang dapat dilakukan perusahaan adalah peningkatan kapasitas produksi. Untuk menyelesaikan pesanan pelanggan, perusahaan menggunakan aliran produksi *job-shop* yang melibatkan antrean pesanan. Pendekatan simulasi kejadian diskrit digunakan untuk menentukan jumlah sumber daya produksi untuk meningkatkan performa pengiriman tepat waktu ke target perusahaan yaitu 95%, dalam kondisi pesanan standar. Skenario rekomendasi perbaikan adalah penambahan 2 teknisi lab dan 3 *mixer* kecil serta pengurangan 1 pekerja produksi. Pada kondisi standar, rekomendasi perbaikan dapat menyelamatkan pemasukan bulanan perusahaan sebesar rata-rata Rp 2.022.938.750 akibat peningkatan persentase pengiriman tepat waktu dari 54,60% menjadi 95,61%. Pada kondisi *peak order*, rekomendasi perbaikan dapat menyelamatkan pemasukan bulanan perusahaan sebesar rata-rata Rp 3.718.196.250 akibat peningkatan persentase pengiriman tepat waktu dari 33,82% menjadi 90,90%. Skenario perbaikan membutuhkan biaya tetap sebesar Rp 1.052.000.000 dan mengakibatkan peningkatan rata-rata total biaya variabel sebesar Rp 7.701.507 pada kondisi standar dan Rp 6.670.275 ketika *peak order*. Rekomendasi solusi menghasilkan NPV yang lebih besar dibandingkan kondisi awal sehingga layak diimplementasikan.

Kata Kunci—Sistem Produksi, Sumber Daya Produksi, Simulasi Kejadian Diskrit, Pengiriman Tepat Waktu, Biaya Variabel.

I. PENDAHULUAN

PT XYZ merupakan pemasok tinta *packaging* yang layanannya bertumpu pada model *business to business* (B2B). Pemasukan PT XYZ sangat bergantung pada tiga pelanggan utamanya, yaitu PT HBK0, PT ANS4, dan PT BAT2. Hubungan asimetris sedemikian rupa di dalam rantai pasok, mengakibatkan kerugian bagi PT XYZ, khususnya bagi kemampuan menawar *lead time* yang diinginkan pelanggan. *Lead time* merujuk pada durasi yang diperlukan dari penerimaan pesanan pelanggan hingga pengiriman pesanan pelanggan. Pada kondisi idealnya, PT XYZ *mematok lead time* produksi selama 4 hingga 7 hari. Namun berdasarkan data historis, 17,62% pesanan memiliki permintaan *lead time* sebesar 0 hingga 3 hari. Hal ini menjadi salah satu hal yang sangat memengaruhi performa *on-time delivery* PT XYZ.

Performa *on-time delivery* dihitung dengan membandingkan tanggal permintaan pengiriman saat

Tabel 1.

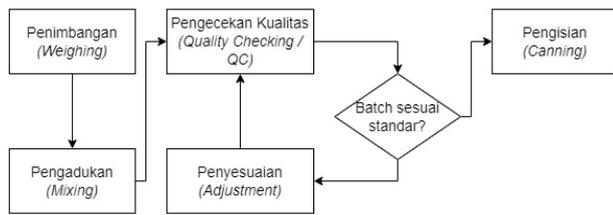
Data Historis <i>On-time Delivery</i> PT XYZ	
Bulan	Persentase <i>On-time Delivery</i> (%)
Januari	53,08
Februari	75,74
Maret	67,39
April	69,77
Mei	51,20
Juni	49,68
Juli	41,94
Agustus	45,03
September	37,57
Rata-rata	54,60

pemesanan dilakukan dengan tanggal pengiriman aktual. Pengiriman akan dikategorikan *on-time* apabila *lead time* pesanan berhasil dikirimkan sebelum atau sama dengan *lead time* permintaan pelanggan. Berikut ini merupakan tabel yang merangkum performa *on-time delivery* PT XYZ dari Januari 2023 hingga September 2023.

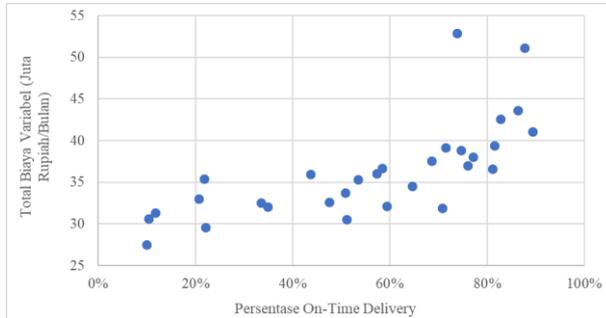
Berdasarkan Tabel 1, tingkat *on-time delivery* PT XYZ tidak pernah mencapai 95%, bahkan selalu bernilai kurang dari 50% pada 4 bulan terakhir. Apabila angka *on-time delivery* tidak mengalami peningkatan, diyakini bahwa tingkat kepuasan pelanggan PT XYZ akan menurun. Sebagai akibatnya, PT XYZ berpotensi kehilangan kontrak dengan pelanggan-pelanggannya.

Faktor lain yang memengaruhi tingkat *on-time delivery* adalah ketidakpastian yang ada pada proses produksi. Pertama, durasi masing-masing proses tidak memiliki standar. Kedua, ada kemungkinan pesanan harus melalui beberapa kali proses pengecekan kualitas karena campuran yang dihasilkan belum sesuai standar yang ditetapkan. Gambar 1 merupakan *flowchart* proses produksi tinta *packaging* yang dilakukan oleh PT XYZ.

Berdasarkan uraian permasalahan di atas, diketahui bahwa ada beberapa upaya yang dapat dilakukan perusahaan untuk meningkatkan persentase *on-time delivery*. Pertama, perusahaan dapat meniadakan negosiasi *lead time* dengan pelanggan. Kedua, perusahaan harus mengurangi ketidaksesuaian *batch* sehingga pesanan tidak perlu melakukan proses *adjustment* dan QC yang berulang. Ketiga, perusahaan dapat melakukan membuat *standard operational procedure* untuk setiap proses berdasarkan *time & motion study* sehingga diketahui waktu standar untuk setiap proses. Keempat, perusahaan dapat memodifikasi jumlah *resource* untuk mengurangi waktu antrean pesanan. Pada penelitian



Gambar 1. Alur Produksi PT XYZ.



Gambar 2. Persebaran Output Simulasi Kondisi Awal.

ini, upaya yang dijadikan fokus perbaikan adalah upaya keempat, yaitu modifikasi *resource*.

Pada dasarnya, jumlah *resource* akan mempengaruhi durasi antrean di proses yang melibatkannya. Semakin lama durasi antre, semakin lama juga waktu selesai produksi sebuah pesanan. Selisih antara waktu selesai produksi dan rilis pesanan akan dibandingkan dengan permintaan *lead time* pesanan untuk mengetahui status *on-time delivery*. Untuk meningkatkan performa *on-time delivery*, perusahaan dapat mengurangi durasi antre atau durasi proses produksi.

Sistem produksi PT XYZ yang mengandung unsur variabilitas dan interdependensi menyebabkan penilaian terhadap alternatif-alternatif solusi sulit untuk diselesaikan dengan model matematis. Oleh sebab itu, diperlukan metode lain, yaitu simulasi. Dengan menggunakan simulasi, variabilitas serta interdependensi yang menyusun kompleksitas dapat ditangani [1]. *Discrete-event simulation* digunakan karena kesesuaiannya untuk memodelkan sistem antrean [2]. Dibandingkan dengan metode simulasi lainnya, *discrete-event simulation* dipilih karena pendekatannya yang berguna untuk memodelkan sistem yang terdiri dari simulasi antrean yang kompleks dengan proses yang terdefinisi dengan baik dan penekanannya dalam menggambarkan ketidakpastian dalam distribusi stokastik.

Dengan memodelkan sistem nyata menggunakan pendekatan *discrete-event simulation*, hasil penelitian dapat membandingkan alternatif-alternatif solusi berdasarkan eksperimen terhadap skenario perbaikan yang dikembangkan untuk memberikan rekomendasi kebijakan yang dapat meningkatkan kinerja sistem nyata. Melalui pendekatan *discrete-event simulation*, penelitian tugas akhir ini akan menentukan komposisi yang terdiri dari jumlah *resource* yang diterapkan untuk meningkatkan performa *on-time delivery* dengan mengoptimalkan total biaya yang terdiri dari biaya penyimpanan, biaya *overtime*, serta biaya *resource*.

II. URAIAN PENELITIAN

A. Tahap Pengembangan Model Simulasi

Tahapan ini diawali dengan wawancara dengan Kepala Pabrik PT XYZ untuk membahas permasalahan yang

Tabel 2.
Tingkat Utilitas *Resource* Kondisi Awal

<i>Resource</i>	Utilitas (%)
Pekerja Produksi 1	36,15
Pekerja Produksi 2	36,17
Pekerja Produksi 3	36,29
Pekerja Produksi 4	36,19
Mixer Kecil 1	95,60
Mixer Kecil 2	95,63
Mixer Kecil 3	95,60
Mixer Besar 1	35,86
Mixer Besar 2	36,20
Mixer Besar 3	36,45
Teknisi Lab 1	95,87
High Staker 1	28,79
Rata-rata	55,40

dihadapi. Selanjutnya, model konseptual dikembangkan untuk menganalisis permasalahan dengan lebih sistematis. Proses selanjutnya adalah pengumpulan data struktural, operasional, dan numerik. Pengolahan data dilakukan terhadap data mentah untuk menghasilkan input yang diperlukan untuk model simulasi komputer. Selanjutnya, proses pengembangan simulasi komputer dilakukan menggunakan perangkat lunak ARENA Simulation versi 14. Simulasi bersifat terminating dengan pemicu berupa jumlah output pasca warm-up period. Pada penelitian ini, panjang warm-up period akan didapatkan berdasarkan hasil analisis terhadap kuantitas work in process menggunakan output analyzer. Pada kondisi standar, terminasi simulasi dilakukan ketika output mencapai 261 pesanan dengan warm-up period sepanjang 28 hari. Pada kondisi peak order, terminasi simulasi dilakukan ketika output mencapai 356 pesanan dengan warm-up period sepanjang 12 hari. Proses terakhir adalah penentuan jumlah replikasi berdasarkan *output* kuantitas produksi dan durasi produksi. Pada penelitian ini, jumlah replikasi yang digunakan adalah 30 replikasi.

B. Tahap Pengujian Model Simulasi

Tahap ini terdiri dari verifikasi model dan validasi model. Verifikasi model adalah proses yang bertujuan untuk memastikan bahwa model komputer yang dibuat telah sesuai dan memiliki akurasi sesuai dengan model konseptual yang dibuat. Untuk verifikasi, akan dilakukan pemeriksaan terhadap kode model, tampilan visual model, serta *output report* dari simulasi. Sementara itu, validasi model akan dilakukan menggunakan metode *black box* yaitu pengujian keselarasan *output* aktual dengan *output* simulasi. Dalam penelitian ini, *output* yang dapat diuji adalah kuantitas pesanan yang diselesaikan dalam satuan kg dan persentase pesanan dengan kategori *on-time delivery*.

Validasi akan dilakukan dengan Student's T-test untuk mengetahui signifikansi perbedaan antara sampel observasi dari dua populasi. Hipotesis nolnya adalah tidak ada perbedaan yang signifikan antara rata-rata populasi hasil simulasi dan rata-rata populasi sistem nyata. Untuk menguji hipotesis, dilakukan perhitungan terhadap nilai *t* atau *test statistic*. Apabila nilai *t* lebih besar dari nilai *t* tabel positif ($t > t_{\alpha/2, n_1+n_2-2}$) atau lebih kecil dari nilai *t* tabel negatif

Tabel 5. Rangkuman Desain Skenario Pengujian

Faktor Eksperimental	Kode Variabel	Jumlah
Jumlah Pekerja Produksi	A0	4
	A1	3
	A2	5
	A3	6
Jumlah <i>mixer</i> kecil	B0	3
	B1	4
	B2	5
	B3	6
Jumlah teknisi lab	C0	1
	C1	2
	C2	3
	C3	4

Tabel 6. Perhitungan Nilai t Proses Validasi Model

Komponen Perhitungan	Output	
	OTD (%)	Qty (kg/bulan)
\bar{x}	54,82	25918
μ	54,60	25220
s	0,25	2491,47
n	30	30
t	0,2662	1,5344
$t_{0,05/2,58}$	2,0452	2,0452

Tabel 7. Rangkuman *Output* Skenario 1

Kode Skenario	Kode Variabel	Rata-rata On-time Delivery	Rata-rata Total Biaya Variabel (Rp/bulan)
S0	A0; B0; C0	55,82%	36.281.213
S1.1	A1; B0; C0	53,35%	29.978.520
S1.2	A2; B0; C0	50,64%	41.395.782
S1.3	A3; B0; C0	54,30%	48.382.630
S1.4	C1; A0; B0	94,07%	47.390.857
S1.5	C2; A0; B0	94,04%	52.612.522
S1.6	C3; A0; B0	93,54%	57.504.750
S1.7	B1; A0; C0	48,03%	35.600.680
S1.8	B2; A0; C0	53,06%	36.329.099
S1.9	B3; A0; C0	54,39%	36.571.458

($t < -t_{\alpha/2, n_1+n_2-2}$), maka hipotesis nul akan ditolak. Sebaliknya, apabila nilai t di antara nilai t tabel positif dan t tabel negatif, maka hipotesis nul akan gagal ditolak. Berikut merupakan persamaan yang dapat digunakan adalah sebagai berikut [3].

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \tag{1}$$

Keterangan:

t = Test statistic

\bar{x} = Rata-rata sampel

μ = Nilai hipotesis rata-rata populasi

n = Ukuran sampel

Tabel 3. Rangkuman *Output* Skenario 2 Pengembangan S1.4

Kode Skenario	Kode Variabel	Rata-rata On-time Delivery	Rata-rata Total Biaya Variabel (Rp/bulan)
S1.4	C1; A0; B0	94,07%	47.390.857
S2.1	C1; A1; B0	92,46%	40.930.848
S2.2	C1; A2; B0	93,11%	48.941.643
S2.3	C1; A3; B0	93,04%	56.440.919
S2.4	C1; B1; A0	93,46%	45.823.555
S2.5	C1; B2; A0	94,31%	48.316.132
S2.6	C1; B3; A0	95,50%	48.463.664

Tabel 4. Rangkuman *Output* Skenario 2 Pengembangan S1.5

Kode Skenario	Kode Variabel	Rata-rata On-time Delivery	Rata-rata Total Biaya Variabel (Rp/bulan)
S1.5	C2; A0; B0	94,04%	52.612.522
S2.7	C2; A1; B0	90,05%	43.692.498
S2.8	C2; A2; B0	92,85%	57.259.435
S2.9	C2; A3; B0	95,40%	62.177.459
S2.10	C2; B1; A0	96,44%	53.192.456
S2.11	C2; B2; A0	96,33%	52.281.095
S2.12	C2; B3; A0	97,30%	54.666.893

C. Tahap Eksperimen dan Analisis *Output* Simulasi Kondisi Standar

Eksperimen dilakukan dengan menjalankan model simulasi kemudian hasil atau *output*nya diperiksa terhadap perubahan *input* yang dilakukan. Pada awalnya, dilakukan penentuan faktor eksperimental. Setelah itu, dirancang skenario simulasi pertama, yaitu perubahan nilai variabel pada satu faktor eksperimental saja. Sub-skenario yang dapat menghasilkan *output* terbaik dijadikan dasar untuk skenario simulasi kedua, yaitu skenario perubahan nilai dua faktor eksperimental. Nilai yang diganti adalah nilai dari faktor eksperimental selain yang sudah terganti pada sub-skenario terbaik pada skenario kedua. Sub-skenario yang dapat menghasilkan *output* terbaik pada skenario kedua dijadikan dasar untuk skenario simulasi ketiga, yaitu skenario perubahan nilai tiga faktor eksperimental. Nilai yang diganti adalah nilai dari faktor eksperimental selain yang sudah terganti pada sub-skenario terbaik pada skenario ketiga. Pada akhirnya, seluruh sub-skenario terbaik akan dibandingkan *output*nya terhadap kondisi awal. Sub-skenario dengan persentase *on-time delivery* tertinggi dengan total biaya variabel terendah akan dipilih sebagai skenario rekomendasi perbaikan.

Output on-time delivery akan dihitung dengan membandingkan jumlah pesanan yang dikirimkan pada atau sebelum tanggal pengiriman yang diminta pelanggan terhadap seluruh pesanan yang diterima. Satuan dari *on-time delivery* adalah persentase. Sementara itu, total biaya variabel dihitung dengan menjumlahkan biaya lembur atau *overtime*, biaya penyimpanan produk jadi, serta biaya *resource*. Biaya *overtime* akan dipengaruhi oleh total durasi kerja dan upah lembur untuk entitas yang terlibat. Biaya penyimpanan produk jadi akan dipengaruhi oleh jumlah pail yang disimpan, persentase *holding cost*, serta durasi penyimpanan. Sementara itu, nilai biaya *resource* akan bergantung pada

Tabel 10.
Rangkuman *Output* Skenario 3 Pengembangan S2.1

Kode Skenario	Kode Variabel	Rata-rata On-time Delivery	Rata-rata Total Biaya Variabel (Rp/bulan)
S2.1	C1; A1; B0	92,46%	40.930.848
S3.1	C1; A1; B1	93,37%	40.781.558
S3.2	C1; A1; B2	94,48%	41.498.062
S3.3	C1; A1; B3	94,02%	42.380.276

Tabel 11.
Rangkuman *Output* Skenario 3 Pengembangan S2.12

Kode Skenario	Kode Variabel	Rata-rata On-time Delivery	Rata-rata Total Biaya Variabel (Rp/bulan)
S2.12	C2; B3; A0	97,30%	54.666.893
S3.4	C2; B3; A1	95,61%	48.632.355
S3.5	C2; B3; A2	96,77%	61.052.778
S3.6	C2; B3; A3	96,85%	58.492.055

jumlah *resource* yang digunakan, meliputi jumlah pekerja produksi, jumlah *mixer* kecil, serta jumlah teknisi lab.

D. Tahap Penilaian Kelayakan Investasi

Setelah skenario terbaik atau rekomendasi perbaikan didapatkan, kelayakan investasi perlu dinilai. Untuk itu, akan dilakukan perhitungan *net present value* atau NPV terhadap kondisi awal dan kondisi rekomendasi perbaikan. Aliran uang negatif akan bersumber dari biaya tetap dan total biaya variabel. Sementara itu, aliran uang positif akan berasal dari selisih *revenue* dari pesanan yang dikirimkan tepat waktu.

Pada penelitian ini, arus kas negatif berasal dari pengeluaran untuk biaya tetap di awal, dan biaya variabel setiap bulannya. Sementara itu, arus kas positif berasal dari *revenue*. Oleh sebab itu, persamaan berikut ini akan digunakan perhitungan NPV pada penelitian ini.

$$NPV = -FC - VC \times (P/A, i, n) + R \times (P/A, i, n) \quad (2)$$

Keterangan:

FC = Biaya tetap (Rp)

VC = Rata-rata total biaya variabel (Rp/bulan)

P/A = Nilai faktor bunga majemuk nilai masa kini

i = Interest rate (%/bulan)

n = Periode investasi (bulan)

R = Rata-rata *revenue* (Rp/bulan)

E. Tahap Analisis Kapabilitas Skenario Perbaikan pada Kondisi Peak Order

Skenario yang pada akhirnya dijadikan rekomendasi perbaikan akan diuji kapabilitasnya dalam menghadapi situasi *peak order*. Situasi *peak order* merujuk pada kemungkinan penerimaan order terbanyak dalam satu bulan berdasarkan data historis.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Identifikasi Kondisi Awal

Terdapat beberapa hal yang diidentifikasi pada kondisi awal, yaitu *output* simulasi berupa persentase *on-time delivery* dan total biaya variabel, serta utilitas *resource*. Berikut ini merupakan visualisasi dari *output* simulasi awal.

Berdasarkan Gambar 2, dari 30 replikasi simulasi kondisi awal, angka persentase *On-time delivery* pada kondisi awal

Tabel 8.
Rangkuman *Output* Seluruh Sub-skenario Terbaik

Kode Skenario	Kode Variabel	OTD	Komponen VC			VC
			OC	RC	HC	
S0	A0; B0; C0	55,82%	4,25	28,18	5,84	36,28
S2.1	A1; B0; C1	92,46%	3,84	26,91	10,17	40,93
S3.4	A1; B3; C2	95,61%	3,06	33,98	11,58	48,63

Tabel 9.
Daftar Investasi atau Biaya Tetap Rekomendasi Solusi

Resource	Komponen Biaya	Biaya (Rp)	Jumlah	Total (Rp)
Mixer kecil	Pembelian <i>mixer</i>	13.000.000	3	39.000.000
Teknisi lab	Pelatihan / <i>training</i>	12.000.000	1	12.000.000
	Set alat QC	500.000.000	2	1.000.000.000
	Medical check up	1.000.000	1	1.000.000
Total				1.052.000.000

berkisar pada 10,05% hingga 89,48% pada kondisi pesanan standar. Angka tersebut masih belum menyentuh target perusahaan, yaitu 95%. Sementara itu, total biaya variabel yang dihasilkan berkisar antara Rp 27,4 Juta hingga Rp 52,8 Juta per bulannya.

Selain *output* berupa *on-time delivery* dan total biaya variabel, ada juga *output* berupa rata-rata utilitas *resource* yang dapat dijadikan bahan analisa pada penelitian ini. Berikut ini merupakan tabel yang menunjukkan tingkat utilitas setiap *resource* pada kondisi awal.

Berdasarkan Tabel 2, terlihat adanya ketidakseimbangan beban kerja antara *resource*. Mixer kecil dan teknisi lab memiliki rata-rata utilitas yang cenderung tinggi, dengan nilai lebih dari 90%. Sementara itu, pekerja produksi, mixer besar, dan *high staker* memiliki utilitas yang cenderung rendah, yaitu kurang dari 50%. Untuk menyeimbangkan utilitas atau *workload*, jumlah pekerja produksi bisa dikurangi sampai berjumlah 3 orang, sesuai dengan ketentuan dari PT. XYZ. Kebijakan tersebut disebabkan oleh kemungkinan tidak hadirnya salah seorang pekerja produksi sehingga diperlukan pekerja produksi cadangan. Sementara itu, mixer kecil dan teknisi lab memiliki tingkat utilitas yang tinggi sehingga jumlahnya bisa ditambahkan untuk mengeliminasi *bottleneck*. Meskipun mixer besar memiliki utilitas yang rendah, jumlahnya tidak dapat dimodifikasi karena PT XYZ menolak melakukan pembongkaran terhadap mixer besar. Jumlahnya juga tidak bisa ditambahkan karena keterbatasan ruang pada lantai produksi. High staker memiliki tingkat rata-rata utilitas yang paling rendah dan tidak mungkin dilakukan pengurangan karena jumlahnya hanya satu pada kondisi awal. Oleh sebab itu, faktor eksperimental yang akan digunakan pada penelitian ini meliputi pekerja produksi, mixer kecil, dan teknisi lab.

Tabel 3 merupakan rangkuman dari konfigurasi sumber daya produksi pada setiap skenario beserta kode variabelnya. Kode A0, B0, dan C0 merepresentasikan jumlah *resource* pada kondisi awal.

B. Pengujian Model Simulasi

Verifikasi model dilakukan dengan cara memeriksa kode pada model, tampilan visual model, serta *output report*

Tabel 15. Perbandingan Rata-rata Revenue Kondisi Standar

Kategori SKU	Revenue (Juta Rp)	Rata-rata OTD (pail/bulan)		Rata-rata Revenue (Juta Rp/bulan)	
		S0	S3.4	S0	S3.4
		Regular	2,700	749	1317
Special color	3,000	177	331	532,40	993,10
Water-based	0,937	29	58	26,87	54,34
Total		955	1706	2.580,22	4.603,16

Tabel 16. Perbandingan Hasil Perhitungan NPV

Komponen Perhitungan	Skenario	
	S0	S3.4
FC	-	1.052.000.000
VC (P/A, 0,75,120)	36.281.212	48.632.354
R	78,942	78,942
NPV	2.580.225.000	4.603.163.750
	119.348.761.684	213.138.636.294

simulasi. Kode model diperiksa dengan cara memastikan *input* pada model simulasi sesuai dengan *input* dari hasil pengolahan data serta dengan memastikan tidak ditemukan *error* pada *syntax* simulasi. Proses ini dilakukan menggunakan fitur bawaan dari Arena Simulation, yaitu *check model*. Fitur *check model* bisa ditemukan pada menu bar Run > *check model*. Apabila tidak ditemukan *error*, akan didapatkan *dialog box* berisi tulisan “No error or warning in model”. Kemudian, tampilan visual model diperiksa berdasarkan kesesuaian pergerakan entitas dan keselarasan aturan pada model. Pergerakan entitas yang dilacak adalah akumulasi jumlah proses *adjustment* pada entitas pesanan. Setelah diperiksa, model simulasi juga berhasil menggambarkan kondisi penahanan pesanan yang ada pada model konseptual. Pemeriksaan terakhir dilakukan terhadap keberadaan nilai *half-width*. Ketika nilai pada kolom *half-width* di dalam *report* yang diperoleh bukan nilai angka melainkan keterangan “Insufficient” atau “Correlated”, maka dapat disimpulkan bahwa panjang simulasi belum cukup panjang untuk menghasilkan data dalam jumlah yang cukup untuk menilai validitas *half-width* [4].

Metode validasi yang akan digunakan adalah uji statistik menggunakan Student’s t-Test untuk memeriksa signifikansi perbedaan antara *output* model simulasi dengan *output* sistem nyata. *Output* berupa persentase pengiriman tepat waktu akan digunakan untuk validasi model. Berikut ini merupakan tabel rangkuman proses perhitungan validasi model menggunakan Persamaan 1.

Berdasarkan Tabel 4, diketahui bahwa nilai *t* atau *test statistic* berada di antara *t* tabel, yaitu $t_{0,05/2,58}$ dan $-t_{0,05/2,58}$. Oleh sebab itu, bisa disimpulkan bahwa secara uji statistik, tidak ditemukan perbedaan yang signifikan antara *output* simulasi dengan *output* pada kondisi aktual atau kondisi nyata.

C. Eksperimen dan Analisis Skenario Kondisi Standar

Pertama-tama, dilakukan Skenario 1 yaitu modifikasi nilai satu faktor eksperimental. Untuk menguji signifikansi perbedaan antara dua kelompok sampel, akan digunakan uji *One-way ANOVA*. Hipotesis nul yang digunakan adalah tidak

Tabel 13. Rangkuman Perbandingan Output Skenario Perbaikan Kondisi Peak Order

Kode Skenario	Kode Variabel	OTD	Komponen VC			VC
			OC	RC	HC	
			S0	A0; B0; C0	33,82%	
S3.4	A1; B3; C2	90,90%	0,48	33,98	14,21	48,67

Tabel 14. Perbandingan Rata-rata Revenue Kondisi Peak Order

Kategori SKU	Revenue (Juta Rp)	Rata-rata OTD (pail/bulan)		Rata-rata Revenue (Juta Rp/bulan)	
		S0	S3.4	S0	S3.4
Regular	2,700	651	1728	1.757,61	4.665,60
Special color	3,000	152	408	457,30	1.225,10
Water-based	0,937	23	69	21,94	64,34
Total		827	2205	2.236,85	5.955,04

ditemukan perbedaan yang signifikan antara seluruh kelompok sampel yang dibandingkan. Apabila terjadi penolakan hipotesis nul, maka akan dilakukan prosedur Turkey-Kramer untuk mengidentifikasi kelompok yang memiliki perbedaan *output* yang signifikan.

Pada awalnya, variabel *on-time delivery* antar skenario akan dibandingkan dan diuji. Sub-skenario dengan nilai *on-time delivery* yang lebih rendah daripada skenario pembanding akan dieliminasi apabila tidak ada sub-skenario yang dapat menghasilkan *output* yang secara signifikan lebih atau sama baik terhadap skenario pembanding. Pada eksperimen pertama, Skenario 0 akan menjadi skenario pembanding dan akan ada 9 sub-skenario yang dibandingkan *outputnya*. Tabel 5 memuat rangkuman rata-rata *output* simulasi dari eksperimen pertama.

Berdasarkan uji ANOVA terhadap *output* seluruh sub-skenario pada Skenario 1 yang masing-masing menghasilkan 30 sampel *output*, ditemukan bahwa hanya Sub-skenario S1.4, S1.5, dan S1.6 yang menghasilkan persentase *on-time delivery* yang secara signifikan lebih besar daripada S0. Kemudian, di antara ketiga sub-skenario tersebut, S1.6 menghasilkan rata-rata total biaya variabel yang secara signifikan lebih tinggi daripada S1.4. Oleh sebab itu, S1.4 dan S1.5 dipilih menjadi sub-skenario terbaik.

Selanjutnya, eksperimen dilanjutkan ke Skenario 2, yaitu perubahan nilai dua faktor eksperimental. Sub-skenario S1.4 dan S1.5 akan dikembangkan dan diuji secara terpisah mulai dari tahap ini. Tabel 6 memuat rangkuman rata-rata *output* simulasi dari eksperimen kedua dengan S1.4 sebagai pembanding.

Berdasarkan uji ANOVA terhadap *output* seluruh sub-skenario pada Skenario 2 pengembangan S1.4 yang masing-masing menghasilkan 30 sampel *output*, tidak ditemukan perbedaan yang signifikan antara *output on-time delivery*. Namun, S2.1 mampu menghasilkan rata-rata total biaya variabel yang secara signifikan lebih rendah daripada S1.4 sehingga S2.1 dipilih menjadi sub-skenario terbaik. Tabel 7 memuat rangkuman rata-rata *output* simulasi dari eksperimen kedua dengan S1.5 sebagai pembanding.

Berdasarkan uji ANOVA terhadap *output* seluruh sub-skenario pada Skenario 2 pengembangan S1.5 yang masing-masing menghasilkan 30 sampel *output*, hanya Sub-skenario

S2.12 yang mampu menghasilkan rata-rata *on-time delivery* yang secara signifikan lebih besar daripada S1.5. Oleh sebab itu, S2.12 dipilih sebagai sub-skenario terbaik pada eksperimen ini.

Selanjutnya, eksperimen dilanjutkan ke Skenario 3, yaitu perubahan nilai tiga faktor eksperimental. Sub-skenario S2.1 dan S2.12 akan dikembangkan dan diuji secara terpisah mulai dari tahap ini. Tabel 8 memuat rangkuman rata-rata *output* simulasi dari eksperimen ketiga dengan S2.1 sebagai pembanding.

Berdasarkan uji ANOVA terhadap *output* seluruh sub-skenario pada Skenario 3 pengembangan S2.1 yang masing-masing menghasilkan 30 sampel *output*, tidak ada yang mampu menghasilkan rata-rata *on-time delivery* yang secara signifikan lebih besar daripada S2.1. Ditambah lagi, tidak ada sub-skenario yang mampu menghasilkan rata-rata total biaya variabel yang secara signifikan lebih rendah daripada S2.1. Oleh sebab itu, tidak ditemukan sub-skenario terbaik sehingga tidak dilakukan pengembangan terhadap Sub-skenario S2.1. Tabel 9 memuat rangkuman rata-rata *output* simulasi dari eksperimen kedua dengan S1.5 sebagai pembanding.

Berdasarkan uji ANOVA terhadap *output* seluruh sub-skenario pada Skenario 3 pengembangan S2.12 yang masing-masing menghasilkan 30 sampel *output*, tidak ada yang mampu menghasilkan rata-rata *on-time delivery* yang secara signifikan lebih besar daripada S2.12. Namun, hanya S3.4 yang mampu menghasilkan rata-rata total biaya variabel yang secara signifikan lebih rendah daripada S2.12. Oleh sebab itu, S3.4 dipilih menjadi sub-skenario terbaik pada eksperimen bagian ini.

Selanjutnya, dilakukan perbandingan akhir antara skenario kondisi awal terhadap sub-skenario-sub-skenario terbaik, yaitu S2.1 dan S3.4. Tabel 10 memuat rangkuman rata-rata *output* Skenario S0, S2.1, dan S3.4.

Pada Tabel 10, OTD merepresentasikan rata-rata persentase *on-time delivery*, OC adalah biaya lembur atau *overtime*, RC adalah biaya *resource*, HC adalah biaya penyimpanan produk jadi, dan VC adalah total biaya variabel. OC, RC, HC, dan VC memiliki satuan juta rupiah per bulan.

Berdasarkan Tabel 10, Skenario S3.4 menghasilkan rata-rata persentase *on-time delivery* yang paling tinggi, yaitu 95,61%. Berdasarkan hasil uji t sampel berpasangan, ditemukan bahwa *output on-time delivery* S3.4 secara signifikan lebih besar dibandingkan *output* S2.1. Dengan demikian, Skenario S3.4 dipilih menjadi skenario rekomendasi perbaikan meskipun rata-rata total biaya variabel yang dihasilkan juga yang paling tinggi dibandingkan dengan Skenario S0 dan S2.1. Hal ini diputuskan berdasarkan prioritas PT XYZ untuk memperbaiki kinerja *on-time delivery* dibandingkan untuk meminimalkan biaya variabel.

Pada skenario ini, biaya penyimpanan produk melonjak dibandingkan skenario kondisi awal. Hal ini disebabkan oleh banyaknya produk yang harus disimpan terlebih dahulu untuk dikirim sesuai dengan permintaan pelanggan. Biaya *resource* yang dibutuhkan juga lebih banyak daripada skenario awal karena kebutuhan perusahaan untuk membayar upah 2 teknisi lab tambahan. Biaya *resource* dari Subskenario S2.5 juga lebih tinggi dibandingkan S1.8 karena adanya tambahan 3 *mixer* baru yang membutuhkan biaya *maintenance* dan listrik

setiap bulannya. Apabila ditinjau dari tujuan penelitian, yaitu mengeksplorasi alternatif solusi yang mampu meningkatkan performa OTD PT XYZ ke angka 95%, maka Skenario S3.4 dipilih menjadi skenario terbaik karena mampu menghasilkan rata-rata persentase *On-Time delivery* melebihi target perusahaan, yaitu 95%.

D. Penilaian Kelayakan Investasi

Untuk menentukan keuntungan finansial yang bisa PT XYZ dapatkan dari implementasi skenario ini, akan dilakukan perhitungan *net present value* atau NPV. Aliran uang negatif akan bersumber dari biaya tetap dan total biaya variabel. Sementara itu, aliran uang positif akan berasal dari selisih *revenue* dari pesanan yang dikirimkan tepat waktu.

Komponen pertama yang diperhitungkan adalah biaya tetap yang diperlukan untuk merealisasikan implementasi Skenario S3.4. Tabel 11 merupakan daftar investasi yang diperlukan dalam implementasi Skenario S3.4.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan estimasi *revenue* dengan membandingkan jumlah pesanan dengan kategori *on time delivery*. Tabel 12 merupakan perbandingan *revenue* antara kondisi awal dan rekomendasi perbaikan atau Skenario S3.4.

Setelah nilai dari biaya tetap, rata-rata biaya variabel, serta *revenue* didapatkan, tahap berikutnya adalah perhitungan *net present value* atau NPV. Berikut ini merupakan perhitungan NPV dengan menggunakan Persamaan 2. Nilai *interest rate* yang digunakan adalah 0,75% per bulan dan profit diasumsikan sebesar 60% dari *revenue*, dengan periode investasi selama 120 bulan atau setara dengan 10 tahun. Tabel 13 merupakan perhitungan NPV.

Berdasarkan Tabel 13, diketahui bahwa nilai NPV S3.4 lebih besar Rp 93.789.874.609 daripada nilai NPV kondisi awal atau S0 meskipun skenario perbaikan menimbulkan biaya investasi dan peningkatan total biaya variabel. Hal ini disebabkan oleh akumulasi *revenue* yang terselamatkan akibat peningkatan performa *on time delivery*.

E. Analisis Kapabilitas Skenario Perbaikan pada Kondisi Peak Order

Setelah ditemukan skenario rekomendasi perbaikan, yaitu S3.4. Perbaikan yang dilakukan akan diuji dalam menghadapi kondisi *peak order*. Tabel 14 merupakan perincian perbandingan *output* dari Skenario S0 dan S3.4 pada kondisi *peak order*.

Berdasarkan Tabel 14, Skenario S3.4 berhasil meningkatkan *on-time delivery* dari yang awalnya memiliki rata-rata 33,82% menjadi 90,90% dengan peningkatan rata-rata biaya variabel sebesar Rp 6.071.440 per bulannya.

Selanjutnya, dilakukan perhitungan estimasi *revenue* dengan membandingkan jumlah pesanan dengan kategori *on time delivery*. Tabel 15 merupakan perbandingan *revenue* antara kondisi awal dan rekomendasi perbaikan atau Skenario S3.4.

F. Analisis Perbandingan Variabel Tambahan

Selain mempengaruhi persentase *on-time delivery* dan total biaya variabel, modifikasi jumlah *resource* juga dapat memberikan perubahan bagi variabel lain seperti *lead time* aktual produksi serta utilitas *resource*. Namun, variabel tambahan ini tidak akan dijadikan dasar untuk pengambilan keputusan. Pada penelitian ini, variabel *lead time* aktual dan

utilitas resource hanya dianalisis untuk mengamati perbedaan nilainya antara skenario kondisi awal dan skenario rekomendasi perbaikan.

Pada skenario awal atau S0, *lead time* produksi memiliki rata-rata 10,01 hari pada kondisi standar dan 11,88 hari pada kondisi *peak order*. Pada skenario perbaikan, *lead time* produksi memiliki rata-rata 1,24 hari pada kondisi standar dan 1,88 hari pada kondisi *peak order*. Dengan kata lain, terjadi penurunan *lead time* sebesar 87,61% pada kondisi standar dan 84,17% pada kondisi *peak order*.

Pada konteks penelitian ini, utilitas *resource* memiliki arti perbandingan durasi penggunaan *resource* terhadap waktu. Pada skenario awal atau S0, utilitas *resource* bernilai sebesar 55,40% pada kondisi standar dan 58,25% pada kondisi *peak order*. Pada skenario perbaikan, utilitas *resource* memiliki rata-rata 28,42% pada kondisi standar dan 57,03% pada kondisi *peak order*.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan penelitian yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan beberapa hal yaitu: (1) Pada penelitian ini, sistem produksi tinta *packaging* PT XYZ dimodelkan dalam bentuk simulasi kejadian diskrit atau *discrete event simulation*. Perangkat lunak yang digunakan dalam pembuatan model komputer adalah ARENA Simulation versi 14. *Output* simulasi berupa persentase *on-time delivery* digunakan untuk memvalidasi model simulasi terhadap kondisi nyata. Model simulasi komputer dianggap valid karena berdasarkan hasil uji statistik, tidak diidentifikasi adanya perbedaan yang signifikan antara persentase *on-time delivery* dan kuantitas produksi sistem nyata dengan *output* simulasi komputer. (2) Dalam penelitian ini, digunakan tiga faktor eksperimental untuk menyusun skenario simulasi meliputi jumlah pekerja produksi, jumlah teknisi lab, dan jumlah *mixer*. Terdapat tiga tahapan untuk mendapatkan skenario terbaik meliputi modifikasi satu, dua, dan tiga faktor eksperimental. Sub-skenario terbaik pada akhirnya akan dibandingkan hasilnya

untuk mendapatkan skenario rekomendasi perbaikan. Untuk menilai dan membandingkan performa dari setiap skenario, digunakan parameter *on-time delivery* dan total biaya variabel. (3) Berdasarkan hasil eksperimen, Skenario S3.4 dipilih sebagai rekomendasi perbaikan. Pada Sub-skenario S3.4, dilakukan perubahan jumlah teknisi lab dari 1 menjadi 3, jumlah *mixer* kecil dari 3 menjadi 6, dan jumlah pekerja produksi dari 4 menjadi 3. *Revenue* sebesar Rp 2.022.938.750 dapat diselamatkan setiap bulannya akibat peningkatan performa rata-rata *on-time delivery* perusahaan dari 54,60% menjadi 95,61%. Untuk mengimplementasikan rekomendasi ini, diperlukan investasi awal sebesar Rp 1.052.000.000 serta peningkatan rata-rata total biaya variabel sebesar Rp 7.701.507 setiap bulannya. (4) Apabila rekomendasi perbaikan yaitu Skenario S3.4 diterapkan, *revenue* sebesar Rp 3.718.196.250 dapat diselamatkan perusahaan pada saat *peak order*. Hal ini diakibatkan oleh peningkatan performa rata-rata *on-time delivery* perusahaan dari 33,82% menjadi 90,90%. Skenario perbaikan ini akan menaikkan rata-rata total biaya variabel sebesar Rp 6.670.275 pada bulan *peak order*. (5) Modifikasi jumlah *resource* akan memengaruhi variabel *lead time* aktual dan tingkat utilitas *resource*. Skenario S3.4 mampu mengurangi rata-rata *lead time* sebesar 87,61% pada kondisi standar dan sebesar 84,17% pada kondisi *peak order* apabila dibandingkan dengan skenario awal. Rata-rata utilitas *resource* Skenario S3.4 bernilai lebih rendah 16,98% pada kondisi standar dan lebih rendah 1,23% apabila dibandingkan dengan skenario awal.

REFERENSI

- [1] C. Harrell, B. K. Ghosh, and R. Bowden, *Simulation using ProModel*, 3rd ed. New York: McGraw-Hill, ISBN: 9780073401300.
- [2] S. Robinson, *Simulation: The Practice of Model Development and Use*. Chichester, West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2004, ISBN: 9781137328021.
- [3] D. C. Montgomery, *Design and Analysis of Experiments*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2009, ISBN: 9780470398821.
- [4] S. Nurhadi, L. Effi, and W. S. Eko, *Simulasi Sistem Diskrit: Implementasi Dengan Software Arena*. Surabaya: ITS Tekno Sains, 2018, ISBN: 978-602-50375-2-8.