

DOI <http://dx.doi.org/10.36722/sst.v10i1.2983>

Pendekatan *Discrete Event Simulation* untuk Peningkatan Sistem Produksi Pada *Perishable product*

Nofal Jamil¹, Muhammad Almaududi Pulungan^{1*}, Tiara Verita Yastica¹¹Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Telkom University,
Jl. Telekomunikasi, Kota Bandung, 40257.Penulis untuk Korespondensi/E-mail: almaududi@telkomuniversity.ac.id

Abstract – Bottlenecks in perishable products processing have significantly decrease the number of sweet potato paste production at PT. XYZ, which have lead to the decrease of more than 23.44% in the fulfillment of the number of demand and result in 2023. These problems are also caused by suboptimal production planning, lack of efficiency in the production process, the occurrence of raw material bottlenecks in the production process, suboptimal resource management and the occurrence of many rejections in the finished good. This study aims to overcome bottlenecks that occur in order to increase the amount of sweet potato paste production. The methodology of this study uses the discrete event simulation approach. This study applies a confidence level of 95% in the existing simulation model. Of the 20 scenario models that have been built, the best four models were further evaluated based on the output and cost aspects. The best of the four is scenario model 13 with the addition of 1 shift in the entire production process, namely the sorting process to the outer packing process with the addition of 105 workers. This scenario produced 1,274,527 kg of products for 10 months and a percentage increase in the amount of output of 72.74%, gross profit value of IDR 4,016,084,955.50 and marginal profit value of IDR 778.82 with additional direct labor costs of IDR 2,199,145,960 for 10 months and investment costs of IDR 0.

Abstrak - *Bottleneck* pada *perishable product* memiliki dampak yang signifikan sebesar > 23.44% terhadap penurunan pemenuhan jumlah permintaan dan berakibat pada penurunan jumlah produksi pasta ubi di PT. XYZ tahun 2023. Permasalahan tersebut juga disebabkan oleh perencanaan produksi yang kurang maksimal, kurangnya efisiensi proses produksi, terjadinya *Bottleneck Raw Material* pada proses produksi, manajemen *resource* yang kurang maksimal serta terjadinya banyak *reject* pada *finish good*. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi dalam mengatasi *bottleneck* yang terjadi agar dapat meningkatkan jumlah produksi pasta ubi. Metodologi penelitian ini menggunakan Pendekatan *Discrete Event Simulation*. Hasil penelitian ini menerapkan tingkat kepercayaan sebesar 95% pada model simulasi eksisting. Dari 20 model skenario yang telah dibangun, terpilih empat model terbaik, kemudian dari empat terbaik ini terpilih model skenario optimal dengan meninjau aspek *output* dan biaya, yakni model skenario 13, dengan penambahan 1 shift pada seluruh proses produksi dari proses penyortiran hingga proses *packing outer* dengan penambahan pekerja sebanyak 105 pekerja. Skenario ini menghasilkan produk sebanyak 1.274.527 kg selama 10 bulan dan persentase kenaikan jumlah *output* sebesar 72,74%, nilai gross profit sebesar Rp4.016.084.955,50 dan nilai marginal profit sebesar Rp778,82 dengan biaya tambahan tenaga kerja langsung sebesar Rp2.199.145.960,00 selama 10 bulan dan biaya investasi sebesar Rp0.

Keywords – *Bottleneck, Discrete Event Simulation, Gross Profit, Marginal Profit, Perishable product.*

PENDAHULUAN

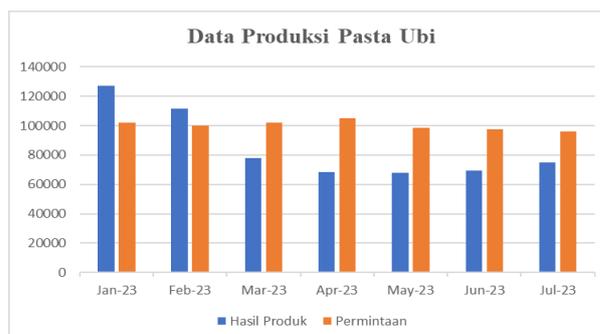
Indonesia merupakan negara agraris yang memegang peranan penting dari keseluruhan

perekonomian nasional [1]. Indonesia menempati posisi ke-6 dari 10 besar negara penghasil ubi jalar di dunia dengan jumlah kuantitas sebesar 1,8 Juta ton per tahun [2]. Selain itu, nilai ekspor ubi jalar

termasuk ke dalam tanaman pangan yang memiliki nilai ekspor tertinggi pada tahun 2021 sebesar \$4.968.637 dan volume sebesar 2.457.167 [3]. Nilai tersebut ditunjang dengan beberapa negara salah satunya Jepang yang menjadi negara pengimpor utama ubi jalar sebesar 33 ribu ton senilai \$16.5 juta dan diikuti oleh negara lain seperti Malaysia, Singapura dan Amerika Serikat yang menjadi tujuan ekspor ubi jalar. Jawa Barat menjadi daerah penghasil ubi jalar terbanyak di Indonesia yaitu sebesar 547.879 ton, dengan jumlah produksi ubi jalar terbanyak di Kabupaten Kuningan yaitu sebesar 121.978 ton pada tahun 2021 [4].

PT XYZ merupakan perusahaan yang didirikan tahun 1993 di Kuningan, Jawa Barat yang bergerak pada industri *perishable product* khususnya makanan hasil olahan ubi jalar yang memiliki tujuan ekspor pasta ubi ke pasar Jepang dan Korea. Dalam mempertahankan kualitas produk agar dapat bertahan hingga ke tempat tujuan ekspor, tentunya memerlukan pengolahan khusus dan dapat dikategorikan ke dalam *perishable product*. *Perishable product* merupakan product yang harus disimpan pada suhu 40°F (4°C) atau di bawahnya, atau dibekukan pada suhu 0°F (-17.8°C) atau di bawahnya [5]. Pendinginan menghentikan bakteri berkembang biak dan pembekuan menghentikannya. Selain itu, faktor waktu, suhu dan lama penyimpanan pada *perishable product* sangat berpengaruh terhadap kualitas, keamanan dan lingkungan khususnya sepanjang pengiriman [6-9].

Hasil studi lapangan menyatakan bahwa terjadinya penurunan jumlah produksi dan menyebabkan tidak tercapainya permintaan produk pada beberapa periode terjadi pada Januari–Juli 2023 yang tercantum pada gambar 1, hal tersebut dapat mengakibatkan ketidakpuasan pelanggan, hilangnya pangsa pasar, penurunan citra dan loyalitas merek [10].



Gambar 1. Data Produksi Pasta Ubi

Berdasarkan Gambar 1, diketahui beberapa periode bahwa permintaan produk pasta ubi tidak terpenuhi. Terdapat beberapa penyebab yang berpengaruh terhadap tidak tercapainya permintaan produk pasta ubi seperti terjadinya *bottleneck material* di salah satu proses, banyaknya temuan bintik hitam pada produk jadi dan manajemen operasional yang kurang maksimal. Terjadinya *bottleneck material* pada beberapa proses produksi pasta ubi memberikan dua dampak yaitu berkurangnya *output* yang dihasilkan dikarenakan penumpukan serta terjadinya potensi pembusukan material yang lebih cepat khususnya untuk proses penyortiran dan proses pencucian didukung oleh teori tentang peran kulit dalam melindungi ubi dari proses pembusukan [11]. Tabel 1 menampilkan hasil identifikasi terjadinya *bottleneck material* pada proses pencucian.

Tabel 1 menunjukkan adanya antrian material yang dibutuhkan sebagai bahan baku proses produksi dan terdapat antrian bahan baku yang cukup tinggi yang menyebabkan terjadinya *bottleneck* pada proses pencucian. Selain itu, pada tabel 1 digambarkan bahwa jika dengan meminimalisir atau bahkan menghilangkan *bottleneck* yang ada dapat berkontribusi terhadap kenaikan jumlah produksi dengan > 18,63%. Permasalahan tingginya *bottleneck*, serta munculnya *bottleneck* secara terus-menerus membuktikan bahwa manajemen operasional proses produksi masih kurang maksimal.

Tabel 1. Perbandingan Jumlah *Bottleneck*

Bulan	Rata-rata Jumlah Produksi per hari (kg)	Rata-rata <i>bottleneck</i> per hari (kg)	Persentase Hasil Akhir Produk	Kenaikan jumlah produksi berdasarkan rata-rata <i>bottleneck</i> per hari
Maret	3250	1326	45,68%	18,63%
April	2845	1326	46,10%	21,48%
Mei	2827	1326	45,33%	21,26%
Juni	2884	1326	45,28%	20,82%
Juli	3124	1326	46,96%	19,93%

Permasalahan banyaknya temuan bintik hitam didapatkan melalui pengumpulan data sekunder pada proses inspeksi akhir yang terjadi dalam rentang waktu 12 Februari – 24 Februari 2023 dengan ditemukan beberapa jenis kontaminan, seperti bintik hitam sebanyak 923 temuan, serpihan kulit ubi sebanyak 227 temuan dan kontaminan lanas atau wereng sebanyak 16 temuan.

Menurut hasil studi lapangan dan observasi dengan *problem owner*, penyebab banyaknya temuan bintik hitam dikarenakan tingginya *bottleneck* pada *raw material*. Maka dari itu, permasalahan *bottleneck* perlu diselesaikan, salah satunya dengan membuat pemodelan dan melakukan simulasi pada sistem produksi agar dapat divisualisasikan dan dilakukan strategi pemenuhan jumlah permintaan yang ada dengan mudah serta menghemat pembiayaan dibandingkan melakukan percobaan secara langsung. Beberapa permasalahan seperti *bottleneck* dapat diselesaikan dengan simulasi khususnya *discrete event simulation* sesuai penelitian [12 - 14], serta permasalahan tidak tercapainya permintaan produksi dan ingin melakukan peningkatan kapasitas produksi sesuai dengan penelitian [15] serta pendekatan simulasi pada *perishable product* [16], [17].

Beberapa penelitian terdahulu yang memiliki pendekatan yang sama, tetapi terdapat beberapa perbedaan seperti penelitian Zahrayna [18] dengan metode *discrete event simulation* dengan menggunakan sistem produksi yang menghasilkan kenaikan jumlah produksi sebesar 15.5% akan tetapi memiliki perbedaan pada karakteristik sistem yang diamati yakni pada penelitian ini produk yang diamati termasuk ke dalam kategori *perishable product* serta karakteristik sistem pada penelitian ini terdapat persentase penyusutan jumlah produksi yang dimasukkan ke dalam model simulasi. Selain itu, terdapat penelitian yang memiliki karakteristik *perishable product* yakni penelitian Federico [17] yang memiliki fokus pada manajemen inventaris produk yang mudah rusak di toko ritel, mempertimbangkan kebijakan diskon dan permintaan yang sensitif terhadap harga. Model simulasi waktu diskrit digunakan untuk mengevaluasi dampak kebijakan diskon dalam konteks B2C dan dapat meningkatkan keuntungan rata-rata harian sebesar 0.31% hingga 2.45%.

Sistem produksi yang dimodelkan pada simulasi yang digunakan yaitu dengan sistem produksi *batch*. Jenis simulasi yang digunakan pada penelitian ini yaitu *discrete event simulation* dengan beberapa

variabel yang digunakan seperti *process time*, jumlah *batch* serta jumlah *resource* (mesin, manusia, dan peralatan) yang tersedia. *Discrete Event Simulation* (DES) merupakan simulasi dengan perubahan pada model simulasi yang terjadi pada waktu tertentu yang dipicu oleh suatu kejadian [19] Kejadian ini umumnya seperti kedatangan *entity* ke suatu proses, kegagalan suatu *resource*, penyelesaian suatu aktivitas serta akhir suatu *shift* kerja. Permasalahan yang terdapat pada penelitian ini akan diselesaikan dengan melakukan pengoptimalan sistem produksi dan memberikan usulan perbaikan dengan tujuan untuk dapat meningkatkan jumlah produksi pasta ubi dengan melakukan simulasi pada sistem produksi pasta ubi dengan menggunakan *Pendekatan Discrete Event Simulation*.

METODE

Desain, tempat dan waktu

Penelitian ini melakukan pemodelan pada sistem produksi pasta ubi serta melakukan simulasi untuk sistem produksi yang dapat merepresentasikan sistem nyata yang selanjutnya akan dilakukan strategi perancangan model skenario yang dapat meningkatkan jumlah produksi pasta ubi. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Oktober 2023 hingga Mei 2024, dilakukan pada PT. XYZ yang berlokasi di Kabupaten Kuningan, Jawa Barat.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan melakukan studi lapangan seperti melakukan observasi dan wawancara. Wawancara yang dilakukan untuk mengetahui alur proses produksi pasta ubi disertai dengan detail pada masing-masing proses yang ada di proses produksi pasta ubi. Observasi yang dilakukan mencakup waktu proses, alur proses produksi, cara pengerjaan proses, jumlah pekerja dan jumlah peralatan yang digunakan.

Pengolahan dan Analisis data

Setelah mengetahui kebutuhan untuk melakukan simulasi dilakukan pengumpulan data-data tersebut lalu dilakukan analisis. Berikut merupakan beberapa analisis yang dilakukan pada data yang telah dikumpulkan.

Uji Kecukupan Data

Pengujian digunakan untuk mengidentifikasi tercukupinya data hasil pengamatan secara jumlah pengamatan. Persamaan (1) merupakan formula perhitungan uji kecukupan data [20].

$$N' = \frac{K/s\sqrt{N(\sum X_i^2) - (\sum X_i)^2}}{\sum X} \quad (1)$$

Keterangan:

N' = Jumlah pengamatan yang dibutuhkan

N = Jumlah pengamatan yang dilakukan

K = Tingkat keyakinan, (jika tingkat ketelitian 95%,

$K=2$ serta $s = 0.05$ dan jika tingkat ketelitian 99%,
 $K=3$ serta $s = 0.01$)

s = Tingkat ketelitian

X_i = Data ke- i

Distribution Fitting

Terdapat beberapa jenis distribusi seperti distribusi binomial, *uniform*, triangular, normal dan eksponensial [19]. Data waktu masing-masing proses memiliki hasil yang berbeda-beda, diperlukan distribusi tertentu agar data tersebut dapat digunakan sebagai input dalam model simulasi.

Setelah melakukan analisis data yang didapatkan, selanjutnya membangun model konseptual dan model simulasi pada *software* simulasi flexsim. Dalam membangun model simulasi diperlukan terlebih dahulu model sebuah sistem. Model sistem merupakan penggambaran bagian penting dari suatu sistem [21]. Sebuah model dikatakan bagus ketika terdapat beberapa kriteria seperti simpel, lengkap, mudah untuk ditiru, adaptif, model harus tepat untuk kondisi nyata dan harus menghasilkan informasi yang sesuai untuk pengambilan keputusan. Model simulasi yang telah dibangun dilakukan verifikasi dan validasi. Verifikasi merupakan proses menentukan apakah model berjalan lancar dan dapat beroperasi sesuai yang diinginkan atau tidak [22]. Verifikasi berkaitan dengan membangun model yang benar dengan melakukan perbandingan antara model konseptual dengan representasi komputer yang menerapkan konsep tersebut [23]. Verifikasi memiliki beberapa teknik sebagai berikut [19]. (1) Melakukan peninjauan *source code*, (2) Memeriksa *output for reasonableness*, (3) Memperhatikan berjalannya animasi simulasi, (4) Menggunakan fasilitas *trace* dan *debugging*.

Validasi merupakan proses menentukan apakah model simulasi dapat mewakili dan menggambarkan sistem nyata secara bermakna dan akurat [19], [23]. Validasi berkaitan dengan membangun model yang tepat dan dianggap sebagai pemeriksaan terhadap kesesuaian dengan kenyataan [19]. Berikut beberapa teknik validasi

dalam simulasi. (1) Memperhatikan pergerakan simulasi, (2) Melakukan perbandingan dengan sistem nyata, (3) Melakukan perbandingan dengan model lainnya, (4) Melakukan uji degenerasi dan uji kondisi ekstrem, (5) Melakukan pengecekan *face validity*, (6) Melakukan tes dengan data sebelumnya, (7) Melakukan analisis sensitivitas, (8) *Running Traces* (9) Melakukan *turing test*.

Dalam simulasi, diperlukan jumlah replikasi yang diperlukan untuk mencapai jumlah kesalahan yang ditentukan dengan e dan tingkat kepercayaan yang disebut dengan *number of replications* [19]. Penelitian ini menggunakan teknik validasi melakukan perbandingan dengan sistem nyata dan dibuktikan secara statistik dengan menggunakan *paired-t test* [19]. *Paired-t test* merupakan pengujian secara statistik untuk membandingkan dua sistem dan dengan salah satu syarat, data yang digunakan harus berdistribusi normal. *Normality test Shapiro-Wilk* memiliki hipotesis jika $p > \alpha$ maka terima hipotesis nol (H_0) dan sebaliknya jika $p < \alpha$ maka terima hipotesis satu (H_1) [24]. Persamaan (2-3) merupakan rumus dari Uji Normalitas *Shapiro Wilk* [25].

$$T_3 = \frac{1}{D} (\sum a_i (X_{n-i+1} - X_i))^2 \quad (2)$$

dimana:

$$D = \sum (x_i - \bar{x})^2 \quad (3)$$

dengan:

a_i = Koefisien test *Shapiro Wilk*

X_{n-i+1} = Angka ke $n-i-1$ pada data

X_i = Angka ke i pada data

Dalam *paired-t test*, terdapat hipotesis dengan kondisi H_0 ditolak ketika nilai sig (*2-tailed*) < 0.05 dan H_1 diterima, serta dengan kondisi H_0 diterima ketika nilai sig (*2-tailed*) ≥ 0.05 dan H_1 ditolak [19]. *Paired-t test* dilakukan dengan menggunakan Persamaan (4-7).

$$\bar{x}_{(1-2)} = \frac{\sum_{j=1}^n x_{(1-2)j}}{n} \quad (4)$$

$$S_{(1-2)} = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n [x_{(1-2)j} - \bar{x}_{(1-2)}]^2}{n-1}} \quad (5)$$

$$hw = \frac{(t_{n-1,\alpha/2})s(1 - 2)}{\sqrt{n}} \tag{6}$$

$$P(\bar{x}_{(1-2)} - hw \leq \mu_{(1-2)} \leq \bar{x}_{(1-2)} + hw) = 1 - \alpha \tag{7}$$

Keterangan:

- \bar{x} : Rata-rata *sample*
- s : Standar deviasi *sample*
- hw : *half-width*
- μ : rata-rata populasi sistem

Model simulasi yang telah valid memiliki arti model dapat merepresentasikan *real system*. Tahap selanjutnya menjalankan simulasi untuk setiap skenario yang disesuaikan dengan tujuan yang ingin dituju salah satunya dengan dilakukan optimasi dengan menggunakan model simulasi yang membutuhkan evaluasi dari banyak solusi [19]. Hasil yang didapatkan disajikan dan dilakukan analisis untuk memberikan rekomendasi agar keputusan yang telah diambil tepat dan dibangun model skenario untuk mencapai tujuan peningkatan jumlah produksi. Selanjutnya dilakukan analisis dari 20 model skenario untuk melihat *output* yang paling signifikan menggunakan *Bonferroni approach* yang memiliki manfaat untuk membandingkan kinerja dari dua sistem atau lebih [19].

Setelah itu, dilakukan analisis dari segi biaya menggunakan *gross profit* dan *marginal profit*. *Gross profit* (laba kotor) ialah keuntungan awal yang diperoleh perusahaan dari penjualan produk atau jasa setelah dikurangi dengan biaya langsung yang terkait dengan produksi [26]. Berikut merupakan formula yang digunakan untuk melakukan perhitungan *gross profit*.

$$Gross Profit = Revenue - Biaya Produksi Langsung \tag{8}$$

Gross profit digunakan untuk melihat keuntungan awal, sedangkan untuk *marginal profit* digunakan perubahan total keuntungan yang didapatkan adanya perubahan satu unit dalam suatu produk yang didapatkan dari selisih antara perubahan pendapatan yang didapatkan dengan perubahan pengeluaran yang dikeluarkan [27]. Berikut merupakan persamaan (9) yang digunakan untuk melakukan perhitungan *marginal profit*.

$$MP = MR - MC \tag{9}$$

dimana:

$$MC = \frac{\Delta TC}{\Delta Q} \tag{10}$$

$$MR = \frac{\Delta TR}{\Delta Q} \tag{11}$$

dengan:

ΔTC : perubahan *total cost*

ΔTR : perubahan *total revenue*

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengolahan dan Analisis Data

Berikut merupakan beberapa analisis yang dilakukan pada data yang telah dikumpulkan.

Uji Kecukupan Data

Berdasarkan formula I didapatkan hasil N' (jumlah pengamatan yang dibutuhkan) pada masing-masing proses produksi dan dibandingkan dengan N (Jumlah pengamatan yang dilakukan) dengan hasil yang tercantum pada tabel 2. Tabel 2 menunjukkan bahwa jumlah pengamatan yang dilakukan pada masing-masing proses lebih besar dari pada jumlah pengamatan yang dibutuhkan (N>N'), dengan kesimpulan bahwa data waktu masing-masing proses telah cukup untuk digunakan pada langkah selanjutnya.

Tabel 2. Hasil Uji Kecukupan Data

Proses	N	N'
Penyortiran	24	8,48
Pencucian	30	20,67
Pengukusan	20	4,11
Cooling Down	10	1,52
Pengupasan	18	3,93
Potong dan Checking	15	1,65
Penggilingan	30	16,87
Packing Inner	30	17,20
Penimbangan	30	22,47
Vacuum	30	26,60
Sealing, Roll dan Visual Check	30	2821
Sterilisasi	10	2,21
Penurunan Suhu	10	1,26
Penyusunan Rak	15	7,09
Pembekuan	10	3,94
Inspeksi Akhir	30	14,06
Packing Outer	25	22,89

Distribution Fitting

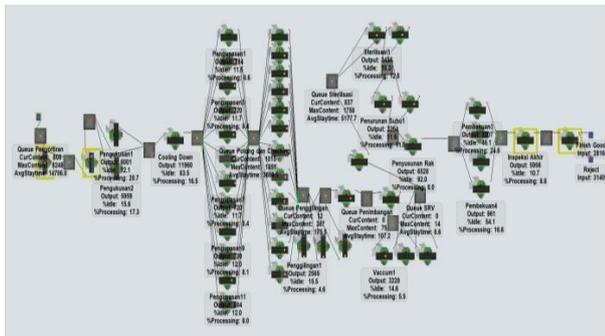
Berikut merupakan waktu distribusi dari masing-masing proses yang tercantum pada tabel 3.

Tabel 3. Waktu Distribusi

No	Proses	Waktu Distribusi (Menit)
1	Penyortiran	U(12.3, 15.5)
2	Pencucian	N(3.01, 0.307)
3	Pengukusan	N(139, 7.05)
4	Cooling Down	N(133, 4.11)
5	Pengupasan	N(19.6, 0.972)
6	Potong dan Checking	N(34.1, 1.09)
7	Penggilingan	N(1.32, 0.136)
8	Penimbangan	N(0.241, 0.0296)
9	Packing Inner	N(0.21, 0.0211)
10	Vacuum	N(0.992, 0.128)
11	Sealing, Roll dan Visual Check	N(0.174, 0.0236)
12	Sterilisasi	N(34, 1.29)
13	Penurunan Suhu	N(32,0.898)
14	Penyusunan Rak	N(11.5, 0.767)
15	Pembekuan	N(392, 19.5)
16	Inspeksi Akhir	N(0.293, 0.0272)
17	Packing Outer	U(1.01, 1.47)

Membangun Model Simulasi

Berikut merupakan model simulasi yang telah disesuaikan dengan model konseptual yang dibuat dengan menggunakan *software* flexsim dari proses penyortiran hingga proses *packing outer* yang terdiri dari 17 proses.



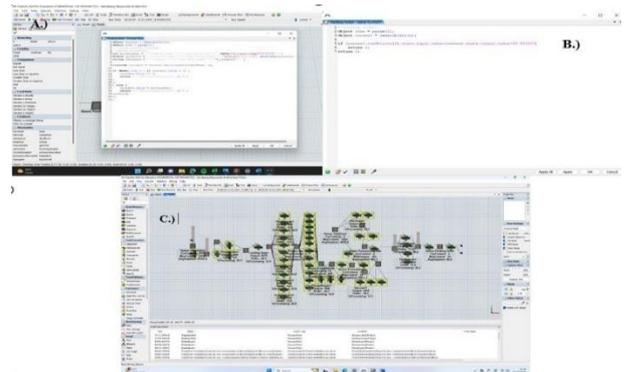
Gambar 2. Model Simulasi Eksisting

Gambar 2 menunjukkan visualisasi model simulasi proses produksi pasta ubi dari mulai proses

penyortiran hingga proses *packing outer* yang memiliki jumlah proses sebanyak 17 proses dengan karakteristik sistem terdapat beberapa proses yang menyebabkan penyusutan jumlah produksi dan direpresentasikan pada model simulasi pada akhir proses produksi dengan penyusutan jumlah *finish good* sebesar 46.82%.

Verifikasi dan Validasi Model

Berikut merupakan hasil verifikasi dengan menggunakan teknik peninjauan *code model* dan menggunakan fasilitas *trace* dan *debug* yang telah dilakukan yang tercantum pada gambar 3.



Gambar 3. Code Model dan Fasilitas Trace and Debug

Gambar 3 menunjukkan hasil verifikasi dengan teknik peninjauan *source code*, didapatkan hasil bahwa tidak ada *alert* yang muncul pada bagian bawah *source* menandakan bahwa *source code* yang digunakan telah benar dan tidak terjadinya *error code*. Gambar 3 juga menunjukkan hasil verifikasi dengan teknik “menggunakan fasilitas *trace* dan *debug*, didapatkan tampilan *event* yang dilengkapi dengan waktu *event* terjadi. Selain itu, teknik verifikasi yang dilakukan menggunakan teknik *check output for reasonableness* dengan melakukan pengecekan pada *work in process time* yang tercantum pada tabel 4 [18].

Tabel 4. Verifikasi Waktu Proses

Process	Distribution Time (Minute)	LowerLimit (Minute)	UpperLimit (Minute)	Average (Minute)	Result
1	U(12.3, 15.5)	12.3	15.5	13.43	Terverifikasi
2	N(3.01, 0.30)	2.70	3.31	3.16	Terverifikasi
3	N(139, 7.05)	131.95	146.05	136.56	Terverifikasi
4	N(133, 4.11)	128.89	137.11	131.98	Terverifikasi
5	N(19.6, 0.972)	18.62	20.57	19.45	Terverifikasi
6	N(34.1, 1.09)	33.01	35.19	34.21	Terverifikasi
7	N(1.32, 0.13)	1.18	1.45	1.31	Terverifikasi
8	N(0.21, 0.02)	0.18	0.23	0.21	Terverifikasi
9	N(0.24, 0.02)	0.21	0.27	0.23	Terverifikasi
10	N(0.99, 0.12)	0.86	1.12	0.98	Terverifikasi
11	N(0.17, 0.02)	0.15	0.19	0.16	Terverifikasi

Process	Distribution Time (Minute)	Lower Limit (Minute)	Upper Limit (Minute)	Average (Minute)	Result
12	N(34, 1.29)	32.71	35.29	33.76	Terverifikasi
13	N(32, 0.898)	31.10	32.89	31.96	Terverifikasi
14	N(11.5, 0.76)	10.73	12.26	11.50	Terverifikasi
15	N(392, 19.5)	372.5	411.5	383.13	Terverifikasi
16	N(0.29, 0.027)	0.26	0.32	0.28	Terverifikasi
17	U(1.01, 1.47)	1.01	1.47	1.23	Terverifikasi

Tabel 4 menunjukkan bahwa terdapat rata-rata waktu proses dari masing-masing langkah simulasi tersebut dan didapatkan bahwa waktu rata-rata masing-masing proses berada pada rentang *upper limit* dan *lower limit* yang menandakan bahwa waktu proses pada simulasi sesuai dengan waktu distribusi yang telah didapatkan sebelumnya. Maka dari itu, model simulasi yang dibangun dinyatakan terverifikasi.

Validasi pada penelitian ini, menggunakan teknik validasi *check output for reasonableness* dengan menggunakan uji statistik *paired-t test*. Data yang dibandingkan pada *paired-t test* ini menggunakan data *output* simulasi dan *output real system*. Pada *paired-t test* diperlukan syarat bahwa data harus berdistribusi normal. Berikut merupakan hasil *normality test Shapiro Wilk* untuk *output simulation* sebanyak 5 kali replikasi dibandingkan dengan data *real system* yang tercantum pada gambar 4.

Tests of Normality

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Eksisting	.197	10	.200 [*]	.855	10	.066
Real_System	.177	10	.200 [*]	.906	10	.256

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Gambar 4. Hasil Normality Test

Hasil *paired-t test* pada gambar 4 menunjukkan bahwa nilai signifikan *simulation* dan *real system* lebih besar dari nilai signifikansi yang ditetapkan (0.076 dan 0.256 > 0.05) dengan artian bahwa data simulasi dan *real system* berdistribusi normal. Setelah data dinyatakan normal, dilakukan validasi menggunakan teknik *check output for reasonableness* dengan menggunakan *paired-t test*. Berikut merupakan hasil *paired-t test* yang tercantum pada gambar 5.

Pada gambar 5 nilai sig. (2 tailed) > 0.05 yaitu 0.587 > 0.05 dengan keputusan terima *H0* dan tolak *H1* dan didapatkan bahwa tidak adanya perbedaan secara signifikan antara *output simulation* dan *output real system* dan disimpulkan bahwa *output simulation* dapat merepresentasikan *output real system* sehingga dinyatakan valid.

Analisis Hasil Model Simulasi Eksisting

Model simulasi yang telah dinyatakan valid, perlu dilakukan analisis secara mendalam terkait peristiwa yang terjadi selama simulasi dijalankan. Berikut merupakan analisis permasalahan yang terjadi pada model simulasi pada gambar 6.

Paired Samples Test

		Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower	Upper			
Pair 1	Eksisting - Real_System	686.380	3858.229	1220.079	-2073.631	3446.391	.563	9	.587

Gambar 5. Hasil Paired-t test

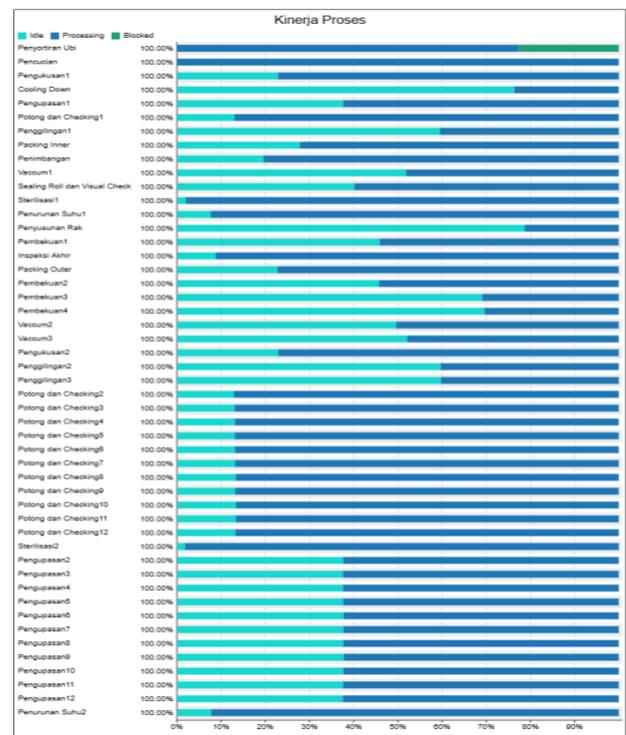


Gambar 6. Rata-rata Penumpukan Proses

Gambar 6 menunjukkan rata-rata penumpukan yang terjadi pada setiap minggunya ketika model dilakukan *running* selama satu tahun, yang menunjukkan terjadinya penumpukan *entity* pada proses penyortiran sebesar 5.070,84 kg dan penumpukan tertinggi terjadi pada proses pencucian sebesar 9.865,74 kg. Hal tersebut menunjukan bahwa kemampuan kinerja proses penyortiran dan pencucian dalam menghasilkan *output* masih sangat kurang, dibandingkan kinerja pada proses yang lainnya dan berakibat terjadinya banyak penumpukan *entity* pada proses pencucian dan penyortiran. Maka dari itu perlunya ditingkatkan kinerja proses penyortiran dan pengukusan dalam memproses *entity* lebih banyak lagi bisa dengan melakukan penambahan mesin, penambahan pekerja, memperpanjang waktu kerja ataupun melakukan penambahan *shift*.

Gambar 7 menunjukkan persentase aktivitas yang dilakukan selama waktu kerja dengan terdapat tiga kategori seperti *idle*, *processing* dan *blocked*. Pada Gambar 7 terdapat juga beberapa proses dengan persentase *processing* yang tinggi seperti pada proses pencucian sebesar 99,99%, proses penyortiran sebesar 77.31%, proses sterilisasi 1 dan 2 sebesar 98.04% dan 98.18%, proses penurunan suhu 1 dan 2 sebesar 92.23% dan 92.26% serta proses inspeksi akhir sebesar 91.26% yang menandakan proses-proses tersebut memiliki beban kerja yang cukup tinggi. Selain itu, pada gambar 7, terdapat proses dengan kategori *blocked* yaitu pada proses penyortiran ubi sebesar yang berarti bahwa pada proses tersebut terjadi *bottleneck* sehingga membuat aktivitas pada proses tersebut terhambat. Kesimpulannya, pada proses penyortiran dan proses pencucian tentunya perlu dilakukan perbaikan

terkait kemampuan kinerja proses. Selain itu, tidak menutup kemungkinan dilakukan perbaikan pada proses yang lainnya ketika beberapa proses dilakukan peningkatan kinerja dikarenakan antara proses satu dengan yang lainnya saling berkaitan.



Gambar 7. Persentase Kinerja Proses

Membangun Model Skenario

Model simulasi eksisting telah dilakukan analisis apakah ditemukannya permasalahan yang digunakan sebagai acuan untuk membangun model skenario DES untuk menyelesaikan permasalahan tidak tercapainya permintaan produksi. Setelah dibuat sebanyak kemungkinan model alternatif

solusi, dibuat sebanyak empat model skenario yang menggabungkan beberapa alternatif solusi. Berikut merupakan model skenario yang tercantum pada tabel 5.

Tabel 5. Model Skenario

Skenario	Jenis Model Skenario	Detail Model Skenario
SK 13	C	Penambahan 1 <i>shift</i> padaseluruh proses produksi
SK 15	A, C	Peningkatan dua kali lipat kapasitas proses penyortiran, tiga kali lipat kapasitas proses pencucian dan penambahan satu <i>shift</i> untuk seluruh proses produksi
SK 16	A, C	Peningkatan tiga kali lipat kapasitas proses penyortiran, tiga kali lipat kapasitas proses pencucian dan penambahan satu <i>shift</i> untuk seluruh proses produksi
SK 19	A, C, D	Peningkatan kapasitas proses penyortiran dua kali lipat, peningkatan kapasitas pencucian tiga kali lipat, pembelian 1 mesin pengukusan, peningkatan kapasitas <i>cooling down</i> , penambahan 1 <i>shift</i> pada proses <i>shift 2</i> dan <i>shift 3</i> .

Keterangan:

A: Peningkatan Kapasitas

B: Penambahan Jam Kerja

C: Penambahan *Shift*

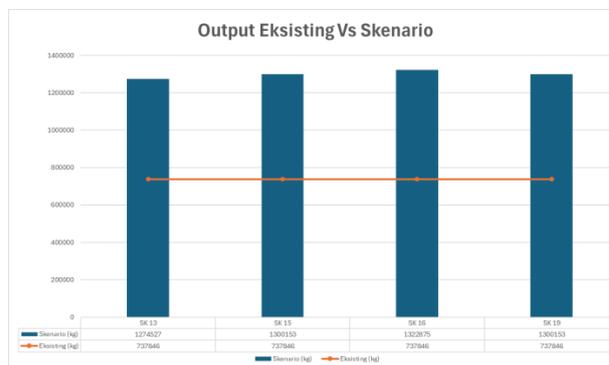
Tabel 6. Analisis *Gross Profit*, *Marginal Profit* dan Biaya Investasi

Model Skenario	Pendapatan	Pengeluaran	Biaya Investasi	Biaya Tambahan Tenaga Kerja Langsung	<i>Gross Profit</i>	<i>Marginal Profit</i>
Skenario13	Rp31.076.154.577,50	Rp24.860.923.662,00	Rp0	Rp2.199.145.960,00	Rp4.016.084.955,50	Rp778,82
Skenario15	Rp31.700.980.522,50	Rp25.360.784.418,00	Rp0	Rp2.593.332.500,00	Rp3.746.863.604,50	Rp264,55
Skenario16	Rp32.254.999.687,50	Rp25.803.999.750,00	Rp0	Rp2.842.292.420,00	Rp3.608.707.517,50	Rp18,12
Skenario19	Rp31.700.980.522,50	Rp25.360.784.418,00	Rp100.000.000,00	Rp2.427.359.220,00	Rp3.912.836.884,50	Rp559,71

D: Pergantian Mesin

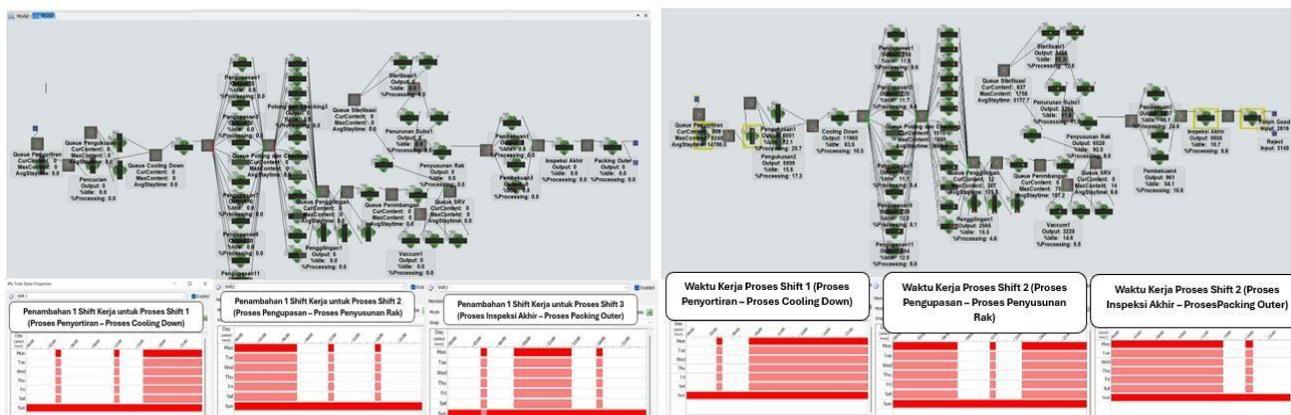
Rekomendasi Model Skenario

Model skenario pada tabel 4 dilakukan *running test* selama 10 periode dan dilakukan perbandingan total *output* model skenario dengan model eksisting yang tercantum pada gambar 8.



Gambar 8. Perbandingan Total *Output* Eksisting Vs Skenario

Pada gambar 8, terdapat tampilan empat model skenario yakni model skenario 13, 15, 16 dan 19. Maka dari itu, dilakukan perbandingan model skenario 13, 15, 16 dan 19 dengan menggunakan analisis *gross profit* dan *marginal profit* untuk menentukan skenario terbaik dari segi biaya.



(a). Model Skenario 13

(b). Model Simulasi Eksisting

Gambar 9. Perbandingan Model Skenario 13 (Terbaik) dan Model Eksisting

Berdasarkan hasil perhitungan *gross profit* dan *marginal profit* antara skenario 13, 15, 16 dan 19 yang tercantum pada tabel 6, didapatkan hasil perhitungan *gross profit* dan *marginal profit* skenario 13 sebesar Rp4.016.084.955,50 dan Rp778,82, skenario 15 sebesar Rp3.746.863.604,50 dan Rp264,55, skenario 16 sebesar Rp3.608.707.517,50 dan Rp18,12, serta skenario 19 sebesar Rp3.912.836.884,50 dan Rp559,71. Hasil perhitungan *gross profit* dan *marginal profit* pada tabel 5, model skenario yang paling optimal yakni pada model skenario 13, dikarenakan memiliki nilai *gross profit* dan *marginal profit* tertinggi dan biaya investasi yang paling rendah. Maka dari itu, didapat model skenario yang paling optimal yakni model skenario 13 dengan melakukan penambahan 1 *shift* kerja untuk seluruh proses produksi dari proses penyortiran hingga proses *packing outer* selama 8 jam kerja dengan penambahan pekerja sebanyak 105 pekerja yang dapat menghasilkan produk sebanyak sebesar 1.274.527 kg, rata-rata *output* per periodenya sebesar 127.452,7 kg, biaya tambahan tenaga kerja langsung sebesar Rp2.199.145.960,00, biaya investasinya sebesar Rp 0, nilai *gross profit* sebesar Rp4.016.084.955,50 dan nilai *marginal profit* sebesar Rp778,82. Dengan menerapkan model skenario 13, hal tersebut juga membuat adanya peningkatan *output* jumlah produksi yang signifikan yakni dengan perubahan sebesar 72,74%, dari *output* model eksisting sebesar 737.846 kg menjadi 1.274.527 kg dengan perbandingan model simulasi yang tertera pada gambar 9.

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tingkat kepercayaan pada model simulasi eksisting dapat merepresentasikan *real system* dengan Tingkat kepercayaan sebesar 95% dengan menggunakan *paired-t test*. Model simulasi eksisting yang didapat, dilakukan eksperimen untuk meningkatkan jumlah produksi dengan membangun 20 model skenario dan didapat model skenario 13 yang paling optimal dengan mempertimbangkan segi *output* dan segi biaya dengan menggunakan analisis *gross profit* dan *marginal profit*. Model skenario 13 memiliki pengaturan yaitu penambahan 1 *shift* pada seluruh proses produksi yakni selama 8 jam kerja dari mulai proses penyortiran hingga proses *packing outer* dengan penambahan pekerja sebanyak 105 pekerja yang menghasilkan produk sebanyak 1.274.527 kg selama 10 bulan dan persentase kenaikan jumlah *output* sebesar 72,74%, nilai *gross profit* sebesar Rp4.016.084.955,50 dan nilai *marginal profit*

sebesar Rp778,82 dengan biaya tambahan tenaga kerja langsung sebesar Rp2.199.145.960,00 selama 10 bulan dan biaya investasi sebesar Rp0.

Penelitian ini memiliki beberapa kekurangan seperti penyusutan jumlah material pada proses hanya dapat direpresentasikan pada akhir proses, terdapat beberapa proses produksi yang digabungkan, waktu perpindahan material antar proses diabaikan serta proses pengerjaan yang dilakukan secara manual tidak direpresentasikan dengan menggunakan operator pada model simulasi. Maka dari itu, untuk peneliti selanjutnya dapat mempertimbangkan beberapa hal yang menjadi kekurangan sebagai peluang *future research* atau dapat melakukan penelitian dengan cakupan yang lebih spesifik dengan mempertimbangkan aspek *waste* yang ada ataupun dapat melakukan penelitian dengan cakupan yang lebih luas hingga dari proses pengadaan material.

REFERENSI

- [1] Soekartawi, *Agribisnis Teori dan Aplikasi*, Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada, 1999.
- [2] F. Rahardi, "Semua konten dalam Business Insight ad," 18 April 2021. [Online]. Available: <https://insight.kontan.co.id/news/ekspor-ubi-jalar-jepang-meningkat-selama-tahun-lalu>.
- [3] C. M. Annur, "Ubi Kayu, Tanaman Pangan dengan Nilai Ekspor Tertinggi pada 2021," 13 Januari 2023. [Online]. Available: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/01/13/ubi-kayu-tanaman-pangan-dengan-nilai-ekspor-tertinggi>.
- [4] T. Malasari, "Ini Daftar 5 Daerah Penghasil Ubi Jalar Terbanyak di Indonesia," 5 September 2022. [Online] Available: <https://pertanian.sariagri.id/103354/ini-daftar-5-daerah-penghasil-ubi-jalar-terbanyak-di-indonesia>.
- [5] V. Kumar, S. Chandra, K. Kumar, S. K. Goyal, L. Kumar, and A. Kumar, "Perishable and non-perishable food products roles in environment-A review," South Asian Journal of Food Technology and Environment, vol. 03, no. 01, pp. 465–472, Jun. 2017, doi:10.46370/sajfte.2017.v03i01.01.
- [6] H. Abbas, L. Zhao, X. Gong, and N. Faiz, "The perishable products case to achieve sustainable food quality and safety goals implementing on-field sustainable supply chain model," Socioecon Plann Sci, vol. 87, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.seps.2023.101562.

- [7] S. A. Fahmy, A. M. Zaki, and Y. H. Gaber, "Optimal locations and flow allocations for aggregation hubs in supply chain networks of perishable products," *Socioecon Plann Sci*, vol. 86, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.seps.2022.101500.
- [8] C. A. Suárez, W. A. Guaño, C. C. Pérez, and H. Roa-López, "Multi-objective optimization for perishable product dispatch in a FEFO system for a food bank single warehouse," *Operations Research Perspectives*, vol. 12, Jun. 2024, doi: 10.1016/j.orp.2024.100304.
- [9] A. Violi, A. D. Maio, and G. Fattoruso, "Inventory management and delivery of perishable products with stochastic demands and risks consideration," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2024, pp. 2941–2949. doi: 10.1016/j.procs.2024.02.110.
- [10] R. J. Amalia, "Analisis Perilaku Konsumtif Dan Daya Beli Konsumen Terhadap Belanja Online Di Masa Pandemi Covid-19," 2022.
- [11] H. Stützel dan H. C. Wien, *The physiology of vegetable crops*, Wallingford, Oxfordshire, UK: CABI, 2020.
- [12] R. Nurdiansyah, R. Dio, B. Salaksa dan R. Arifin, "Analisis Dan Evaluasi Performansi Umkm Afira Tailor Dengan Metode Discrete Event System Simulation," ISSN, pp. 2337-4349, 2018.
- [13] O. Riskadayanti, Y. W. Sutopo dan M. Hisjam, "Discrete-event simulation of a production process for increasing the efficiency of a newspaper production," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2019.
- [14] A. B. Suharko, "A Capacity Planning through Discrete event simulation," *Jurnal Penelitian dan Aplikasi Sistem & Teknik Industri (PASTI)*, pp. 146-156, 2020.
- [15] R. Dio, A. A. Dermawan dan D. P. Akmarul, "Optimalisasi Jumlah Permintaan dan Produksi CV. XYZ Menggunakan Software Simulasi Flexsim," *Journal of Industrial and Manufacture Engineering*, pp. 2549-6328, 2023.
- [16] R. Mousavi, M. Bashiri, and E. Nikzad, "Stochastic production routing problem for perishable products: Modeling and a solution algorithm," *Comput Oper Res*, vol. 142, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.cor.2022.105725
- [17] F. Solari, N. Lysova, M. Bocelli, A. Volpi, and R. Montanari, "Perishable product Inventory Management In The Case Of Discount Policies And Price-Sensitive Demand: Discrete Time Simulation And Sensitivity Analysis," in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2024, pp. 1233–1241. doi: 10.1016/j.procs.2024.01.121.
- [18] Z. S. Syabira, M. A. Pulungan dan Y. Prambudia, "Perancangan Sistem Produksi Ekstrak Lemon dengan Discrete Event," *Jurnal Al-Azhar Indonesia Seri Sains dan Teknologi*, pp. Vol 9, No 2, 2024.
- [19] C. Harrell, B. K. Ghosh, and R. Bowden, *Simulation using ProModel*. New York, Ny: Mcgraw-Hill, 2012.
- [20] I. Z. Sutralaksana, *Teknik perancangan sistem kerja*, Bandung: ITB Bandung, 2006.
- [21] H. G. Daellenbach and D. C. McNickle, *Management science : decision making through systems thinking*. 2005. [Online]. Available: <https://ci.nii.ac.jp/ncid/BA71490559>
- [22] S. V. Hoover dan R. F. Perry, *Simulation: A Problem Solving Approach*, MA: Addison-Wesley, 1990.
- [23] J. Banks, C. J. S. B. L. Nelson dan D. M. Nicol, "Discrete-Event System Simulation", Pearson Education Limited, 2013.
- [24] A. Quraissy, "Normalitas Data Menggunakan Uji Kolmogorov-Smirnov dan Saphiro-Wilk," *J-HEST: Journal of Health, Education, Economics, Science, and Technology*, pp. 7-11, 2020.
- [25] T. Cahyo, *Statistik Uji Normalitas*, Purwokerto: Yayasan Sanitarian Banyumas (Yasamas), 2015.
- [26] L. Revsine, *Financial reporting & analysis*. McGraw-Hill/Irwin, 2012.
- [27] Herispon, "Teori Ekonomi Mikro", 2021 <https://www.researchgate.net/publication/356106331>.