JURNAL INDUSTRIAL GALUH
(Dr. Stefani Prima Dias Kristiana, S.T., M.Sc)

# PERANCANGAN MODEL SIMULASI SISTEM PRODUKSI MENGGUNAKAN SOFTWARE FLEXSIM

Stefani Prima Dias Kristiana[1*], Vivi Triyanti[2], Nova Eka Budiyanta[3]

[1,2]*Teknik Industri Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya*

[3]*Teknik Elektro Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya*

*Jl. Raya Cisauk Lapan, Sampora, Cisauk, Kabupaten Tangerang, Banten 15345*

[1*]Stefani.primadyas@atmajaya.ac.id

[2] Vivi.triyanti@atmajaya.ac.id

[3] nova.eka@atmajaya.ac.id

***Abstract—*** *This study aims to design a production system simulation model using the FlexSim software to evaluate a production line's current condition. The* Discrete Event Simulation *(DES)-based model was developed using field data, including process times, number of operators, workstation capacities, and material flows. The research process involved data collection, model development, verification, and validation using the Mann-Whitney U statistical test to compare the simulation output with actual production data. The simulation results indicate that, in each workstation, the largest proportion of time is dominated by idle time, while operator utilization levels range between 25.02% and 51.35%. These findings suggest potential efficiency improvements through line balancing, facility layout redesign, adjustment of the number of operators, and more synchronized work scheduling. This study emphasizes that simulation can serve as an effective evaluation tool for quantitatively identifying system problems, enabling the development of more targeted and data-driven solutions in the future.*

*Keywords— Discrete Event Simulation, System Evaluation, FlexSim, Production Simulation, Operator's Utility*

**Abstrak—** Penelitian ini bertujuan untuk merancang model simulasi sistem produksi menggunakan perangkat lunak FlexSim sebagai alat evaluasi kondisi aktual pada suatu lini produksi. Simulasi berbasis *Discrete Event Simulation* (DES) dibangun dengan menggunakan data lapangan berupa waktu proses, jumlah operator, kapasitas stasiun kerja, dan aliran material. Proses penelitian meliputi pengumpulan data, pembuatan model, verifikasi, dan validasi menggunakan uji statistik *Mann-Whitney U* untuk membandingkan output simulasi dengan data produksi aktual. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada setiap stasiun kerja, proporsi waktu terbesar didominasi oleh *idle time*, sedangkan tingkat utilitas operator berada pada kisaran 25,02%–51,35%. Hasil tersebut mengindikasikan adanya potensi peningkatan efisiensi melalui penyeimbangan lini, perancangan ulang tata letak, penyesuaian jumlah operator, dan penjadwalan kerja yang lebih sinkron. Penelitian ini menegaskan bahwa penggunaan simulasi dapat menjadi instrumen evaluasi yang efektif untuk mengidentifikasi permasalahan sistem secara kuantitatif, sehingga solusi yang dikembangkan di masa depan dapat lebih tepat sasaran dan berbasis data empiris.

*Kata kunci—Discrete Event Simulation, Evaluasi Sistem, FlexSim, Simulasi Produksi, Utilitas Operator*

## I. PENDAHULUAN

Industri manufaktur merupakan sektor industri dengan tingkat dinamika yang sangat tinggi karena terdt banyak variabel yang terlibat, seperti tenaga kerja, kapasitas produksi, tata letak mesin, maupun jumlah permintaan. Perubahan-perubahan yang ada di sistem tersebut, baik yang terencana maupun yang bersifat adaptif, menuntut pengelolaan yang cermat agar sistem bisa beroperasi secara optimal (Smith, R. & Tan, W., 2020; Zhang, 2022). Tantangan utama yang sering muncul adalah terjadinya bottleneck (titik dalam sistem produksi di mana aliran kerja terhambat, sehingga

memperlambat keseluruhan *throughput* dan meningkatkan biaya produksi) (Lee, H. & Kumar, A. 2019). Oleh karenanya, penting bagi suatu industri secara periodik melakukan evaluasi terhadap kondisi sistem produksinya untuk menilai efektivitas dan efisiensi sistem tersebut.

Salah satu metode yang telah banyak digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem tanpa mengganggu operasi nyata adalah simulasi model. Simulasi merupakan representasi sistem nyata berbasis model matematis, logis, atau visual, yang kemudian dijalankan di komputer (Banks et al., 2018). Simulasi memungkinkan untuk menguji skenario atau alternatif desain sistem secara cepat dengan biaya yang lebih minim dibandingkan dengan pengujian secara nyata di lapangan. Dengan demikian, perilaku sistem dan kinerjanya dapat dipelajarai secara menyeluruh melalui berbagai skenario tanpa risiko terhadap produksi aktual. Kajian-kajian literatur menunjukkan bahwa pendekatan discrete event simulation (DES) menjadi metode utama dalam optimasi sistem manufaktur dalam beberapa tahun terakhir (Qiao & Wang, 2021).

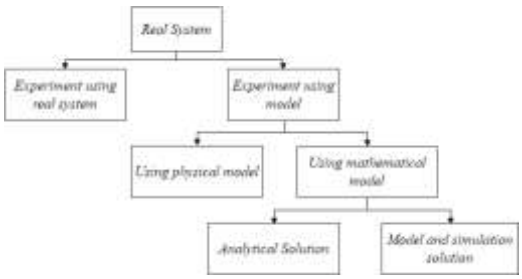
Simulasi model dapat diaplikasikan menggunakan perangkat lunak seperti FlexSim, Arena, atau AnyLogic. Sofware-software tersebut memungkinkan representasi aliran material, proses produksi, dan interaksi antar sumber daya dengan tingkat detail yang tinggi, sehingga memungkinkan analisis mendalam terhadap bottleneck, pemanfaatan mesin, maupun waktu tunggu (Perez & Diaz, 2021; Muller, 2023). FlexSim sebagai salah satu perangkat lunak simulasi 3D menyediakan lingkungan pemodelan visual yang kuat dan fitur analisis performansi, sehingga menjadi pilihan yang relevan untuk studi perancangan sistem produksi. FlexSim telah digunakan untuk berbagai studi kasus manufaktur, logistik, pergudangan untuk mengevaluasi throughput dan utilisasi sumber daya.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem produksi di software FlexSim sehingga bisa digunakan untuk evaluasi kondisi sistem nyata saat ini. Tahapan-tahapan teknis pembangunan model akan diuraikan secara sistematis hingga menyajikan hasil simulasi yang dapat digunakan sebagai sarana komunikasi efektif bagi pengambil keputusan dalam memahami perilaku sistem produksi.

## II. LANDASAN TEORI

### *A. Konsep Simulasi*

Simulasi merupakan suatu model sistem dimana logikanya dijalankan oleh komputer untuk memperkirakan sifat-sifat dinamis sistem tersebut (Emshoff & Simon, 1970). Menurut Law & Kelton (1991) simulasi adalah sekumpulan metode dan aplikasi untuk menirukan atau merepresentasikan perilaku dari suatu sistem nyata yang biasanya dilakukan pada komputer dengan menggunakan perangkat lunak tertentu. Sedangkan Khosnevis (1994) menyatakan bahwa simulasi merupakan proses aplikasi membangun model dari sistem nyata atau usulan sistem, melakukan eksperimen dengan model tersebut untuk menjelaskan perilaku sistem, mempelajari kinerja sistem atau membangun sistem baru sesuai dengan kinerja yang diinginkan. Oleh karenanya, bisa disimpulkan bahwa simulasi berhubungan dengan sistem dan model. Sebenarnya cara terbaik untuk mempelajari sistem adalah melakukan eksperimen terhadap sistem nyata, namun percobaan dengan sistem nyata cukup rumit, memerlukan tenaga, biaya, dan waktu yang relatif besar. Sehingga percobaan dengan model dipilih untuk menggantikan sistem nyata karena sederhana, murah, mudah, dan aman untuk diubah (Law & Kelton, 1991). Gambar 1 menunjukkan beberapa cara untuk mempelajari suatu sistem.



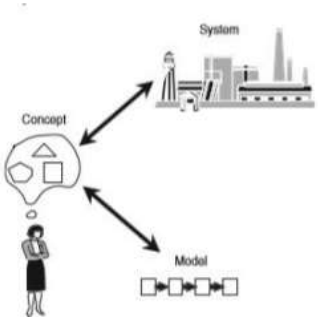

Gambar 1. Klasifikasi Metode Studi Eksperimen (Law & Kelton, 1991)

Model adalah representasi dari serangkaian objek atau ide dalam bentuk matematik atau hubungan logika tertentu. Model sistem terdiri dari model fisik seperti pembuatan lego atau miniatur dan model matematik seperti solusi analitis atau simulasi. Tujuan dari simulasi adalah untuk mendapatkan gambaran umum akan cara kerja dan interaksi dalam sistem, sehingga elemen-elemen dalam sistem dapat diubah untuk mendapatkan hasil yang optimal. Law &

Kelton (1991) mengelompokkan model simulasi ke dalam tiga dimensi, yaitu:

1. Model Simulasi Statis dan Dinamis
   Model simulasi statis digunakan untuk mempresentasikan sistem pada saat tertentu atau sistem yang tidak terpengaruh oleh perubahan waktu. Model simulasi dinamis digunakan jika sistem yang dikaji dipengaruhi oleh perubahan waktu
2. Model Simulasi Deterministik dan Stokastik
   Jika model simulasi yang akan dibentuk tidak mengandung variabel yang bersifat random, maka model simulasi tersebut dikatakan sebagai simulasi deterministik. Sedangkan jika mengandung input yang bersifat random, maka sistem tersebut disebut model simulasi stokastik
3. Model Simulasi Kontinyu dan Diskrit
   Suatu sistem dikatakan diskret jika variabel sistem yang mencerminkan status sistem berubah pada titik waktu tertentu, sedangkan sistem dikatakan kontinyu jika perubahan variabel sistem berubah seiring dengan perubahan waktu.

Harrel dkk (2004) menyatakan bahwa selain dapat membuat desain untuk pengambilan keputusan, simulasi dapat digunakan sebagai alat validasi terhadap keputusan yang dilakukan. Kekuatan simulasi terletak pada tersedianya metode analisis yang tidak hanya formal dan prediktif tetapi juga secara akurat memprediksi kinerja bahkan untuk sistem yang paling kompleks sekalipun. Simulasi merupakan bagian dari proses yang lebih besar dalam suatu desain sistem. Desain atau perancangan model diambil dari peristiwa atau kondisi yang terjadi dan nyata. Hal terpenting dari pembuatan model dan sistem adalah bagaimana pemodel menuangkan sistem sebenarnya kedalam model seperti terlihat pada Gambar 2.




Gambar 2. Visualisasi Sistem Menjadi Model (Harrel et al., 2004)

### *B. Sistem Produksi*

Sistem produksi adalah sekumpulan elemen yang saling berinteraksi untuk mengubah input (bahan baku, tenaga kerja, energi, informasi) menjadi output (barang atau jasa) yang memiliki nilai tambah. Menurut Heizer dan Render (2017), sistem produksi berperan penting dalam mengintegrasikan sumber daya manusia, teknologi, dan material agar proses berjalan efisien dan efektif. Dalam konteks manufaktur modern, sistem produksi tidak hanya fokus pada kuantitas dan kualitas, tetapi juga pada fleksibilitas dan kecepatan respons terhadap permintaan pasar.

Perancangan sistem produksi mencakup perencanaan tata letak (*facility layout*), penentuan aliran material, penjadwalan produksi, dan pemilihan teknologi yang sesuai. Menurut Groover (2020), prinsip perancangan harus mengoptimalkan *flow* material, meminimalkan *work-in-process*, mengurangi *bottleneck*, dan meningkatkan utilisasi sumber daya. Pada era Industry 4.0, perancangan ini semakin mengandalkan teknologi simulasi untuk menguji skenario desain tanpa mengganggu operasi nyata.

Sistem produksi saat ini menghadapi tantangan global seperti fluktuasi permintaan, peningkatan variasi produk, dan tekanan untuk mengurangi biaya serta waktu produksi. Solusi yang banyak diadopsi adalah penerapan konsep *lean manufacturing*, *smart manufacturing*, dan digital twin. Hal ini menuntut integrasi antara manajemen operasi, teknologi informasi, dan analisis data, yang dapat difasilitasi melalui pemodelan dan simulasi.

## III. METODE PENELITIAN

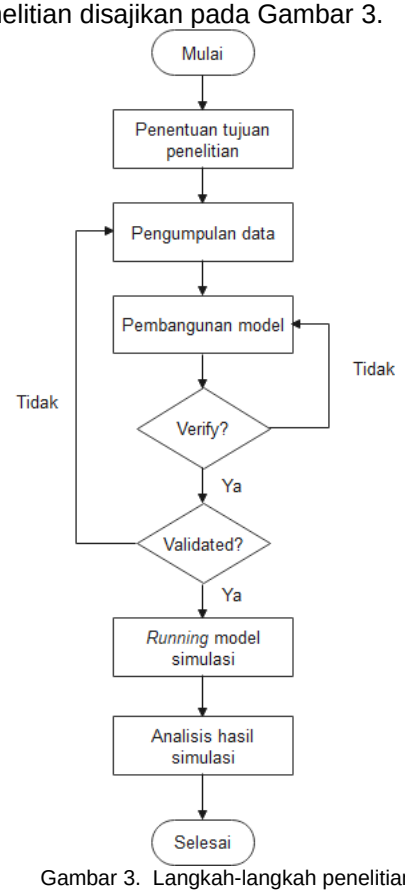
Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif dengan pendekatan simulasi berbasis *Discrete Event Simulation* (DES). Simulasi dibangun untuk model sistem produksi *current condition* dengan tujuan mendapatkan evaluasi terhadap cara kerja dan interaksi dalam sistem. Diperlukan penjabaran aktivitas proses produksi dan pengambilan data waktu proses produksi beserta variabel pendukung untuk pembangunan model, diantaranya adalah:

1. Lokasi
   Menunjukkan lokasi-lokasi yang digunakan untuk membangun simulasi, beserta kapasitasnya
2. Entitas

Digunakan untuk menunjukkan input dan output yang akan diproses pada model simulasi

3. *Resources*
   Digunakan untuk menunjukkan operator/ tenaga kerja yang digunakan untuk memproses entitas pada lokasi yang telah ditentukan
4. *Arrival*
   Menunjukkan *raw material* yang pertama kali masuk dengan jumlah tertentu ke dalam model.

Selanjutnya ditentukan jangka waktu simulasi, dan batasan yang digunakan pada simulasi. Pada penelitian ini, software FlexSim 2019 digunakan untuk membangun model simulasi. Verifikasi model juga dilakukan untuk mengetahui apakah model sudah benar atau akan mendapatkan hasil yang *reasonable*. Verifikasi dilakukan dengan cara memeriksa *coding* dan memeriksa *output.* Model yang telah dibangun selanjutnya melalui tahap validasi dengan membandingkan hasil keluaran simulasi dengan data aktual industri, menggunakan uji statistik seperti *paired t-test* untuk memastikan kesesuaian model. Metode penelitian disajikan pada Gambar 3.




Gambar 3. Langkah-langkah penelitian

## IV. HASIL PENELITIAN

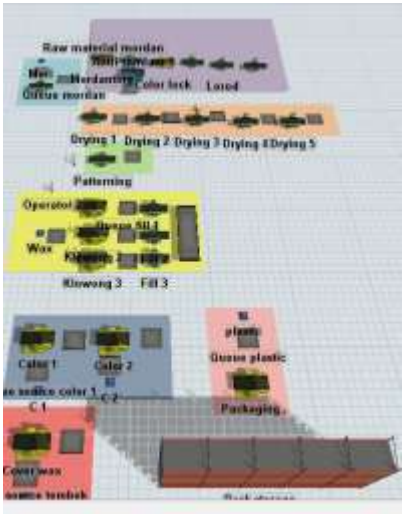
Pembuatan simulasi sistem current condition dilakukan dengan tujuan mengevaluasi performansi sistem saat ini sehingga bisa digunakan untuk menilai efektivitas sistem yang ada. Model simulasi membantu mengelola ketidakpastian data dan menghasilkan pendekatan yang mencerminkan suatu sistem secara akurat. Input pada model simulasi didasarkan pada distribusi probabilitas. Suatu model kemungkinan besar dapat di identifikasi jika distribusi data dapat di dekati secara efektif. Input yang berkualitas memudahkan pembuatan simulasi yang menghasilkan hasil yang dapat di andalkan. Distribusi probabilitas menunjukkan peluang suatu variabel akan mengambil setiap nilai yang mungkin terjadi atau muncul dalam rentang tertentu dalam eksperimen acak. Tabel 1 menunjukkan contoh distribusi waktu pemrosesan; waktu proses rata-rata dari stasiun kerja; dan operator yang mengerjakannya untuk proses produksi yang menjadi objek penelitian.

TABEL I
DISTRIBUSI WAKTU PROSES

| Jenis operasi | Rata-rata waktu proses (detik) | Distribusi waktu | Operator |
|---|---|---|---|
| A | 150,58 | Beta (77.33; 375.25; 1.35; 4.20) | 1 |
| B | 9517,08 | Erlang (0.00; 1359.58; 7) | 2 |
| C | 47214,42 | Pearson Type V€ (27261.57; 28853.92; 2.35) | 4 |
| D | 13702,75 | Weibull € (5370.45; 9405.59; 2.50) | 2 |
| E | 46793,67 | Gamma € (35847.69; 15229.40; 0.72) | 3 |

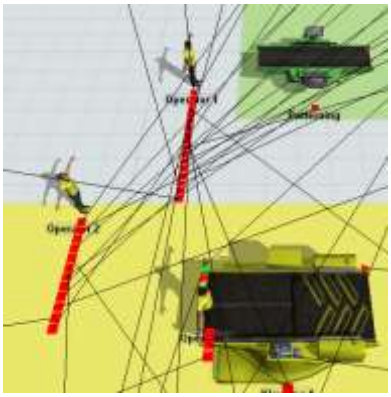
### A. *Setting Fixed Resources dan Task Executor*

Langkah pertama dalam pembuatan model simulasi dengan *Flexsim* adalah membuat *layout* model. *Layout* pada Flexsim dikelompokkan berdasarkan area *workstation* sesuai kondisi aktual. Operator akan menjalankan proses kerja berdasarkan urutan proses produksi. Gambar 4 menunjukkan *layout* lini produksi pada software *Flexsim*.




Gambar 4. Layout lini produksi pada FlexSim

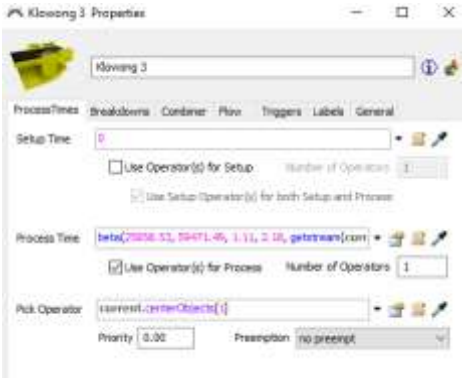
Selanjutnya adalah *setting* operator-operator yang mengerjakan setiap aktivitas produksi. Gambar 5 menunjukkan hubungan antara *resources* dan operator yang mengerjakan task tersebut.



Gambar 5. Hubungan antara *resources* dan operator

## B. *Setting Properties*

Langkah selanjutnya, parameter-paratemer yang terkait dengan operasi diinput pada *properties* agar model dapat mengadopsi kondisi riil, seperti waktu proses dan jumlah operator yang mengerjakannya. Gambar 6 menunjukkan contoh input parameter pada *workstation.*

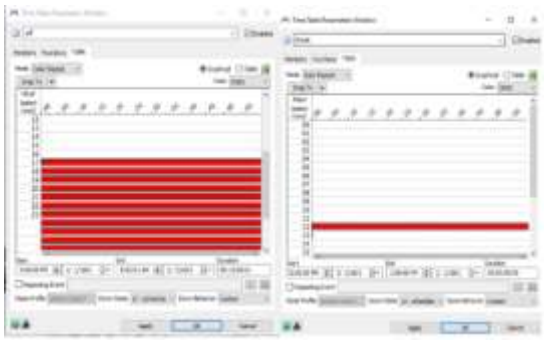



Gambar 6. *Setting properties* pada *resources*

## C. *Running Simulasi*

Simulasi pada *Flexsim* dibangun dengan asumsi sebagai berikut:

1. Dijalankan selama 1 tahun (366 hari), dengan waktu kerja pukul 08.00 – 17.00, dan waktu istirahat pukul 12.00 – 13.00. Adapun Gambar 7 menunjukkan pengaturan untuk waktu kerja waktu istirahat pada Flexsim.
2. Tidak semua *workstation* beroperasi sesuai batasan waktu yang ditentukan. Terdapat *workstation* yang bisa beroperasi selama 24 jam karena tidak menggunakan operator.



Gambar 7. Pengaturan Waktu Kerja Pada Flexsim

Sebelum melakukan evaluasi secara menyeluruh, diperlukan verifikasi terhadap model untuk memastikan bahwa model berjalan dengan benar sesuai kondisi aktual. Data waktu studi yang diperoleh juga ditinjau oleh pihak industri dan dikonfirmasi akurasinya. Selama model dijalankan, dapat ditentukan output jumlah produksi selama operasi berlangsung. Setelah verifikasi maka dilanjutkan dengan proses validasi, yakni dilakukan pengecekkan hasil pada model untuk memastikan bahwa model tersebut merepresentasikan sistem nyata. Validasi dilakukan dengan membandingkan output

model simulasi dengan output sistem nyata. Validasi menggunakan analisis statistik yang memiliki interval. Validasi dilakukan selama tujuh puluh tujuh hari, dengan pertimbangan kurun waktu tersebut merupakan penyelesaian seluruh peroses produksi tahap 1, dan diasumsikan tahap selanjutnya hingga hari ke-366 mengikuti hasil validasi tersebut. Output simulasi diuji menggunakan uji normalitas untuk menentukan uji statistik yang sesuai untuk validasi. Uji Shapiro-Wilk digunakan untuk menentukan normalitas dengan menggunakan bantuan software *SPSS (Statistical Product and Service Solution).* Interval kepercayaan yang digunakan sebesar 95% ($\alpha$ = 0.05), daerah kritis berada pada nilai signifikan lebih rendah dari $\alpha$. Output uji normalitas ditunjukkan pada Tabel 2.

TABEL II
HASIL UJI NORMALITAS AWAL UNTUK VALISASI MODEL

| | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Statistic | df | Sig. | Statistic | df | Sig. |
| Simulation Data | 0,509 | 77 | **<0,001** | 0,435 | 77 | **<0,001** |

*a. Lilliefors Significance Correction*
*df = degree of freedom; Sig.: Significant value*

Berdasarkan output SPSS diketahui bahwa nilai signifikan dari uji Shapiro-Wilk adalah < 0,001. Hal ini mengindikasikan bahwa sampel data tidak berdistribusi normal karena nilainya lebih rendah daripada $\alpha$. Oleh karenanya, analisis statistik yang akan digunakan adalah non-parametrik, yakni uji Mann-Whitney U. Uji ini dilakukan terhadap output produksi aktual dan output simulasi. Adapun output uji Mann-Whitney dari SPSS ditunjukkan pada Tabel 3.

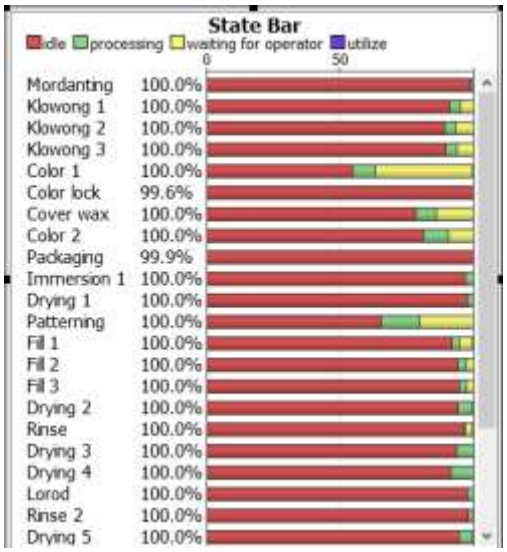
TABEL III
HASIL UJI MANN-WHITNEY

| **Test Statistics[a]** | |
|---|---|
| | Output |
| Mann-Whitney U | 2831,000 |
| Wilcoxon W | 5834,000 |
| Z | -0,106 |
| Sig. (2 tailed) | **0,916** |
| a. Grouping Variable: Data_Type | |

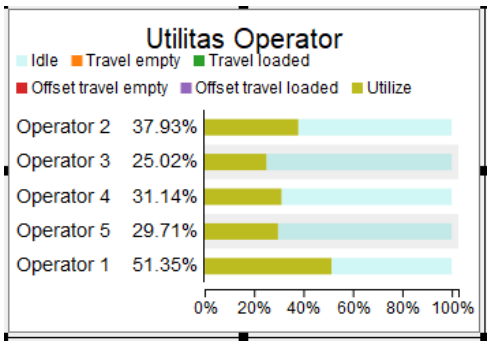
Pengujian menunjukkan bahwa output aktual dan simulasi sebanding dan tidak dapat ditolak pada nilai $\alpha$ = 0,05 (nilai signifikan = 0,916, lebih besar dari $\alpha$). Hal ini menunjukkan validitas statistik dari model. Oleh karenanya, berdasarkan hasil uji statistik, dapat dikatakan bahwa model simulasi yang telah dibangun adalah valid dan dapat merepresentasikan sistem aktual dengan tingkat signifikansi $\alpha$ = 0,05.

### *D. Hasil Simulasi*

Simulasi dijalankan selama 366 hari dan akan menghasilkan beberapa indikator yang bisa dianalisis, seperti utilitas stasiun kerja dan operator. Gambar 8 menunjukkan dashboard pada FlexSim untuk utilitas setiap stasiun kerja sistem produksi. Sedangkan Gambar 9 menunjukkan utilitas para pekerja pada sistem tersebut.




Gambar 8. Dashboard hasil evaluasi stasiun kerja pada FlexSim




Gambar 9. Dashboard hasil utilitas operator pada FlexSim

## IV. PEMBAHASAN

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada setiap operasi, proporsi terbesar waktu kerja stasiun didominasi oleh *idle time* (bar merah). Kondisi ini mengindikasikan bahwa sebagian besar sumber daya menganggur menunggu proses sebelumnya atau material untuk diproses. Fenomena ini bisa disebabkan oleh

ketidakseimbangan aliran proses, *bottleneck* di stasiun tertentu, atau jadwal kerja yang kurang selaras antar operasi. Idle time yang tinggi menunjukkan bahwa kapasitas peralatan tidak dimanfaatkan secara optimal, sehingga peluang peningkatan produktivitas masih sangat terbuka.

Pada sisi sumber daya manusia, hasil simulasi memperlihatkan utilitas operator berada pada kisaran 25,02% hingga 51,35%. Nilai utilitas ini menunjukkan persentase waktu operator yang benar-benar digunakan untuk aktivitas produktif dibandingkan total waktu tersedia. Artinya, sebagian besar waktu kerja operator masih terbuang untuk menunggu atau tidak terlibat langsung dalam proses produksi. Utilitas di bawah 60% mengindikasikan adanya ketidakseimbangan beban kerja, penempatan operator yang kurang tepat, atau peluang untuk menggabungkan tugas guna meningkatkan efisiensi pemakaian tenaga kerja.

Berdasarkan hasil tersebut, beberapa skenario perbaikan yang berpotensi untuk dikembangkan meliputi penyeimbangan lini (*line balancing*), perancangan ulang tata letak fasilitas guna meminimalkan waktu tunggu antarproses, penyesuaian jumlah operator sesuai dengan beban kerja, serta penerapan sistem penjadwalan yang lebih terintegrasi dan sinkron. Penelitian ini masih terbatas pada tahap evaluasi *current condition*, sehingga langkah penelitian berikutnya perlu difokuskan pada perancangan dan pengujian skenario alternatif menggunakan perangkat lunak FlexSim untuk memperoleh solusi yang optimal. Penelitian ini menunjukkan bahwa simulasi dapat berfungsi sebagai instrumen evaluasi yang efektif dalam mengidentifikasi permasalahan sistem secara kuantitatif, sehingga rekomendasi solusi yang dikembangkan di masa mendatang dapat lebih tepat sasaran, terukur, dan berbasis pada data empiris.

## V. KESIMPULAN

Penelitian ini melakukan perancangan dan pembangunan model simulasi sistem produksi *current condition* menggunakan perangkat lunak FlexSim yang tervalidasi secara statistik dan mampu merepresentasikan kondisi aktual. Proses perancangan mencakup tahapan pengumpulan data, pembuatan model, verifikasi, serta validasi model. Hasil simulasi menunjukkan dominasi *idle time* pada setiap operasi dan rendahnya utilitas operator, yang mengindikasikan adanya ketidakseimbangan aliran proses serta pemanfaatan sumber daya yang belum optimal.

Meskipun penelitian ini masih terbatas pada tahap evaluasi sistem saat ini, hasil yang diperoleh memberikan gambaran kuantitatif mengenai fenomena yang terjadi dalam sistem produksi. Hasil analisis ini dapat menjadi dasar bagi perancangan skenario perbaikan, seperti penerapan *line balancing*, perancangan ulang tata letak fasilitas, optimalisasi jumlah operator, serta sinkronisasi jadwal kerja. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memenuhi tujuan untuk memvalidasi efektivitas simulasi sebagai alat evaluasi sistem produksi, tetapi juga memberikan kontribusi praktis dalam menyediakan informasi berbasis data yang dapat digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan strategis di industri manufaktur.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya atas dukungan yang diberikan sehingga membantu kelancaran dan keberhasilan penelitian ini.

## REFERENSI

1. Smith, R. & Tan, W. (2020). Dynamic production systems and layout optimisation: a literature review. *Journal of Manufacturing Systems*, 54, 339-352.
2. Zhang. (2022). Managing volatility in modern manufacturing: capacity and time considerations. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 120, 2751-2765.
3. Lee, H. & Kumar, A. (2019). Bottleneck analysis in manufacturing systems: methodologies and applications. *International Journal of Production Research*, 57(12), 3905-3920.
4. Banks, J., Carsons, J. S., Nelson, B.L., & Nicol, D. M. (2018). *Discrete-Event System Simulation* (5th ed.). Pearson.
5. Qiao, D. & Wang, Y. (2021). A review of the application of discrete event simulation in manufacturing. Journal of Physics Conference Series, 1802(2).
6. Pérez, L., & Díaz, J. (2021). Visual simulation models in modern manufacturing: An industry 4.0 perspective. *Computers in Industry*, 127, 103399.
7. Müller, F. (2023). Comparative study of FlexSim, Arena and AnyLogic in manufacturing simulation. *Journal of Simulation*, 17(2), 90–105.
8. Emshoff & Simon, A. (1970). Rancang Ulang dan Simulasi. *Social Work*, ISSN: 2339-0042.
9. Khosnevis, B. (1994). *Discrete System Simulation*. New York: McGraw-Hill
10. Law, A. M. & kelton, D, (1991). *Simulation Modeling & Analysis* (2nd ed). New York: McGraw-Hill.

11. Harrel, C., Ghosh, B., & Bowden, R. (2004). *Simulation Using ProModel* 2nd Edition. New York: McGraw-Hill.
12. Heizer, J & Render, B. (2017). *Operation Management: Sustainability and Supply Chain Management*, 12th ed. New jersey: Pearson.
13. Groover, M. P. (2020). Automation, Production Systems, and Computer Integrated Manufacturing 5th ed. New Jersey: Pearson.