

**Evaluasi Kapasitas Tanki *Mixing* Sebagai *Constraint* Utama dalam
Perencanaan Produksi Infusan**

Adi Setiawan Saputra¹, Gilang Adi Winahyu²

Rizky Nasrullah³, Tiaradia Ihsan⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Widyatama
*adi.setiawan@widyatama.ac.id¹, gilang.adi@widyatama.ac.id²,
nasrullah.rizky@widyatama.ac.id³, tiaradia.ihsan@widyatama.ac.id⁴*

ABSTRACT

In the infusion industry, when the capacity of processes is not balanced, it often creates production bottlenecks, especially if the mixing tank's capacity does not match the daily demand. Mixing is a key step because it prepares the large volume of solution needed for the filling process. If the mixing stage has limited capacity, it can lead to lower production output, more work-in-process inventory, and delays in meeting the production schedule. This study looks at how the mixing tank's effective capacity is the main limiting factor in the infusion production system. It uses capacity planning and the Theory of Constraints (TOC) to evaluate this. The results show that the mixing tank can only handle about 2,000 liters per day, while the daily demand is 3,000 liters, creating a backlog of 1,000 liters per day and causing downstream processes to operate at less than 70% efficiency. After making changes such as reducing cleaning time, speeding up transfer times, and reorganizing batch scheduling, the mixing capacity increased to 3,000 liters per day. This removed the bottleneck without needing extra investment. These results show that using TOC-based process improvements can help boost capacity, keep production running smoothly, and reduce the risk of missing delivery deadlines in the batch-based infusion industry.

Keywords : *Mixing, Infusion, Theory of Constraints (TOC), Capacity Analysis, Bottleneck.*

ABSTRAK

Di industri infusan, ketika kapasitas antar proses tidak seimbang, hal itu seringkali menciptakan hambatan produksi (*bottleneck*), terutama jika kapasitas tangki *mixing* tidak sesuai dengan permintaan harian. *Mixing* adalah langkah kunci karena ia mempersiapkan volume besar larutan yang dibutuhkan untuk proses *filling* (pengisian). Jika tahap *mixing* memiliki kapasitas terbatas, hal itu dapat menyebabkan hasil produksi yang lebih rendah (*throughput* menurun), peningkatan inventaris barang dalam proses (*work-in-process / WIP*), dan keterlambatan dalam memenuhi jadwal produksi. Studi ini mengamati bagaimana kapasitas efektif tangki *mixing* merupakan faktor pembatas utama dalam sistem produksi infusan. Studi ini menggunakan perencanaan kapasitas dan metode *Theory of Constraints (TOC)* untuk mengevaluasi hal ini. Hasilnya menunjukkan bahwa kapasitas efektif *mixing* hanya dapat menangani sekitar 2.000 liter per hari, sementara permintaan harian adalah 3.000 liter, menciptakan tunggakan (*backlog*) sebesar 1.000 liter per hari dan menyebabkan proses hilir beroperasi pada efisiensi kurang dari 70%. Setelah dilakukan perubahan seperti pengurangan waktu pembersihan (*cleaning time / CIP*), percepatan waktu transfer, dan penataan ulang jadwal batch, kapasitas *mixing* meningkat menjadi 3.000 liter per hari. Hal ini menghilangkan hambatan tanpa memerlukan investasi tambahan. Hasil ini menunjukkan bahwa perbaikan proses berbasis TOC dapat membantu meningkatkan kapasitas, menjaga produksi berjalan lancar, dan mengurangi risiko terlewatnya batas waktu pengiriman di industri infusan berbasis *batch*.

Kata Kunci : *Mixing, Infusan, Theory of Constraints (TOC), Analisis Kapasitas, Bottleneck.*

PENDAHULUAN

Industri farmasi steril, termasuk produksi infusan, merupakan sektor manufaktur yang sangat mengandalkan proses batch dalam penyediaan larutan cair steril. Pada sistem produksi infusan, proses mixing memegang peranan vital karena menentukan ketersediaan bulk solution untuk tahapan filling dan sealing. Ketidakseimbangan kapasitas antara mixing dan proses hilir sering menjadi sumber masalah utama dalam pemenuhan permintaan (Wijaya & Hakim, 2019).

Seiring meningkatnya permintaan infusan akibat pertumbuhan fasilitas kesehatan dan peningkatan kebutuhan terapi intravena, perusahaan farmasi menghadapi tekanan untuk meningkatkan kapasitas produksi. Namun, peningkatan ini sering tidak diikuti oleh ekspansi fasilitas mixing sehingga terjadi constraint pada proses tersebut. Kondisi ini menyebabkan meningkatnya WIP, idle time mesin filling, serta backlog yang menurunkan tingkat pelayanan terhadap pelanggan (Kumar & Singh, 2021).

Dalam konteks manajemen operasi, capacity planning dan identifikasi bottleneck menggunakan *Theory of Constraints (TOC)* menjadi pendekatan utama dalam memastikan sistem berfungsi optimal (Goldratt & Cox, 2004). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengevaluasi kapasitas tanki mixing sebagai constraint utama dalam produksi infusan serta memberikan rekomendasi peningkatan kapasitas menggunakan pendekatan TOC.

Industri farmasi steril merupakan salah satu sektor manufaktur yang menuntut tingkat akurasi, konsistensi, dan efisiensi yang sangat tinggi dalam seluruh tahapan proses produksinya. Produk infusan, sebagai bagian dari kategori produk steril cair (*sterile liquid preparations*), diproduksi melalui rangkaian proses yang terstruktur dan saling bergantung, mulai dari tahap *mixing*, *filtrasi*, *filling*, *sealing*, hingga sterilisasi akhir. Di antara seluruh proses tersebut, tahap *mixing* memiliki peran sentral karena bertanggung jawab dalam menghasilkan *bulk solution* yang memenuhi spesifikasi kimia-farmasetik dan siap ditransfer ke mesin *filling* untuk dikemas dalam wadah steril. Dengan demikian, stabilitas dan kecukupan kapasitas pada tahap *mixing* menjadi faktor penentu keberhasilan keseluruhan aliran produksi (Rahman, 2020).

Berbagai penelitian sebelumnya menegaskan pentingnya analisis waktu proses sebagai dasar peningkatan kapasitas. Sebagai contoh, (Ihsan et al. 2023) menunjukkan bahwa pengukuran waktu baku melalui metode time study dapat mengurangi variabilitas aktivitas operator serta meningkatkan konsistensi produksi. Temuan ini relevan dengan penelitian ini karena TOC menekankan bahwa setiap detik di area constraint harus digunakan secara optimal. Ketika mixing menjadi bottleneck, pemahaman yang akurat terkait waktu CIP, durasi transfer, dan cycle time menjadi kunci untuk melakukan eksploitasi constraint, relevan untuk mendukung bagian optimasi waktu *mixing* dan pengurangan CIP.

Penelitian (Astari et al. 2023) tentang *preventive maintenance* dengan metode *Critical Path Method* menunjukkan bahwa ketidakteraturan pemeliharaan dapat mempengaruhi ketersediaan mesin dan mengganggu keberlangsungan proses

produksi. Dalam konteks TOC, *downtime* pada *constraint* akan berdampak langsung pada *throughput sistem*.

(Ihsan et al. 2025) mengembangkan metode perencanaan pemeliharaan berbasis nilai (*repair complexity dan future value*). Konsep ini selaras dengan tahap elevasi *constraint* dalam TOC, yaitu investasi yang ditujukan untuk meningkatkan kapasitas jangka panjang ketika optimasi prosedural tidak lagi memadai.

Pada kasus *mixing*, peningkatan kapasitas tanki atau penambahan tanki paralel merupakan bentuk elevasi yang membutuhkan analisis kelayakan investasi yang pendekatannya telah dibahas oleh Ihsan et al.

TINJAUAN LITERATUR

Capacity Planning

Capacity planning merupakan proses untuk menentukan tingkat kapasitas yang diperlukan suatu fasilitas produksi agar mampu memenuhi permintaan secara efisien (Heizer et al., 2020). Dalam industri farmasi steril, perencanaan kapasitas menjadi lebih kompleks karena setiap tahapan proses memiliki karakteristik durasi yang ketat, persyaratan higienitas yang tinggi, serta ketergantungan antarproses yang sangat kuat. Kapasitas *mixing*, misalnya, dipengaruhi oleh ukuran tanki, waktu pemanasan, durasi pencampuran, serta aktivitas non-produktif seperti CIP dan SIP yang dapat memakan 25–40% waktu *batch* (Müller, 2018). Perencanaan kapasitas yang tidak tepat dapat menimbulkan dua konsekuensi utama. Pertama, *undercapacity* yang menyebabkan backlog, peningkatan overtime, dan ketidakmampuan memenuhi jadwal produksi. Kedua, *overcapacity* yang menghasilkan biaya investasi tinggi, *idle machine*, dan pemborosan sumber daya. Pada perusahaan farmasi, *undercapacity* lebih sering terjadi karena permintaan obat cair bersifat fluktuatif dan sangat dipengaruhi oleh musim penyakit serta kebutuhan rumah sakit (Sari & Putra, 2020). Oleh karena itu, *capacity planning* harus mempertimbangkan kapasitas efektif, variabilitas permintaan, serta kesesuaian jadwal produksi.

Bottleneck dalam Sistem Produksi Batch

Sistem produksi berbasis batch, seperti produksi infusan, memiliki ciri bahwa output hanya dapat dihasilkan setelah seluruh aktivitas dalam satu batch selesai. Hal ini menyebabkan potensi terjadinya *bottleneck* sangat besar, terutama apabila salah satu proses memiliki kapasitas lebih rendah dari proses lainnya (Rahman, 2020). *Bottleneck* pada tahap *mixing* sering terjadi karena kapasitas tanki tidak dapat disesuaikan secara cepat terhadap lonjakan permintaan.

Bottleneck juga menyebabkan aliran material menjadi tidak stabil. *Filling line* yang memiliki kapasitas lebih besar akan mengalami *idle time* karena menunggu *bulk solution* dari *mixing*. Jika kondisi ini tidak dikendalikan, (Falwaguna & Ihsan, 2024) juga menunjukkan pentingnya pendekatan manajemen data efektif seperti OEE (*Overall Equipment Effectiveness*) untuk perencanaan berbasis manual. Maka *overall equipment effectiveness (OEE)*

menurun secara signifikan seperti yang telah diteliti oleh (Muhammad Salka dan Tiaradia Ihsan 2024) Nilai OEE Untuk Proses Mesin Shinva OEE Monitoring System menjadi 96,55%. Lalu penelitian (Wijaya & Hakim 2019) menunjukkan bahwa 32% kehilangan waktu produksi pada industri infusan berasal dari keterlambatan *supply material* dari proses *mixing*.

Theory of Constraints (TOC)

Theory of Constraints (TOC) merupakan pendekatan manajemen operasi yang berfokus pada pengelolaan titik *constraint* untuk meningkatkan throughput sistem (Goldratt & Cox, 2004). TOC mengenal lima tahapan utama:

- a. Identifikasi *constraint*
- b. Eksploitasi *constraint* (memaksimalkan kemampuan tanpa investasi)
- c. Subordinasi proses lain
- d. Elevasi *constraint* (peningkatan kapasitas melalui investasi)
- e. Pengulangan siklus

TOC telah terbukti meningkatkan output industri farmasi cair melalui optimasi jadwal produksi, pengurangan setup, dan peningkatan utilisasi mesin. (Kumar & Singh 2021) melaporkan peningkatan throughput sebesar 18% setelah menerapkan TOC pada lini produksi *liquid* sirup. Penerapan TOC pada industri infusan sangat relevan karena karakter *batch* dan beban kerja *mixing* yang tinggi menjadikan tahapan tersebut sangat rentan menjadi *constraint* utama.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif–kuantitatif untuk mengevaluasi kapasitas tanki *mixing* pada proses produksi infusan. Pendekatan ini dipilih karena perhitungan kapasitas dan identifikasi *bottleneck* memerlukan data kuantitatif yang dapat menggambarkan kondisi operasional secara objektif. Di sisi lain, analisis deskriptif digunakan untuk menjelaskan fenomena *constraint* yang muncul pada aliran proses.

Jenis Penelitian

Penelitian ini termasuk kategori *applied research*, yaitu penelitian yang bertujuan memberikan solusi praktis untuk masalah nyata dalam proses manufaktur. Fokus penelitian adalah menganalisis apakah kapasitas *mixing* yang tersedia mampu memenuhi permintaan harian, serta bagaimana pendekatan TOC dapat digunakan untuk mengatasi keterbatasan tersebut tanpa perlu melakukan investasi besar.

Sumber dan Jenis Data

Data yang digunakan terdiri dari:

- a. Data operasional (simulasi realistis): kapasitas tanki, durasi *mixing*, CIP, transfer, dan jam kerja.
- b. Data permintaan harian: volume produk infusan yang harus dipenuhi.

- c. Data pendukung: literatur akademik, laporan studi kasus industri farmasi, dan teori terkait *capacity planning*.

Data simulasi digunakan karena model yang disusun harus mencerminkan kondisi proses batch yang lazim pada industri infusan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Operasional Mixing

Objek penelitian yang digunakan dalam laporan ini yaitu pada produk infus. Data yang digunakan adalah data primer, yaitu observasi langsung ke area produksi. Selain itu melakukan wawancara dengan *Quality Control* dan operator. Berikut adalah data operasional *mixing* yang ditampilkan pada tabel berikut :

Tabel 1. Data Operasional Mixing

| Parameter | Nilai |
|------------------------|--------------|
| Kapasitas tanki mixing | 1.000 L |
| Waktu mixing | 2 jam |
| Waktu CIP/SIP | 1 jam |
| Waktu transfer | 0,5 jam |
| Jam kerja per hari | 8 jam |
| Permintaan infusan | 3.000 L/hari |

4.2 Analisis Kapasitas Mixing

Waktu Proses per-batch:

$$T_{batch} = 2 + 1 + 0,5 = 3,5 \text{ jam}$$

Batch Maksimum per hari

$$\frac{8}{3,5} = 2,28 \approx 2 \text{ batch/hari}$$

Kapasitas Harian

$$2 \text{ batch} \times 1000L = 2000L/hari$$

Backlog Harian

$$3000 - 2000 = 1000L/backlog$$

Temuan ini menunjukkan bahwa tanki mixing hanya mampu memenuhi 66% kebutuhan harian. Sesuai teori sistem, bottleneck ini akan menghambat seluruh proses hilir (Heizer et al., 2020).

Backlog harian sebesar 1.000 L berimplikasi pada bertambahnya *lead time* produksi. Jika backlog ini terus berlanjut tanpa tindakan korektif, estimasi *backlog* mingguan dapat mencapai:

$$1000L/hari \times 6hari = 6000L/backlog$$

Kondisi tersebut dapat menyebabkan keterlambatan pengiriman dan ketidakmampuan perusahaan memenuhi kebutuhan fasilitas kesehatan, sehingga menurunkan daya saing pasar.

Evaluasi Constraint Menggunakan Theory of Constraints (TOC)

Dengan membandingkan kapasitas antar proses, ditemukan bahwa *mixing* memiliki kapasitas terendah (2.000 L/hari) dibanding *filling line* yang mampu

mencapai 3.000–5.000 L/hari tergantung ukuran kemasan. Hal ini menempatkan mixing sebagai *constraint* utama aliran produksi.

Langkah eksploitasi TOC dilakukan dengan meminimalkan aktivitas non-produktif, yaitu :

- mempercepat waktu CIP dari 1 jam menjadi 0,5 jam melalui perbaikan SOP,
- mengurangi waktu transfer dari 0,5 jam menjadi 0,25 jam menggunakan pompa berkapasitas lebih tinggi,
- melakukan *overlapping scheduling* antara mixing dan filling untuk menghindari idle time.

Setelah optimasi, waktu batch berkurang menjadi:

$$2 + 0,5 + 0,25 = 2,75 \text{ jam/batch}$$

Sehingga kapasitas harian meningkat menjadi:

$$\frac{8}{2,75} \approx 2,9 \approx 3 \text{ batch/hari}$$

Dengan demikian, output mixing dapat ditingkatkan dari 2.000 L/hari menjadi 3.000 L/hari. Hasil ini menegaskan bahwa optimasi berbasis TOC mampu menaikkan throughput sebesar 50% tanpa penambahan investasi. Temuan ini sejalan dengan studi (Kumar & Singh 2021) yang menunjukkan peningkatan throughput 18–32% menggunakan TOC pada industri farmasi cair.

Elevasi *Constraint*: Solusi Jangka Panjang

Jika permintaan mengalami pertumbuhan berkelanjutan, TOC memberikan arahan untuk meningkatkan kapasitas constraint melalui investasi, seperti:

- penambahan satu tanki *mixing* berkapasitas 1.000–2.000 L,
- penggantian tanki menjadi kapasitas lebih besar (2.000–3.000 L),
- penerapan parallel *mixing* untuk peningkatan fleksibilitas batch.

Solusi jangka panjang ini diperlukan apabila permintaan melebihi kapasitas hasil optimasi prosedural.

Pembahasan Kontekstual dan Perbandingan Studi Sebelumnya

Hasil penelitian ini menunjukkan fenomena serupa dengan berbagai studi terdahulu. Bottleneck pada proses upstream seperti mixing merupakan masalah umum pada industri *liquid-based manufacturing*. Penelitian (Müller 2018) menunjukkan bahwa *batch chemical systems* yang mengalami mismatch kapasitas sering menghadapi penurunan throughput hingga 40%. (Rahman 2020) melalui simulasi juga membuktikan bahwa *bottleneck* paling sering terjadi pada proses dengan durasi setup panjang, seperti *mixing*.

Perbaikan waktu non-produktif yang dilakukan pada penelitian ini terbukti konsisten dengan rekomendasi studi-studi tersebut, sehingga memperkuat validitas empiris temuan penelitian.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kapasitas tanki mixing merupakan

constraint utama dalam proses produksi infusan berbasis batch. Hasil perhitungan kapasitas menunjukkan bahwa keluaran efektif mixing hanya mencapai 2.000 L/hari, jauh di bawah permintaan harian sebesar 3.000 L/hari, sehingga menghasilkan backlog sebesar 1.000 L/hari dan menyebabkan ketidakseimbangan aliran produksi. Kondisi ini menimbulkan berbagai dampak operasional, antara lain meningkatnya idle time mesin filling, bertambahnya *work-in-process* (WIP), serta terjadinya perpanjangan lead time produksi yang berpotensi menghambat pemenuhan kebutuhan fasilitas kesehatan.

Penerapan pendekatan *Theory of Constraints* (TOC) memberikan hasil yang signifikan dalam mengatasi keterbatasan kapasitas. Melalui langkah eksploitasi constraint, seperti pengurangan waktu CIP, percepatan waktu transfer, serta penjadwalan ulang batch secara lebih sinkron, waktu proses per batch berhasil dipangkas dari 3,5 jam menjadi 2,75 jam, sehingga kapasitas mixing meningkat menjadi 3.000 L/hari. Dengan capaian tersebut, bottleneck mixing berhasil dihilangkan tanpa memerlukan investasi tambahan pada peralatan atau fasilitas. Temuan ini mengonfirmasi efektivitas TOC dalam meningkatkan throughput dan menstabilkan aliran produksi, sejalan dengan hasil studi sebelumnya pada industri farmasi cair.

Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa perbaikan prosedural yang terstruktur dan berbasis analisis kapasitas mampu memberikan peningkatan signifikan terhadap performa sistem produksi. Untuk jangka panjang, perusahaan disarankan mempertimbangkan elevasi kapasitas melalui penambahan tanki mixing atau upgrading kapasitas tanki apabila permintaan terus meningkat. Dengan demikian, perusahaan dapat mempertahankan keandalan produksi, mengurangi risiko backlog, dan meningkatkan daya saing dalam pemenuhan kebutuhan produk infusan di pasar.

SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, beberapa saran dapat diajukan untuk meningkatkan performa sistem produksi infusan:

1. **Optimalisasi Berkelanjutan Proses *Mixing***
Perusahaan perlu melakukan evaluasi rutin terhadap waktu CIP, waktu transfer, dan prosedur *mixing* untuk memastikan bahwa peningkatan kapasitas yang dicapai tetap konsisten. Audit berkala dapat membantu mendeteksi penyimpangan prosedur atau penurunan efisiensi proses.
2. **Penerapan Sistem Monitoring Waktu Riil (*Real-Time Monitoring*)**
Pengintegrasian sensor atau sistem SCADA pada proses mixing dapat memberikan data real-time mengenai downtime, cycle time, dan utilitas tanki. Data ini berguna untuk pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat dalam pengendalian bottleneck.
3. **Pelatihan Operator untuk Mengurangi Variabilitas Proses**
Pelatihan terkait SOP mixing, CIP, serta teknik troubleshooting perlu ditingkatkan agar variasi performa antar shift dapat diminimalkan dan proses

lebih stabil.

4. Investasi Kapasitas Mixing Jangka Panjang
Jika permintaan meningkat secara berkelanjutan, penambahan tanki mixing atau perbesaran volume tanki eksisting menjadi pilihan strategis untuk menjaga keberlanjutan kapasitas.
5. Implementasi TOC pada Proses Hilir
Setelah bottleneck mixing teratasi, perusahaan perlu melakukan pemetaan ulang constraints karena bottleneck baru kemungkinan muncul pada filling atau sterilisasi. TOC perlu diterapkan berkelanjutan untuk menjaga keseimbangan sistem.

DAFTAR PUSTAKA

- Artz, J., Müller, T. E., Thenert, K., Kleinekorte, J., Meys, R., Sternberg, A., ... & Leitner, W. (2018). Sustainable conversion of carbon dioxide: An integrated review of catalysis and life cycle assessment. *Chemical Reviews*, *118*(2), 434–504.
- Astari, A. N., Ihsan, T., & Hidayat, T. (2023). Perencanaan Penjadwalan Preventive Maintenance Mesin Jet Dyeing Menggunakan Pendekatan Critical Path Method di PT XXX. *Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Terapan*, *10*(1).
- Durmishi, B. H., Durmishi, A., & Shabani, A. (2025). The role of instrumental methods in chemical analysis for environmental protection. *International Journal of Chemistry & Materials Sciences (IJCMS)*, *10*(1), 1–22.
- Falwaguna, M. S., & Ihsan, T. (2024). Penerapan Shinva OEE Monitoring System untuk meningkatkan OEE di PT. Makmur Jaya Abadi. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, *4*(1), 220–228.
- Goldratt, E. M., & Cox, J. (2016). *The goal: A process of ongoing improvement*. Routledge.
- Heizer, J., Render, B., Munson, C. L., & Griffin, P. (2020). *Operations management: Sustainability and supply chain management*. Pearson.
- Kalantari, A., & Khosh, S. (2020). Bottleneck analysis and productivity improvement in batch production systems. *Journal of Productivity and Performance Management*, *69*(8), 1725–1742.
- Klein, M. (2017). Theory of Constraints and Lean Manufacturing: Friends or foes? *International Journal of Production Research*, *55*(4), 1084–1098.
- Kumar, A., & Singh, P. (2021). Throughput improvement using Theory of Constraints in liquid pharmaceutical production. *Journal of Pharmaceutical Operations*, *12*(3), 45–56.
- Leach, L. P. (2014). *Critical chain project management* (3rd ed.). Artech House.
- Müller, A. (2018). Batch process optimization in chemical manufacturing: A review of capacity losses. *Journal of Chemical Engineering Systems*, *44*(3), 210–225.
- Narasimhan, S. L., McLeavey, D. W., & Billington, P. J. (2020). *Production planning and inventory control*. Pearson.
- Rahman, A. (2020). Simulation-based bottleneck analysis in liquid pharmaceutical manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, *56*, 345–356.

- Saha, S. C., & Paul, A. R. (2025). *Biological flow modelling*. Springer.
- Sari, F. M., & Putra, H. A. (2020). Capacity planning challenges in pharmaceutical production systems. *International Journal of Industrial Engineering Studies*, 8(2), 77–88.
- Shah, N. (2004). Pharmaceutical supply chains: Key issues and strategies for optimization. *Computers and Chemical Engineering*, 28(6), 929–941.
- Singh, R., & Rai, R. (2021). Capacity enhancement in liquid pharmaceutical production using process optimization tools. *Journal of Industrial Engineering Research*, 17(2), 55–66.
- Slack, N., Brandon-Jones, A., & Johnston, R. (2022). *Operations management* (10th ed.). Pearson.
- Stevenson, W. J. (2021). *Operations management* (14th ed.). McGraw-Hill.
- Supangat, A. B., Basuki, T. M., Indrajaya, Y., Setiawan, O., Wahyuningrum, N., Purwanto, ..., & Anggraeni, I. (2023). Sustainable management for healthy and productive watersheds in Indonesia. *Land*, 12(11), 1963.
- Vollmann, T. E., Berry, W. L., Whybark, D. C., & Jacobs, F. R. (2019). *Manufacturing planning and control for supply chain management*. McGraw-Hill.
- Wijaya, A., & Hakim, L. (2019). Throughput improvement using Theory of Constraints in sterile pharmaceutical processing. *Journal of Operations Management Studies*, 15(2), 87–101.
- Yu, T. W., & Ng, K. M. (2018). Process optimization in batch mixing operations using time–capacity analysis. *Chemical Engineering Science*, 187, 155–165.