



PAPER – **OPEN ACCESS**

Perencanaan Produksi Lampu Emergency pada Material Requirement Planning dengan Menggunakan Metode Algoritma Wagner Within dan Economic Order Quantity (EOQ)

Author : Dhede Pristi Afrinda, dan Muhammad Fahryan
DOI : 10.32734/ee.v6i1.1910
Electronic ISSN : 2654-7031
Print ISSN : 2654-7031

Volume 6 Issue 1 – 2023 TALENTA Conference Series: Energy and Engineering (EE)



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NoDerivatives 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/).
Published under licence by TALENTA Publisher, Universitas Sumatera Utara



Perencanaan Produksi Lampu *Emergency* pada *Material Requirement Planning* dengan Menggunakan Metode Algoritma Wagner Within dan *Economic Order Quantity* (EOQ)

Dhede Pristi Afrinda*, Muhammad Fahryan

Magister Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara
dhedepriestia@gmail.com, mfahryan4@gmail.com

Abstrak

Manajemen persediaan merupakan usaha untuk mengelola serta menentukan kebutuhan persediaan yang dilakukan oleh perusahaan sehingga akan ada keseimbangan antara permintaan dan investasi persediaan. PT. ABC bergerak dibidang produksi Lampu *Emergency* dan mempunyai permasalahan mengenai tidak terkoordinasinya bahan untuk proses produksi. Sebagai solusi atas permasalahan tersebut, dibutuhkan pendekatan pengadaan bahan baku yang sesuai. Dalam studi ini, metode *Economic Order Quantity* (EOQ) dan *Wagner Within* (WW) digunakan. Biaya total persediaan dengan metode Wagner-Within total diperoleh sebesar Rp 3.580.000. Sementara untuk metode *Economic Order Quantity* diperoleh harga total sebesar Rp 34.466.700.

Kata Kunci: *Economic Order Quantity*; Jadwal Produksi Induk; *Material Requirement Planning*; Perencanaan; *Wagner-Within*

Abstract

Inventory management is an effort to manage and determine inventory needs carried out by the company so that there will be a balance between supply demand and investment. PT. ABC is engaged in the production of Emergency Lights and has problems regarding uncoordinated materials for the production process. To overcome these problems, it is necessary to procure the right method of raw materials. In this study using the Economic Order Quantity(EOQ) and Wagner Within (WW) styles. The total cost of inventory using the Wagner-Within method is Rp. 3,580,000. Meanwhile, for the Economic Order Quantity method, a total price of IDR 34,466,700 is obtained.

Keywords: *Economic Order Quantity*; Master Production Schedule; *Material Requirement Planning*; Planning; *Wagner-Within*

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Persediaan adalah benda milik industri yang dapat diproses menjadi produk baru untuk dijual, dijual kembali, atau digunakan sebagai bagian tambahan dari item yang diproduksi. Persediaan merupakan aset bisnis yang cukup penting dan menggunakan sebagian besar sumber daya keuangan bisnis yang harus disediakan untuk menjalankan bisnis seperti biasa. Manajemen persediaan merupakan usaha untuk mengelola serta menentukan kebutuhan persediaan

yang dilakukan oleh perusahaan sehingga akan ada keseimbangan antara permintaan dan investasi persediaan. Manajemen persediaan memegang peran penting dalam proses manufaktur karena sangat membantu dalam memprediksi ketidakpastian termasuk waktu kedatangan bahan baku, cacat proses manufaktur, perubahan tingkat pesanan, dll. Inventarisasi dilakukan di dalam perusahaan untuk memastikan kelancaran proses industri. Jika perusahaan mengalami *shortage inventory* maka resiko yang timbul adalah keterlambatan proses industri, dan sebaliknya jika terjadi *overstock inventory* maka akan menimbulkan penumpukan berakibat pada munculnya masalah baru. Tujuan akhir dari semua kegiatan peramalan adalah memperkirakan kebutuhan modal. Setelah persyaratan modal operasi produksi diketahui, kebijakan penetapan harga dan laba lebih mudah diterapkan. PT. ABC bergerak di bidang produksi lampu *emergency*. Perusahaan masih memiliki permasalahan terkait tidak terkoordinasinya material yang dibutuhkan dalam proses produksi. Untuk mengatasi masalah tersebut, diperlukan metode pengadaan bahan baku yang tepat.

Penerapan sistem perencanaan kebutuhan bahan diperlukan untuk memenuhi kebutuhan material dengan benar dan biaya persediaan dapat ditentukan sejauh mungkin. Berdasarkan uraian tersebut, penulis menganalisis dan memberikan saran tentang perencanaan inventarisasi sumber daya. Dengan memperhatikan masalah di atas, penelitian ini berfokus pada masalah penerapan metode MRP Metode ini digunakan untuk kalkulasi perencanaan persediaan material produksi Lampu *Emergency* untuk meminimalkan biaya produksi[1].

Penerapan MRP bagi perusahaan dapat memberikan informasi mengenai kebutuhan material, biaya persediaan yang dapat ditentukan dan mengkalkulasi perencanaan persediaan material lampu *emergency* untuk meminimalkan biaya produksi. Berdasarkan permasalahan tersebut peneliti menganalisis tentang bahan baku yang dibutuhkan sehingga proses produksi akan bisa berjalan sesuai rencana yang telah dibuat.

Dariusz Milewski (2022) Metode yang diusulkan oleh penulis makalah ini merupakan solusi inovatif untuk masalah *Economic Order Quantity* dan tingkat *safety stock* yang optimal. Dira Ernawati (2021) Dari hasil tersebut, usulan metode Algoritma *Wagner within* diterima serta digunakan sebagai sebuah patokan untuk PT XYZ dalam merencanakan dan mengendalikan persediaan material pada periode berikutnya.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian memiliki tujuan untuk merencanakan kebutuhan bahan dengan biaya paling optimal antara metode algoritma wagner within dan *economic order quantity*.

2. Landasan Teori

2.1. Aggregate planning

Perencanaan agregat adalah proses menggabungkan berbagai sumber daya yang tersedia dalam suatu organisasi menjadi lebih umum serta menyeluruh. Melalui prakiraan permintaan serta kapasitas pabrik, pasokan pekerja, dan *input* produksi yang berdampingan, sehingga perlu menentukan tingkat produksi pabrik antara 3 dan 10 hingga 18 bulan ke depan [2].

2.2. Master Production Schedule (MPS)

Sesuai American Production and Inventory Control Society (APICS), rencana produksi induk adalah pernyataan tentang apa yang perlu diproduksi perusahaan, yang pada gilirannya menjadi urutan penjadwalan pilihan yang memandu skema Perencanaan Kebutuhan Material (MRP). Ini mewakili apa perusahaan bermaksud untuk

memproduksi dan dinyatakan dalam konfigurasi, jumlah dan tanggal tertentu. Rencana induk bukanlah merupakan perkiraan penjualan, yang mewakili deklarasi permintaan. Ini harus mempertimbangkan banyak hal lain seperti permintaan, ketersediaan material, *pending order*, proyeksi tingkat persediaan akhir, ketersediaan kapasitas, kebijakan manajerial dan tujuan [3].

2.3. *Rough Cut Capacity Planning (RCCP)*

Cukup tidaknya *resource* yang direncanakan untuk implementasi MPS ditentukan oleh *Rough Cut Capacity Planning (RCCP)*. RCCP menerapkan pengertian dari unit beban produk, yakni profil produk-beban. Dengan mengalikan unit muatan dengan jumlah produk yang diharapkan selama suatu periode, akan mendapatkan beban total per interval untuk setiap stasiun kerja. MPS dipindahkan ke proses MRP untuk menentukan material, komponen, dan sub-rakitan yang dibutuhkan setelah proses RCCP menunjukkan bahwa MPS layak [4].

2.4. *Material Requirements Planning (MRP)*

Material Requirements Planning (MRP) adalah sebuah teknik yang bergantung pada permintaan yang menggunakan *bill of material*, inventori, penerimaan yang diharapkan, dan MPS untuk penentuan kebutuhan material. Sebelum produksi dimulai, MRP juga berguna untuk meramalkan kebutuhan material yang dibutuhkan. Ini dapat membantu mencegah *overstock* bahan dengan cara mengontrol pembelian bahan [5].

2.5. *Tujuan Material Requirements Planning (MRP)*

Sistem MRP memiliki tujuan sebagai berikut[6].

1. Meminimalkan Inventori
MRP menentukan jumlah serta waktu untuk suatu komponen dibutuhkan berdasarkan Jadwal Induk Produksi (JIP). Sehingga pengadaan (pembelian) untuk rencana produksi yang akan memberikan biaya persediaan yang minimal.
2. Meminimalkan resiko akibat keterlambatan produksi atau pengiriman
MRP menentukan jumlah bahan serta bagian yang dibutuhkan serta waktu pengadaan dengan mempertimbangkan waktu tunggu, sehingga meminimalkan resiko bahan tidak tersedia yang mengganggu jalannya rencana produksi.
3. Komitmen yang realistis
Jadwal produksi yang diikuti berdasarkan rencana MRP, akan menghasilkan komitmen pengiriman yang lebih realistis, sehingga konsumen akan memiliki rasa kepuasan dan kepercayaan.
4. Meningkatkan efisiensi
MRP meningkatkan efisiensi dengan cara mengoptimalkan penjadwalan produksi berdasarkan informasi mengenai persediaan, waktu produksi, dan waktu pengiriman yang terdapat dalam Jadwal Induk Produksi (JIP).

2.6. *Langkah-langkah MRP*

Langkah dalam penyusunan MRP sebagai berikut [7].

1. Proses *Netting*

Netting adalah penghitungan jumlah kebutuhan bersih setiap periode, yakni perbedaan antara total kebutuhan dengan persediaan awal yang ada. *Input* yang diperlukan selama perhitungan *net requirement* adalah:

- *Gross requirement* setiap periode
- *Inventory on hand*
- *Scheduled receipts*

2. Proses *Lotting*

Lotting adalah penetapan ukuran pesanan (ukuran lot) optimal untuk suatu barang sesuai dengan *net demand* yang diperoleh.

3. Proses *Offsetting*

Memilih waktu yang sesuai untuk melaksanakan strategi kontrol dengan mempertimbangkan kebutuhan kebersihan yang harus terpenuhi. Dalam menentukan waktu pemesanan, diperhitungkan jumlah kebutuhan bersih dan waktu anjang-ancang.

4. Proses *Exploding*

Exploding adalah proses perhitungan tiga proses terdahulu (*netting*, *lotting*, dan *offsetting*) untuk barang pada level di bawahnya berdasarkan rencana pemesanan. Data struktur produk serta *bill of material* sangat penting dalam proses ini karena sebagai penentu arah *exploding* komponen.

2.7. Metode *Lot Sizing* dalam MRP

Metode *Lot Sizing* pada MRP[8]:

1. *Lot For Lot* (LFL)

Metode yang berdasarkan konsep penjadwalan, dilaksanakan dengan memperhatikan minimalisasi biaya penyimpanan berdasarkan *net demand*. Ukuran lot untuk setiap tahap sama dengan *net requirement* yang dibutuhkan.

2. *Economic Order Quantity* (EOQ)

Metode ini bertujuan untuk mengurangi total biaya persediaan dengan mengeliminasi biaya pesan dan biaya simpan.

3. *Period Order Quantity* (POQ)

Metode ini menerapkan konsep pengaturan waktu yang konsisten untuk pemesanan, namun memiliki jumlah pemesanan yang beragam. Kuantitas pesanan merupakan jumlah keinginan yang dinyatakan dalam jangka waktu tertentu.

3. Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan perhitungan *Material Requirement Planning* (MRP), dengan langkah sebagai berikut [9].

1. Identifikasi produk yang akan diproduksi dan jadwal produksinya [10].

Perusahaan harus mengidentifikasi produk senter LED yang akan diproduksi dan menentukan jadwal produksinya untuk mengetahui jumlah material yang diperlukan serta waktu material tersebut harus tersedia [11].

2. Pengumpulan data permintaan dan inventaris material [12]

Data permintaan produk dan inventaris material harus dikumpulkan dan dianalisis. Data ini meliputi jumlah produk yang dibutuhkan dalam setiap periode, jumlah material yang tersedia, dan waktu pengiriman *material* dari pemasok, [13].

3. Perhitungan kebutuhan material [14]
Berdasarkan data permintaan dan inventaris material, perusahaan harus menghitung kebutuhan material mempergunakan algoritma *wagner within* serta *economic order quantity* yang diperlukan untuk memproduksi produk yang diinginkan. Perhitungan ini meliputi perhitungan jumlah *material* yang dibutuhkan untuk setiap periode [15].
4. Penjadwalan pembelian material [16]
Setelah produksi direncanakan, perusahaan harus menentukan jadwal pembelian material dari pemasok untuk memastikan bahwa bahan baku tersedia tepat waktu dan sesuai dengan kebutuhan produksi [17].
5. Pengendalian persediaan material [18]
Perusahaan harus melakukan pengendalian persediaan material untuk memastikan persediaan selalu cukup dan terkendali. Perusahaan harus memonitor persediaan material yang tersedia dan mengambil tindakan yang tepat jika terjadi ketidaksesuaian antara kebutuhan produksi dan persediaan material yang tersedia [19]

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Katias dan Affandi pada tahun 2018, dijelaskan mengenai beberapa langkah yang ada dalam metode Algoritma Wagner Within:

1. Tahap pertama dalam perencanaan adalah menghitung jumlah biaya keseluruhan untuk setiap alternatif pemesanan selama periode perencanaan. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut
 $O_{en} = A + h \sum_{t=c}^n q_{en} - q_{et}$ untuk $1 \leq e \leq n \leq N$
2. Langkah kedua dalam perhitungan adalah untuk menghitung f_n , yang merupakan biaya terendah dari periode e hingga periode n dengan asumsi bahwa persediaan di akhir periode n adalah nol. Rumus yang digunakan untuk menghitung ini adalah n :
 $f_n = \text{Min} [O_{en} + f_{e-1}]$ untuk $e = 1, 2, \dots, n$ dan $n = 1, 2, \dots, N$
3. Langkah ketiga dalam proses ini adalah mengubah nilai f_N menjadi ukuran lot dengan mengacu pada ketentuan sebagai berikut.

Tabel 1. Penjabaran f_N ke dalam Ukuran Lot Pemesanan

$f_N = O_{eN} + f_{e-1}$	Pemesanan terbaru terjadi selama periode e untuk memenuhi permintaan dari periode e sampai N .
$f_{e-1} = O_{ve-1} + f_{v-1}$	Pemesanan sebelum pemesanan terakhir harus dilakukan pada periode v agar bisa memenuhi permintaan dari periode v sampai periode sebelum e
$f_{u-1} = O_{1u-1} + f_0$	Untuk memenuhi permintaan dari periode 1 hingga $u-1$, pemesanan pertama harus dilakukan pada periode 1

Menurut Handoko (1994), metode EOQ dapat digunakan jika terpenuhi asumsi berikut:

1. Permintaan produk konstan, seragam dan diketahui (deterministik)
2. Harga satuan produk konstan
3. *Holding cost* per unit tahunan konstan
4. Biaya pemesanan per pesanan (S) konstan
5. *Lead time* konstan
6. Tidak ada kekurangan barang atau *back orders*

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Penentuan Kapasitas Produksi per Periode

Tabel 2 menampilkan informasi mengenai permintaan dan kapasitas produksi yang tercatat., dan data rekapitulasi biaya pada Tabel 3.

Tabel 2. Permintaan Produk dan Kapasitas Produksi Lampu *Emergency*

Periode	Permintaan	Kapasitas		
		<i>Regular Time</i>	<i>Over time</i>	Sub kontrak
1	1116	1066	145	15000
2	1073	1270	172	15000
3	1146	1320	179	15000
4	1072	1219	165	15000
5	1090	1320	179	15000
6	1047	1270	172	15000
7	1061	1320	179	15000
8	1179	1320	179	15000
9	1156	1270	172	15000
10	1200	1117	152	15000
11	1059	1320	179	15000
12	1019	1270	172	15000

Tabel 3. Perhitungan Total Biaya Rumah Tangga, Biaya Ekstra, dan Biaya Kontraktor Tambahan

Jumlah Tenaga Kerja	Waktu <i>Standard</i>	Biaya		
		<i>Regular Time</i> (unit)	<i>Overtime</i> (unit)	Subkontrak
Sekarang	0,2892	16.807	249.493	397.990
Usulan I	0,2844	17.911	265.870	397.990
Usulan II	0,1574	16.768	248.913	397.990

4.2. Master Production Schedule

Total biaya produksi diperoleh dengan mengalikan setiap kapasitas dengan biayanya masing-masing. Dari hasil perhitungan yang diperoleh, dipilih dua alternatif yaitu jumlah tenaga kerja dan kapasitas produksi yang optimal. Hasil yang optimal didapat pada tenaga kerja usulan II pada Tabel 4.

Tabel 4. Kapasitas Produksi untuk Tenaga Kerja Usulan II

Bulan	Hari Kerja	Jam kerja efektif	overtime	WS	Tenaga Kerja	Kapasitas		
						RT	OT	SK
1	21	14,69	2	0,1574	44	1960	266	15000
2	25	14,69	2	0,1574	44	2333	317	15000
3	26	14,69	2	0,1574	44	2427	330	15000
4	24	14,69	2	0,1574	44	2240	305	15000
5	26	14,69	2	0,1574	44	2427	330	15000
6	25	14,69	2	0,1574	44	2333	317	15000
7	26	14,69	2	0,1574	44	2427	330	15000
8	26	14,69	2	0,1574	44	2427	330	15000
9	25	14,69	2	0,1574	44	2333	317	15000
10	22	14,69	2	0,1574	44	2053	279	15000
11	26	14,69	2	0,1574	44	2427	330	15000
12	25	14,69	2	0,1574	44	2333	317	15000

4.3. Material Requirement Planning

Berdasarkan perhitungan MRP menggunakan metode algoritma *Wagner Within* dan metode algoritma *Economy Order Quantity*, dapat diperoleh total ongkos produksi untuk setiap komponen. Rekapitulasi POREl selama 12 periode berdasarkan metode algoritma *Wagner Within* ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Rekapitulasi Ongkos MRP

Kode Produk	Nama Komponen	Ongkos Persediaan	
LE	Lampu <i>Emergency</i>	Metode WW	Metode EOQ
A-1	Set Badan Lampu <i>Emergency</i>	290.000	2.018.400
A-2	Set Lampu <i>Emergency</i>	230.000	1.600.800
A-3	Set Resistor	280.000	3.320.800
B-1	Kerangka Colokan	99.000	908.600
B-2	Tombol <i>ON/ OFF</i>	90.000	677.000
B-3	Handling	171.000	1.286.300
B-4	Penutup	261.000	3.862.800
B-5	Baterai	153.000	3.078.700
B-6	Kerangka Penutup Lampu	180.000	1.384.000
B-7	Set Lampu TL LED	360.000	2.172.000
B-8	Kabel Biru Colokan 1	171.000	3.862.700
B-9	Kabel Biru Colokan 2	171.000	1.314.800
B-10	Kabel Merah Baterai	171.000	1.597.900
B-11	Kabel Hitam Baterai	171.000	1.314.800

Kode Produk	Nama Komponen	Ongkos Persediaan	
LE	Lampu Emergency	Metode WW	Metode EOQ
B-12	Kabel Merah Lampu	171.000	1.314.800
B-13	Kabel Hitam Lampu	171.000	1.314.800
B-14	Lampu Merah	270.000	2.076.000
B-15	Tombol ON/ OFF Dalam	90.000	692.000
C-1	Baut 1	40.000	370.000
C-2	Baut 2	40.000	299.500
Total Biaya		3.580.000	34.466.700

5. Kesimpulan

Perhitungan kebutuhan material dengan menggunakan teknik *lotting Wagner Within* dan *Economic Order Quantity* diperoleh total biaya yang diperlukan dengan menggunakan algoritma *wagner within* sebesar Rp 3.580.000. Sementara algoritma *economic order quantity* menghasilkan biaya total sebesar Rp 34.466.700. Berdasarkan total biaya yang dibutuhkan antara kedua metode, maka dapat diperoleh metode dengan biaya paling optimal adalah metode *wagner within*.

Referensi

- [1] Haslindah, A. S. Iriani, M. Ardi, and Zulkifli, "Penerapan Manajemen Persediaan dalam Mengantisipasi Kerugian Barang Dagangan di Toko Mega Jilbab," *Manajemen dan Perbankan Syariah*, vol. 2, 2020.
- [2] I. Sukendar and R. Kristomi, "Metoda Agregat Planning Heuristik Sebagai Perencanaan dan Pengendalian Jumlah Produksi untuk Minimasi Biaya," in *Seminar Nasional Teknoin*, 2008.
- [3] N. M. St and Ardiansyah, "Analisis Kelayakan Kapasitas Produksi dengan Metode RCCP (Studi Kasus PT. Sewangi Sejati Luhur)," *SURYA TEKNIKA*, vol. 5, no. 1, 2017.
- [4] S. S. Sadiq, A. M. Abdulazeez, and H. Haron, "Solving Multi-Objective Master Production Schedule Problem Using Memetic Algorithm," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 18, no. 2, 2020.
- [5] S. G. P. Bachmid, A. K. T. Dundu, and J. B. Mangare, "Manajemen Persediaan Material dengan Menggunakan Economic Order Quantity pada Preservasi Jalan Beton Simpang Niam-Lubuk Kambing 1, Jambi," *TEKNO*, vol. 21, no. 83, 2023.
- [6] A. Nugroho, D. Andwiyani, and M. Hasanudin, "Analisis dan Aplikasi MRP (Material Requirement Planning) (Studi Kasus PT. X)," *Jurnal Ilmiah FIFO*, vol. 10, no. 2, 2018.
- [7] I. Limbong, "Manajemen Pengadaan Material Bangunan dengan Menggunakan Metode MRP (Material Requirement Planning) Studi Kasus: Revitalisasi Gedung Kantor BPS Propinsi Sulawesi Utara," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 1, no. 6, 2013.
- [8] A. Susmita and B. J. Cahyana, "Pemilihan Metode Permintaan dan Perencanaan Kebutuhan Bahan Baku dengan Metode MRP di PT. XYZ," *Jurnal UMJ*, 2018.
- [9] S. Sinulingga, *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*. Medan: USU Press, 2022.
- [10] G. P. Georgiadis, A. P. Elekidis, and M. C. Georgiadis, "Optimization-Based Scheduling for the Process Industries: From Theory to Real-Life Industrial Applications," *Processes*, vol. 7, no. 438, 2019.
- [11] S. Mohammadi, S. M. J. M. A. Hashem, and Y. Rekik, "An Integrated Production Scheduling And Delivery Route Planning With Multi-Purpose Machines: A Case Study From A Furniture Manufacturing Company," *Int J Prod Econ*, 2020.
- [12] I. T. Pineda, Y. D. Lee, Y. S. Kim, M. S. Lee, and K. S. Park, "Review Of Inventory Data In Life Cycle Assessment Applied In Production Of Fresh Tomato In Greenhouse," *J Clean Prod*, 2021.

- [13] P. Munasinghe, A. Druckman, and D. G. K. Dissanayake, "A Systematic Review Of The Life Cycle Inventory Of Clothing," *Journal of Cleaner Production* , 2021.
- [14] G. K. , Beekman-Love and L. Nieger, "Introduction to Materials Management," in *Materials management : a Systems Approach*, 1978.
- [15] S. M. C. Panjaitan and E. Aryanny, "Analisis Pengendalian Persediaan Bahan Baku Kain dengan Metode Analisis Always Better Control (ABC) dan Algoritma Wagner Within di PT. XYZ," *Tekmapro : Journal of Industrial Engineering and Management*, vol. 15, no. 2, 2020.
- [16] M. Mohammadi, "Designing an Integrated Reliable Model for Stochastic Lot-Sizing and Scheduling Problem in Hazardous Materials Supply Chain Under Disruption and Demand Uncertainty," *J Clean Prod*, vol. 274, 2020.
- [17] C. Scheller, K. Schmidt, and T. S. Spengler, "Decentralized Master Production and Recycling Scheduling of Lithium-Ion Batteries: a Techno-Economic Optimization Model," *Journal of Business Economics*, vol. 91, no. 2, 2021.
- [18] G. Fragapane, D. Ivanov, M. Peron, F. Sgarbossa, and J. O. Strandhagen, "Increasing Flexibility and Productivity in Industry 4.0 Production Networks With Autonomous Mobile Robots and Smart Intralogistics," *Ann Oper Res*, vol. 308, no. 1–2, 2022.
- [19] N. Shahrubudin, "An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications," *Procedia Manuf*, vol. 35, 2019.