

Pemodelan Multi *Channel* dengan *Lotsize* Berbeda: Menggunakan Pendekatan Kontinyu

C D Indrawati^{*1}, P S Murdapa²

^{1,2}Program Studi Rekayasa Industri Fakultas Teknik Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

E-mail: chdian.indrawati@ukwms.ac.id¹, petrus.setya@ukwms.ac.id²

Abstrak. Pusat perhatian pada artikel ini ialah bagian pencabangan distribusi (*channel* distribusi) pada suatu sistem *supply chain*. *Lotsize* pada masing-masing *channel* tersebut bisa berbeda-beda. Durasi-durasi waktu proses/kegiatan diasumsikan terdistribusi eksponensial. Konsep *system dynamics* digunakan untuk pemodelannya. Diambil contoh dua *channel* untuk mewakili multi *channel*. Hasil perhitungan terhadap satu contoh kasus menunjukkan kesesuaian perilaku antara model numerik *system dynamics* dengan model konseptualnya, dalam hal ini terutama pada konsep mekanisme (R, r) dan profil kurva *state of the system* seturut waktu. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa cara kontinyu dapat memudahkan pemodelan dibandingkan dengan cara diskrit, dengan hasil yang tidak jauh berbeda.

Kata kunci: mekanisme (R, r), multi channel, *channel lotsize* berbeda-beda, metode kontinyu, *system dynamics*

Abstract. The center of attention in this paper is the distribution channel in a supply chain system. *Lotsize* on each of these channels can be different. Process / activity time durations are assumed to be exponentially distributed. The concept of system dynamics is used for the modelling. In this case, two channels are taken as an example to represent multi-channel. The results of the calculation of one example case show the conformity of behaviour between the numerical model of system dynamics and the conceptual model, especially on the concept of mechanism (R, r) and the curve profile of the state of the system over time. The results of this study indicate that the continuous method can facilitate modelling compared to the discrete method, with results that are not much different.

Keywords: (R, r)-mechanism, multi-channel, different lotsize of each channels, continuous method, system dynamics.

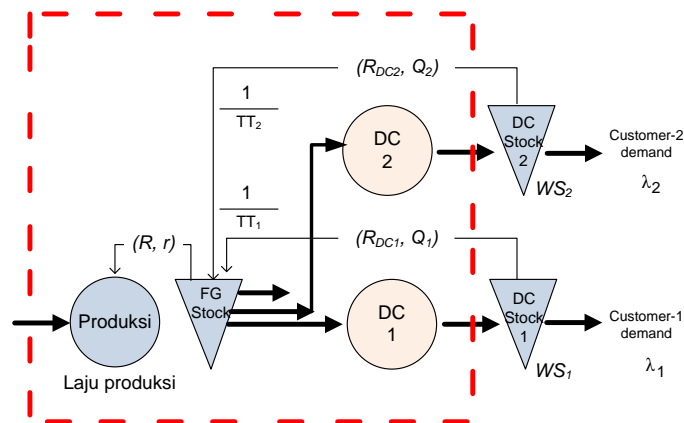
1. Pendahuluan

Persoalan multi *channel* terdapat pada sistem *supply chain*. Pada kondisi riil, sistem *supply chain* akan tersusun dari beberapa *channel* distribusi. Pada tiap *channel* dapat juga tersusun beberapa *channel* penjualan ritel. Jika dipilih suatu pabrik sebagai *focal echelon*, maka pada sisi hilir dari pabrik tersebut dapat terbentuk multi *channel* majemuk, sehingga terdapat suatu sistem *supply chain* yang kompleks.

Pemodelan sistem *supply chain* kompleks dengan menggunakan model performansi untuk bagian multi *channel* dapat dilihat pada [1], di mana pemodelan dilakukan dengan menganalogikan kasus multi *channel* sebagai suatu sistem antrian multi *server*. Suatu pendekatan markovian dapat saja dikembangkan, namun masih terdapat asumsi yang kurang realistis pada model yang dibangun, yaitu bahwa *lotsize* pengiriman di tiap *channel* adalah sama besarnya. Jika asumsi ini dilepaskan, maka terjadi persoalan *crosslinking* antar-*state* yang menyebabkan perumusan pola transisi *state* sulit dilakukan.

Teknik pemodelan secara kontinu menggunakan konsep *system dynamics* yang dikembangkan oleh [2],[3] dan [4] dapat digunakan dengan menganggap entitas sistem merupakan suatu fluida (kontinu). Teknik *system dynamics* ini kini sudah diaplikasikan untuk memodelkan berbagai jenis sistem diskrit ([5], [6], [7], [8]).

Dengan memodelkan pengiriman sebagai pemrosesan yang terjadi di *distribution center* (atau di *channel*) maka sistem riil dapat dimodelkan secara konseptual dalam bentuk diagram yang berpola eselon-warehouse-eselon (ditunjukkan oleh simbol $\mathbf{O} - \nabla - \mathbf{O}$) seperti terlihat pada Gambar 1. Fokus pembahasan dalam paper ini ialah **Produksi – FGStock – DC_i** (lihat [1], [9], [10], [11], [12]) dalam kotak dengan garis putus-putus.



Gambar 1. Model Konseptual Sub-Sistem Multi Channel pada Sistem Supply Chain

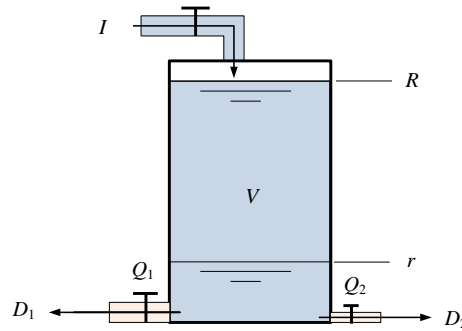
Kegiatan produksi untuk memenuhi permintaan dari beberapa *channel* distribusi (atau *distribution center*, DC) dilakukan dengan mekanisme (R, r) . Dengan mekanisme tersebut maka produksi akan berlangsung secara *stop and go*. Ketika *stock* produk di gudang **FGStock** kurang dari r unit, maka produksi akan dimulai. Produksi akhirnya berhenti ketika *stock* mencapai R unit atau lebih. Karena ada pengiriman ke tiap *channel* dengan *lotsize* Q_i ($i = 1, 2, \dots$) maka *stock* berkurang. Ketika *stock* kurang dari r unit maka produksi pun dimulai lagi. Demikian untuk seterusnya siklus akan terus berulang. Tiap DC memiliki *warehouse* (**DCStock_i**) yang mengontrol tingkatan *stock*-nya dengan mekanisme (R_{DCi}, Q_i) .

Pemodelan secara kontinu dapat menghindarkan dari persoalan *crosslinking* dan pola *state-transition* yang tidak teratur yang terjadi jika pemodelan dilakuakn secara matematis. Untuk itu penelitian ini menggunakan metode kontinu. Pertanyaan pada penelitian ini ialah bagaimana proses produksi dengan mekanisme (R, r) dan pengiriman ke tiap *channel* dengan *lotsize* Q_i dalam suatu sistem *supply chain* multi *channel* (dalam hal ini diwakili dengan dua *channel*) dapat dimodelkan dengan *system dynamics*?

2. Metode

2.1. Pemodelan

Dengan menganggap entitas pada sistem *supply chain* sebagai suatu material kontinu (fluida), maka Gambar 1 dapat dianalogikan sebagai suatu bak berkapasitas V (satuan volum, misalnya liter) di mana terdapat sejumlah lubang penyaluran (D_1 dan D_2) di bagian bawahnya. Bak tersebut akan mewakili *FGStock*, dan besaran I ialah laju produksi yang diberikan oleh pabrik (dalam satuan liter/satuan waktu). Dua batas level fluida dalam bak, ialah R (*stopping point*) dan r (*reproduction point*), yang masing-masing merupakan batas-batas produksi harus berhenti dan harus mulai). Ini terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Sistem bak dengan dua saluran pengeluaran (D_1 dan D_2) dan satu saluran pengisian (I)

Dalam kasus yang dibahas, I akan bersifat probabilistik karena waktu proses tiap liter fluida (yang mewakili tiap unit entitas pada sistem aslinya) diasumsikan terdistribusi eksponensial dengan rata-rata t_0 satuan waktu/liter. Dengan kata lain, laju produksi akan terdistribusi Poisson dengan rata-rata $\mu_0 = 1/t_0$ liter/satuan waktu. Sementara itu, waktu antar kedatangan *demand* dari tiap *channel* yang dianggap terdistribusi eksponensial dengan rata-rata t_i ($i = 1, 2, \dots$) mengakibatkan laju pengiriman D_i (pengiriman/satuan waktu, ($i = 1, 2, \dots$)) juga akan terdistribusi Poisson dengan rata-rata $1/t_i$. Maka besarnya D_i pada saat t akan bersifat biner: 0 atau Q_i liter/pengiriman ($i = 1, 2, \dots$). Ringkasan persoalannya dapat dinyatakan ke dalam sistem persamaan berikut:

$$\frac{dV}{dt} = I - D_1 - D_2 \quad (1)$$

dengan:

$$I = \begin{cases} I_0 & \text{jika } V \leq r \text{ hingga } V \geq R \\ 0 & \text{jika } V > r \text{ hingga } V \leq R \end{cases} \quad (2)$$

$$D_1 = \begin{cases} Q_1 & \text{jika demand dari channel - 1 datang} \\ 0 & \text{jika demand dari channel - 1 tidak datang} \end{cases} \quad (3a)$$

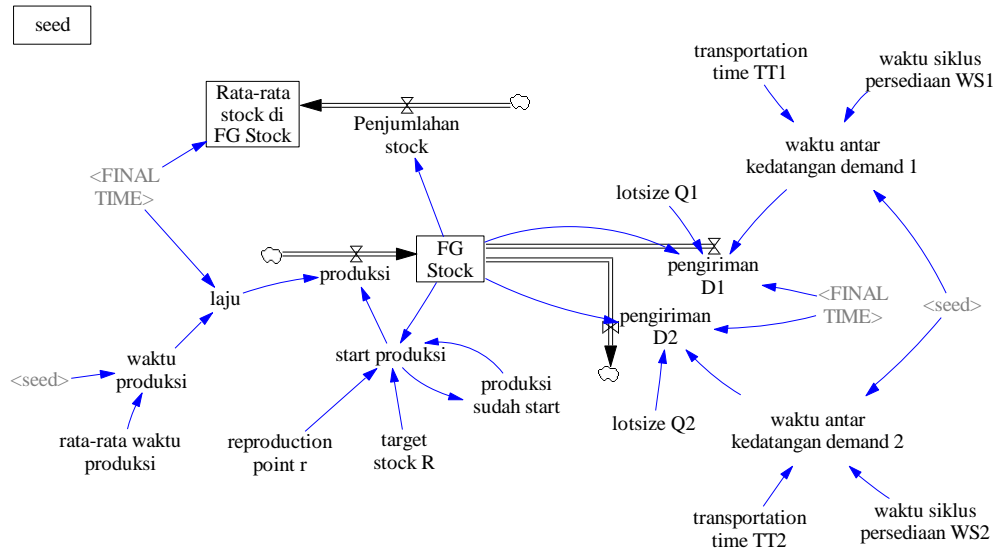
$$D_2 = \begin{cases} Q_2 & \text{jika demand dari channel - 2 datang} \\ 0 & \text{jika demand dari channel - 2 tidak datang} \end{cases} \quad (3b)$$

di mana:

Waktu siklus produksi terdistribusi eksponensial dengan rata-rata $1/I_0$.

Waktu antar-kedatangan *demand* di *channel*- i terdistribusi eksponensial dengan rata-rata t_i .

Dengan model *system dynamics*, sistem persamaan tersebut dapat diselesaikan dengan relatif mudah. Model *system dynamics* yang sesuai dinyatakan dalam diagram *stock and flow* (SFD) pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Diagram *stock and flow* (dalam VENSIM® PLE for Windows Version 5.11A) untuk kasus yang dikaji dengan gambar.

2.2. Contoh numerik

Sebagai gambaran, penggunaan model *system dynamics* dapat dilihat pada Gambar 3, dan dimisalkan kasus hipotetik sebagai tertulis pada Tabel 1.

Tabel 1 Parameter untuk Kasus Hipotetik

Lotsize channel-1, Q_1	= 5 unit
Lotsize channel-2, Q_2	= 10 unit
Reproduction point, r	= 10 unit
Target stock, R	= 25 unit
Transp. time to Channel-1, TT_1	= 5/24 satuan waktu (misalnya hari), terdistribusi eksponensial
Inventory cycle time of Channel-1, WS_1	= 2500/24 satuan waktu (misalnya hari), terdistribusi eksponensial
Transp. time to Channel-2, TT_2	= 5/24 satuan waktu (misalnya hari), terdistribusi eksponensial
Inventory cycle time of Channel-2, WS_2	= 1500/24 satuan waktu (misalnya hari), terdistribusi eksponensial
Laju produksi, I	= 4 unit/satuan waktu (misalnya: unit/hari), terdistribusi Poisson (atau waktu produksi = $expo(0,25)$ satuan waktu)

Parameter input pada Tabel 1 di-entry-kan ke model Vensim bersama dengan kuantifikasi tiap variabel pada diagram. Kesemuanya dituliskan sebagai berikut.

FG Stock = INTEG(produksi-pengiriman D1-pengiriman D2,10)
Units: unit

FINAL TIME = 250
Units: Day
The final time for the simulation.

INITIAL TIME = 1
Units: Day
The initial time for the simulation.

laju= lotsize produksi*PULSE TRAIN(0, 0.01 , waktu produksi, FINAL TIME)
Units: units/Day

lotsize Q1= 5
Units: unit

lotsize Q2 = 10
Units: unit

pengiriman D1= lotsize Q1*IF THEN ELSE(FG Stock<lotsize Q1, 0 , PULSE TRAIN(0, 0.01 ,
waktu antar kedatangan demand 1 , FINAL TIME))
Units: unit

pengiriman D2= lotsize Q2*IF THEN ELSE(FG Stock<lotsize Q2, 0 , PULSE TRAIN(0, 0.01 ,
waktu antar kedatangan demand 2 , FINAL TIME))
Units: unit

Penjumlahan stock = FG Stock
Units: unit

produksi= start produksi * laju
Units: unit/Day

produksi sudah start= DELAY FIXED (start produksi,0,0)
Units: dmnl

"Rata-rata stock di FG Stock"= INTEG(Penjumlahan stock/FINAL TIME,0)
Units: unit

"rata-rata waktu produksi"= 6/24
Units: Day

reproduction point r = 10
Units: unit

SAVEPER = 0.125

Units: Day [0,?]

The frequency with which output is stored.

seed = 31

Units: dmn1

start produksi=IF THEN ELSE(produksi sudah start:AND:FG Stock <target stock R, 1, IF THEN ELSE(FG Stock < reproduction point r,1,0))

Units: unit/Day

target stock R = 25

Units: unit

TIME STEP = 1

Units: Day [0,?]

The time step for the simulation.

transportation time TT1 = 5/24

Units: Day

transportation time TT2 = 5/24

Units: Day

waktu antar kedatangan demand 1=

RANDOM EXPONENTIAL(0,1e+012,0,(transportation time TT1+waktu siklus persediaan WS1), seed)

Units: Day

waktu antar kedatangan demand 2=

RANDOM EXPONENTIAL(0,1e+012,0,(transportation time TT2+waktu siklus persediaan WS2), seed)

Units: Day

waktu produksi=

RANDOM EXPONENTIAL(0,1e+012,0,("rata-rata waktu produksi"), seed)

Units: Day

waktu siklus persediaan WS1 = 2500/24

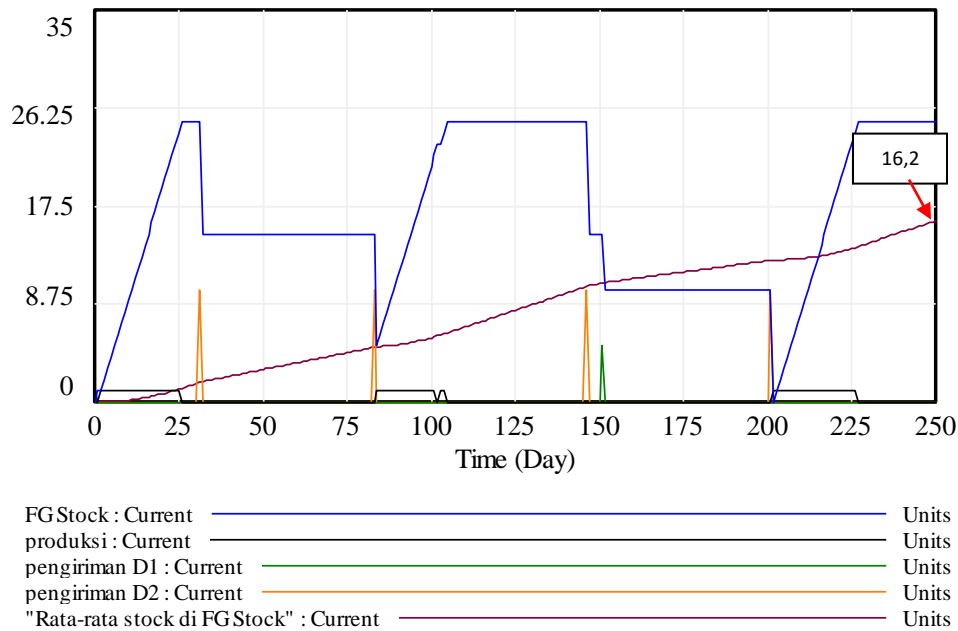
Units: Day

waktu siklus persediaan WS2 = 1500/24

Units: Day

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil model diperlihatkan pada Gambar 4. Terlihat pada Gambar 4, bahwa panjang waktu siklus persediaan produk jadi di FGStock bervariasi, yang disebabkan oleh acaknya waktu antar kedatangan *demand* dari tiap *channel*. Mekanisme produksi (R, r) terlihat sudah terakomodasi dalam model secara benar. Saat *stock* mencapai R , maka aktivitas produksi berhenti. Ketika aktivitas produksi berhenti, *stock* tetap akan terus berkurang seiring dengan pengiriman produk ke semua *channel*. Ketika *stock* mencapai sama/kurang dari r , aktivitas produksi akan dimulai kembali.



Gambar 4. Output dari model *system dynamics* untuk variabel-variabel: *stock level* di FGStock, produksi, pengiriman ke *channel-1* (D_1), pengiriman ke *channel-2* (D_2), dan rata-rata *stock* di FGStock

Run hingga $t = 250$ days memberikan rata-rata *stock* 16,2 unit (*random seed* = 31). Nilai rata-rata ditunjukkan oleh angka pada kotak di ujung kanan-atas kurva. Karena laju produksi dan laju pengiriman merupakan variabel *random*, maka akan diperoleh beberapa nilai FGStock rata-rata. Tabel 2 menampilkan hasil dari 10 *run* yang diperoleh dengan mengubah-ubah nilai *seed*, yang menghasilkan *mean* = 16,0 unit dan deviasi standar = 1,3 unit.

Tabel 2. Output dari model *system dynamics*

Replikasi	Seed	FG Stock rata-rata, unit/hari	Replikasi	Seed	FG Stock rata-rata, unit/hari
1	31	16,2	6	13	14,6
2	317	19,0	7	51	15,4
3	3	17,4	8	17	17,4
4	7	17,2	9	29	15,2
5	11	21,0	10	1	17,5

Model dari sistem analog harus dibandingkan kinerjanya dengan model lain. Dalam hal ini model lain itu ialah model simulasi diskrit yang disusun dalam software ARENA[®]. *Run* simulasi dilakukan dengan *input* yang disetarakan dengan *input* pada model *system dynamic*. Sepuluh replikasi dicantumkan di Tabel 3. Sedangkan, Tabel 4 menampilkan uji beda antara sampel replikasi dari model *system dynamics* dan sampel replikasi dari model simulasi diskrit dengan menggunakan JASP.

Tabel 3. Perbandingan Hasil *Run* Model *System Dynamics* dan Model Simulasi

Metode	Rata-rata <i>stock</i> di FG Stock										Rata-rata	Dev.st.
<i>System dynamic</i>	14,6	15,4	17,4	15,2	17,5	14,6	15,4	17,4	15,2	17,5	16,0	1,3
Simulasi	19,5	17,2	15,9	18,7	14,7	17,2	15,1	20,7	16,1	13,1	16,8	2,3

Tabel 4. Uji Beda Hasil *Run* Model *System Dynamics* dan Model Simulasi

Independent Samples T-Test				
	Test	Statistic	df	p
Avg FGStock	Student	-0.956	18.000	0.352
	Welch	-0.956	13.875	0.356
	Mann-Whitney	42.000		0.570

Berdasarkan nilai-*p* yang dihasilkan dapat disimpulkan bahwa hasil *run* dari model *system dynamics* tidak berbeda dengan hasil *run* dari model simulasi diskrit.

4. Kesimpulan

Pemodelan pada seksi *distribution channeling* perlu dilakukan karena pada umumnya sistem *supply chain* hampir selalu memiliki beberapa *distribution center*. Jika *lotsize* pengiriman ke tiap *channel* distribusi berbeda-beda, maka pemodelan akan menjadi rumit meskipun asumsi Markovian diberikan. Hal ini disebabkan oleh adanya *crossing transition* antar-*state*-nya. Dalam penelitian ini, digunakan pemodelan secara *system dynamics*. Dengan cara pemodelan tersebut entitas dianggap sebagai entitas kontinyu (seperti fluida) yang mengalir. Adanya kontrol-kontrol aliran yang terlibat menyebabkan terjadinya diskretisasi entitas menjadi kembali seperti *nature* sesungguhnya pada entitas tersebut.

Hasil perhitungan pada suatu contoh kasus menunjukkan hasil yang sama dengan hasil simulasi diskrit. Model dapat dikatakan generik karena beberapa kondisi yang lebih kompleks dapat ditambahkan. Misalnya, jumlah *channel* dapat dengan mudah ditambah hingga tak terbatas (meskipun dalam penelitian ini hanya diambil kasus dua *channel* saja). Model yang dihasilkan dapat melengkapi model sistem *supply chain* kompleks yang berguna untuk menunjang perkuliahan ataupun penerapan praktis kasus-kasus perancangan sistem *supply chain* untuk produk tertentu.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan rekan sivitas akademika dan LPPM Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya.

Referensi

- [1] Murdapa, P. S.. (2021), Modeling the multi-channel section in the supply chain system using the multiserver queue analogy, *Jurnal Teknik Industri*, Vol. 23, No.1, pp. 47-54
- [2] Forrester, J.,(1968), *Urban Dynamics*, Pegasus Communication, Inc. Waltham
- [3] Forrester, J., (1971), *World Dynamics*, 2nd edition, Wright-Allen Press, Inc. Cambridge, Massachusetts
- [4] Sterman, J.D., (2000), *Business Dynamics: System Thinking and Modeling for A Complex World*, Irwin McGraw-Hill Companies, Inc., Boston
- [5] Lee, CF. and Chung, CP., (2012), An Inventory Model for Deteriorating Items in a Supply Chain with System Dynamics Analysis, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 40, pp. 41 – 51
- [6] Golroudbary, S. R. And Zahraee, S. M., (2015), System dynamics model for optimizing the recycling and collection of waste material in a closed-loop supply chain, *Simulation Modelling Practice and Theory*, Volume 53, April 2015, pp. 88-102
- [7] Keilhacker, M. L. And Minner, S., (2017), Supply chain risk management for critical commodities: A system dynamics model for the case of the rare earth elements, *Resources, Conservation & Recycling*, 125, pp. 349–362
- [8] Zhao, Q., Chang, R., Ma, J., and Wu, C., (2019), System dynamics simulation-based model for coordination of a three-level spare parts supply chain, *International Transactions in Operational Research*, 0, pp. 1–27, DOI: 10.1111/itor.12664
- [9] Karaman, A, and Altiok, T. R. (2009). Approximate analysis and optimization of batch ordering policies in capacitated supply chains, *European Journal of Operational Research*, 193, pp. 222–237
- [10] Saetta, S., Paolini, L., Tiacci, L. and Altiok, T., (2012), A decomposition approach for the performance analysis of a serial multi-echelon supply chain, *International Journal of Production Research*, 50(9), pp. 2380–2395
- [11] Murdapa, P. S., Pujawan, I N., Karningsih, P.D., and Nasution, A. H., (2019), A numerical analysis model involving carbon emissions in a single echelon supply chain systems with two distribution channels: A preliminary model proposed, The 6th International Conference of Industrial Engineering and Applications (ICIEA), IEEE, Waseda, Japan
- [12] Murdapa, P. S., Pujawan, I N., Karningsih, P.D., and Nasution, A. H., (2020), Incorporating carbon emissions in queuing models to determine lot sizes and inventory buffers in a supply chain, *International Journal of Intelligent Enterprise*, Vol 7, No. 4, pp. 373-390