

Sistem Persamaan Linier Aljabar *Max-Plus* untuk Mengoptimalkan Waktu Produksi Otok Goreng Khas Madura

Suci Rohani, Rica Amalia, Tony Yulianto, Faisol

Universitas Islam Madura

Email: sucirohani808@gmail.com.

DOI <https://doi.org/10.31102/zeta.2018.4.1.12-17>

ABSTRACT

Every company has a goal to improve the products produced. But in this case the production process of each company must be faced any problems, one of which is the increasingly competitive level of competition that occurs in fried otok companies, especially Otok Goreng HLM H, which requires to determine the amount of production in order to meet market demand on time and the amount accordingly so that it is expected to increase profits from the factory itself. Optimization of production and scheduling time can be modeled using the linear *max-plus* time invariant theory in a Discrete Event System (DES) where the activity time is in the form of real numbers. Optimization results of the Otok Goreng HLM H production time with the Invariant Time *Max-Plus* Linear System method, namely the biggest sub-settlement obtained optimal ordering results for the time of ordering as much as 4 times with the fastest time to start production at 07.00 am to 09.50 am, the consumer those who have ordered Otok Goreng HLM H can take the order at 02.03 pm to 4.53 pm or later.

Keywords: *Max-Plus Linear Algebra System Invariant Time, Production System, Optimization*

ABSTRAK

Setiap perusahaan memiliki tujuan untuk meningkatkan produk yang dihasilkan. Namun dalam hal ini pada proses produksi setiap perusahaan pasti dihadapkan pada beberapa persoalan salah satunya tingkat persaingan yang semakin kompetitif seperti yang terjadi pada perusahaan otok goreng khususnya Otok Goreng HLM H yang mengharuskan untuk menentukan jumlah produksinya agar dapat memenuhi permintaan pasar dengan tepat waktu dan jumlah yang sesuai sehingga diharapkan dapat meningkatkan laba dari pabrik itu sendiri. Optimalisasi waktu produksi dan penjadwalan dapat dimodelkan menggunakan teori Sistem linear *max-plus* waktu invariant (SLMI) dalam Sistem Event Diskret (SED) dimana waktu aktifitasnya berupa bilangan real. Hasil optimalisasi waktu produksi Otok Goreng HLM H dengan metode Sistem Linier *Max-Plus* Waktu Invariant (SLMI) yaitu subpenyelesaian terbesarnya diperoleh hasil pemesanan yang optimal untuk waktu pemesanannya sebanyak 4 waktu dengan waktu tercepat memulai produksi pada pkl 07.00 WIB hingga pkl 09.50 WIB, maka konsumen yang telah memesan Otok Goreng HLM H dapat mengambil pesanannya pada pkl 14.03 WIB hingga pkl 16.53 WIB atau setelahnya.

Keywords: *Sistem Linier Aljabar Max-Plus Waktu Invariant, Sistem Produksi, Optimalisasi.*

1. PENDAHULUAN

Madura merupakan pulau yang terletak di sebelah timur laut Jawa Timur. Pulau Madura kaya akan kuliner dan makanan khasnya. Hal ini menjadi peluang bagi industri kecil untuk mengembangkan usahanya dalam hal membuat buah tangan. Salah satu makanan khas Madura yang banyak diminati masyarakat luar kota seperti di daerah Jawa adalah otok goreng. Otok goreng adalah otok camilan khas Madura yang terbuat dari biji kacang panjang dan dibumbui dengan bumbu khas Madura. Otok goreng dapat ditemukan dengan mudah di toko oleh-oleh yang ada di Madura. Setiap industri dari otok goreng ini juga memiliki merek dagang tersendiri, seperti otok goreng HLM H yang berada di Kabupaten Pamekasan tepatnya di Desa Waru Barat Kecamatan Waru. Pabrik HLM H merupakan pabrik yang bergerak di bidang industri yakni memproduksi otok

goreng. HLM H diambil dari nama sepasang suami istri pemilik pabrik itu sendiri yaitu Halimi Halimah. Sudah banyak produsen otok goreng yang tersebar luas di Madura sehingga hal ini menyebabkan tingkat persaingan yang semakin kompetitif. Oleh karena itu, produsen-produsen ini khususnya HLM H mengharuskan untuk merencanakan atau menentukan jumlah produksinya agar dapat memenuhi permintaan pasar dengan tepat waktu dan jumlah yang sesuai sehingga diharapkan dapat meningkatkan laba dari pabrik itu sendiri.

Optimalisasi waktu produksi dan penjadwalan dapat dimodelkan menggunakan teori aljabar *max-plus*. Penelitian tentang metode *Aljabar Max-Plus* telah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya, diantaranya oleh Arifin pada tahun 2012 mengenai sistem persamaan linear aljabar *max-plus* waktu invariant (SLMI) dan penjadwalan produksinya

untuk mengoptimalkan waktu produksi Bakpia Patok Jaya “25” daerah istimewa Yogyakarta. Dengan metode ini diperoleh jadwal periodik yang diharapkan dapat menjadi acuan dalam menentukan waktu memulai produksi dan waktu penyelesaian produk.

Kegiatan produksi pabrik otok goreng HLM H sangat erat kaitannya dengan penggunaan waktu dan jumlah tenaga kerja yang efektif. Dari permasalahan tersebut aljabar *max-plus* bisa dijadikan cara untuk mengoptimalkan waktu produksi dan sistem produksi sehingga diharapkan waktu produksi dapat digunakan secara efektif dan efisien.

Permasalahan dalam penelitian ini adalah bagaimana hasil optimalisasi waktu produksi otok goreng HLM H dengan metode Sistem Linier *Max-Plus* waktu *Invariant* (SLMI) dalam Sistem *Event Diskret* (SED) Aljabar *Max-Plus* yang bertujuan untuk mengoptimalkan waktu produksi sehingga hasil produksi dapat memenuhi permintaan konsumen dan pemesanannya dapat dilayani tepat waktu.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Event Diskret (SED)

Aljabar *max-plus* dapat digunakan untuk menggambarkan secara linier dinamika waktu dari suatu sistem nonlinier dalam aljabar konvensional, sehingga pembahasan menjadi lebih mudah. Pendekatan aljabar *max-plus* berguna untuk menentukan dan menganalisa berbagai sifat sistem, tetapi pendekatan hanya bisa diterapkan pada sebagian klas SED. Sub klas ini adalah sub klas dari waktu invarian SED *deterministik* (Arifin, 2012). Tujuan utama dari jenis sistem *event diskret* dapat dijabarkan menggunakan model sistem linier *max-plus* waktu *invariant* sebagai berikut :

$$\begin{aligned}x(k+1) &= A \otimes x(k) \oplus B \otimes u(k) \\y(k) &= C \otimes x(k)\end{aligned}\quad (1)$$

2.2. Sistem Linier Max-Plus Waktu Invariant (SLMI)

Sistem Linier Max-Plus Waktu Invariant adalah Sistem Event Diskret (SED) yang dapat dinyatakan dalam persamaan berikut :

$$\begin{aligned}x(k+1) &= A \otimes x(k) \oplus B \otimes u(k+1) \\y(k) &= C \otimes x(k)\end{aligned}$$

untuk $k = 1, 2, 3, \dots$, dengan kondisi awal $x(0) = x_0$, $A \in \mathbb{R}_{max}^{n \times n}$, $B \in \mathbb{R}_{max}^{n \times m}$, $C \in \mathbb{R}_{max}^{l \times n}$. Vektor $x(k) \in \mathbb{R}_{max}^n$ menyatakan keadaan (*state*), $u(k) \in \mathbb{R}_{max}^m$ adalah vektor input, dan $y(k) \in \mathbb{R}_{max}^l$ adalah vektor output sistem saat waktu ke- k . (Schutter, 1996)

SLMI seperti dalam definisi diatas secara singkat akan dituliskan dengan SLMI (A, B, C) dan dituliskan dengan SLMI (A, B, C, x_0) , jika kondisi awal $x(0) = x_0$ diberikan. SLMI dengan satu *input* dan satu *output* akan disebut *SLMI satu input satu output* (SISO). Sedangkan SLMI dengan lebih dari

satu *input* dan lebih dari satu *output* akan disebut *SLMI multi input multi output* (MIMO).

3. METODE PENELITIAN

Data yang diambil merupakan data primer yang diperoleh dari perusahaan otok goreng HLM H di Waru Barat Waru Pamekasan tentang waktu produksi yang biasa dilakukan dan proses produksinya. Variabel yang diambil dalam penelitian ini adalah waktu produksi dan proses produksi. Sedangkan sampel yang diambil dalam penelitian diambil pada bulan Januari tahun 2018.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

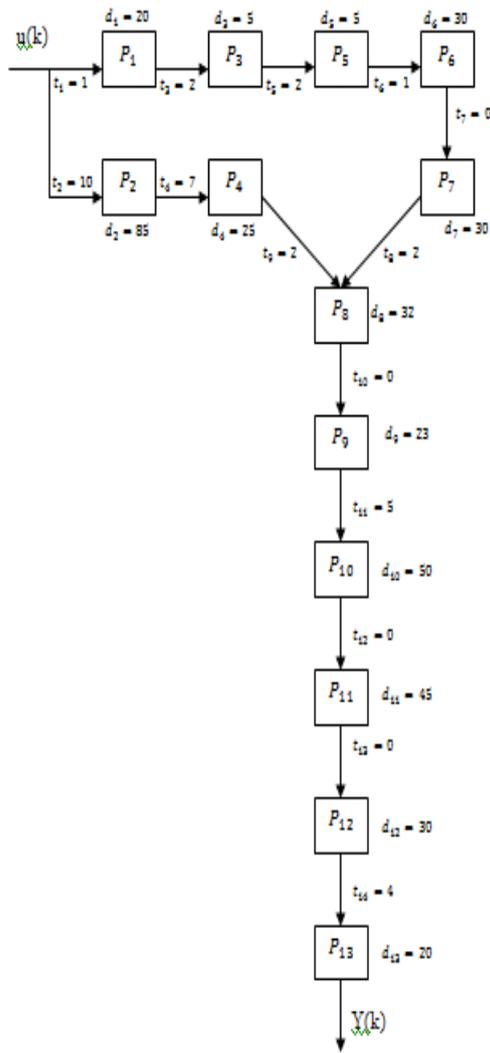
4.1. Asumsi-Asumsi dalam Sistem Produksi Otok Goreng HLM H

Penggunaan SLMI pada sistem produksi Otok Goreng HLM H diasumsikan sebagai berikut :

1. Waktu perhitungan dilakukan untuk proses produksi secara kontinu.
2. Waktu untuk mempersiapkan bahan-bahan yang akan diproses tidak diperhatikan atau dianggap 0 ($u(1) = 0$) dimana $k = 0$ sehingga k dimulai dari 1, 2, 3...
3. Waktu dibatasi sampai barang siap untuk dipasarkan sehingga dalam hal ini t ke-14 bernilai 0. Suatu unit pemrosesan hanya dapat mulai bekerja untuk suatu produk yang baru, jika telah menyelesaikan proses produk sebelumnya.
4. Matriks dalam sistem persamaannya merupakan matriks kontan, yaitu tidak tergantung pada parameter k sehingga sistemnya merupakan sistem waktu *invariant*.
5. Dalam sekali produksi menggunakan 100 kg biji kacang panjang.
6. Diasumsikan kegiatan produksi dilakukan dengan jadwal produksi yang periodik.
7. Proses produksi tidak mengalami gangguan dan tidak mengalami cacat pada produk.
8. Waktu referensi yang digunakan untuk memulai kegiatan produksi adalah jam 07.00 WIB.

4.2. Bagan Pemodelan Produksi Otok Goreng HLM H

Berdasarkan hasil penelitian produksi Otok Goreng HLM H Waru dapat digambarkan dalam bentuk bagan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Pemodelan Produksi Otok Goreng HLM H

Keterangan :

- t_i =Waktu proses pemindahan bahan yang akan diproses, $i = 1,2,3,\dots,14$
- d_1 =Waktu saat Proses pengupasan bahan-bahan untuk bumbu
- d_2 =Waktu saat proses penggorengan biji kacang panjang
- d_3 =Waktu saat proses pencucian bahan-bahan untuk bumbu
- d_4 =Waktu saat proses pendinginan I (pendinginan hasil penggorengan)
- d_5 =Waktu saat proses pencampuran bahan-bahan untuk bumbu
- d_6 =Waktu saat proses penggorengan bumbu ke I
- d_7 =Waktu saat proses penggorengan bumbu ke II
- d_8 =Waktu saat proses pencampuran hasil penggorengan biji kacang panjang dengan bumbu

- d_9 =Waktu saat proses penggorengan kembali hasil pencampuran biji kacang panjang dengan bumbu
- d_{10} =Waktu saat proses pendinginan II (Pendinginan hasil penggorengan yang tercampur bumbu)
- d_{11} =Waktu saat proses pembungkusan otok goreng
- d_{12} =Waktu saat proses Pengemasan otok goreng
- d_{13} =Waktu saat proses Pengepakan otok goreng
- P_1 = Pengupasan bahan-bahan untuk bumbu
- P_2 = Penggorengan biji kacang panjang
- P_3 = Pencucian bahan-bahan untuk bumbu
- P_4 =Pendinginan I (pendinginan hasil penggorengan)
- P_5 = Pencampuran bahan-bahan untuk bumbu
- P_6 = Penggorengan bumbu ke I
- P_7 = Penggorengan bumbu ke II
- P_8 = Pencampuran hasil penggorengan biji kacang panjang dengan bumbu
- P_9 = Penggorengan kembali hasil pencampuran biji kacang panjang dengan bumbu
- P_{10} = Pendinginan II (Pendinginan hasil penggorengan yang tercampur bumbu)
- P_{11} = Pembungkusan otok goreng
- P_{12} = Pengemasan otok goreng
- P_{13} = Pengepakan otok goreng

4.3. Pemodelan Sistem Produksi otok Goreng HLM H dengan SLMI Aljabar *max-Plus*.

Sistem produksi Otok Goreng HLM H ini terdiri dari 13 unit pemrosesan $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}, P_{12}$, dan P_{13} . Bahan-bahan untuk pembuatan bumbu dikirim ke P_1 untuk dikupas dan dikirim ke P_3 untuk dicuci bersih, dari P_3 kemudian dikirimkan sampai dengan P_7 yakni proses penggorengan bumbu ke II. Biji kacang panjang yang sudah direndam dan dicuci bersih dimasukkan ke P_2 untuk digoreng dan dikirimkan sampai dengan P_4 untuk dilakukan proses pendinginan I. waktu pemrosesan untuk $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}, P_{12}$, dan P_{13} berturut-turut adalah $d_1 = 20, d_2 = 85, d_3 = 50, d_4 = 25, d_5 = 5, d_6 = 30, d_7 = 30, d_8 = 32, d_9 = 23, d_{10} = 50, d_{11} = 45, d_{12} = 30$, dan $d_{13} = 20$ satuan waktu (menit).

Didefinisikan proses produksi Otok Goreng HLM H sebagai berikut :

- i. $u(k+1)$: waktu saat bahan baku bahan-bahan untuk pembuatan bumbu dan biji kacang panjang dimasukkan ke sistem untuk proses ke- $(k+1)$.
- ii. $x_i(k)$: waktu saat bahan-bahan untuk pembuatan bumbu maupun biji kacang panjang dilakukan pemrosesan ke- i dan mulai bekerja untuk pemrosesan ke- k .
- iii. $y(k)$: waktu saat produk Otok Goreng ke- k yang diselesaikan meninggalkan sistem.

Berdasarkan perhitungan program Matlab nilai waktu keadaan dan *output* lama proses produksi Otok Goreng HLM H disajikan dalam Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Perhitungan Waktu Keadaan dan *Output* Lama Proses Produksi Otok Goreng HLM H

U(k)	1	2	3	4	5	6	7
X1	20	40	60	80	100	120	140
X2	86	171	256	341	426	511	596
X3	42	62	82	102	122	142	162
X4	178	263	348	433	518	603	688
X5	49	69	89	109	129	149	169
X6	55	85	115	145	175	205	235
X7	85	115	145	175	205	235	265
X8	205	290	375	460	545	630	715
X9	237	322	407	492	577	662	747
X10	265	350	435	520	605	690	775
X11	315	406	485	570	655	740	825
X12	360	445	530	615	700	785	870
X13	394	479	564	649	734	819	904
Y(k)	414	499	584	669	754	839	924

Waktu yang didapat untuk memaksimalkan produksi dalam sehari kurang lebih 10 jam (600 menit) dengan waktu kerja dimulai dari pukul 07.00 – 17.00 WIB disajikan dalam Tabel 4.1 dengan waktu penyelesaian produksi (menit) 600 menunjukkan bahwa dalam sehari Perusahaan Otok Goreng HLM H hanya bisa melakukan beberapa kali produksi karena keterbatasan waktu dan hal ini juga berarti bahwa jumlah otok goreng yang bisa dipesan dalam jumlah yang terbatas. Berikut ini merupakan penjadwalan waktu Produksi Otok Goreng HLM H secara periodik pada Tabel 2.

Hasil *output* di atas dengan *input* waktu yang diperlukan saat bahan yang dimasukkan untuk diproses dari saat produksi pertama sampai produksi ke-5, yang memenuhi untuk kegiatan perharinya dengan waktu kerja yang telah ditentukan dari pukul 07.00 WIB sd pukul 17.00 WIB yakni pada Tabel 4.2, hal tersebut menunjukkan bahwa ketika produksi otok goreng dilakukan secara maksimal dan kontinu maka hasil otok goreng perharinya dapat mencapai optimal pada produksi ke-4.

Selanjutnya untuk menentukan waktu pengambilan optimal ditentukan menggunakan rumus :

$$y = K \otimes x_0 \oplus H \otimes u \quad (6)$$

Dengan

$$K = \begin{bmatrix} C \otimes A \\ C \otimes A^{\otimes 2} \\ \vdots \\ C \otimes A^{\otimes p} \end{bmatrix} \text{ dan}$$

$$H = \begin{bmatrix} C \otimes B & \varepsilon & \dots & \varepsilon \\ C \otimes A \otimes B & C \otimes B & \dots & \varepsilon \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C \otimes A^{\otimes p-1} \otimes B & C \otimes A^{\otimes p-2} \otimes B & \dots & C \otimes B \end{bmatrix}$$

Dari hasil perhitungan Matlab diperoleh bahwa:

$$y = [423; 508; 593; 678; 763; 848; 933; 1018; 1103; 1188; 1273; 1358; 1443]^T$$

Tabel 2. Jadwal Periodik Waktu Produksi Otok Goreng HLM H

Proses kegiatan produksi	Waktu Memulai Produksi (WIB)	Produksi ke				
		1	2	3	4	5
Pengupasan bahan-bahan untuk bumbu	07.00	07.20	07.40	08.00	08.20	
Penggorengan biji kacang panjang	07.01	08.26	09.51	11.16	12.41	
Pencucian bahan-bahan untuk bumbu	07.22	07.42	08.02	08.22	08.42	
Pendinginan I (pendinginan hasil penggorengan)	08.33	09.58	11.23	12.48	14.13	
Pencampuran bahan-bahan untuk bumbu	07.29	07.49	08.09	08.29	08.49	
Penggorengan bumbu ke I	07.35	08.05	08.35	09.05	09.35	
Penggorengan bumbu ke II	08.05	08.35	09.05	09.35	10.05	
Pencampuran hasil penggorengan biji kacang panjang dengan bumbu	09.00	10.25	11.50	13.15	14.40	
Penggorengan kembali hasil pencampuran biji kacang panjang dengan bumbu	09.32	10.57	12.22	13.47	15.12	
Pendinginan II (Pendinginan hasil penggorengan yang tercampur bumbu)	10.00	11.25	12.50	14.15	15.40	
Pembungkusan otok goreng	10.55	12.21	13.40	15.05	16.30	
Pengemasan otok goreng	11.35	13.00	14.25	15.50	17.15	
Pengepakan otok goreng	12.09	13.34	14.59	16.24	17.49	
Pengambilan otok goreng	12.29	13.54	15.19	16.44	18.09	

Berdasarkan syarat di atas produsen Otok Goreng HLM H dapat menentukan waktu optimal memulai produksi Otok Goreng HLM H agar dapat memenuhi permintaan konsumen yang telah melakukan pemesanan Otok Goreng dengan menentukan waktu pengambilan Otok Goreng sebelum proses produksi dimulai. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan menggunakan optimalisasi aljabar *max-plus*. Misalkan konsumen memesan Otok Goreng berturut-turut dengan waktu (menit) yang telah ditentukan yakni:

$$y = [423; 508; 593; 678; 763; 848; 933; 1018; 1103; 1188; 1273; 1358; 1443]^T$$

Maka produsen dapat menentukan waktu optimal (subpenyelesaian terbesar) memulai kegiatan produksi dengan menggunakan rumus :

$$\hat{u} = H^T \otimes (-y) \quad (7)$$

$$\hat{y} = H \otimes \hat{u} \quad (8)$$

$$\tilde{u} = \hat{u} \otimes \frac{\delta}{2} \quad (9)$$

$$\tilde{y} = H \otimes \tilde{u}$$

(10)

Diperoleh nilai *output* dari perhitungan Matlab yang dapat dilihat seperti dibawah ini :

$$\hat{u} = [0; 85; 170; 255; 340; 425; 510; 595; 680; 765; 850; 935; 1020]^T$$

$$\hat{y} = [423; 508; 593; 678; 763; 848; 933; 1018; 1103; 1188; 1273; 1358; 1443]^T$$

$$\tilde{u} = [3; 88; 173; 258; 343; 428; 513; 598; 683; 768; 853; 938; 1023]^T$$

$$\tilde{y} = [426; 511; 596; 681; 766; 851; 936; 1021; 1106; 1191; 1276; 1361; 1446]^T$$

Perhitungan tersebut mempermudah produsen dalam menentukan waktu optimal memulai proses produksi Otok Goreng HLM H. Hal ini \hat{u} dan \tilde{u} merupakan subpenyelesaian terbesar sekaligus waktu optimal dalam sistem produksi. \hat{u} dan \tilde{u} digunakan untuk menentukan jadwal produksi periodik sehingga waktu produksi Otok Goreng HLM H dapat dioptimalisasi. Jadwal pemesanan Otok Goreng HLM H dengan waktu mulai memasukkan bahan sampai waktu pengambilan produk dalam jangka waktu satu hari (WIB) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Jadwal Pemesanan Otok Goreng HLM H

Pemesanan Otok Goreng	Waktu tercepat memulai produksi (\hat{u})	Waktu produksi selesai tercepat (\hat{y})	Waktu terlama memulai produksi (\tilde{u})	Waktu produksi selesai terlama (\tilde{y})
1	07.00	14.03	07.03	14.06
2	08.25	15.28	08.28	15.31
3	09.50	16.53	09.53	16.56
4	11.15	18.18	11.18	18.21
5	12.40	19.43	12.43	19.46

Waktu optimal bagi produsen untuk memulai proses produksi dari Tabel 3 untuk pemesanan pertama yakni dengan memilih \hat{u} karena dengan memulai produksi pada jam 07.00 maka konsumen yang telah memesan Otok Goreng HLM H dapat mengambil pesannya pada jam 14.06 atau setelahnya, dari hal tersebut produsen dapat melayani konsumen tepat waktu dengan menggunakan tabel tersebut sebagai acuan memulai produksi. Selain itu produsen juga bisa memenuhi pesanan 2 dan 3 tepat waktu dengan memilih \tilde{u} sebagai waktu optimal (subpenyelesaian terbesar). Produksi keempat dan seterusnya tidak bisa dijadikan acuan karena telah melewati waktu kerja dalam produksi yaitu jam 07.00-17.00 wib. Penjadwalan yang dilakukan seperti pada Tabel 3 merupakan penjadwalan yang digunakan produsen untuk mengoptimalkan waktu *input* (memasukkan bahan-bahan) dan waktu *output* (penyelesaian waktu produksi) sehingga tabel tersebut dapat digunakan sebagai salah satu acuan memulai produksi sehingga waktu produksi Otok Goreng HLM H dapat dioptimalisasi sehingga pemesanan Otok Goreng untuk waktu tertentu (ditentukan pemesanan/konsumen) dapat dilayani tepat waktu.

5. SIMPULAN

Metode SLMI pada SED Aljabar *Max-Plus* yang diterapkan pada sistem produksi Otok Goreng HLM H dapat disimpulkan bahwa:

1. Hasil optimalisasi waktu produksi Otok Goreng HLM H dengan metode SLMI yaitu subpenyelesaian terbesarnya berdasarkan Tabel 3 diperoleh hasil pemesanan yang optimal untuk waktu pemesanannya sebanyak 3 waktu dengan waktu tercepat memulai produksi pada pkl 07.00 WIB hingga pkl 09.50 WIB, maka konsumen yang telah memesan Otok Goreng HLM H dapat mengambil pesannya pada pkl 14.03 WIB hingga pkl 16.53 WIB atau setelahnya.
2. Apabila konsumen memilih waktu produksi selesai terlamanya pada pkl 14.06 WIB hingga pkl 16.56 WIB atau setelahnya maka produsen dapat memilih waktu terlamanya memulai produksi pada pkl 07.03 WIB hingga pkl 09.53 WIB.
3. Produsen dapat memilih subpenyelesaian terbesar SLMI pada sistem produksi Otok Goreng HLM H dengan menentukan waktu mulai produksi yang mendekati waktu pengambilan pemesanan yang telah ditentukan oleh konsumen sehingga hasil produksi dapat memenuhi permintaan konsumen dan pemesanan Otok Goreng dapat dilayani tepat waktu.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, M. (2012). Aplikasi Sistem Persamaan Linier Aljabar *Max-Plus* dalam Mengoptimalkan Waktu Produksi Bakpia Pathok Jaya “25” Daerah Istimewa Yogyakarta. Yogyakarta: Fakultas MIPA Universitas Negeri Yogyakarta.
- Rudhito, M. A. (2016). *Aljabar Max-Plus dan Penerapannya*. Yogyakarta: Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Sanata Dharma.
- Schutter, B. D. (1996). *Max-Algebraic System Theory for Discrete Event Systems*. Leuven: Department of Electrical Engineering Katholieke Universiteit Leuven.