

# Aplikasi Aljabar Max-Plus pada Penjadwalan Periodik Produksi Kaos Kaki

Nur salamah<sup>1, a)</sup>, dan Zumrotus Sya'diyah<sup>2, b)</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Billfath Lamongan 62261, Indonesia.

<sup>2</sup>Program Studi Pendidikan Matematika STKIP Gotong Royong Masohi 97514, Indonesia.

Email: <sup>a)</sup>salamah777888sp@gmail.com, <sup>b)</sup>zuma.yakuza@gmail.com

## Abstract

*This research models the sock production system at UD. Tunas Muda Jaya using Max-Plus algebra approach. The model represents the time dependency between processes in the form of a tropical linear system. The eigenvalue analysis shows the maximum throughput of 7 time units per product, while the eigenvector reveals the relative scheduling and critical path of production. The findings confirm that production improvement efforts should be focused on processes within the critical path, as processes outside the path do not affect system efficiency. The model provides a strong foundation for scheduling planning and periodic production optimization.*

**Keywords:** max-plus algebra, mathematical model, sock production.

## Abstrak

Penelitian ini memodelkan sistem produksi kaos kaki di UD. Tunas Muda Jaya menggunakan pendekatan Aljabar Max-Plus. Model yang dibangun merepresentasikan ketergantungan waktu antar proses dalam bentuk sistem linier tropis. Analisis nilai eigen menunjukkan throughput maksimum sebesar 7 unit waktu per produk, sedangkan vektor eigen mengungkap penjadwalan relatif dan jalur kritis produksi. Temuan ini menegaskan bahwa upaya peningkatan produksi sebaiknya difokuskan pada proses dalam jalur kritis, karena proses di luar jalur tersebut tidak memengaruhi efisiensi sistem. Model ini menyediakan landasan kuat bagi perencanaan penjadwalan dan optimasi produksi periodik.

**Kata-kata kunci:** aljabar max-plus, model matematika, produksi kaos kaki.

## PENDAHULUAN

Perencanaan dan penjadwalan produksi merupakan aspek penting dalam manajemen operasional, terutama di industri manufaktur seperti produksi kaos kaki. Penjadwalan yang baik dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi waktu tunggu, serta menjamin ketersediaan produk tepat waktu. Di tengah persaingan industri yang ketat, efisiensi produksi menjadi kunci untuk menjaga daya saing dan memenuhi permintaan pasar secara optimal. Oleh karena itu, dibutuhkan strategi penjadwalan yang akurat dan mampu mengatur jalannya proses produksi secara efisien (Afolalu et al., 2021; Ifam dkk, 2025).

Metode penjadwalan konvensional seperti *First Come First Serve* (FCFS) dan *Shortest Processing Time* (SPT) sering kali kurang efektif dalam sistem produksi yang bersifat repetitif dan sensitif terhadap waktu. Pendekatan ini cenderung mengabaikan keterkaitan antar proses yang saling bergantung, sehingga menyebabkan pemanfaatan kapasitas yang tidak optimal dan keterlambatan dalam jadwal produksi (Fadhilah, dkk, 2023).

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan pendekatan matematis yang mampu merepresentasikan hubungan waktu dan ketergantungan antar aktivitas secara jelas. Salah satu pendekatan yang relevan adalah Aljabar Max-Plus, yaitu suatu kerangka matematis yang digunakan untuk memodelkan sistem kejadian diskrit (*Discrete Event Systems*), khususnya yang berkaitan dengan urutan dan waktu proses (Rauf, Yahya & Nuha, 2021; Novika, Suroto & Guswanto, 2023; Khairina, A'yun & Sandariria, 2025).

Dalam konteks produksi kaos kaki, Aljabar Max-Plus memiliki beberapa keunggulan. Pertama, metode ini mampu menggambarkan ketergantungan aktivitas produksi, baik secara berurutan (aktivitas A harus selesai sebelum B dimulai) maupun paralel (aktivitas C menunggu beberapa aktivitas lain selesai). Kedua, pendekatan ini sangat cocok untuk sistem produksi yang bersifat periodik karena menggunakan konsep nilai eigen (*eigenvalue*) dan vektor eigen (*eigenvector*) untuk menganalisis siklus dan kestabilan waktu produksi jangka panjang (Ragana Sakta & Rianti Helmi, 2022; Novika, Suroto & Guswanto, 2023).

Nilai eigen menggambarkan waktu siklus minimum dari seluruh proses produksi, sedangkan vektor eigen menunjukkan pola waktu mulai aktivitas yang stabil. Informasi ini sangat berguna dalam merancang periodisasi produksi yang optimal, menghindari keterlambatan sistemik, dan memaksimalkan kapasitas produksi (Kismanti & Indriyani, 2021).

Selain itu, Aljabar Max-Plus juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi aktivitas kritis yang menjadi hambatan utama (*bottleneck*) dalam sistem produksi. Dengan menganalisis struktur matriks dalam Max-Plus, manajer produksi dapat mengetahui titik-titik yang perlu dioptimalkan agar laju produksi meningkat. Metode ini juga mampu menghitung estimasi waktu penyelesaian produksi dan *throughput* secara akurat, baik untuk satu siklus maupun secara berulang (Rauf, Yahya & Nuha, 2021; Afif, 2024; Khairina, A'yun & Sandariria, 2025).

Pendekatan ini sangat bermanfaat terutama bagi industri kecil dan menengah (IKM) yang sering menghadapi keterbatasan dalam pengelolaan produksi. Melalui penerapan Aljabar Max-Plus, penjadwalan dapat dirancang secara lebih optimal, sistematis, dan responsif terhadap perubahan permintaan pasar. Selain itu, penggunaan analisis nilai dan vektor eigen dalam konteks Max-Plus merupakan pendekatan yang belum banyak diterapkan, sehingga penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi baru dalam pengembangan sistem produksi yang efisien dan adaptif.

## METODE

Penelitian ini mengambil studi kasus pada proses produksi kaos kaki yang dilakukan di UD. Tunas Muda Jaya. Untuk memperoleh data yang akurat dan sesuai dengan kondisi lapangan, peneliti melakukan observasi langsung terhadap alur produksi serta melakukan wawancara kepada operator mesin dan pekerja produksi. Fokus utama penelitian ini adalah membentuk model matematika berbasis Aljabar Max-Plus yang merepresentasikan sistem produksi secara periodik, serta menganalisis nilai eigen untuk memperoleh waktu siklus produksi yang efisien.

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Melakukan studi pustaka terkait Aljabar Max-Plus dan penjadwalan produksi.
2. Melakukan observasi langsung terhadap proses produksi kaos kaki.
3. Melakukan wawancara kepada operator dan staf produksi.
4. Menyusun diagram alur proses produksi dan Petri Net.
5. Membentuk model Aljabar Max-Plus dari sistem produksi.
6. Menyusun matriks Aljabar Max-Plus berdasarkan model yang dibentuk.
7. Membentuk matriks autonomus.
8. Menyelesaikan masalah nilai eigen dari matriks Max-Plus.
9. Menentukan periodisasi atau jadwal produksi yang efisien.

Berikut adalah landasan teori yang digunakan dalam penelitian ini untuk memodelkan sistem produksi kaos kaki.

### Time Petri Net

Time Petri Net (TPN) merupakan pengembangan dari Petri Net yang diperkenalkan oleh Carl Adam Petri pada tahun 1962 melalui disertasinya *Kommunikation mit Automaten* (Reisig, 2010). Petri Net adalah model matematika yang digunakan untuk memodelkan sistem terdistribusi diskret dalam bentuk grafik berarah, dengan representasi elemen-elemen kondisi (*places*) dan peristiwa (*transitions*) dalam bentuk grafik berarah. Secara formal, Petri Net didefinisikan sebagai 4-tuple  $N = (P, T, A, w)$  (Grobelna & Karatkevich, 2021).

Timed Petri Net memperluas model tersebut dengan menambahkan elemen waktu berupa *holding time* pada setiap *place*, yaitu durasi minimum sebelum transisi dapat diaktifkan. Model ini digambarkan dalam bentuk 6-tuple dan cocok untuk sistem dinamis yang memperhitungkan aspek waktu, seperti proses produksi atau sistem antrian (Sya'diyah, 2023).

### Aljabar Max-Plus

Definisi umum Aljabar Max-Plus adalah suatu struktur aljabar yang terdiri dari himpunan bilangan real ditambah elemen negatif tak hingga, yaitu  $R \cup \{-\infty\}$ , yang dilengkapi dengan dua operasi utama yaitu operasi maksimum sebagai penjumlahan yang dilambangkan dengan  $\oplus$  dan operasi penjumlahan biasa sebagai perkalian yang dilambangkan dengan  $\otimes$ . Secara formal, untuk setiap  $a, b \in R \cup \{-\infty\}$ , didefinisikan:

$$a \oplus b := \max(a, b) \tag{1}$$

$$a \otimes b := a + b \tag{2}$$

Dalam struktur ini, elemen  $-\infty$  berperan sebagai elemen nol untuk operasi maksimum, sedangkan elemen 0 berperan sebagai elemen satuan untuk operasi penjumlahan biasa (Kurniawan & Suparwanto, 2020).

Selain itu, Aljabar Max-Plus juga dapat diperluas ke matriks dan vektor dengan entri dari himpunan,  $\mathbb{R}_{max}$ , yang digunakan untuk memodelkan sistem kejadian diskrit dan berbagai aplikasi lain seperti sistem antrian dan jaringan kereta api (Kurniawan & Suparwanto, 2020; Par, Manihuruk & Rudhito, 2024).

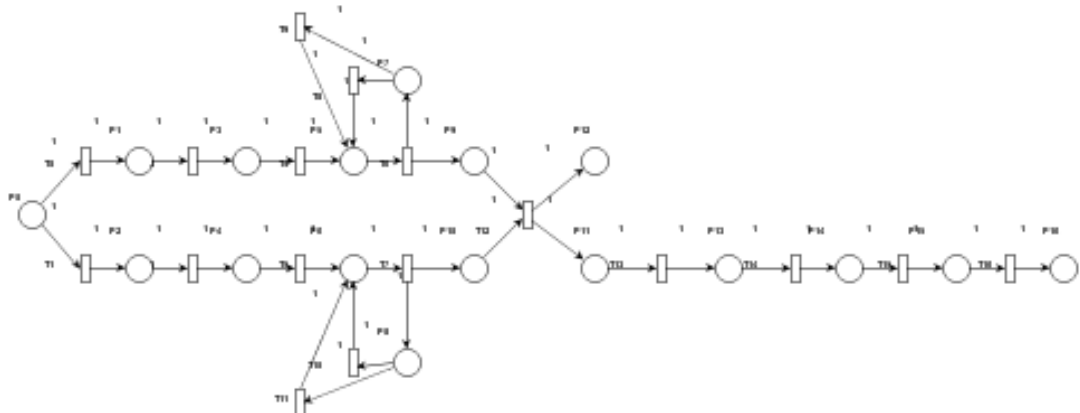
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil observasi di UD. Tunas Muda Jaya, diperoleh data tahapan proses produksi kaos kaki beserta durasi waktu kerja pada setiap unit pemrosesan. Bahan baku utama meliputi benang dan desain pola rajut, dengan total 16 tahapan proses yang saling berurutan dan bergantung. Rangkaian proses ini disajikan dalam Tabel 1, sedangkan representasi visualnya ditampilkan dalam bentuk diagram Timed Petri Net (TPN) pada Gambar 1 untuk mempermudah pemodelan sistem. Penyusunan TPN dilakukan dengan mempertimbangkan urutan proses aktual, aktivitas paralel, dan ketergantungan antar tahapan.

**TABEL 1.** Proses Produksi Kaos Kaki

Proses	Durasi (menit)	Keterangan
Memasukan desain	2	Awal input desain ke mesin
Pengisian benang	10	Setelah desain masuk ke mesin
Persiapan mesin	5	Mesin dinyalakan
Perajutan mesin	3	Mesin berjalan setelah pengisian benang
Isi ulang benang	1	Jika benang habis saat mesin berjalan
Perbaikan benang	1	Jika benang putus saat mesin berjalan
Pemeriksaan ukuran	0,5	Dilakukan setelah produk keluar dari mesin
Penjahitan/obras	0,5	Proses lanjutan setelah pengecekan

Perapian produk (neci)	1	Proses perapian produk
Pelipatan produk	0,5	Produk dilipat
Pengemasan / packing	1	Produk di kemas



**GAMBAR 1.** Diagram Petri Net

Petri Net yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas 16 transisi (T) dan 16 places (P), yang masing-masing menggambarkan tahapan proses produksi secara detail sebagai berikut:

**TABEL 2.** Definisi *Place* dan *Transition* dalam Model Petri Net Produksi Kaos Kaki

Place	Deskripsi	Transisi	Deskripsi
P0	Desain produk telah siap	T0	Memasukkan desain ke Mesin 1
P1	Desain untuk Mesin 1 telah tersedia	T1	Memasukkan desain ke Mesin 2
P2	Desain untuk Mesin 2 telah tersedia	T2	Memasukkan benang ke Mesin 1
P3	Benang untuk Mesin 1 telah siap	T3	Memasukkan benang ke Mesin 2
P4	Benang untuk Mesin 2 telah siap	T4	Mengaktifkan Mesin 1
P5	Mesin 1 dalam kondisi siap	T5	Mengaktifkan Mesin 2
P6	Mesin 2 dalam kondisi siap	T6	Mesin 1 dalam proses produksi
P7	Mesin 1 berhenti beroperasi	T7	Mesin 2 dalam proses produksi
P8	Mesin 2 berhenti beroperasi	T8	Perbaiki benang pada Mesin 1
P9	Produk keluar dari Mesin 1	T9	Pengisian ulang benang untuk Mesin 1
P10	Produk keluar dari Mesin 2	T10	Perbaiki benang pada Mesin 2
P11	Produk siap untuk proses obras	T11	Pengisian ulang benang untuk Mesin 2
P12	Produk dinyatakan tidak layak (dibuang)	T12	Pengukuran kualitas produk
P13	Produk siap untuk proses perapian	T13	Proses obras (pengobrasan)
P14	Produk siap untuk proses pelipatan	T14	Proses perapian
P15	Produk siap untuk dikemas	T15	Proses pelipatan
P16	Produk akhir telah siap	T16	Proses pengemasan akhir

Model Petri Net yang telah dibangun dikonversi ke dalam model Aljabar Max-Plus untuk analisis matematis terhadap dinamika waktu dalam sistem produksi. Dalam model ini, waktu mulai proses ke  $-i$  pada siklus ke  $-k$ , dilambangkan dengan  $x_i(k)$ , diperoleh dari penjumlahan waktu proses ( $d_i$ ) dengan waktu mulai sebelumnya ( $x_i(k - 1)$ ), yang diformulasikan sebagai:

$$x_i(k) = d_i \otimes x_i(k - 1) \tag{3}$$

Formulasi ini secara eksplisit merepresentasikan ketergantungan waktu antarproses, di mana suatu proses hanya dapat dimulai setelah proses sebelumnya selesai (Par et al. 2024). Berikut merupakan model dari Aljabar Max-plus :

$$x_0(k) = x_0(k-1) \otimes d_0 = x_0(k-1) \otimes 2 \tag{4}$$

$$x_1(k) = x_1(k-1) \otimes d_1 = x_1(k-1) \otimes 2 \tag{5}$$

$$x_2(k) = x_0(k) \otimes d_2 = x_0(k) \otimes 10 \tag{6}$$

$$x_3(k) = x_1(k) \otimes d_3 = x_1(k) \otimes 10 \tag{7}$$

$$x_4(k) = x_2(k) \otimes d_4 = x_2(k) \otimes 5 \tag{8}$$

$$x_5(k) = x_3(k) \otimes d_5 = x_3(k) \otimes 5 \tag{9}$$

$$x_6(k) = (x_4(k) \oplus x_8(k-1) \oplus x_9(k-1)) \otimes d_6 = (x_4(k) \oplus x_8(k-1) \oplus x_9(k-1)) \otimes 3 \tag{10}$$

$$x_7(k) = (x_5(k) \oplus x_{10}(k-1) \oplus x_{11}(k-1)) \otimes d_7 = (x_5(k) \oplus x_{10}(k-1) \oplus x_{11}(k-1)) \otimes 3 \tag{11}$$

$$x_8(k) = x_6(k) \otimes d_8 = x_6(k) \otimes 1 \tag{12}$$

$$x_9(k) = x_6(k) \otimes d_9 = x_6(k) \otimes 1 \tag{13}$$

$$x_{10}(k) = x_7(k) \otimes d_{10} = x_7(k) \otimes 1 \tag{14}$$

$$x_{11}(k) = x_7(k) \otimes d_{11} = x_7(k) \otimes 1 \tag{15}$$

$$x_{12}(k) = (x_6(k) \oplus x_7(k)) \otimes d_{12} = (x_6(k) \oplus x_7(k)) \otimes 0,5 \tag{16}$$

$$x_{13}(k) = x_{12}(k) \otimes d_{13} = x_{12}(k) \otimes 0,5 \tag{17}$$

$$x_{14}(k) = x_{13}(k) \otimes d_{14} = x_{13}(k) \otimes 1 \tag{18}$$

$$x_{15}(k) = x_{14}(k) \otimes d_{15} = x_{14}(k) \otimes 0,5 \tag{19}$$

$$x_{16}(k) = x_{15}(k) \otimes d_{16} = x_{15}(k) \otimes 1 \tag{20}$$

Persamaan yang telah disusun kemudian direpresentasikan dalam bentuk matriks untuk membentuk model Aljabar Max-Plus. Model ini melibatkan dua matriks, yaitu  $A_0$  dan  $A_1$  yang masing-masing merepresentasikan ketergantungan simultan pada waktu ke- $k$  dan ketergantungan temporal terhadap waktu ke- $(k-1)$ . Matriks  $A_0$  menunjukkan hubungan antar aktivitas dalam satu siklus produksi, sementara matriks  $A_1$  menggambarkan pengaruh aktivitas dari siklus sebelumnya (Rauf et al. 2021; Novika et al. 2023). Dengan demikian, bentuk umum model Max-Plus yang diperoleh ditunjukkan sebagai berikut:

$$A_0 = \begin{pmatrix} \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ 10 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & 10 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & 5 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 5 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 3 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 3 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 1 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 1 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 1 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 1 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 0,5 & 0,5 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 0,5 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 1 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 0,5 & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 1 & \varepsilon \end{pmatrix} \otimes x(k) \tag{21}$$





$$v' = \begin{bmatrix} \varepsilon \\ \varepsilon \\ \varepsilon \\ \varepsilon \\ \varepsilon \\ \varepsilon \\ 0 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0,5 \\ 1 \\ 2 \\ 2,5 \\ 3,5 \end{bmatrix} \quad (28)$$

Analisis sistem produksi kaos kaki dengan model Aljabar Max-Plus menunjukkan bahwa nilai eigen sebesar 7 menjadi indikator utama laju produksi maksimum (*throughput*) dalam kondisi mantap. Ini berarti satu unit produk dihasilkan setiap 7 unit waktu, dengan siklus kritis sebagai faktor pembatas utama. Optimalisasi kinerja produksi harus difokuskan pada proses-proses dalam siklus ini.

Vektor eigen yang telah dinormalisasi mengungkapkan urutan relatif waktu antar proses. Proses  $x_6$  dan  $x_7$  menjadi acuan dengan waktu relatif nol, menandakan posisi awal dalam jalur kritis. Sebaliknya, proses  $x_0$  hingga  $x_5$  memiliki nilai epsilon, menandakan bahwa mereka berada di luar jalur kritis dan memiliki kelonggaran waktu yang besar, sehingga tidak berdampak pada laju produksi.

Proses  $x_8$  hingga  $x_{16}$  menunjukkan keterkaitan waktu yang erat dengan  $x_6$  dan  $x_7$ , menggambarkan struktur jalur kritis secara jelas. Misalnya,  $x_{12}$  mengalami keterlambatan 0,5 unit waktu, sementara  $x_{16}$  sebagai proses akhir terlambat 3,5 unit waktu. Oleh karena itu, peningkatan efisiensi produksi perlu difokuskan pada pengurangan waktu atau penundaan dalam jalur kritis tersebut

### KESIMPULAN

Model Aljabar Max-Plus yang dikembangkan dari hasil observasi di UD. Tunas Muda Jaya berhasil merepresentasikan sistem produksi kaos kaki secara matematis dan memberikan pemahaman mengenai kinerja waktu dalam kondisi stabil. Nilai eigen sebesar 7 menunjukkan laju produksi maksimum, yaitu satu unit produk setiap 7 unit waktu, serta mencerminkan keberadaan jalur kritis yang membatasi *throughput* sistem. Vektor eigen yang dinormalisasi menggambarkan penjadwalan relatif antar proses, sehingga proses-proses di luar jalur kritis memiliki waktu luang yang tidak memengaruhi kinerja sistem. Sebaliknya, keterlambatan pada proses dalam jalur kritis berdampak langsung pada peningkatan waktu siklus produksi. Oleh karena itu, upaya peningkatan efisiensi perlu difokuskan pada optimalisasi proses-proses dalam jalur kritis. Secara keseluruhan, pendekatan Max-Plus terbukti efektif dalam menganalisis dan merancang sistem produksi periodik yang lebih efisien dan terstruktur.

### REFERENSI

- Afif, A., 2024, 'Model Antrian Servis Handphone Menggunakan Petri Net dan Aljabar Max-Plus', *UJMC (Unisda Journal of Mathematics and Computer Science)*, 10(1), 78–84.
- Afolalu, S.A., Ikumapayi, O.M., Ushe, S.A., Ongbali, S.O., Abdulkareem, A., Emetere, M.E. & Iheanetu, O.U., 2021, 'The Role of Production Planning in Enhancing an Efficient Manufacturing System-An Overview', *E3S Web of Conferences*.

- Fadhilah, K.P., Mustofa, F.H. & Yuniar, S.S., 2023, 'Usulan Penjadwalan Produksi Menggunakan Metode Campbell Dudek Smith Dan Nawaz Ensore Ham Untuk Meminimasi Makespan Di PT. X Indonesia', *Prosiding Diseminasi FTI-1 (Fakultas Teknologi Industri)*.
- Gobelna, I. & Karatkevich, A., 2021, 'Challenges in Application of Petri Nets in Manufacturing Systems', *Electronics (Switzerland)*, 10(18).
- Ifam Mustasyar, M. & Purnama, J., 2025, 'Optimasi Penjadwalan Produksi Menggunakan Metode Run Out Time (Studi Kasus: PT. XYZ)', *SURYA TEKNIKA*, 12(1), 271–280.
- Khairina, I.N., A'yun, Q.Q. & Sandariria, H., 2025, 'Aplikasi Aljabar Max-Plus dan Petri Net dalam Penentuan Waktu Optimal Produksi Tempe di Pabrik Tempe Asli HB Samarinda', *Journal of Mathematics Education and Science*, 8(1), 38–49.
- Kismanti, S.T. & Indriyani, D., 2021, 'Penerapan Aljabar Pada Sistem Produksi Application Of Algebra In Production Systems', *JURNAL BORNEO SAINTEK*, 4, 37–42.
- Kurniawan, A. & Suparwanto, A., 2020, 'Sistem Persamaan Linear Max-Plus Dan Terapannya Pada Sistem Jaringan Kereta Api', *Jurnal Matematika Thales (JMT)*, 02(01), 2020.
- Novika, N., Suroto & Guswanto, B.H., 2023, 'Masalah Nilai Eigen Atas Aljabar Max-Plus Pada Sistem Produksi Bulu Mata', *Jurnal Pendidikan dan Riset Matematika*, 6(1).
- Par, Y.B.S., Manihuruk, S. & Rudhito, M.A., 2024, 'Pemodelan Dan Analisa Layanan Antrian Di SPBU Pertamina Giwangan Yogyakarta Dengan Menggunakan Aljabar Max-Plus Studi Kasus Data Empiris', *JES-MAT*, 10, 129–144.
- Ragana Sakta, R. & Rianti Helmi, M., 2022, 'Aljabar Max-Plus Serta Aplikasinya Pada Sistem Antrian', *Jurnal Matematika UNAND*, 11(4), 271–283.
- Rauf, Moh.D.A., Yahya, L. & Nuha, A.R., 2021, 'Model Penjadwalan Proyek Pembangunan Perumahan Menggunakan Petri Net Dan Aljabar Max-Plus', *JES-MAT*, 7(1), 31–42.
- Sya'diyah, Z., 2023, 'Max Plus Algebra Of Timed Petri Net For Modelling Single Server Queuing Systems', *BAREKENG: Journal of Mathematics and Its Applications*, 17(1), 155–164.