

Menentukan Waktu Optimal untuk Pembuatan Kerajinan Sulaman Karawo Menggunakan Aljabar Max-Plus

Determining the Optimal Time for Making Karawo Embroidery Craft Using Max-Plus Algebra

Lailany Yahya¹, Nurwan Nurwan^{1*}, Resmawan Resmawan¹

¹ Program Studi Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Gorontalo

*Email Korespondensi: nurwan@ung.ac.id

Info Artikel

Diterima : 04 Okt 21
Direvisi : 23 Okt 21
Diterbitkan : 07 Feb 22

Kata Kunci:

Aljabar Max-Plus, Waktu Optimal, Sulaman Karawo

Cara merujuk artikel ini:

Yahya, L. Nurwan, N., & Resmawan, R. (2022). Menentukan Waktu Optimal Untuk Pembuatan Kerajinan Sulaman Karawo Menggunakan Aljabar Max-Plus. *Vygotsky: Jurnal Pendidikan Matematika dan Matematika*, 4 (1), 23-34. Diunduh dari <https://jurnalpendidikan.unisla.ac.id/index.php/VoJ/article/view/442>

Abstract

Karawo craft is one of the typical crafts of Gorontalo. The process of making it takes a very long time, since it is caused by providing raw materials and tools, making or preparing motives, cutting, setting motives, pulling threads, embracing, weaving and finishing. In this research, the max-plus algebra method was applied to determine the optimal time in the making of karawo craft. The activity of making karawo craft is made in a diagram and then transformed into a max-plus matrix. Based on the matrix X^* obtained $x_{\alpha\omega} = 34.5$, it describes that the optimum time to making of karawo craft is 34.5 days.

Abstrak

Kerajinan Karawo merupakan salah satu kerajinan khas Gorontalo. Proses pembuatannya membutuhkan waktu yang sangat lama, mulai dari penyediaan bahan baku dan alat, pembuatan atau persiapan motif, pemotongan, pengaturan motif, mencabut benang, menyulam, merawang/penenunan dan penyelesaian akhir. Dalam penelitian ini, metode aljabar max-plus digunakan untuk menentukan waktu optimal dalam membuat kerajinan sulaman karawo. Aktivitas pembuatan kerajinan sulaman karawo didesain dalam diagram kemudian ditransformasi dalam matriks max-plus. Berdasarkan matriks X^* diperoleh $x_{\alpha\omega} = 34.5$, hal ini menggambarkan bahwa waktu optimum pembuatan kerajinan sulaman karawo adalah 34,5 hari.

Copyright © 2022 Vygotsky: Jurnal Pendidikan Matematika dan Matematika. All right reserved

PENDAHULUAN

Salah satu kerajinan yang ada di Provinsi Gorontalo adalah kain kerawang atau yang dikenal oleh masyarakat lokal dengan nama karawo. Karawo sudah dikenal oleh masyarakat Gorontalo sejak abad ke-17 dan hanya dilakukan oleh kaum perempuan tertentu saja. Kerajinan sulaman karawo menjadi aset budaya di Provinsi Gorontalo yang telah mendapatkan pengakuan dari pemerintah Republik Indonesia. Kerajinan tangan ini berkaitan dengan keterampilan dalam menyulam benang. Teknik menyulam dilakukan dengan cara melepas atau mencabut beberapa helai benang dari kain tertentu dengan mengikuti motif atau desain yang telah disiapkan sebelumnya (Koniyo, Lamusu, Hadjaratie, & Bouty, 2016).

Saat ini sulaman karawo semakin populer di kalangan masyarakat Gorontalo maupun di tingkat nasional. Hal ini disebabkan karena semakin bervariasinya jenis kain yang digunakan serta motif yang menarik. Selain itu, konsumen dapat memilih motif tertentu sesuai dengan keinginannya. Kekayaan budaya/tradisi akan menjadi kekuatan dalam menghadapi persaingan global yang kompetitif (Rahmatia, 2014). Namun ada permasalahan yang dihadapi oleh pengrajin sulaman karawo di Provinsi Gorontalo saat ini yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu jenis sulaman sampai berbulan-bulan. Dibutuhkan desain penjadwalan yang optimal untuk dapat menyelesaikan satu sulaman karawo.

Sistem penjadwalan merupakan salah satu permasalahan yang dapat dimodelkan sebagai *Sistem Event Diskrit* (SED). Keistimewaan dari SED yaitu dari segi kedinamisan sistem yang ditentukan oleh kejadian waktu mulai dan akhir dari suatu aktivitas (Subiono, 2015). Kajian tentang SED dan beberapa penerapannya dapat dilihat pada (Cassandras & Lafortune, 2008) dan (Subiono, 2015). Kategori SED yang dapat digunakan dalam pemodelan penjadwalan adalah petri net dan aljabar max-plus.

Unsur terpenting dalam masalah pembuatan kerajinan sulaman karawo adalah penjadwalan terhadap aktivitas-aktivitas atau tahapan penyelesaian satu sulaman karawo. Oleh karena itu, dibutuhkan metode tertentu untuk menyelesaikan masalah penjadwalan dalam pembuatan kerajinan sulaman karawo. Aljabar max-plus menjadi teknik untuk memecahkan atau mencari solusi yang berkaitan dengan penjadwalan. Pendekatan aljabar max-plus dapat memodelkan dan menganalisis beragam perilaku sistem dengan menggunakan model waktu invarian max-linier (Subiono, 2015). Aljabar max-plus memiliki perbedaan dengan aljabar klasik dimana operasi penambahan diganti dengan maksimum dan operasi perkalian diganti dengan penjumlahan (Subiono, 2015) dan (Rudhito, 2016).

Pembahasan yang berkaitan dengan teori aljabar max-plus dapat dilihat pada (Baccelli, Cohen, Olsder, & Quadrat, 1992), (Heidergott, Olsder, & Woude, 2006), dan (Subiono, 2000). Aljabar max-plus sering digunakan dalam menganalisis dan mengontrol masalah-masalah pada sistem produksi perakitan, pengaturan jalur lalu lintas, sistem antrian dan sebagainya. Penjadwalan jalur bis dalam kota dengan pendekatan jaringan

petri serta aljabar max-plus (Winarni, 2011). Penelitian ini mengambil studi kasus bis transjakarta koridor 1 (satu) sampai koridor 7 (tujuh). Penjadwalan sistem produksi gula kristal di pabrik gula dengan menggunakan aljabar max-plus (Indriyani & Subiono, 2016), (Auliansyah, Rafflesia, & Fauzi, 2018) melakukan penelitian penerapan aljabar max-plus pada proses produksi yang berlangsung di industri tahu. Penelitian lain yang berkaitan dengan penerapan aljabar max-plus adalah dilakukan oleh (Noor, 2015) dengan menerapkan aljabar max-plus dalam penjadwalan proyek dengan studi kasus di PDAM Kota Semarang. Kemudian penelitian yang dilakukan oleh (Rauf, Nurwan, Yahya, & Nuha, 2021) berkaitan dengan penjadwalan proyek pembangunan perumahan.

Dalam penelitian ini, pendekatan atau metode aljabar max-plus digunakan untuk menyelesaikan masalah penjadwalan dalam pembuatan kerajinan sulaman karawo. Metode ini akan memberikan informasi waktu optimal untuk pembuatan kerajinan sulaman karawo. Tahapan pembuatan kerajinan sulaman karawo adalah membuat pola atau gambar diatas kertas, pemilihan kain, pengirisan kain, cabut benang, menyulam atau karawo, dan tahap akhir. Keseluruhan aktivitas ini dibuat dalam bentuk diagram relasi kemudian ditransformasi dalam bentuk matriks.

Himpunan bilangan real R gabung $-\infty$ dengan proses perhitungan jumlah dilambangkan dengan \oplus serta proses perhitungan perkalian dilambangkan \otimes merupakan definisi dasar dari aljabar max-plus. Aturan penjumlahan (\oplus) dioperasikan dengan cara menentukan nilai terbesar dari dua buah bilangan sedangkan perkalian (\otimes) dioperasikan dengan cara menjumlahkan bilangan yang dioperasikan.

Diberikan $R_{\max} \stackrel{def}{=} R_{\max} \cup -\infty$ dan $\varepsilon = -\infty$ maka berlaku $a \oplus b = \max(a, b)$

sedangkan $a \otimes b = a + b$. Kajian lebih jauh tentang aljabar max-plus dapat dilihat pada. Seperti halnya dalam aljabar klasik, operasi perpangkatan dalam aljabar max-plus lebih didahulukan dibandingkan operasi \oplus dan \otimes . Kajian tentang aljabar max-plus dapat dilihat pada (Subiono, 2015) dan (Goto, 2014).

Kajian matriks dalam aljabar max-plus mempunyai kesamaan dengan aljabar klasik hanya dibedakan pada sistem operasinya saja. Diberikan $A \in R_{\max}^{n \times m}$, $B \in R_{\max}^{m \times n}$, $a_{ij} = [A]_{ij}$ dan $b_{ij} = [B]_{ij}$ maka penjumlahan dua matriks dalam aljabar max-plus didefinisikan $[A \oplus B]_{ij} = a_{ij} \oplus b_{ij} = \max\{a_{ij}, b_{ij}\}$.

Diberikan matriks $A \in R_{\max}^{n \times p}$ dan $B \in R_{\max}^{p \times m}$ maka perkalian $A \in R_{\max}^{n \times p}$ dan

$B \in R_{\max}^{p \times m}$ didefinisikan $[A \otimes B]_{ij} = \bigoplus_{k=1}^p a_{i,k} \otimes b_{k,j} = \max_{k \in p} \{a_{i,k} + b_{k,j}\}$.

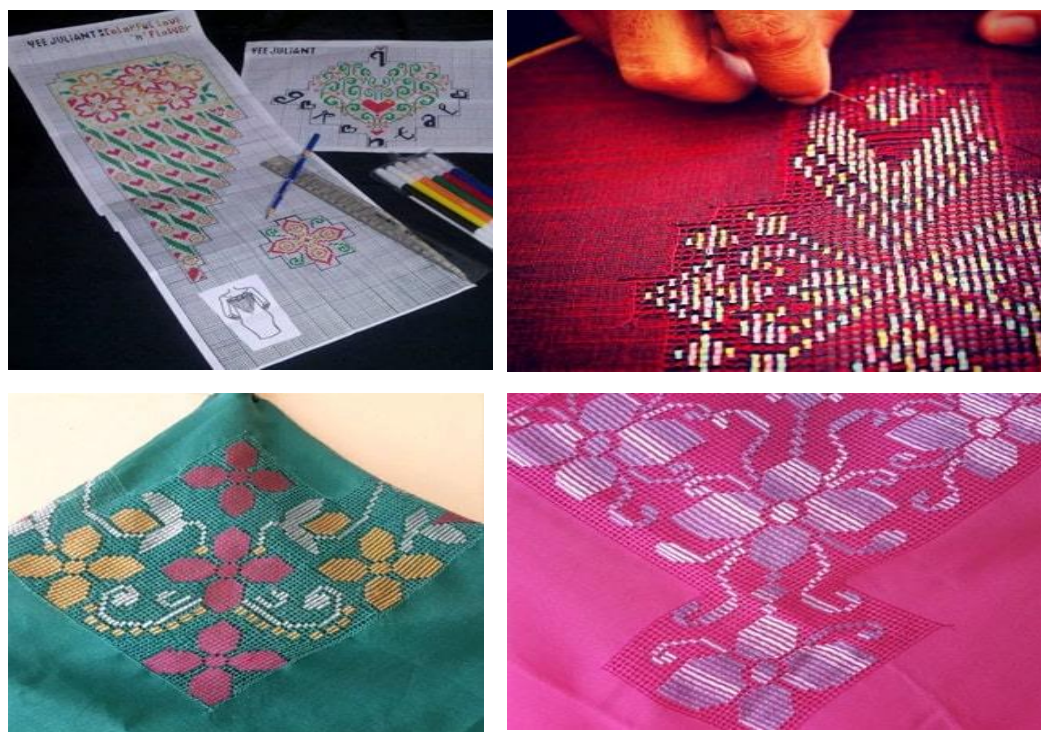
Demikian halnya dengan operasi perpangkatan dalam aljabar max-plus, jika $A \in R_{\max}^{n \times n}$ maka $A^{\otimes r}$ dapat dihitung menggunakan rumus:

$A^{\otimes r} \stackrel{def}{=} \underbrace{A \otimes A \otimes \dots \otimes A}_r$ untuk $r \in N, r \neq 0$ dan $A^{\otimes 0} = E(n, n)$ (Heidergott et

al., 2006), (Subiono, 2015).

Kerajinan karawo merupakan jenis keterampilan mengukir atau melukis pada kain tertentu. Kerajinan ini menggunakan berbagai jenis benang, baik benang polos maupun benang berwarna. Sulaman karawo dilakukan melalui proses memotong dan mengeluarkan beberapa helai benang dari kain tertentu. Setelah itu, proses penyulaman dilakukan mengikuti pola atau motif yang diinginkan serta dilakukan secara manual (Gorontalo, 2015). Sejak tahun 2009 pemerintah Indonesia telah menerbitkan hak paten yang menyatakan bahwa sulaman karawo merupakan kerajinan khas masyarakat Gorontalo.

Sulaman karawo memiliki berbagai macam motif warna yang disesuaikan dengan selera pengrajin atau sesuai pesanan pelanggan. Keberagaman pilihan motif karawo menjadi daya tarik para peminat kerawang gorontalo, sehingga pemerintah terus berupaya untuk mengembangkan kerajinan ini. Berbagai asesoris yang terdapat pada pakaian laki-laki maupun perempuan telah menggunakan motif karawo. Asesoris motif karawo dapat ditemukan pada songkok/kopiah laki-laki, *handkerchief*, jilbab, dasi, kipas, dompet (Koniyo et al., 2016). Contoh motif desain sulaman karawo dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Berbagai motif Kerajinan Sulaman karawo

METODE

Jenis penelitian ini termasuk dalam penelitian terapan. Metode aljabar max-plus digunakan untuk menentukan waktu/durasi optimal pembuatan kerajinan sulaman karawo. Adapun tahapan-tahapan penelitian adalah 1) Studi literatur berkaitan dengan aljabar max-plus dan konsep kerajinan sulaman karawo; 2) Pengumpulan data berupa langkah-langkah

pembuatan sulaman karawo disertai waktu penyelesaian setiap tahapan/kegiatan; 3) Membuat diagram aktivitas/kegiatan pembuatan kerajinan sulaman karawo; 4) Membuat matriks max-plus (X); 5) Menghitung X^* ; 6) Menghitung waktu optimum X_{ω}^* ; 7) Menentukan vektor V , $v_i = x_{\omega i}^* \otimes x_{i\omega}^*$ dan S , $s_i = x_{\omega i}^* - v_i$; 8) Menentukan jalur kritis $s_i = 0$ (Prastiwi & Listiana, 2017). Pengumpulan data dilakukan dengan cara mewawancarai langsung pada pengrajin sulaman karawo.

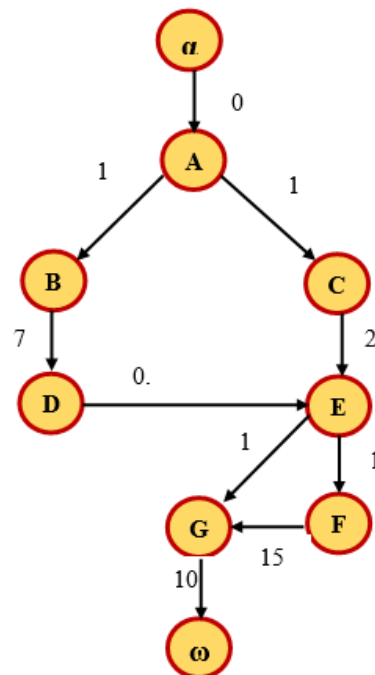
HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan pembuatan kerajinan sulaman karawo terdiri dari 7 (tujuh) aktivitas sebagaimana ditunjukkan Tabel 1.

Tabel 1. Deskripsi Aktivitas Pembuatan Kerajinan Sulaman Karawo

Aktivitas	Deskripsi	Aktivitas Berikutnya	Durasi waktu (hari)
A	Menyediakan bahan baku dan Alat	-	1
B	Membuat/menyiapkan motif	A	7
C	Mengiris kain	A,B	2
D	Mengukur motif	B	0,5
E	Mencabut benang	DC	1
F	Menyulam	E	15
G	Merawang dan finishing	E,F	10

Berdasarkan Tabel 1, dilakukan transformasi data kedalam bentuk diagram yang memuat bobot setiap aktivitas.



Gambar 2. Hubungan antar aktivitas Pembuatan Kerajinan Sulaman Karawo

Diagram pada Gambar 2, menunjukkan hubungan antar aktivitas

dalam pembuatan kerajinan sulaman karawo. Berdasarkan Gambar 2, maka bobot dari α ke A adalah 0, oleh karena kegiatan A merupakan kegiatan awal, dan bobot dari G ke ω adalah 10 karena G adalah kegiatan akhir. Berdasarkan Gambar 2, kemudian ditentukan matriks *max-plus algebra* (X), dengan elemen-elemen matriks merupakan durasi waktu penyelesaian aktivitas ke aktivitas yang saling berkaitan. Elemen matrik bernilai $-\infty$ apabila tidak terdapat hubungan antar aktivitas. Elemen-elemen matriks max-plus X seperti ditunjukkan pada persamaan (1).

$$X = \begin{pmatrix} & \alpha & A & B & C & D & E & F & G & \omega \\ \alpha & x_{(\alpha\alpha)} & x_{(\alpha A)} & x_{(\alpha B)} & x_{(\alpha C)} & x_{(\alpha D)} & x_{(\alpha E)} & x_{(\alpha F)} & x_{(\alpha G)} & x_{(\alpha\omega)} \\ A & x_{(A\alpha)} & x_{(AA)} & x_{(AB)} & x_{(AC)} & x_{(AD)} & x_{(AE)} & x_{(AF)} & x_{(AG)} & x_{(A\omega)} \\ B & x_{(B\alpha)} & x_{(BA)} & x_{(BB)} & x_{(BC)} & x_{(BD)} & x_{(BE)} & x_{(BF)} & x_{(BG)} & x_{(B\omega)} \\ C & x_{(C\alpha)} & x_{(CA)} & x_{(CB)} & x_{(CC)} & x_{(CD)} & x_{(CE)} & x_{(CF)} & x_{(CG)} & x_{(C\omega)} \\ D & x_{(D\alpha)} & x_{(DA)} & x_{(DB)} & x_{(DC)} & x_{(DD)} & x_{(DE)} & x_{(DF)} & x_{(DG)} & x_{(D\omega)} \\ E & x_{(E\alpha)} & x_{(EA)} & x_{(EB)} & x_{(EC)} & x_{(ED)} & x_{(EE)} & x_{(EF)} & x_{(EG)} & x_{(E\omega)} \\ F & x_{(F\alpha)} & x_{(FA)} & x_{(FB)} & x_{(FC)} & x_{(FD)} & x_{(FE)} & x_{(FF)} & x_{(FG)} & x_{(F\omega)} \\ G & x_{(G\alpha)} & x_{(GA)} & x_{(GB)} & x_{(GC)} & x_{(GD)} & x_{(GE)} & x_{(GF)} & x_{(GG)} & x_{(G\omega)} \\ \omega & x_{(\omega\alpha)} & x_{(\omega A)} & x_{(\omega B)} & x_{(\omega C)} & x_{(\omega D)} & x_{(\omega E)} & x_{(\omega F)} & x_{(\omega G)} & x_{(\omega\omega)} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Elemen-elemen matriks pada persamaan (1) merupakan bobot dari aktivitas yang tunjukkan pada persamaan (2).

$$X = \begin{pmatrix} -\infty & 0 & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & 1 & 1 & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & 7 & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & 2 & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & 0.5 & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & 1 & 1 & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & 15 & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & 10 & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \end{pmatrix} \quad (2)$$

Dalam penelitian ini, perhitungan matriks menggunakan perangkat lunak *scilab* versi 5.5.2 dan menggunakan *Toolbox* aljabar max-plus yang ada pada *scilab* yaitu *versi 1.0.1* (Subiono & Adzkiya, 2009). Dengan menggunakan tools $x^n = \text{maxpluspwr}(x,n)$ maka diperoleh matriks $X^2 = X \otimes X$, $X^3 = X^2 \otimes X$, ..., $X^8 = X^7 \otimes X$

$$X^6 = \begin{pmatrix} -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & 24.5 & 29 \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & 34.5 \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$X^7 = \begin{pmatrix} -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & 34.5 \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \end{pmatrix} \quad (8)$$

$$X^8 = \begin{pmatrix} -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \end{pmatrix} \quad (9)$$

Dari persamaan (2) - (9), maka diperoleh nilai $X^* = X \oplus X^2 \oplus X^3 \oplus \dots \oplus X^8$ yang ditunjukkan pada persamaan (10) .

$$X^* = \begin{pmatrix} -\infty & 0 & 1 & 1 & 8 & 8.5 & 9.5 & 24.5 & 34.5 \\ -\infty & -\infty & 1 & 1 & 8 & 8.5 & 9.5 & 24.5 & 34.5 \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & 7 & 7.5 & 8.5 & 23.5 & 33.5 \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & 2 & 3 & 18 & 28 \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & 0.5 & 1.5 & 16.5 & 26.5 \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & 1 & 16 & 26 \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & 15 & 25 \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & 10 \\ -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty & -\infty \end{pmatrix} \quad (10)$$

Dari Persamaan (10) diperoleh elemen $x_{\alpha\omega} = 34.5$. Hal ini menunjukkan bahwa waktu optimal dalam penyelesaian pembuatan kerajinan sulaman karawo tidak lebih dari 34,5 hari. Jalur kritis pembuatan atau produksi sulaman karawo diperoleh dengan menentukan vektor V dengan elemen ke-i adalah

$$v_i = x_{\alpha i}^* \otimes x_{i\omega}^*$$

$$V = \begin{pmatrix} V_A \\ V_B \\ V_C \\ V_D \\ V_E \\ V_F \\ V_G \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{\alpha A}^* \otimes x_{A\omega}^* \\ x_{\alpha B}^* \otimes x_{B\omega}^* \\ x_{\alpha C}^* \otimes x_{C\omega}^* \\ x_{\alpha D}^* \otimes x_{D\omega}^* \\ x_{\alpha E}^* \otimes x_{E\omega}^* \\ x_{\alpha F}^* \otimes x_{F\omega}^* \\ x_{\alpha G}^* \otimes x_{G\omega}^* \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \otimes 34.5 \\ 1 \otimes 33.5 \\ 1 \otimes 28 \\ 8 \otimes 26.5 \\ 8.5 \otimes 26 \\ 9.5 \otimes 25 \\ 24.5 \otimes 10 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 34.5 \\ 34.5 \\ 29 \\ 34.5 \\ 34.5 \\ 34.5 \\ 34.5 \end{pmatrix} \quad (11)$$

Kemudian menentukan vektor S dengan elemen-elemen $s_i = x_{\alpha\omega}^* - v_i$.

$$S = \begin{pmatrix} S_A \\ S_B \\ S_C \\ S_D \\ S_E \\ S_F \\ S_G \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{\alpha\omega}^* - v_A \\ x_{\alpha\omega}^* - v_B \\ x_{\alpha\omega}^* - v_C \\ x_{\alpha\omega}^* - v_D \\ x_{\alpha\omega}^* - v_E \\ x_{\alpha\omega}^* - v_F \\ x_{\alpha\omega}^* - v_G \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 34.5 - 34.5 \\ 34.5 - 34.5 \\ 34.5 - 29 \\ 34.5 - 34.5 \\ 34.5 - 34.5 \\ 34.5 - 34.5 \\ 34.5 - 34.5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 5.5 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (12)$$

Berdasarkan Persamaan (12), maka diperoleh jalur kritis dari elemen vektor S yang bernilai 0, yaitu aktivitas A, B, D, E, F, G sedangkan kegiatan yang dapat ditunda adalah kegiatan C. Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa aktivitas kegiatan sulaman karawo dapat dikerjakan dengan jalur A, B, D, E, F, dan G dengan menunda kegiatan C. Penundaan kegiatan C tanpa berdampak pada waktu penyelesaian pembuatan sulaman karawo. Model

aljabar max-plus yang dihasilkan memberikan gambaran bahwa pembuatan kerajinan sulaman karawo dapat dikerjakan dengan mengikuti jalur seperti yang diperoleh pada Persamaan 12. Hasil yang diperoleh menunjukkan hal yang sama dengan penelitian (Prastiwi & Listiana, 2017), tentang penerapan aljabar max-plus pada kerajinan ikat kupang. Model aljabar max-plus dapat dijadikan alternatif untuk menyelesaikan masalah penjadwalan.

SIMPULAN DAN SARAN

Aljabar max-plus dapat dijadikan alternatif metode yang dapat diterapkan dalam menentukan waktu optimal dalam pembuatan kerajinan sulaman karawo. Waktu penyelesaian pembuatan kerajinan sulaman karawo adalah 34,5 hari dengan jalur kritis aktivitas A, aktivitas B, aktivitas D, aktivitas E, aktivitas F dan aktivitas G sedangkan aktivitas C dapat dilakukan penundaan. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi bagi pengrajin untuk mengoptimalkan dan mengefisienkan waktu pembuatan kerajinan sulaman karawo dengan memperhatikan jalur kritis aktivitas pembuatannya. Penelitian selanjutnya dapat digunakan metode lain untuk menentukan waktu optimal dari permasalahan yang diteliti dalam artikel ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pelaksanaan penelitian ini didanai melalui Dana PNBK Fakultas MIPA Universitas Negeri Gorontalo tahun 2021. Peneliti menyampaikan ucapan terima kasih kepada pimpinan Fakultas MIPA sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dan terpublikasi.

DAFTAR RUJUKAN

- Auliansyah, Rafflesia, U., & Fauzi, Y. (2018). Penjadwalan Proses Produksi Pada Industri Tahu Menggunakan Metode Aljabar Max-Plus. *Prosiding Seminar Nasional FMIPA-UT 2018*, 61–67.
- Baccelli, F., Cohen, G., Olsder, G. J., & Quadrat, J.-P. (1992). *Synchronization and Linearity: An Algebra for Discrete Event Systems*. Wiley.
- Cassandras, C. G., & Lafortune, S. (2008). Introduction to Discrete Event Systems Second Edition. In *IEEE Control Systems* (Vol. 30). <https://doi.org/10.1109/MCS.2010.938477>
- Gorontalo, P. (2015). Industri Kreatif Kain Karawo. Retrieved from <https://dpmesdmtrans.gorontaloprov.go.id/bpmptsp/industri-kreatif-kain-karawo/>
- Goto, H. (2014). Introduction to max-plus algebra. *Proceedings of the International Symposium on Symbolic and Algebraic Computation, ISSAC*, (December), 21–22. <https://doi.org/10.1145/2608628.2627496>
- Heidergott, B., Olsder, G. J., & Woude, J. van der. (2006). *Max Plus at Work: Modeling and Analysis of Synchronized Systems: A Course on Max-Plus Algebra and Its Applications*. Princeton University Press.
- Indriyani, D., & Subiono, S. (2016). Scheduling Of The Crystal Sugar

- Production System in Sugar Factory Using Max-Plus Algebra. *International Journal of Computing Science and Applied Mathematics*, 2(3), 33. <https://doi.org/10.12962/j24775401.v2i3.2092>
- Koniyo, M. H., Lamusu, S., Hadjaratie, L., & Bouty, A. A. (2016). *Aplikasi Template Karawo Berdasarkan Klasifikasi Motif yang Sesuai dengan Karakter dan Budaya Gorontalo*. Universitas Negeri Gorontalo.
- Noor, A. M. L. (2015). *Penjadwalan Proyek Menggunakan Metode Aljabar Max-Plus: Studi Kasus Pada Pemasangan Pengolah Ais PDAM Kota Semarang*.
- Prastiwi, L., & Listiana, Y. (2017). The Application of Max-Plus Algebra to Determine The Optimal Time of Ikat Kupang Woven Production. *International Journal of Computing Science and Applied Mathematics*, 3(2), 77. <https://doi.org/10.12962/j24775401.v3i2.2317>
- Rahmatia, R. (2014). *Industrialisasi Kerajinan Sulaman Karawo dan Perubahan Sosial Budaya Gorontalo*. Universitas Negeri Gorontalo.
- Rauf, M. D. A., Nurwan, N., Yahya, L., & Nuha, A. R. (2021). *Model Penjadwalan Proyek Pembangunan Perumahan Menggunakan Petri Net dan Aljabar Max-Plus*. 7(1), 31-42.
- Rudhito, M. A. (2016). *Aljabar max-plus dan penerapannya*. Jogjakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Subiono. (2000). *On Classes of Min-Max-Plus Systems and Their Applications* (PhD Thesis). Delft University of Technology, the Netherlands.
- Subiono, & Adzkiya, D. (2009). *Max-Plus Algebra Toolbox ver. 1.0.1*. Surabaya: Jurusan Matematika ITS, Surabaya.
- Subiono, S. (2015). *Aljabar Min-Max-Plus dan Terapannya*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Winarni. (2011). Penjadwalan Jalur Bus dalam Kota dengan Model Petri Net dan Aljabar Max-Plus. *Cauchy: Jurnal Matematika Murni Dan Aplikasi*, 1(4), 192-206.

