

## **PENERAPAN ALGORITMA MAX-MIN ANT SYSTEM DALAM PENYUSUNAN JADWAL MATA KULIAH DI JURUSAN MATEMATIKA FMIPA UNTAN**

**Qalbi Aliklas, Neva Satyahadewi, Hendra Perdana**

### **INTISARI**

*Penyusunan jadwal mata kuliah merupakan suatu permasalahan yang sering terjadi di suatu perguruan tinggi. Penjadwalan mata kuliah merupakan proses penyusunan jadwal pelaksanaan kuliah yang menginformasikan tempat belajar, waktu, mahasiswa yang mengambil serta dosen yang mengajar mata kuliah tersebut. Satu diantara metode untuk menyusun suatu jadwal yaitu Ant Colony Optimization. Ant Colony Optimization merupakan metode metaheuristik yang terinspirasi dari perilaku semut dalam menemukan rute menuju sumber makanan. Pada penelitian ini digunakan algoritma Max-Min Ant System untuk memperoleh jadwal mata kuliah yang optimal. Data jumlah mata kuliah, mahasiswa, ruangan, waktu dan sesi serta kapasitas ruang diinput kemudian diperoleh suatu jadwal mata kuliah yang optimal dengan menggunakan metode algoritma Max-Min Ant System.*

**Kata Kunci:** *Penjadwalan mata kuliah, Algoritma, Ant Colony Optimization*

### **PENDAHULUAN**

Proses perkuliahan yang berlangsung di setiap Universitas harus terstruktur agar dapat berjalan dengan lancar. Waktu dan tempat yang telah ditentukan untuk tiap mata kuliah berguna agar proses perkuliahan tidak terjadi bentrok. Oleh karena itu, setiap awal semester dilakukan proses penjadwalan mata kuliah. Penjadwalan ini mengatur waktu dan tempat untuk setiap mata kuliah yang berlangsung baik itu di semester ganjil ataupun genap.

Masalah utama penjadwalan adalah bagaimana menempatkan mata kuliah pada suatu waktu dan tempat [1]. Mahasiswa yang mengikuti proses perkuliahan juga harus dapat hadir pada setiap proses perkuliahan. Oleh karena itu, perlu adanya proses optimasi yang dapat diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan mata kuliah di Program Studi (Prodi) Statistika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Tanjungpura (Untan). Sebagai acuan dalam pembuatan jadwal mata kuliah, perlu adanya penetapan suatu batasan dalam proses penjadwalan mata kuliah yang tidak boleh dilanggar (*hard constraint*) dan batasan yang boleh dilanggar (*soft constraint*) [1].

Proses pencarian solusi yang dapat digunakan adalah dengan menggunakan *metaheuristics network* yang satu diantaranya adalah *Ant Colony Optimization (ACO)*. ACO adalah metode yang terinspirasi oleh perilaku semut dalam menemukan jalur dari koloninya menuju sumber makanan. Selama berjalan, setiap semut mengeluarkan *pheromone* yang merupakan alat komunikasi tak langsung dari koloni semut. Semut lainnya sensitif dengan *pheromone* tersebut sehingga akan mengikuti jejaknya. Proses ini membuat koloni semut menentukan jalur optimal menuju sumber makannya [2]. Permasalahan penjadwalan mata kuliah ini dapat diselesaikan dengan menggunakan ACO khususnya Algoritma *Max-Min Ant System (MMAS)*.

Penelitian ini menerapkan konsep dan cara kerja algoritma MMAS untuk memperoleh jadwal mata kuliah yang optimal. Proses ini tidak memasukkan data mata kuliah minor dan hanya menjadwalkan mata kuliah yang menggunakan ruangan kelas. Proses penjadwalan mata kuliah dimulai dengan *input* data mata kuliah, jumlah ruangan, jumlah sesi, jumlah hari dan kapasitas ruang. Kemudian menentukan koordinat slot yang akan digunakan untuk menghitung jarak antar

slot. Semut akan menghitung nilai peluang untuk memilih slot selanjutnya. Setelah semua slot dikunjungi dan *tabulist* menjadi penuh maka dihitung total jarak. Hanya semut dengan rute terbaik di setiap iterasi yang dapat *update pheromone*. Iterasi terus berjalan hingga terjadi konvergensi atau telah mencapai iterasi maksimal.

## PENJADWALAN

Penjadwalan adalah penyusunan jadwal yang menyesuaikan dengan sejumlah batasan (*constraint*). Masalah penjadwalan dapat diselesaikan dengan menempatkan *event* pada satu *time slot*, sehingga memenuhi *constraint* yang telah ditentukan. Terdapat dua jenis *constraint* yang berfungsi sebagai pembatas suatu keluaran solusi yaitu *hard constraint* dan *soft constraint* [1]. Suatu jadwal dikatakan layak jika tidak melanggar *hard constraint* dan dikatakan optimal jika tidak melanggar *soft constraint* [3]. *Hard constraint* merupakan batasan yang bersifat tegas dan tidak boleh dilanggar. Berikut adalah *hard constraint* pada penjadwalan mata kuliah di Program Studi Statistika Jurusan Matematika FMIPA Untan, yaitu:

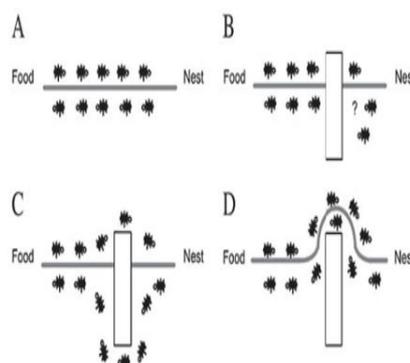
1. Ruang yang tersedia adalah H1.1, H1.2 dan Laboratorium Komputer;
2. Kapasitas ruangan adalah sebagai berikut: H1.1 menampung 80 mahasiswa, H1.2 menampung 55 mahasiswa, dan Laboratorium Komputer menampung sebanyak 40 mahasiswa;
3. Sesi pagi (07.30-10.00) dan sesi sore (13.00-15.30) untuk mata kuliah 3 SKS dan sesi siang (10.15-11.55) untuk mata kuliah 2 SKS;
4. Jumlah mahasiswa disesuaikan dengan kapasitas ruangan;
5. Pada hari rabu, khusus sesi siang digunakan untuk rapat prodi sedangkan sesi siang pada hari jumat ditiadakan untuk waktu sholat jumat;
6. Dosen tidak boleh mengajar dua kelas dalam satu waktu.

*Soft constraint* adalah batasan yang masih boleh dilanggar. Artinya jika batasan ini dilanggar masih bisa diterima. *Soft Constraint* yang ditetapkan adalah sebagai berikut:

1. Alokasi jadwal kuliah mahasiswa semester pertama diusahakan mulai pada sesi pagi;
2. Mahasiswa diusahakan hanya memiliki dua mata kuliah dalam satu hari;
3. Dosen diusahakan tidak mengajar lebih dari dua sesi dalam satu hari.

## ANT COLONY OPTIMIZATION

*Ant Colony Optimization* diperkenalkan oleh Moysen dan Manderick, namun secara meluas dikembangkan oleh Marco Dorigo. Metode ini terinspirasi oleh perilaku semut dalam menemukan jalur dari koloninya menuju sumber makanan. Semut menggunakan lingkungannya sebagai media komunikasi. Mereka bertukar informasi secara tidak langsung melalui *pheromone*. Informasi yang ditukar memiliki ruang lingkup lokal, dimana hanya seekor semut yang terletak di tempat *pheromone* itu berada dapat mengambil informasi. Proses peninggalan *pheromone* untuk bertukar informasi ini dinamakan *stigmergy* [2].



Gambar 1 Simulasi koloni semut mencari makanan [2]

Penjelasan sistem kerja semut dalam mencari makanan berdasarkan Gambar 1 yaitu pada awalnya koloni semut berkeliling secara acak mencari sumber makanan. Ketika semut diberi hambatan menuju makanan, koloni semut tersebut harus menentukan arah yang akan dipilih. Kemudian koloni semut memilih jalan yang berbeda untuk menuju ke sumber makanan. Seiring waktu, jumlah semut yang melewati jalur lebih panjang mulai berkurang karena penguapan *pheromone* yang lebih cepat dibandingkan dengan jalur pendek. Akhirnya, semua koloni semut memilih jalur yang lebih pendek karena semut cenderung memilih jalur yang memiliki *pheromone* dengan konsentrasi tinggi.

### ALGORITMA MAX-MIN ANT SYSTEM

*Max-min Ant System* (MMAS) merupakan pengembangan dari algoritma *Ant System* (AS) dengan beberapa perubahan utama [4]. Berikut tiga perubahan utama dalam MMAS terhadap AS:

1. Penambahan *pheromone* bisa dilakukan pada *edge-edge* yang merupakan bagian dari rute terbaik yang ditemukan sejak awal algoritma (*best so-far tour*) atau pada rute terbaik yang ditemukan pada iterasi tersebut (*iteration best-tour*). Penambahan *pheromone* juga bisa dilakukan sekaligus pada keduanya yaitu *best so-far tour* dan *iteration best-tour* sekaligus. Tetapi, strategi ini memungkinkan terjadinya stagnasi di awal pencarian yang menyebabkan semua semut melalui jalur yang sama. Hal ini dikarenakan pemberian *pheromone* yang berlebihan pada *edge*, meskipun bagian dari rute yang terbaik.
2. Mengatasi masalah pada perubahan pertama, maka MMAS memberikan batasan dalam pemberian nilai *pheromone* dengan selang  $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ .
3. *Pheromone* diinisialisasi dengan batas maksimal nilai *pheromone*, dimana tingkat penguapan *pheromone* yang kecil akan meningkatkan eksplorasi *rute* sejak dimulainya pencarian.

### ATURAN TRANSISI STATUS

Aturan transisi untuk semut  $k$  yang berada pada slot  $i$  akan memilih menuju ke slot  $j$  dipilih berdasarkan distribusi peluang [5]. Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$P_{ij}^k = \begin{cases} \frac{\tau_{ij}^\alpha \eta_{ij}^\beta}{\sum_{c_{il} \in N(s^p)} \tau_{il}^\alpha \eta_{il}^\beta}, & \text{untuk } j \in N(s^p) \\ 0, & \text{untuk } j \text{ lainnya} \end{cases} \quad (1)$$

Keterangan:

$P_{ij}^k$  : Peluang semut  $k$  pada slot  $i$  akan memilih menuju ke slot  $j$ .

$N(s^p)$  : Himpunan slot yang akan dikunjungi oleh semut  $k$  yang sedang berada pada slot  $i$ .

$l$  : slot yang belum dikunjungi oleh semut  $k$

### PERHITUNGAN PANJANG RUTE

Perhitungan panjang rute setiap semut dilakukan setelah setiap semut menyelesaikan rutanya masing-masing [3]. Perhitungan panjang rute semut  $k$  dilakukan berdasarkan  $tabu_k$  dengan persamaan sebagai berikut.

$$C^k = d_{tabu(n), tabu(1)}^k + \sum_{j=1}^{n-1} d_{tabu(j), tabu(j+1)}^k \quad (2)$$

Keterangan:

$d_{tabu(j), tabu(j+1)}^k$  : Jarak dari slot  $j$  sampai slot  $(j + 1)$  pada *tabulist* yang ditempati oleh semut  $k$ .

$d_{tabu(n), tabu(1)}^k$  : Jarak antara slot  $n$  (slot akhir) dengan slot pertama pada *tabulist* yang ditempati oleh semut  $k$

$C^k$  : Panjang rute yang dilalui oleh semut  $k$

### UPDATE PHEROMONE

Algoritma MMAS hanya memperbolehkan satu semut yang digunakan untuk *update pheromone* setelah setiap iterasi dilakukan [4]. Aturan *update pheromone* algoritma MMAS diberikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\tau_{ij}(t+1) &= (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij}^{best} \\ \Delta\tau_{ij}^{best} &= \frac{1}{C^{ib}}\end{aligned}\quad (3)$$

Keterangan:

- $C^{ib}$  : Panjang rute terbaik pada setiap iterasi
- $\rho$  : Tetapan penguapan *pheromone* yang berada pada selang [0,1]
- $t$  : Banyaknya iterasi

Selanjutnya *update pheromone* dibatasi dengan mengikuti aturan sebagai berikut [4]:

$$\tau_{ij} = \begin{cases} \tau_{min} & , \text{jika } \tau_{i,j} < \tau_{min} \\ \tau_{max} & , \text{jika } \tau_{i,j} > \tau_{max} \\ \tau_{i,j} & , \text{lainnya.} \end{cases}\quad (4)$$

$$\tau_{max} = \frac{1}{\rho C^{ib}}\quad (5)$$

$$\tau_{min} = \frac{\tau_{max}(1-\sqrt[n]{p_{best}})}{((avg-1)\sqrt[n]{p_{best}})}\quad (6)$$

Keterangan:

- $\tau_{max}$  : Batas maksimal pemberian *pheromone*
- $\tau_{min}$  : Batas minimal pemberian *pheromone*
- $avg$  : Jumlah slot dibagi 2

Setelah menyelesaikan rute dan menghitung panjang rute yang dilalui. Semut akan meninggalkan *pheromone* pada lintasan yang dilaluinya. Karena penambahan *pheromone* hanya boleh dilakukan oleh semut dengan panjang rute terbaik di setiap iterasi, maka akan menyebabkan terjadinya perubahan intensitas *pheromone* antar slot sehingga rute dengan jumlah *pheromone* yang lebih tinggi akan cenderung dipilih.

### PENETAPAN PARAMETER ALGORITMA

Inisialisasi nilai parameter-parameter dalam penyelesaian program dengan menggunakan Algoritma MMAS, yaitu:

- a. Intensitas *pheromone* antar slot dan *update pheromone* ( $\tau_{ij}$ ). Nilai *pheromone* awal diinisialisasi dengan  $\tau_{max}$ . Rumus  $\tau_{max}$  dapat dihitung dengan Persamaan (5).
- b. Banyaknya slot ( $n$ ) dan juga koordinat slot ( $x, y$ ). Rumus mencari jarak antar slot ( $d_{ij}$ ) yaitu
 
$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$
,  $i$  adalah slot saat ini dan  $j$  adalah slot selanjutnya.
- c. Slot awal dan slot akhir adalah sama.
- d. Tetapan pengendali intensitas jejak semut ( $\alpha > 0$ ). Parameter yang mengontrol bobot (*weight*) relatif dari *pheromone*.
- e. Parameter pengendali jarak ( $\beta > 0$ ).
- f. Invers jarak antar slot ( $\eta_{ij} = \frac{1}{d_{ij}}$ ).
- g. Banyaknya semut ( $m$ ).
- h. Tetapan penguapan *pheromone* ( $\rho$ ), nilainya  $0 < \rho \leq 1$ . Hal ini untuk mencegah jumlah *pheromone* yang berlebihan.
- i. Jumlah iterasi maksimum ( $NC_{max}$ ), ditetapkan iterasi maksimum sebesar 1000 iterasi.
- j. Panjang rute semut ( $C^k$ ). Panjang rute terbaik pada setiap iterasi ( $C^{ib}$ ).

- k. Batasan pemberian nilai *pheromone* dengan selang  $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ .
- l. Peluang ditemukannya solusi terbaik ( $p_{best}$ ).

### PENERAPAN ALGORITMA MAX-MIN ANT SYSTEM

Penyelesaian permasalahan penjadwalan mata kuliah dengan menggunakan algoritma MMAS untuk menentukan slot dalam bentuk penjadwalan. Program algoritma MMAS ini menggunakan kasus penjadwalan mata kuliah pada sistem perkuliahan di Prodi Statistika FMIPA Untan Tahun Ajaran 2018/2019 Semester Ganjil. Rincian informasi mata kuliah yang akan dibuat penjadwalan mata kuliah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Rincian Informasi Mata Kuliah

No	Mata Kuliah	Kode Makul	Sem	SKS	Jumlah Mhs	Kode Dosen
1	Analisis Data Eksploratif	ADE	1	3	60	NN
2	Aljabar Matriks dan Vektor	AMV	1	3	60	FF + NI
3	Matematika	MAT	1	3	59	MK + FF
4	Fisika	FIS	1	3	74	MKDU
5	Pengenalan Teknologi Informasi	PTI	1	2	59	MKDU
6	Kimia Kontekstual	KK	1	2	59	MKDU
7	Biologi Kontekstual	BK	1	2	60	MKDU
8	Bahasa Inggris	BING	1	3	59	MKDU
9	Kewarganegaraan	KWN	3	2	50	MKDU
10	Analisis Regresi	AR	3	3	51	NN
11	Riset Operasi	RO	3	3	35	MA
12	Basis Data	BD	3	3	49	HP
13	Kalkulus Lanjut	KL	3	2	55	MK + WBP
14	Metode Numerik	MN	3	3	27	SWR + YUD
15	Pengantar Statistika Matematika I	PSM I	3	3	63	NS + SWR
16	Aljabar Linear Statistika	ALS	3	3	57	NI
17	Statistik Non Parametrik	SNP	3	2	54	H
18	Bahasa Indonesia	BIND	5	2	37	MKDU
19	Metode Deret Waktu I	MDW I	5	3	44	YUN + SM
20	Pengantar Statistika Keuangan	PSKU	5	3	46	ES
21	Komputasi Statistika	KOMS	5	3	42	HP
22	Matematika Aktuaria II	MA II	5	3	38	HP + NS
23	Ekonometrika	EKO	5	3	43	DK
24	Pengenalan Pengendalian Kualitas Statistika	PPKS	7	3	37	NI
25	Teori Bunga	TB	7	3	18	SWR

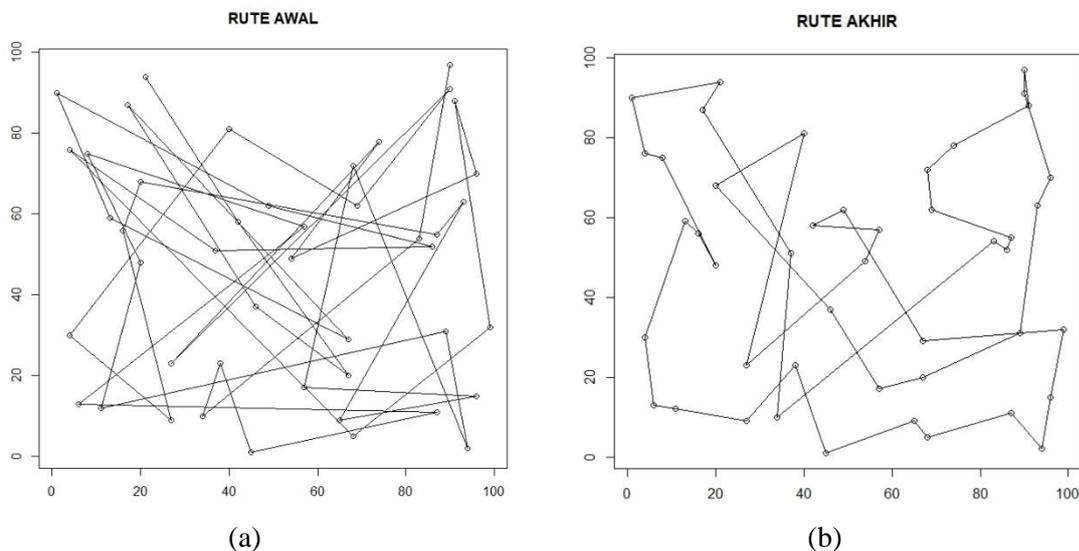
Berdasarkan Tabel 1, total slot yang dibutuhkan untuk penjadwalan mata kuliah adalah sebanyak 25 slot. Jumlah ruangan yang disediakan ada 3. Pembagian waktu atau sesi perkuliahan dibagi menjadi 3 sesi yaitu sesi pagi (07.30 – 10.00), sesi siang (10.15-11.55) dan sesi sore (13.00-15.30). Sesi siang dialokasikan untuk mata kuliah 2 sks karena mempertimbangkan waktu istirahat dan sholat zuhur. Kemudian alokasi hari yang tersedia adalah hari kerja (senin-jumat). Berdasarkan ketentuan tersebut maka total slot yang tersedia adalah sebanyak  $3 \times 3 \times 5 = 45$  slot.

### INISIALISASI PARAMETER AWAL

Penyelesaian proses penjadwalan diawali dengan inisialisasi jumlah slot. Slot kemudian ditempatkan di koordinat kartesius secara acak agar dapat dihitung jarak antar slot. Selanjutnya diinisialisasi parameter awal untuk proses iterasi dalam pencarian rute terbaik. Nilai yang digunakan adalah  $\alpha = 1$ ,  $\beta = 2$ . Nilai *pheromone* awal ditentukan dengan menginisialisasi  $\tau_{max}$  yang dapat dihitung setelah dapat rute awal. Nilai *eta* awal diperoleh dengan *invers* jarak antar slot. Inisialisasi parameter *rho* sebesar 0.02 dan *p\_best* sebesar 0.05 [4]. Iterasi maksimal ditetapkan sebesar 1000 iterasi.

Banyaknya semut yang digunakan adalah 100 semut. Semut kemudian ditempatkan secara acak pada slot yang sudah ditentukan. Kemudian rute awal didapatkan dengan *random* permutasi sehingga tidak ada slot yang akan terpilih kembali. Setelah didapat rute awal yang terbaik maka didapat nilai  $\tau_{min}$  dan  $\tau_{max}$  yang mana nilai  $\tau_{max}$  akan digunakan untuk inisialisasi *pheromone* awal. Selanjutnya, proses iterasi berlangsung untuk terus mencari rute yang optimal. Peluang slot-slot yang akan dikunjungi oleh semut dari slot sekarang yang sedang ditempati dihitung dengan menggunakan Persamaan (1). Proses perhitungan tersebut diulang sampai semua slot sudah dikunjungi hingga membentuk sebuah rute baru. Setelah itu dihitung jarak rute yang terbentuk agar didapat rute terbaik. Rute terbaik ini yang dipakai untuk meng-*update pheromone* sementara rute yang lain mengalami penguapan *pheromone*. Besarnya penambahan dan penguapan *pheromone* dihitung berdasarkan Persamaan (3).

Proses iterasi ini diulang sampai jumlah iterasi maksimum yang ditentukan atau jika sudah terjadi konvergensi. Hasil akhir dari penelitian ini adalah menampilkan rute terbaik yang dihasilkan dan jadwal mata kuliah Prodi Statistika Jurusan Matematika FMIPA Untan.



Gambar 2 Output rute awal dan rute akhir

Rute awal yang terbentuk dari algoritma MMAS berdasarkan Gambar 2 (a) adalah sebagai berikut.

5 → 1 → 12 → 18 → 3 → 16 → 11 → 29 → 2 → 6 → 10 → 7 → 31 → 15 → 17 → 30 →  
26 → 38 → 24 → 37 → 27 → 44 → 13 → 4 → 21 → 42 → 39 → 25 → 14 → 33 → 40 →  
43 → 45 → 23 → 34 → 8 → 32 → 19 → 22 → 35 → 20 → 36 → 9 → 28 → 41 → 5

Rute terbaik yang terbentuk dari algoritma MMAS berdasarkan Gambar 2 (b) adalah sebagai berikut.

45 → 23 → 6 → 28 → 39 → 25 → 30 → 43 → 27 → 12 → 31 → 14 → 20 → 36 → 18 →  
 1 → 2 → 26 → 10 → 8 → 21 → 11 → 7 → 29 → 5 → 3 → 32 → 42 → 13 → 34 → 22 →  
 9 → 24 → 4 → 40 → 16 → 33 → 35 → 44 → 19 → 37 → 17 → 41 → 38 → 15 → 45

Urutan mata kuliah yang akan diinput kedalam slot sesuai dengan rute terbaik yang dihasilkan oleh algoritma MMAS. Namun dalam proses penempatan mata kuliah harus memperhatikan *hard* dan *soft constraint* yang telah ditetapkan sehingga didapat hasil penjadwalan mata kuliah Prodi Statistika Jurusan Matematika FMIPA Untan.

Tabel 2 Output penjadwalan mata kuliah menggunakan algoritma MMAS

RUANG	SESI	SENIN	SELASA	RABU	KAMIS	JUMAT
H1.1 (Kapasitas Maksimal 80 Mhs)	07.30 - 10.00	Matematika		Bahasa Inggris	Aljabar Linear Stat	Fisika
		Sem 1   MK+FF		Sem 1   MKDU	Sem 3   NI	Sem 1   MKDU
	10.15 - 11.55	Peng. Teknologi Informasi	Kimia Kontekstual	Rapat Prodi	Biologi Kontekstual	
		Sem 1   MKDU	Sem 1   MKDU		Sem 1   MKDU	
	13.00 - 15.30		Analisis Data Eksploratif	PSM I	Aljabar Matriks Vektor	
		Sem 1   NN	Sem 3   NS+S WR	Sem 1   FF+NI		
RUANG	SESI	SENIN	SELASA	RABU	KAMIS	JUMAT
H1.2 (Kapasitas Maksimal 55 Mhs)	07.30 - 10.00	Ekonometrika				Pengantar Statistika Keuangan
		Sem 5   DK				Sem 5   ES
	10.15 - 11.55	Kewarganegaraan	Kalkulus Lanjut	Rapat Prodi	Stat. Nonparametrik	
		Sem 3   MKDU	Sem 3   MK+W BP		Sem 3   H	
	13.00 - 15.30	Komputasi Statistika	MDW I	Analisis Regresi		Basis Data
	Sem 5   HP	Sem 5   YUN+ SM	Sem 3   NN		Sem 3   HP	
RUANG	SESI	SENIN	SELASA	RABU	KAMIS	JUMAT
Lab (Kapasitas Maksimal 40 Mhs)	07.30 - 10.00	Metode Numerik	Matematika Aktuaria II			Teori Bunga
		Sem 3   SWR+Y UD	Sem 5   HP+NS			Sem 7   SWR
	10.15 - 11.55			Rapat Prodi	B. Indonesia	
					Sem 5   MKDU	
	13.00 - 15.30		Peng. Pengendalian Kualitas Statistika			Riset Operasi
		Sem 7   NI			Sem 3   MA	

Tabel 2 merupakan hasil dari program penjadwalan mata kuliah menggunakan algoritma MMAS. Jadwal yang dihasilkan ini dapat digunakan karena tidak melanggar *hard constraint* dan *soft constraint*. Jadwal tersebut telah mengalokasikan waktu untuk rapat Prodi, sholat Jumat dan setiap mahasiswa hanya memiliki dua mata kuliah perhari di setiap semesternya.

## PENUTUP

Algoritma MMAS merupakan pengembangan dari algoritma AS. Algoritma ini hanya memperbolehkan *update pheromone* pada rute terbaik di setiap iterasi dengan batasan pemberian *pheromone*  $[\tau_{min}, \tau_{max}]$ . Algoritma MMAS dapat memberikan solusi untuk masalah penjadwalan mata kuliah. *Hard constraint* dan *soft constraint* yang ditetapkan terlebih dahulu menjadi acuan dalam penyusunan jadwal mata kuliah. Penjadwalan mata kuliah menggunakan algoritma MMAS didapatkan hasil yang sesuai karena tidak melanggar *hard constraint* dan *soft constraint*.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Aprilius W, Augustino L, Yeremia OMH. Implementasi Algoritma *MAX-MIN Ant System* pada Penjadwalan Mata Kuliah. *ULTIMATICS*.2013: 5:49.
- [2]. Karjono, Moedjiono, Kurniawan D. Ant Colony Optimization. *Jurnal TICOM*. 2016: 4:119-121.
- [3]. Astuti RF, Satyahadewi N, Perdana H. Penyusunan Penjadwalan Ujian Menggunakan Algoritma Rank Based Ant System. *Bimaster*.2017: 6(2):152-153.
- [4]. Stutzle T, Hoos HH. MAX-MIN Ant System. *Future Generation Computer Systems*. 2000:16 (8): 889-914.
- [5]. Dorigo M, Birattari M, Stutzle T. Ant Colony Optimization. *Computational Intelligence Magazine, IEEE*. 1. 2006: 28-39.

QALBI ALIKLAS	:	Jurusan Matematika FMIPA UNTAN, Pontianak qalbialiklas@student.untan.ac.id
NEVA SATYAHADEWI	:	Jurusan Matematika FMIPA UNTAN, Pontianak neva.satya@math.untan.ac.id
HENDRA PERDANA	:	Jurusan Matematika FMIPA UNTAN, Pontianak hendra.perdana@math.untan.ac.id

---