



Peluang Riset Bidang Optimasi

Prof. Wayan Firdaus Mahmudy
Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya

Disampaikan Dalam Kegiatan Kuliah Tamu
Selasa, 12 April 2022
Magister Informatika, UIN Maulana Malik Ibrahim, Malang

Alur Pembahasan



01

Contoh Permasalahan Optimasi

02

Algoritma Heuristik dan Meta-Heuristik

03

Mekanisme Pencarian Solusi

04

Algoritma Meta-Heuristik Populer

05

Peluang Penelitian Baru



**Contoh
Permasalahan
Optimasi**

Contoh Permasalahan

- Penjadwalan Operator Mesin

- Tujuan:

- Mendapatkan jadwal operator yang baik dan adil bagi seluruh operator mesin

- Batasan:

- Mengatur beban operator agar tidak bekerja lebih dari 10 jam sehari
 - Shift kerja terbagi 3 (pagi, siang, malam). Jadwal mengatur agar operator mendapatkan pembagian shift kerja yang adil

Bisa disusun model matematikanya

Bisa diperluas untuk penjadwalan:

- tenaga keamanan
- petugas kebersihan
- petugas pengiriman produk

Mudah dan cepat diselesaikan jika data berukuran kecil



Contoh Permasalahan

- Travelling Salesman Problem (TSP)

- Deskripsi:

- Seorang salesman/pegawai mendapatkan tugas untuk menjual/mendistribusikan produk ke sejumlah kota
- Berangkat dari kantor, kembali juga ke kantor
- Jarak antar kota berbeda

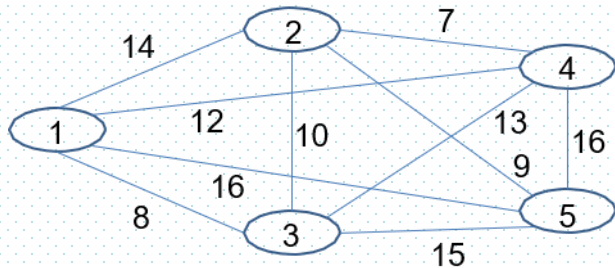
- Tujuan:

- Mendapatkan total jarak/biaya perjalanan minimal

- Batasan:

- Setiap kota dikunjungi minimal sekali

□



$$Z = \min \left\{ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \right\}$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad \sum_{j=1}^n x_{ij} = 1,$$

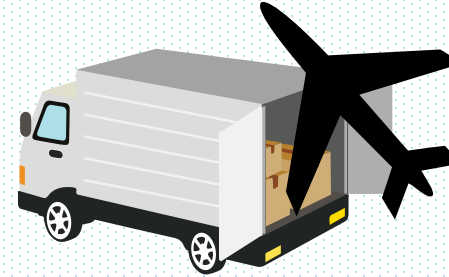
untuk j untuk i
 $= 1, 2, 3, \dots, n-1$ $= 1, 2, 3, \dots, n-1$

Tabel jarak antar simpul (kota)

Node	Kantor	1	2	3	4	5
Kantor	-	7	8	12	11	9
1	7	-	14	8	12	16
2	8	14	-	10	7	9
3	12	8	10	-	13	15
4	11	12	7	13	-	16
5	9	16	9	15	16	-

Banyak permasalahan nyata yang bisa diselesaikan dengan pendekatan TSP

Contoh Permasalahan



• Distribusi Produk X (Transportasi)

- Deskripsi:
 - Perusahaan mempunyai 3 pabrik (**sumber**) Malang, Bandung, Medan
 - Perusahaan mendistribusikan produknya ke seluruh wilayah (**tujuan**) di Indonesia
- Tujuan:
 - Mendapatkan strategi pengiriman dengan biaya minimal
- Batasan:
 - Kapasitas produksi tiap pabrik berbeda
 - Permintaan tiap wilayah berbeda
 - Biaya pengiriman tiap unit dari pabrik ke wilayah pengiriman juga berbeda

$$Z = \min \left\{ \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \right\}$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i,$$

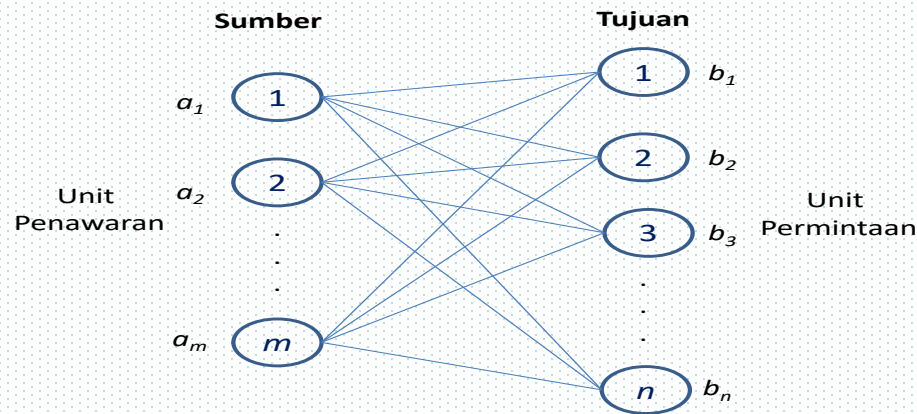
untuk i
 $= 1, 2, 3, \dots, m$

ketersediaan barang
pada sumber

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j,$$

untuk j
 $= 1, 2, 3, \dots, n$

permintaan barang pada
tujuan



biaya mungkin tidak linear

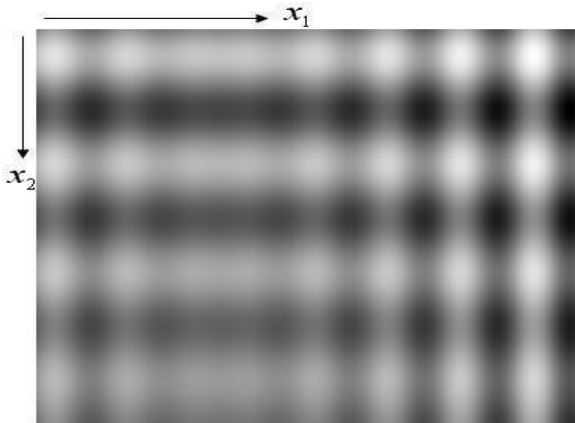
Mudah diselesaikan jika data berukuran kecil

Contoh Permasalahan

- **Minimasi/maksimasi fungsi matematika**

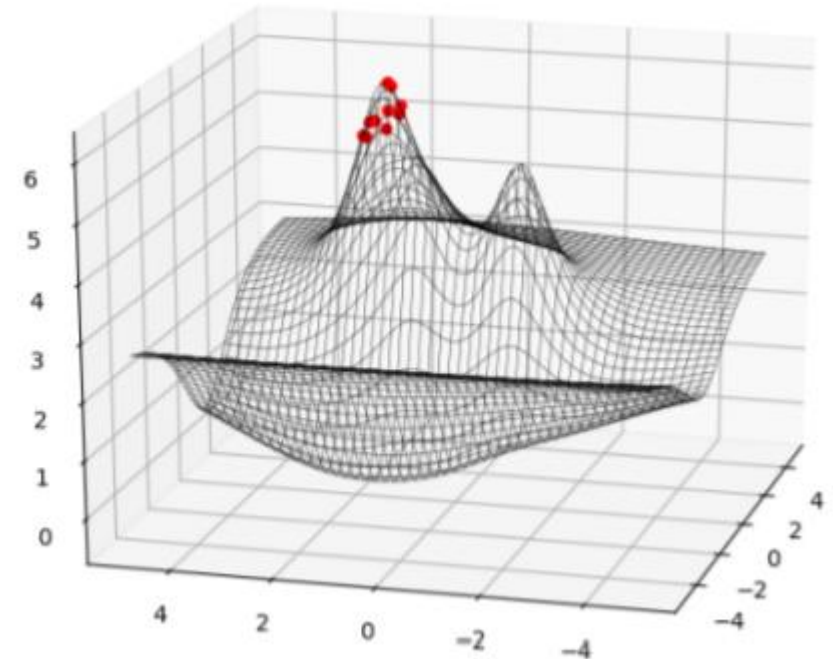
- $$\max g(x, y) = (3/2)e^{\frac{1}{1+(x-1)^2+(y-1)^2}} - (5/2)e^{\frac{1}{1+(1/4)(x+1/2)^2+(1/36)(y-1)^2}} + \frac{1}{2e^{\frac{1}{1+(x-2)^2+(y-2)^2}} + 2e^{\frac{1}{1+(x-1)^2+(y+1)^2}}}$$

- $$\max f(x_1, x_2) = 19 + x_1 \sin(x_1\pi) + (10 - x_2) \sin(x_2\pi)$$



$$5,0 \leq x_1 \leq 9,8, \\ 0,0 \leq x_2 \leq 7,3$$

➡ Banyak masalah optimasi di industri yang bisa didekati sebagai maksimasi/minimasi fungsi



<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1448/1/012020/pdf>

Semakin sulit diselesaikan jika model semakin kompleks

Contoh Permasalahan

- **Sistem Persamaan/Pertidaksamaan Linear dan Nonlinear**

Tentukan x_1 , x_2 dan x_3 :

$$2x_1 + x_2 - 4x_3 = 2$$

$$x_1 + 3x_2 + x_3 = 20$$

$$5x_1 - x_2 + 2x_3 = 27$$

☞ Banyak masalah optimasi di industri yang bisa didekati sebagai Sistem Persamaan/Pertidaksamaan Linear dan Nonlinear

Tentukan x_1 , x_2 dan x_3 :

$$2x_1 + x_2 + (3x_2 - x_3)^3 \leq 1050$$

$$(x_1 + 2x_2)^2 + 3x_2x_3 \geq 600$$

$$(5x_1 - x_2)^3 + 2x_3 \leq 90000$$

Bisa jadi tidak ada solusi yang 'pas'

Semakin sulit diselesaikan jika model semakin kompleks

Contoh Permasalahan

- **Optimasi fungsi berkendala**

Maksimumkan $f(x_1, x_2) = 400x_1 + 500x_2$

Dengan kendala:

$$10x_1 + 20x_2 \leq 350$$

$$9x_1 + 8x_2 \leq 200$$

$$12x_1 + 18x_2 \leq 300$$

**fungsi tujuan dan kendala
mungkin tidak linear**

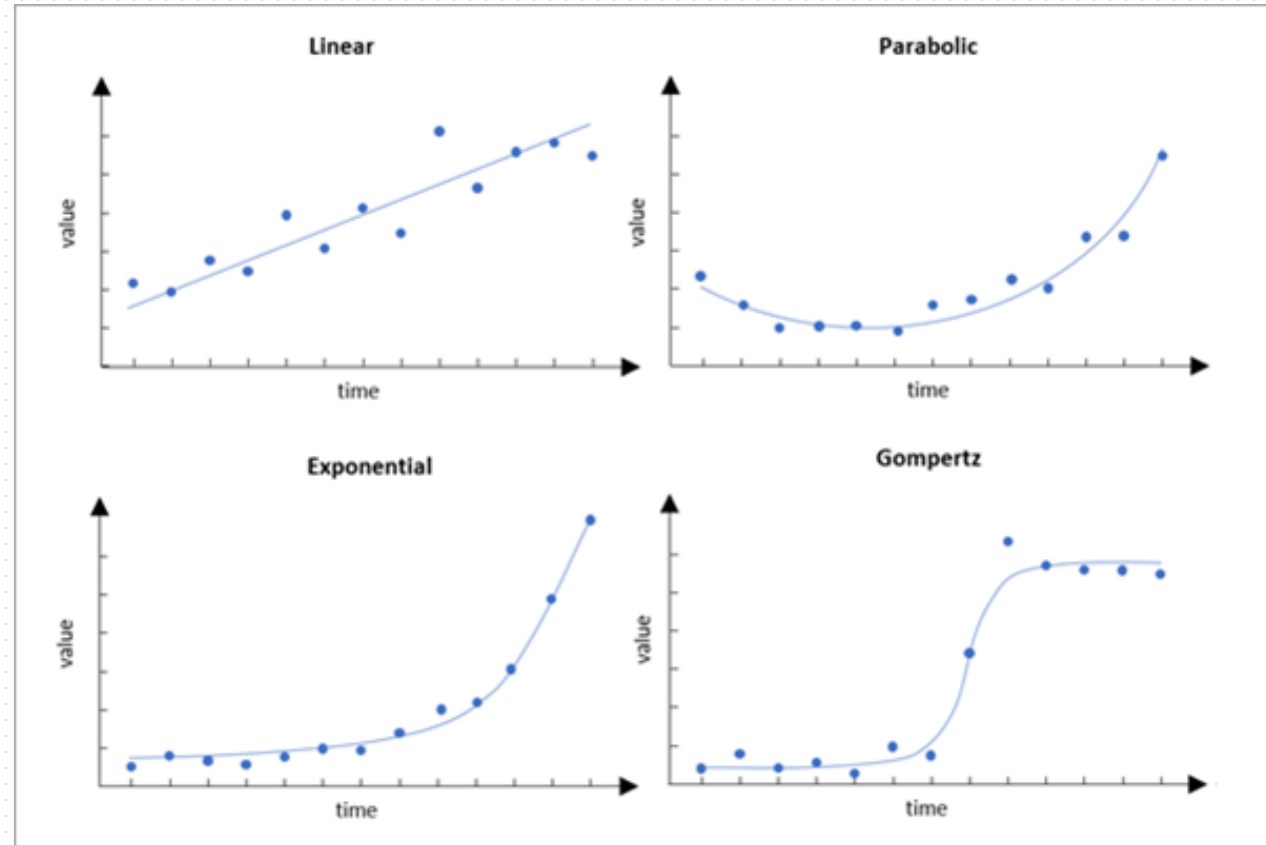
➡ Banyak masalah optimasi di industri yang bisa didekati sebagai maksimasi/minimasi fungsi berkendala

Semakin sulit diselesaikan jika model semakin kompleks

Contoh Permasalahan

- **Forecasting: penentuan model**

- tren permintaan
- nilai tukar (kurs)
- inflasi



Contoh Kasus Nyata Berbasis Model Matematis

Optimization of Multi-Stage Distribution Process Using Improved Genetic Algorithm

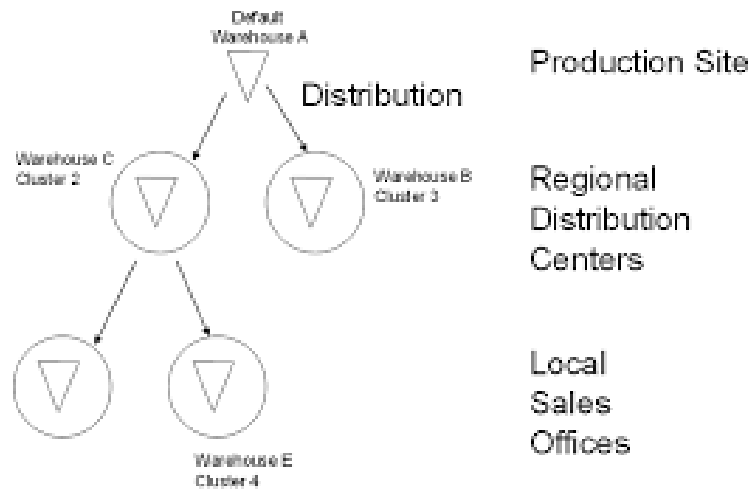
International Journal of Intelligent Engineering and Systems, vol. 14, no. 2, pp. 211-219.

Tujuan: meminimalkan biaya distribusi

$$cost = \sum_{i=1}^{I-1} \sum_{j=1}^{J_i} \sum_{k=1}^{J_{i+1}} C_{ijk} Q_{ijk}$$

Q_{ijk} : total quantity of items delivered from entity j in stage i into entity k in the lower level ($i+1$)

Q_{ijk} is decision variable that its value will be searched during optimization process.



Kendala

Request R_{ij} by entity j in stage i must be fulfilled from entities in higher level

$$\sum_{k=1}^{J_{i-1}} Q_{i-1,k,j} = R_{ij}$$

Total capacity of all vehicles in entity j in stage i is enough to deliver all product into all entities in the lower level ($i+1$)

$$\sum_{k=1}^{J_{i+1}} Q_{ijk} = \sum_{v=1}^{V_{ij}} V C_{ijv}$$

Contoh Kasus Nyata Berbasis Model Matematis

Hybrid Modified Evolution Strategies and Linear Programming for Beef Cattle Feed Optimization
International Journal on Electrical Engineering and Informatics, vol. 11, no. 1, pp. 223-235.

Tujuan: meminimalkan biaya pakan

$$\text{biaya} = b_1 y_1 + b_2 y_2 + \dots + b_m y_m$$

Kendala

$$c_{1j} y_1 + c_{2j} y_2 + \dots + c_{mj} y_m \geq a_j.$$

P_1, \dots, P_m , bahan pakan

mengandung n nutrisi, N_1, \dots, N_n

a_j kebutuhan minimum harian sapi untuk nutrisi N_j

b_i harga pakan untuk bahan pakan P_i

c_{ij} adalah jumlah nutrisi N_j yang dimiliki oleh pakan P_i

y_i berat bahan pakan P_i yang dibeli per hari

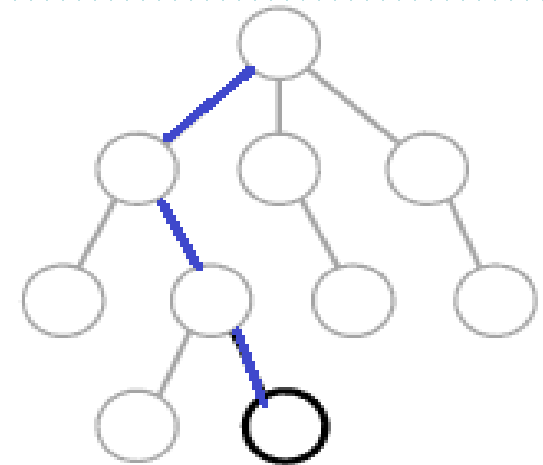
harga pakan mungkin tidak linear (diskon)



Algoritma Heuristik dan Meta-Heuristik

Algoritma Heuristik

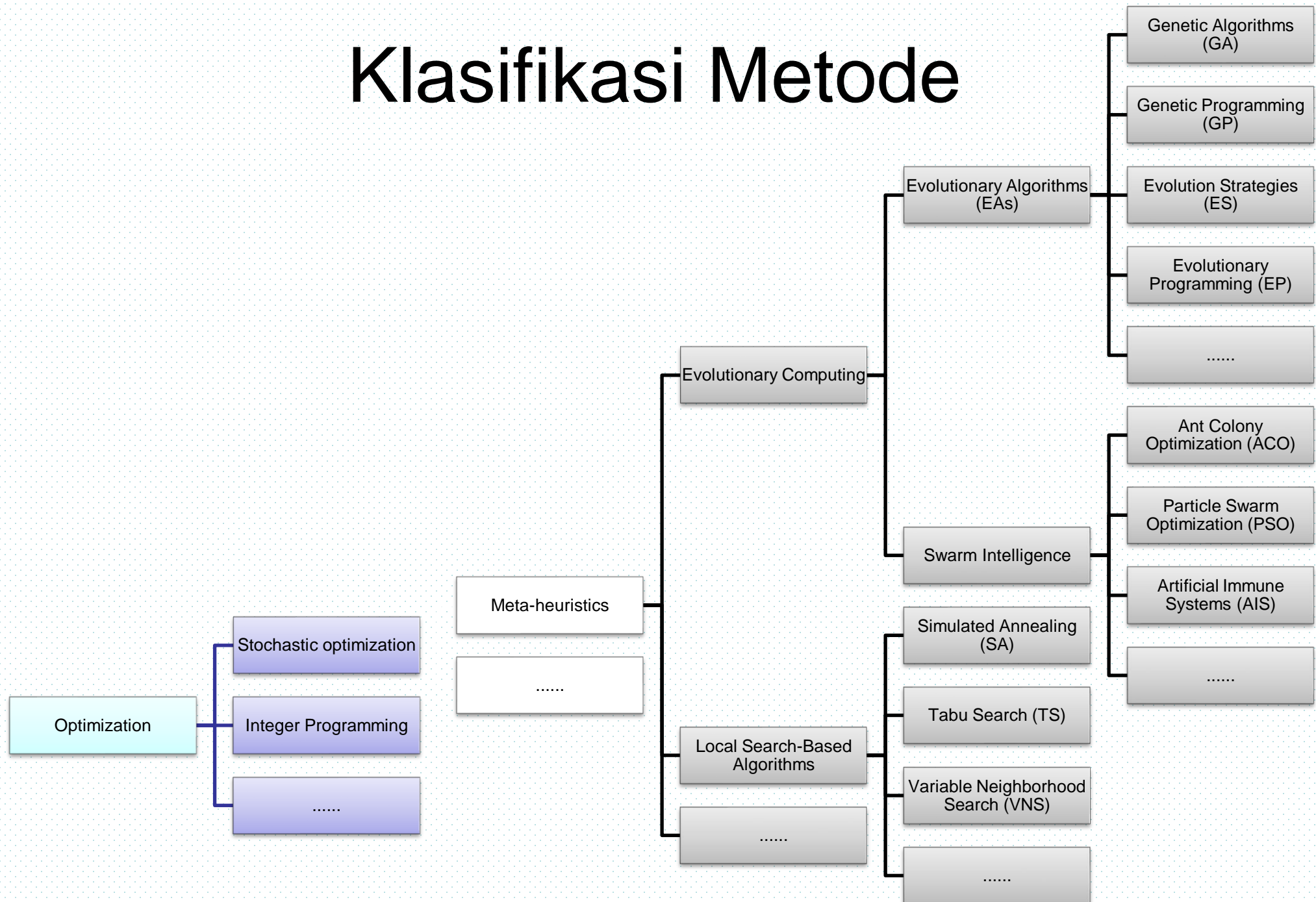
- Metode pencarian yang didasarkan atas intuisi atau aturan-aturan empiris untuk memperoleh solusi yang lebih baik daripada solusi yang telah dicapai sebelumnya.
- Tidak selalu menghasilkan solusi optimum, jika dirancang dengan baik akan menghasilkan solusi yang mendekati optimum dalam waktu yang relatif cepat.
- Contoh: algoritma greedy, algoritma hill-climbing, algoritma A^* , tabu search, simulated annealing.



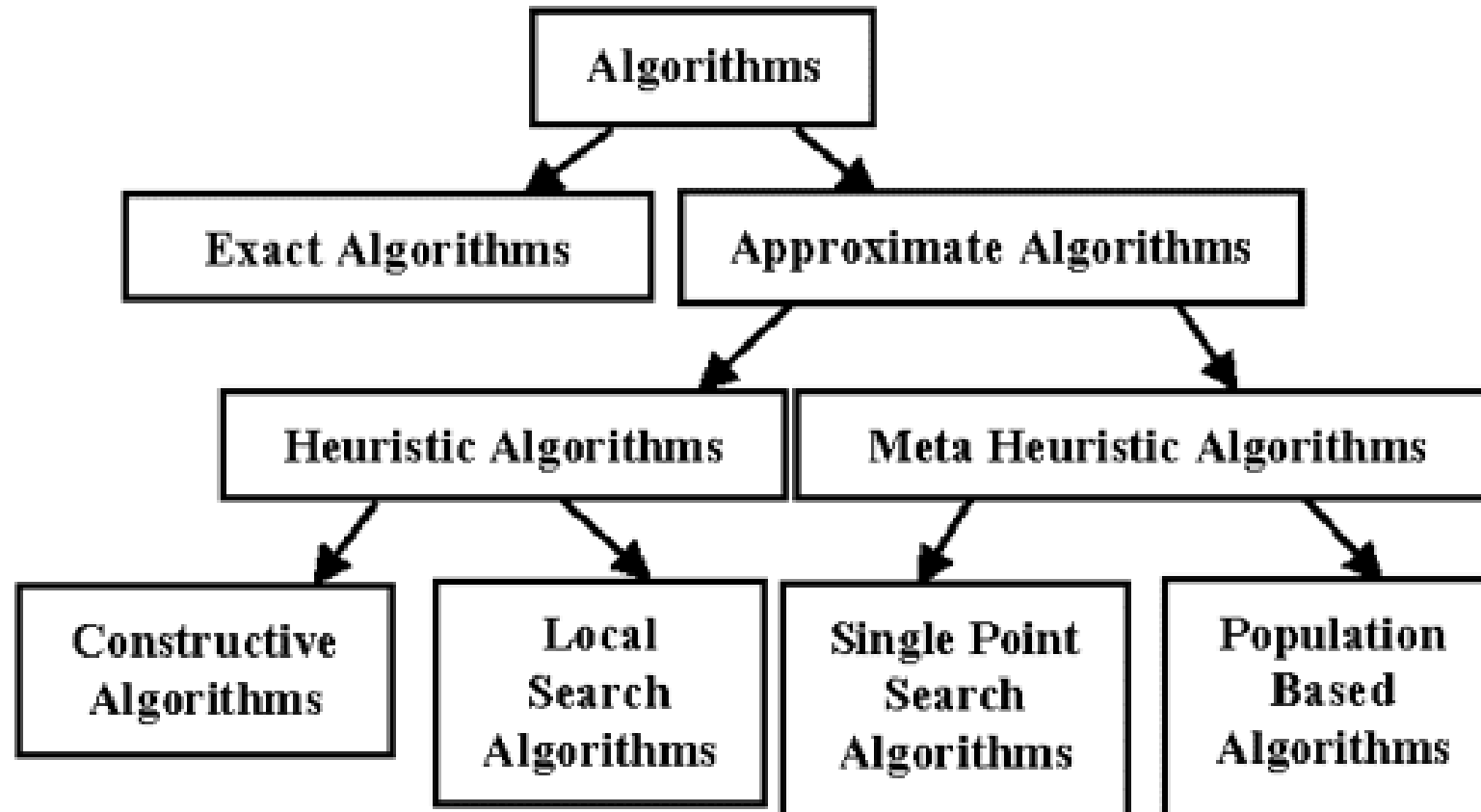
Algoritma Meta-Heuristik

- Algoritma meta-heuristic bertindak sebagai ‘manajer’ dari beberapa algoritma heuristic untuk secara terorganisir mencari solusi dari sebuah permasalahan.
- **Variable Neighborhood Search (VNS)** yang me-manage sebuah teknik local search (LS). VNS secara sistematis meng-iterasi LS untuk mencari solusi dari titik awal yang berbeda serta mencakup area pencarian yang lebih luas.
- **Algoritma genetika** yang me-manage beberapa genetic operator seperti crossover, mutation, dan selection..

Klasifikasi Metode



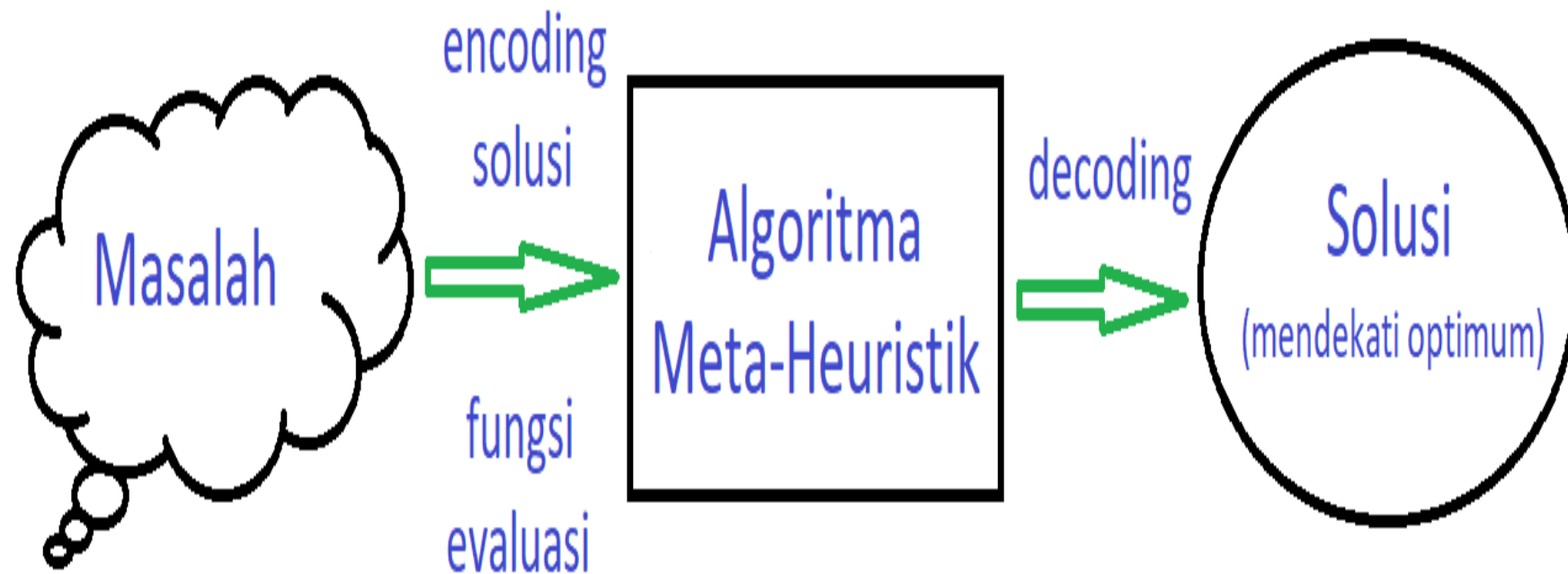
Klasifikasi Metode





**Mekanisme
Pencarian
Solusi**

Mekanisme Pencarian Solusi



Penyelesaian TSP

Pengkodean Solusi

Tabel jarak antar simpul (kota)

Node	Kantor	1	2	3	4	5
Kantor	-	7	8	12	11	9
1	7	-	14	8	12	16
2	8	14	-	10	7	9
3	12	8	10	-	13	15
4	11	12	7	13	-	16
5	9	16	9	15	16	-

Contoh encoding solusi: **[2 3 4 1 5]**

□

Fungsi evaluasi berdasarkan jarak

Jarak: kantor → 2 → 3 → 4 → 1 → 5 → kantor

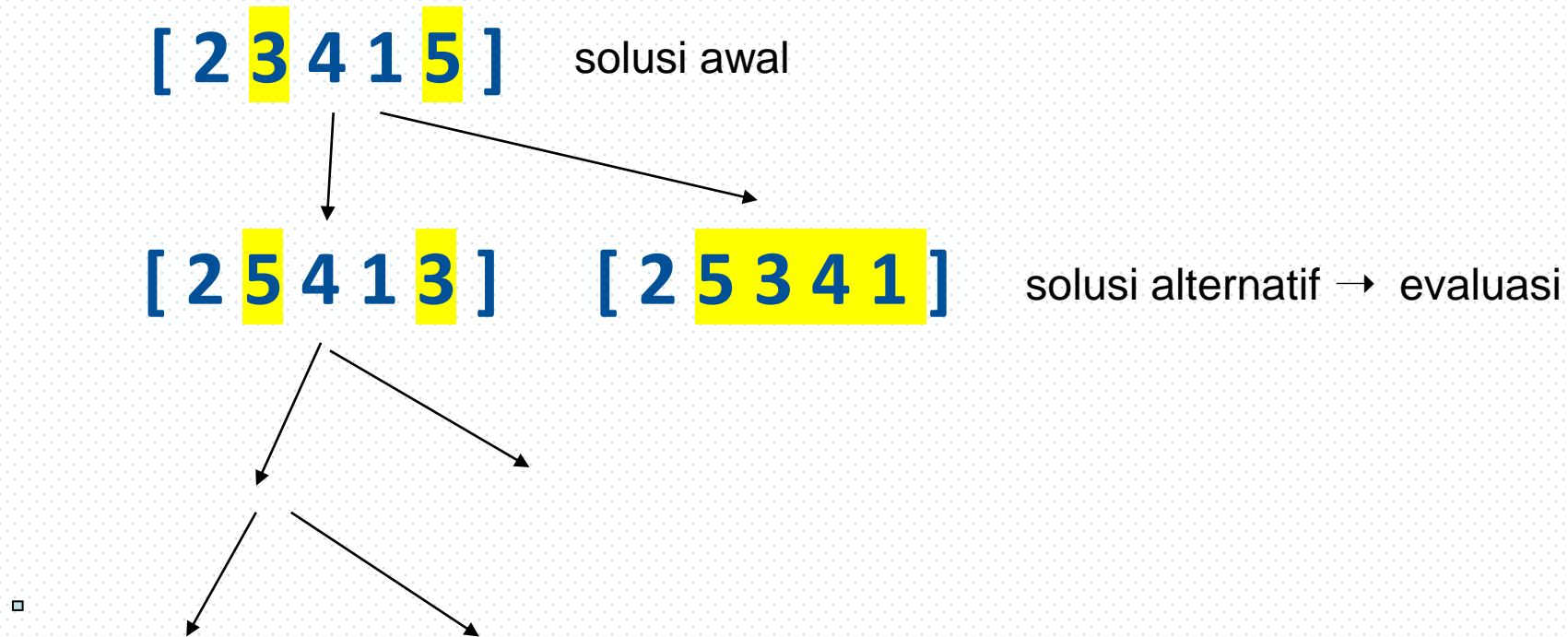
Jarak = $8 + 10 + 13 + 12 + 16 + 9 = 68$

Permasalahan Kombinatorial

Penyelesaian enumerasi lengkap: $5!$ (120) kemungkinan solusi

Penyelesaian TSP

Generate Solusi Alternatif



Tantangan: strategi agar solusi alternatif menuju solusi yang lebih baik → optimum

Jangan sampai hanya **random search**

Penyelesaian Sistem Persamaan Linear

Pengkodean Solusi

Tentukan x_1 , x_2 dan x_3 :

$$2x_1 + x_2 - 4x_3 = 2$$

$$x_1 + 3x_2 + x_3 = 20$$

$$5x_1 - x_2 + 2x_3 = 27$$

Contoh encoding solusi: **[2.3 5.0 1.8]** **real-code**
 x_1 x_2 x_3

Fungsi evaluasi berdasarkan selisih (deviasi)

$$\begin{aligned} \text{Dev1} &= |2x_1 + x_2 - 4x_3 - 2| \\ \text{Dev2} &= |x_1 + 3x_2 + x_3 - 20| \\ \text{Dev3} &= |5x_1 - x_2 + 2x_3 - 27| \end{aligned}$$

Tujuan meminimalkan **Dev = Dev1 + Dev2 + Dev3**

Penyelesaian Sistem Persamaan Linear

Generate Solusi Alternatif

$$x'_i = x'_i + r_i (max_i - min_i)$$

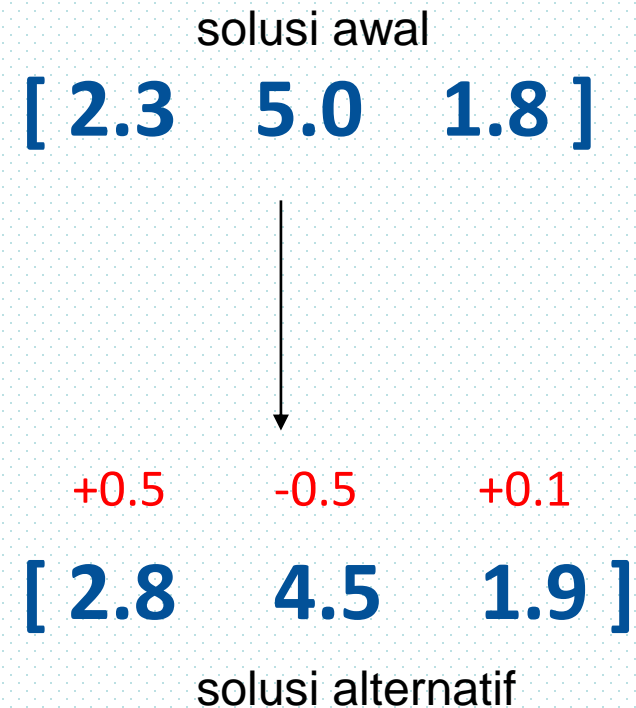
domain variabel x_j adalah $[min_j, max_j]$

range random r misalkan $[-0,1, 0,1]$.

Misal

Untuk seluruh x , domain $[0, 10]$

- ▣ $r_1 = 0.05$
- $r_2 = -0.05$
- $r_3 = 0.01$



Penyelesaian Sistem Pertidaksamaan Non Linear

Pengkodean Solusi

Tentukan x_1, x_2 dan x_3 :

$$2x_1 + x_2 + (3x_2 - x_3)^3 \leq 1050$$

$$(x_1 + 2x_2)^2 + 3x_2x_3 \geq 600$$

$$(5x_1 - x_2)^3 + 2x_3 \leq 90000$$

Contoh encoding solusi: **[10.5 15.3 9.6]** **real-code**

x_1 x_2 x_3

Fungsi evaluasi berdasarkan selisih (deviasi)

$$\text{Dev1} = \begin{cases} 0, & 2x_1 + x_2 + (3x_2 - x_3)^3 \leq 1050 \\ 2x_1 + x_2 + (3x_2 - x_3)^3 - 1050, & \text{lainnya} \end{cases}$$

$$\text{Dev2} = \begin{cases} 0, & (x_1 + 2x_2)^2 + 3x_2x_3 \geq 600 \\ 600 - (x_1 + 2x_2)^2 + 3x_2x_3, & \text{lainnya} \end{cases}$$

$$\text{Dev3} = \dots \dots$$

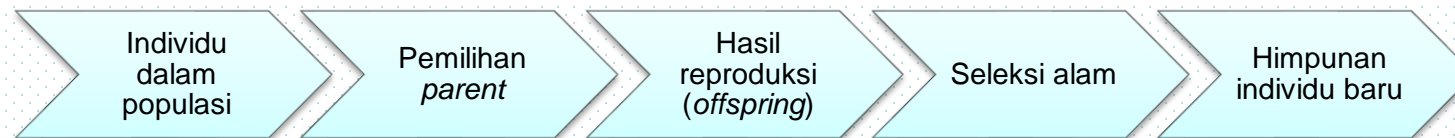
Tujuan meminimalkan **Dev = Dev1 + Dev2 + Dev3**



Algoritma Meta-Heuristik Populer

Algoritma Evolusi

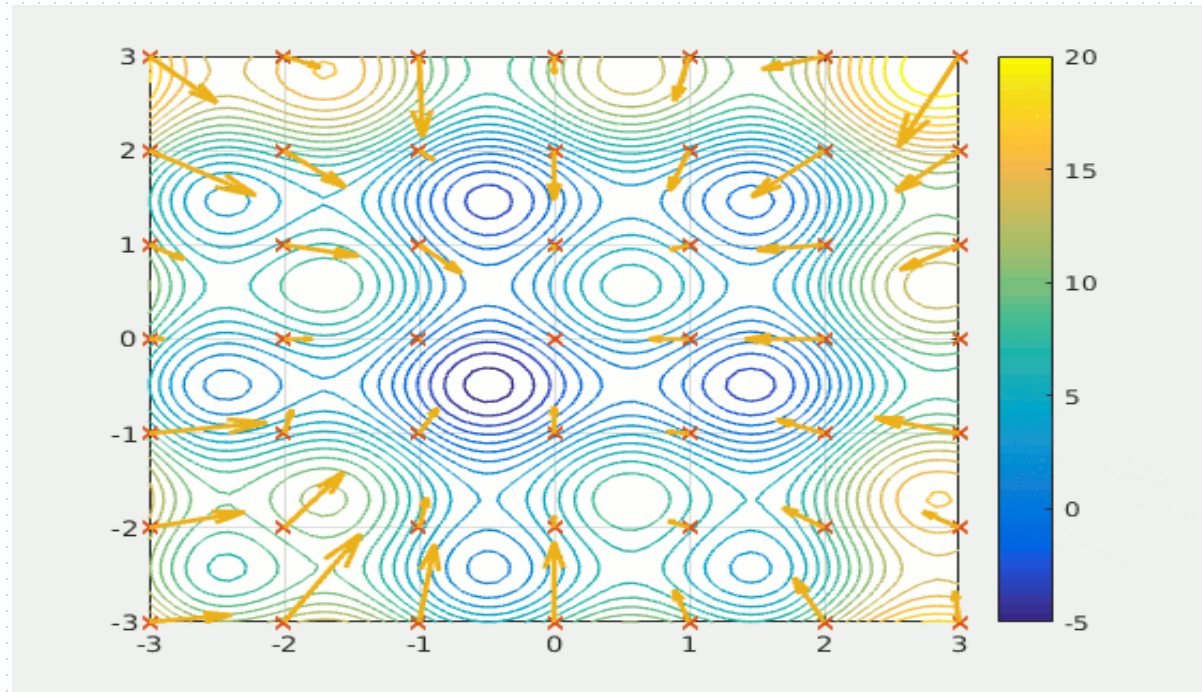
- Meniru proses evolusi biologi.
- Solusi direpresentasikan sejumlah individu dalam populasi.
- Individu-individu ini berperan sebagai induk (parent) yang melakukan reproduksi menghasilkan keturunan (offspring).
- Individu-individu ini (beserta offspring) berevolusi dan individu-individu yang lebih baik (mampu beradaptasi dengan lingkungannya) mempunyai peluang lebih besar untuk melewati seleksi alam (natural selection) dan bertahan hidup.



Mudah di-*hybrid* dengan algoritma eksak

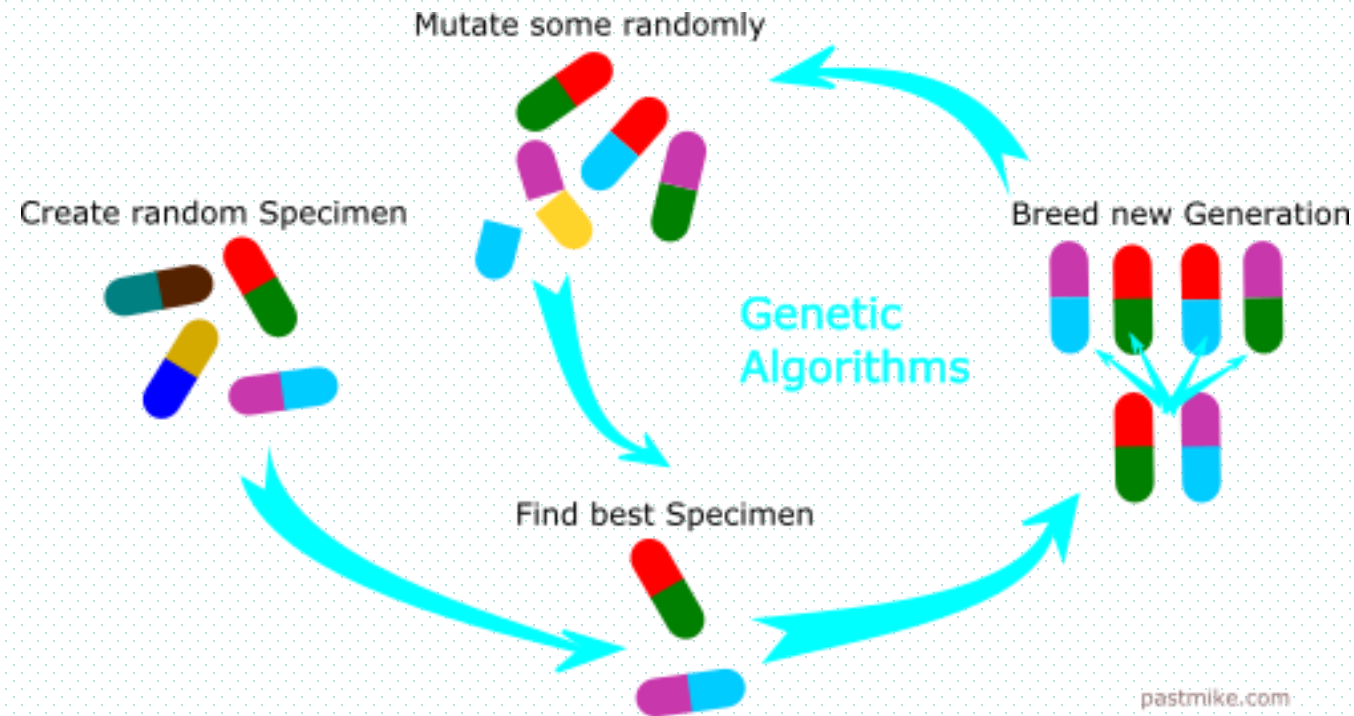
Particle Swarm Optimization (PSO)

- Terinspirasi pergerakan sekelompok *swarm* (misal burung).
- Solusi direpresentasikan dalam kumpulan particle.
- Particle bergerak berdasarkan pengalaman terbaik pribadi dan posisi particle terbaik dalam kelompok.

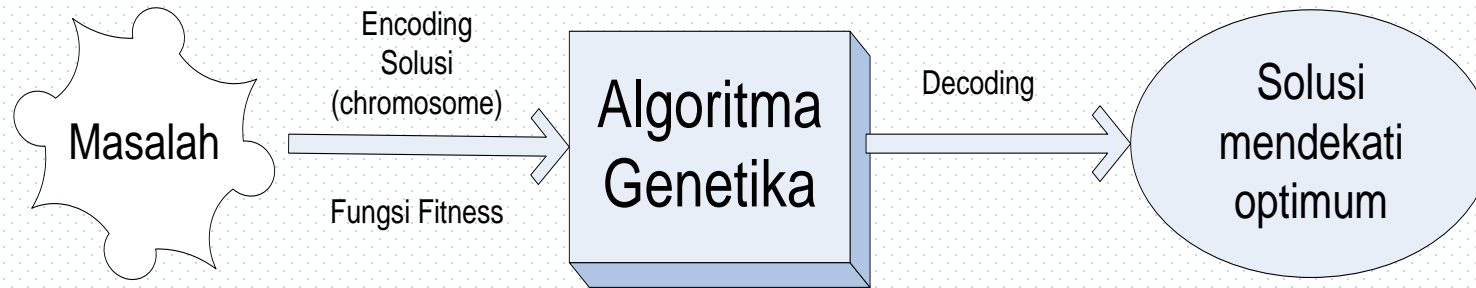


Algoritma Genetika

- Bagian dari Algoritma Evolusi.



Struktur Algoritma Genetika



procedure AlgoritmaGenetika

begin

$t = 0$

inisialisasi $P(t)$

while (bukan kondisi berhenti) do

 reproduksi $C(t)$ dari $P(t)$

 evaluasi $P(t)$ dan $C(t)$

 seleksi $P(t+1)$ dari $P(t)$ dan $C(t)$

$t = t + 1$

end while

end

$P(t)$: populasi (*parents*)

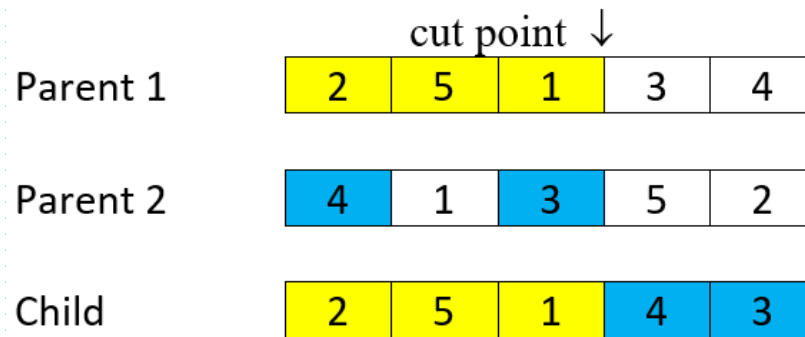
$C(t)$: anak/*offspring*

pada generasi ke- t

Algoritma Genetika

Reproduksi - Crossover

- Representasi permutasi



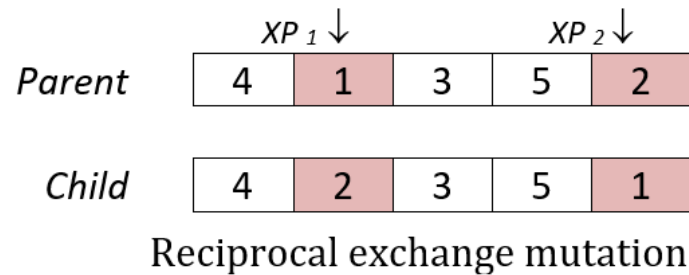
- Representasi real

P_1	[	0,078	9,231	7,629	3,517	3,619	1,498]
P_2	[	1,903	8,729	2,578	4,529	0,592	2,337]
C_1	[	0,078	9,231	7,629	3,517	0,592	2,337]
C_2	[	1,903	8,729	2,578	4,529	3,619	1,498]

Algoritma Genetika

Reproduksi - Mutasi

- Representasi permutasi



- Representasi real

$$x'_i = x_i + r_i (max_i - min_i)$$

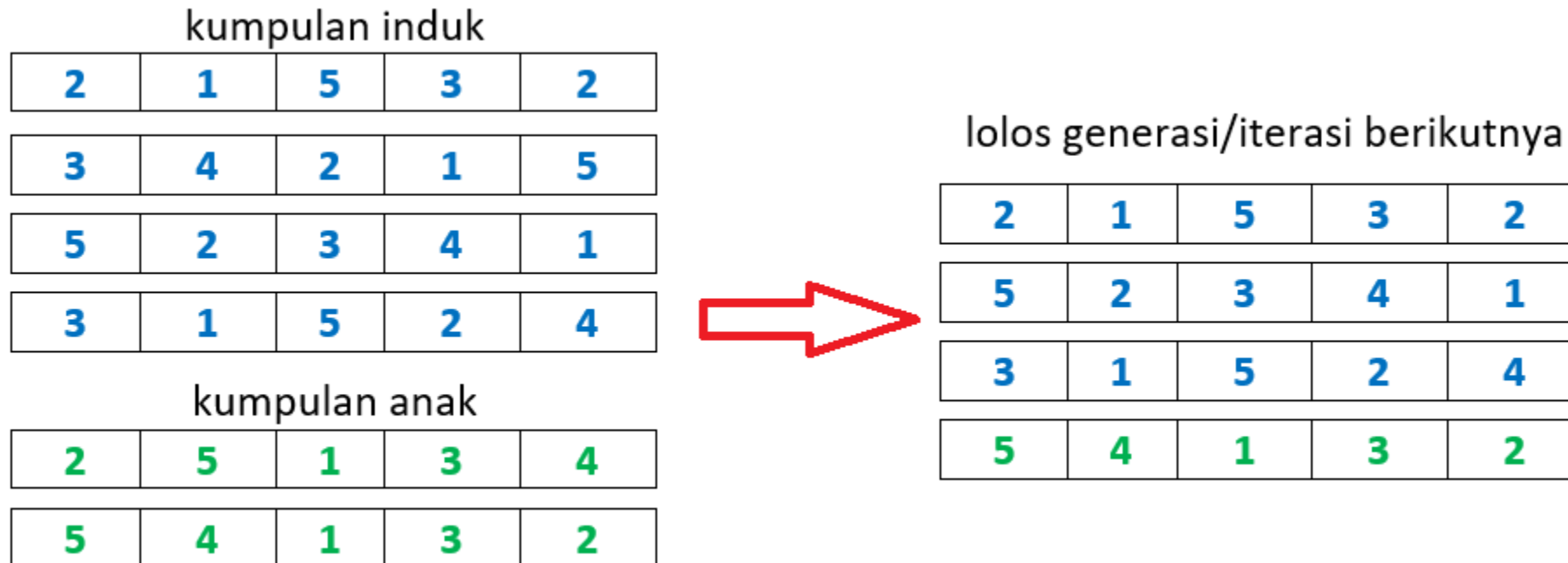
domain variabel x_j adalah $[min_j, max_j]$

r misalkan $[-0,1, 0,1]$.

$$\begin{bmatrix} 2.3 & 5.0 & 1.8 \end{bmatrix} \downarrow \begin{bmatrix} +0.5 & -0.5 & +0.1 \\ 2.8 & 4.5 & 1.9 \end{bmatrix}$$

Algoritma Genetika

Seleksi



Aturan dasar: individu(solusi) yg lebih baik peluangnya lebih besar untuk lolos



**Peluang
Penelitian Baru**

Pilihan Penelitian Baru

(1) Metode Baru ← paling sulit

(2) Kompleksitas permasalahan yang diselesaikan

- Mengadopsi kondisi nyata (*real problem*)
 - Mengurangi asumsi
- Penyelesaian secara terintegrasi

(3) Modifikasi/Pengembangan Metode Optimasi

- Struktur representasi solusi
- Mekanisme menghasilkan solusi baru
- Mekanisme memilih kandidat solusi untuk iterasi berikutnya
- Kontrol parameter pencarian solusi
- Hibridisasi metode

(4) Penerapa Metode Optimasi untuk Metode Lain

- Perbaiki bobot *artificial neural network*
- Perbaiki fungsi keanggotaan *fuzzy inference system*



Penelitian Baru

Metode Baru

Genetic Algorithm (GA) - 1960

Ant Colony Optimization (ACO) - 1992

Particle Swarm Optimization (PSO) - 1995

Variable Neighborhood Search (VNS) - 1997

Harmony Search Algorithm (HS) – 2001

Artificial Bee Colony Algorithm (ABC) - 2005

Firefly Algorithm (FA) - 2008

Cuckoo Search (CS) - 2009

Dragonfly Algorithm (DA) - 2015

Komodo Mlipir Algorithm (KMA) - 2021



Penelitian Baru

Penyesuaian Kompleksitas Permasalahan

Mengadopsi kondisi nyata (*real problem*)

Distribusi Produk X (Transportasi)

- Deskripsi:
 - Perusahaan mempunyai 3 pabrik (**sumber**) Malang, Bandung, Medan
 - Perusahaan mendistribusikan produknya ke seluruh wilayah (**tujuan**) di Indonesia
- Tujuan:
 - Mendapatkan strategi pengiriman dengan biaya minimal
- Batasan:
 - Kapasitas produksi tiap pabrik berbeda
 - Permintaan tiap wilayah berbeda
 - Biaya pengiriman tiap unit dari pabrik ke wilayah pengiriman juga berbeda

Hal Baru

- Kapasitas produksi tiap pabrik bisa disesuaikan secara fleksibel
- Dari satu titik sumber ke satu titik tujuan tersedia alternatif moda pengiriman
- Biaya pengiriman dari satu titik sumber ke satu titik tujuan tidak linear (**diskon !**)
- Tiap titik tujuan mempunyai *time window* berbeda
- Beberapa titik tujuan memerlukan proses distribusi bertahap

Penelitian Baru

Penyesuaian Kompleksitas Permasalahan

Mengadopsi kondisi nyata (*real problem*)

Penjadwalan Operator Mesin

- Tujuan:
 - Mendapatkan jadwal operator yang baik dan adil bagi seluruh operator mesin
- Batasan:
 - Mengatur beban operator agar tidak bekerja lebih dari 10 jam sehari
 - Shif kerja terbagi 3 (pagi, siang, malam). Jadwal mengatur agar operator mendapatkan pembagian shif kerja yang adil

Hal Baru

- Ada operator cadangan
- Perbedaan kompetensi
 - Harus ada operator ahli di tiap shif
- Penjadwalan mencakup beberapa lokasi pabrik

Penelitian Baru

Penyesuaian Kompleksitas Permasalahan

Penyelesaian secara terintegrasi

Perencanaan Produksi

- Penentuan kuantitas tiap produk
- Pemasangan *tool* ke mesin

Penjadwalan Produksi

- Urutan operasi dan mesin
- Waktu mulai tiap mesin

Integrasi Perencanaan dan Penjadwalan Produksi

Perlu perhatian 📌 **KOMPLEKSITAS**

Kasus A: 10^6 kemungkinan solusi

Kasus B: 10^6 kemungkinan solusi

Kemungkinan solusi

Sekuen : 2×10^6

Terintegrasi : $10^6 \times 10^6 = 10^{12}$

Penelitian Baru

Modifikasi/Pengembangan Metode Optimasi

Struktur representasi solusi

Travelling Salesman Problem (TSP)

Representasi permutasi: [2 3 4 1 5]

Representasi real : [3.9 8.2 9.1 0.7 9.6]

Contoh lain:

Mahmudy, WF (2014, 22–23 October), [Solving flexible job-shop scheduling problem using improved real coded genetic algorithms](#), *International Conference on Science and Technology for Sustainability*, Batam, Indonesia, pp. 181-188.

Mahmudy, WF, Marian, RM, Luong, LHS (2013, 31 January – 1 February), [Optimization of part type selection and loading problem with alternative production plans in flexible manufacturing system using hybrid genetic algorithms – Part 1: modelling and representation](#), *5th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)*, Chonburi, Thailand, pp. 75-80.

Mahmudy, WF, Marian, RM, Luong, LHS (2012, 12-14 September), [Solving part type selection and loading problem in flexible manufacturing system using real coded genetic algorithms – Part I: modeling](#), *International Conference on Control, Automation and Robotics*, Singapore, pp. 1922-1928.

Penelitian Baru

Modifikasi/Pengembangan Metode Optimasi

Mekanisme menghasilkan solusi baru

- Modifikasi Crossover dan Mutasi pada GA
- Modifikasi pergerakan partikel pada PSO

Contoh:

Mahmudy, WF, Sarwani, MZ, Rahmi, A, Widodo, AW (April 2021) , [Optimization of Multi-Stage Distribution Process Using Improved Genetic Algorithm](#), *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, vol. 14, no. 2, pp. 211-219.

Rody, R, **Mahmudy, WF**, Tama, IP (June 2019) , [Using Guided Initial Chromosome of Genetic Algorithm for Scheduling Production-Distribution System](#), *Journal of Information Technology and Computer Science*, vol. 4, no. 1, pp. 26-32.

Alfarisy, GAF, **Mahmudy, WF**, Natsir, MH (August 2018) , [Optimizing Laying Hen Diet using Multi-Swarm Particle Swarm Optimization](#), *Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 16, no. 4, pp. 1712-1723.

Penelitian Baru

Modifikasi/Pengembangan Metode Optimasi

Kontrol parameter pencarian solusi

- Adaptive Crossover Rate dan Mutation Rate pada GA
- Modifikasi pergerakan partikel pada PSO

Contoh:

Yuliasuti, GE, Rizki, AM, **Mahmudy, WF**, Tama, IP (November 2019) , [Optimization of Multi-Product Aggregate Production Planning using Hybrid Simulated Annealing and Adaptive Genetic Algorithm](#), *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 10, no. 11, pp. 484-489.

Wijayaningrum, VN, **Mahmudy, WF**, Natsir, MH (April 2017) , [Optimization of Poultry Feed Composition Using Hybrid Adaptive Genetic Algorithm and Simulated Annealing](#), *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering*, vol. 9, no. 2-8, pp. 183-187.

Ahmadie, BL, Luqyana, WA, **Mahmudy, WF**, Arifando, R (2019, 28 September), [Milkfish Feed Optimization Using Adaptive Particle Swarm Optimization \(PSO\) Algorithm](#), *International Conference on Sustainable Information Engineering and Technology (SIET)*, Senggigi, Indonesia, pp. 28-32.

Penelitian Baru

Modifikasi/Pengembangan Metode Optimasi

Hibridisasi Metode

- Hybrid GA & PSO
- Hybrid GA & SA
- Hybrid GA/PSO dengan local search

Contoh:

Yuliastuti, GE, Rizki, AM, **Mahmudy, WF**, Tama, IP (November 2019) , [Optimization of Multi-Product Aggregate Production Planning using Hybrid Simulated Annealing and Adaptive Genetic Algorithm](#), *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 10, no. 11, pp. 484-489.

Rikatsih, N, **Mahmudy, WF**, Syafrial, S (September 2019) , [Hybrid Real-Coded Genetic Algorithm and Variable Neighborhood Search for Optimization of Product Storage](#), *Journal of Information Technology and Computer Science*, vol. 4, no. 2, pp. 166-176.

Fatyanosa, TN, **Mahmudy, WF**, Marjuki (March 2019) , [Hybrid Modified Evolution Strategies and Linear Programming for Beef Cattle Feed Optimization](#), *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, vol. 11, no. 1, pp. 223-235.

Penelitian Baru

Penerapan Metode Optimasi untuk Metode Lain

- Perbaiki bobot *artificial neural network*
- Perbaiki fungsi keanggotaan *fuzzy inference system*

Contoh:

Mahmudy, WF, Alfiyatin, AN, Ananda, CF, Widodo, AW (December 2021) , [Inflation Rate Forecasting using Extreme Learning Machine and Improved Particle Swarm Optimization](#), *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, vol. 14, no. 6, pp. 95-104.

Mahmudy, WF, Wibawa, AP, Sari, NR, Havaluddin, Purnawansyah (June 2021) , [Genetic Algorithmised Neuro Fuzzy System for Forecasting the Online Journal Visitors](#), *International Journal of Computing*, vol. 20, no. 2, pp. 181-189.

Rofiq, M, Putra, YS, **Mahmudy, WF**, Tolle, H, Wahyuni, I (July 2020) , [Modeling of upwelling early warning system using water quality sensor device and automatic weather system integrated with hybrid FIS GA](#), *International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications*, vol. 9, no. 4, pp. 283-288.

Yulastuti, GE, Rizki, AM, **Mahmudy, WF**, Tama, IP (November 2019) , [Optimization of Multi-Product Aggregate Production Planning using Hybrid Simulated Annealing and Adaptive Genetic Algorithm](#), *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 10, no. 11, pp. 484-489.



Terima Kasih

Mari melakukan penelitian+publikasi bersama
wayanfm@ub.ac.id