Riset Optimasi Industri Manufaktur Menggunakan Metode Meta-Heuristic

Prof. Wayan Firdaus Mahmudy
Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Brawijaya

Seminar Nasional Teknik Elektro, Sistem Informasi, dan Teknik Informatika (SNESTIK)
Sabtu, 11 Maret 2023
Fakultas Teknik Elektro dan Teknologi Informasi
Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya (ITATS)

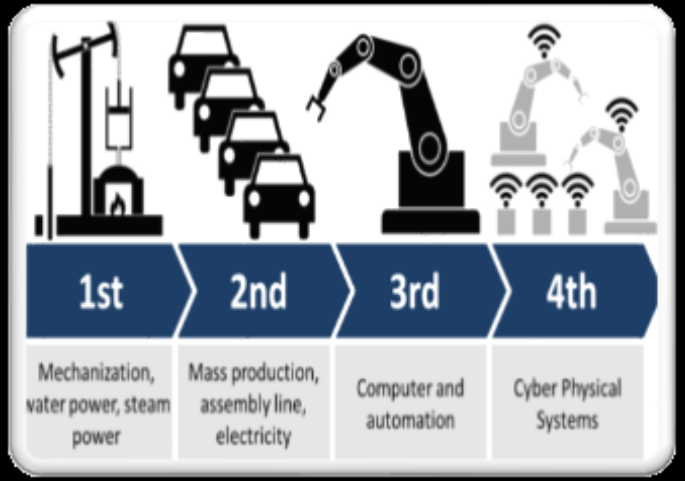
http://www.free-powerpoint-templates-design.com

Materi

- Revolusi Industri 4.0
- Kecerdasan Buatan
- Perkembangan Optimasi Industri Manufaktur
- Rangkaian Optimasi Industri Manufaktur
  - Peramalan Permintaan Konsumen
  - Perencanaan Produksi Agregat
  - Penjadwalan Produksi
  - Distribusi Hasil Produksi
  - Model Optimasi Terintegrasi
- Bagaimana Algoritma Meta-Heuristik Digunakan Untuk Optimasi
  - Algoritma Meta-Heuristik Populer - Algoritma Evolusi
- Struktur Algoritma Genetika
  - Pengkodean Solusi: Penyelesaian TSP
  - Generate Solusi Alternatif
  - Reproduksi
  - Seleksi
- Peluang Penelitian Baru

Revolusi Industri 4.0

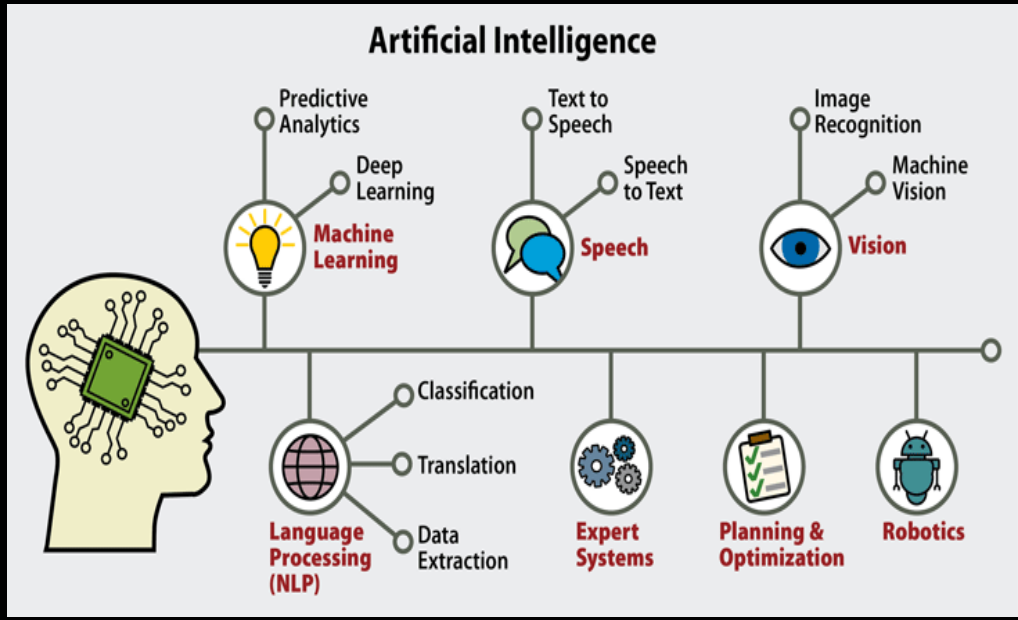
- Tren terkini terkait otomatisasi dan pertukaran data pada teknologi manufaktur
- cyber-physical systems, internet of things (IOT), cloud computing, and cognitive computing.
  - ✓ IOT memungkinkan “’things’ dan ‘objects’ seperti RFID, sensors, actuators dan mobile phones berinteraksi dengan komponen smart yang lain
  - ✓ cloud computing: pemanfaatan teknologi komputer dan pengembangan berbasis internet (‘awan’). kata kunci: beragam aplikasi maupun data, shared service, simultaneous access
  - ✓ cognitive computing: sistem berteknologi canggih (-> **artificial intelligence**), mempunyai fitur learning, dapat terus beradaptasi layaknya seperti otak manusia.



Kecerdasan Buatan

- Kecerdasan buatan (*artificial intelligence*): mekanisme pemecahan masalah dengan mengadopsi pola pikir dan tindakan manusia.
- Mekanisme tersebut meliputi:
  - learning
  - reasoning
  - self-correction

Penerapan di industri manufaktur?



https://www.datamation.com/artificial-intelligence/what-is-artificial-intelligence.html

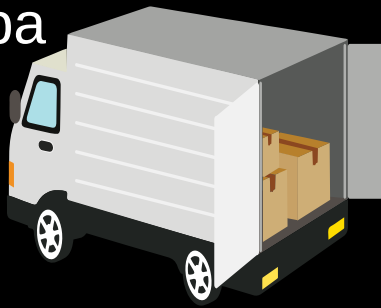
Industri Manufaktur

- Industri yang mengubah bentuk barang, misal dari bahan mentah menjadi produk siap pakai
  - Pengolahan produk makanan dan minuman
  - Manufaktur tekstil dan pakaian jadi
  - Manufaktur kulit dan produk terkait
- Proses produksi bersifat berulang-ulang
- Menggunakan mesin atau teknologi untuk menghasilkan produk dalam jumlah besar dan konsisten

Optimasi Industri Manufaktur

- Kecerdasan buatan (termasuk Teknik Optimasi) di industri akan selalu menjadi bidang ilmu yang terus berkembang.
- Faktor pendorong utama:
  - Kompetisi untuk menghasilkan produk terbaik dengan harga terendah
  - Kompleksitas permasalahan industri yang diselesaikan
  - Metode yang digunakan. Semakin kompleks permasalahan, maka diperlukan juga metode atau algoritma yang lebih baik.

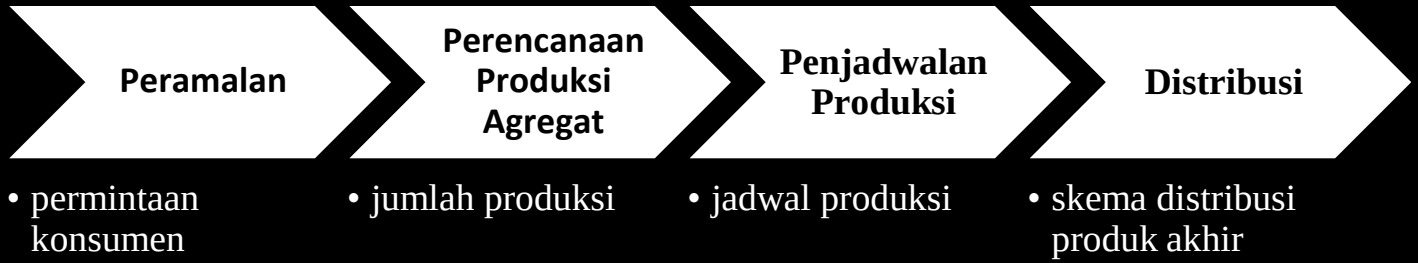
Optimasi



- Proses pemilihan solusi terbaik dari beberapa pilihan solusi alternatif dengan mempertimbangkan sejumlah batasan (*contstraints*)
- Contoh:
  - Perencanaan produksi -> minimasi biaya dan maksimasi daur hidup peralatan
  - Distribusi produk dari sejumlah pabrik menuju sejumlah tujuan -> minimasi biaya
  - Penjadwalan mesin produksi -> minimasi waktu produksi

Rangkaian Optimasi Industri Manufaktur

- Rangkaian mekanisme untuk membangun produk yang lebih baik, lebih cepat proses produksinya, lebih kompetitif dari segi harga, dan bisa diterima konsumen tepat waktu.



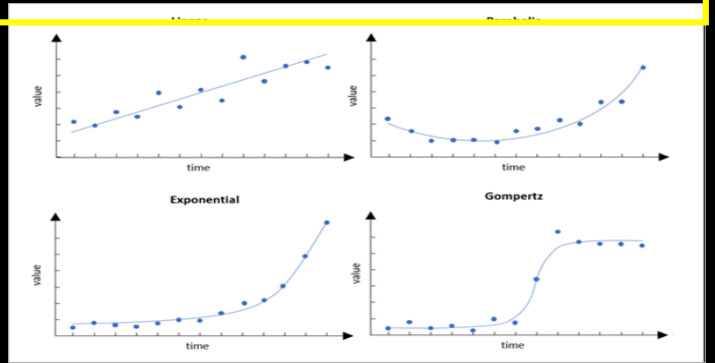
Perlu metode/algoritma yang tepat dan ampuh untuk mendapatkan solusi terbaik

Peramalan Permintaan Konsumen

- Peramalan permintaan produk pada periode berikutnya.
- Menggunakan data pada periode yang lalu
- Hasil peramalan akan digunakan pada tahap perencanaan produksi agregat

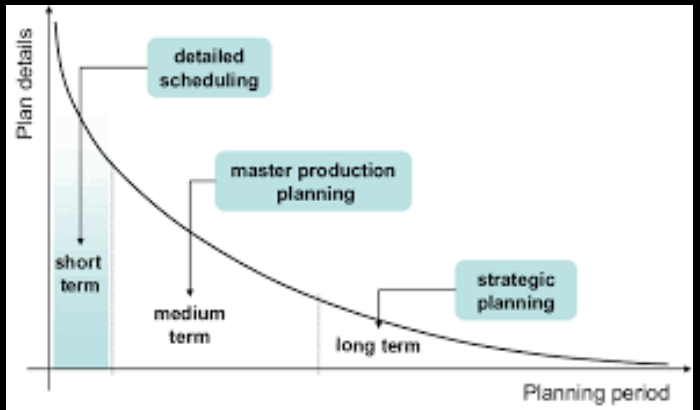
Peramalan Permintaan Konsumen - Metode

- *Auto Regressive Integrated Moving Average* (ARIMA)
- *Artificial Neural Network* dan *Fuzzy Time Series*
- *Adaptive Neuro Fuzzy Inference System* (ANFIS) dapat digunakan untuk meramalkan permintaan produk oleh konsumen
  - Tingkat kesalahan cukup rendah meskipun ada pola tertentu pada data permintaan produk oleh konsumen



Perencanaan Produksi Agregat

- Perencanaan jangka menengah -> minimasi biaya
- Menentukan jumlah produksi setiap jenis barang dengan mempertimbangkan:
  - tingkat persediaan
  - pemanfaatan sumber daya (tenaga kerja, bahan baku)
  - prakiraan penjualan.
- Periode perencanaan antara 3 bulan hingga 18 bulan

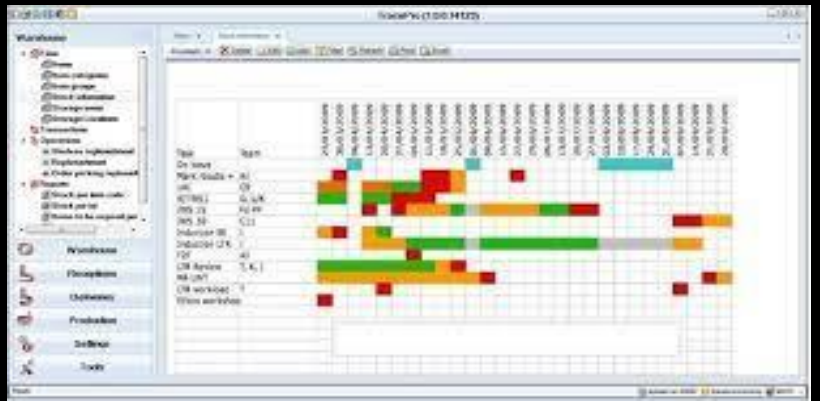


Perencanaan Produksi Agregat - Metode

- Metode Heuristik dan Meta-Heuristik
  - 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
- *Improved genetic algorithms* (IGA) menghasilkan perencanaan produksi agregat multi-produk dengan biaya sumber daya yang minimal.

Penjadwalan Produksi

- Tujuannya: meminimalkan biaya yang dihitung dari beberapa parameter pembobotan seperti waktu penyelesaian, waktu aliran rata-rata, keterlambatan total dan waktu tunggu
- *flexible job-shop problem* (FJSP): operasi dapat dilakukan pada beberapa mesin alternatif. Keputusan yang harus diambil:
  - mesin di mana setiap operasi harus dilakukan (masalah perutean).
  - mengatur urutan dan waktu mulai operasi pada mesin (masalah penjadwalan).



Penjadwalan Produksi - Metode

- Metode Heuristik dan Meta-Heuristik
  - 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
- *Real-coded genetic algorithms* (RCGA) berhasil diterapkan untuk menyusun jadwal produksi dengan waktu penyelesaian produksi tercepat.

Distribusi Hasil Produksi

- Kegiatan mengirimkan produk jadi kepada pelanggan
- Produk dapat dikirimkan melalui beberapa tahap seperti pabrik, pusat distribusi, dan pengecer sebelum sampai ke pelanggan.
- Permintaan dipenuhi tepat waktu dengan mempertimbangkan tingkat persediaan pabrik

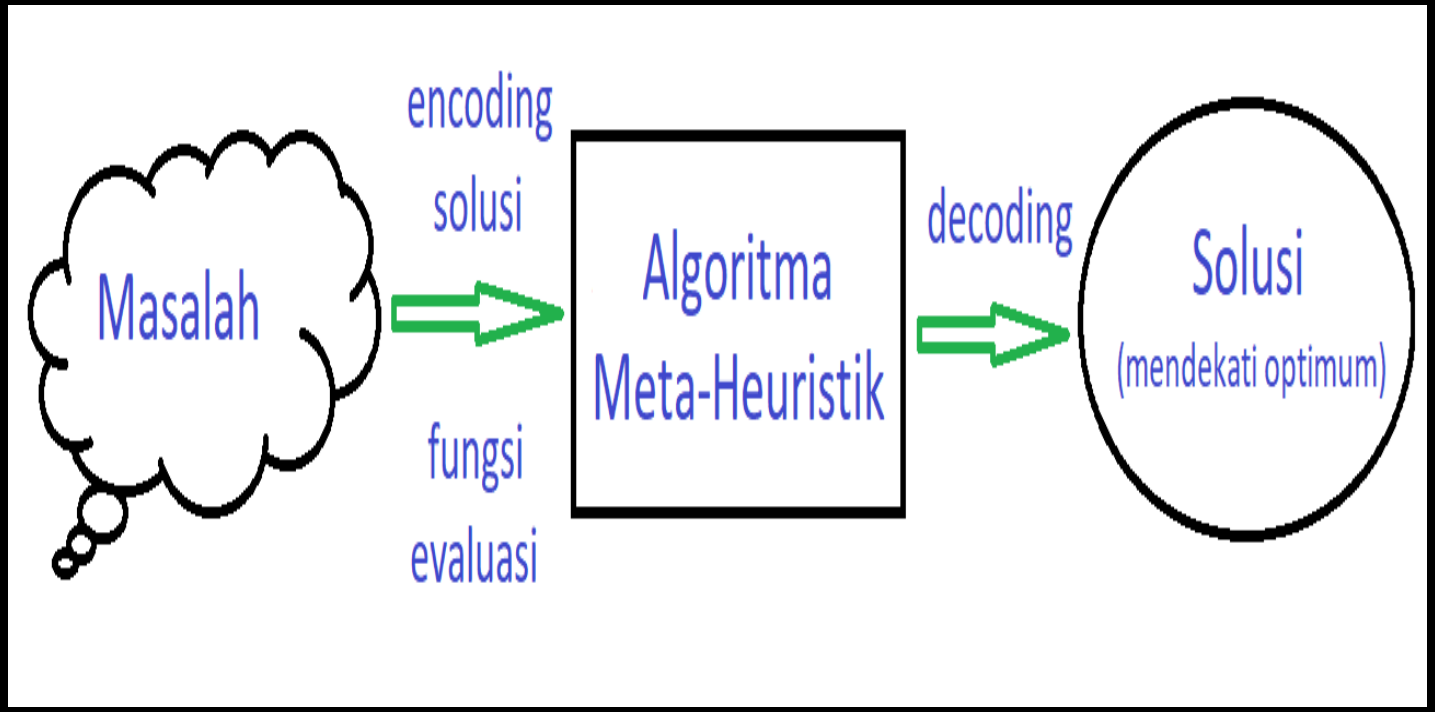
Distribusi Hasil Produksi - Metode

- Metode Heuristik dan Meta-Heuristik
  - 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
- *Modified genetic algorithms* (MOGA) dengan modifikasi operator genetika diterapkan untuk menyusun mekanisme distribusi hasil produksi dengan biaya terkecil

Model Optimasi Terintegrasi

No	Permasalahan dan Tujuan	Input	Output	Metode
1	Peramalan Permintaan Konsumen Tujuan: mendapatkan prediksi permintaan yang akurat	- Jenis produk - Periode peramalan	Prediksi permintaan tiap jenis produk	*Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS)*
2	Perencanaan Produksi Agregat Tujuan: meminimalkan biaya produksi	- Prediksi permintaan tiap jenis produk - Biaya komponen produksi	Kuantitas produksi tiap jenis produk	*Improved genetic algorithms (IGA)*
3	Penjadwalan Produksi Tujuan: meminimalkan waktu produksi	- Kuantitas produksi tiap jenis produk - Spesifikasi mesan dan peralatan	Jadwal produksi	*Real-coded genetic algorithms (RCGA)*
4	Distribusi Hasil Produksi Tujuan: meminimalkan biaya distribusi	- Waktu selesai produksi - Spesifikasi kendaraan - Lokasi dan permintaan distributor	Mekanisme distribusi	*Modified genetic algorithms (MOGA)*

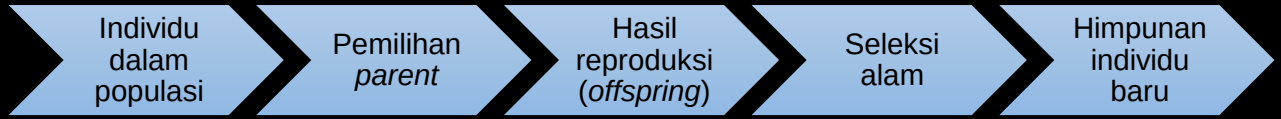
Bagaimana Algoritma Meta-Heuristik Digunakan Untuk Optimasi



Algoritma Meta-Heuristik Populer

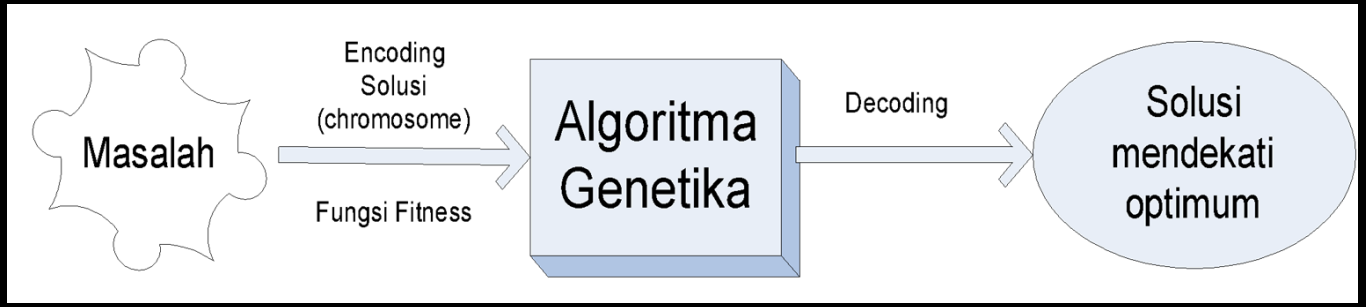
Algoritma Evolusi

- 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

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*

Pengkodean Solusi: Penyelesaian TSP

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	-

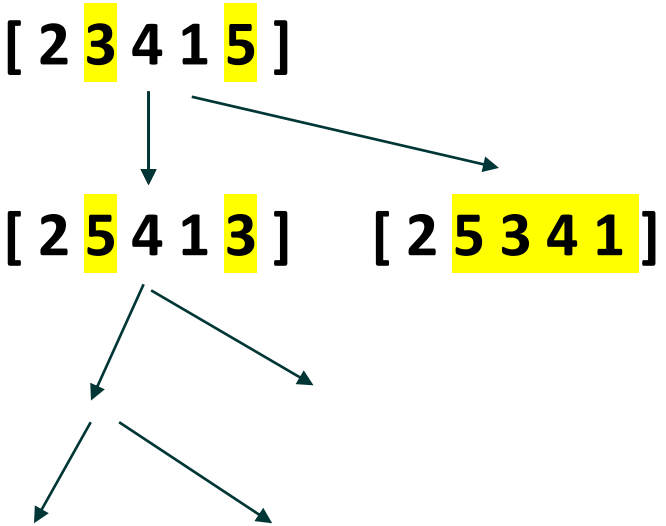
Contoh encoding solusi: **[2 3 4 1 5]**

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



solusi awal

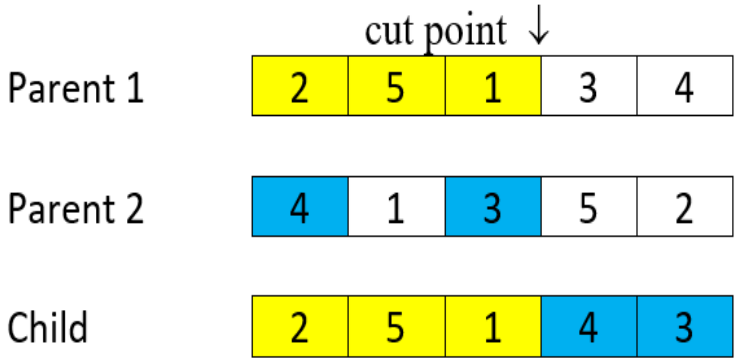
solusi alternatif → evaluasi

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

Jangan sampai hanya **random search**

Algoritma Genetika
Reproduksi - Crossover

- Representasi permutasi



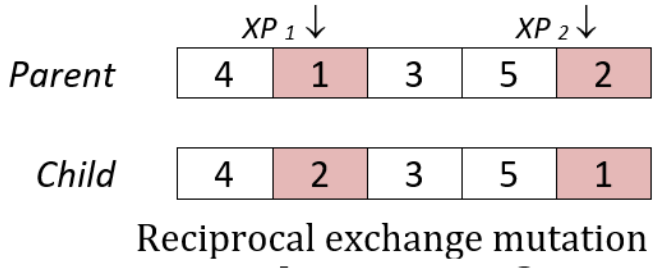
Representasi real

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



Reciprocal exchange mutation

Representasi real

$x'_i = x'_i + r_i\,(max_i - min_j)$

domain variabel x_j adalah $[min_j, max_j]$

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

[2.3 5.0 1.8]

+0.5 -0.5 +0.1

[2.8 4.5 1.9]

Algoritma Genetika
Seleksi

kumpulan induk

2	1	5	3	2
3	4	2	1	5
5	2	3	4	1
3	1	5	2	4

kumpulan anak

2	5	1	3	4
5	4	1	3	2

lolos generasi/iterasi berikutnya

2	1	5	3	2
5	2	3	4	1
3	1	5	2	4
5	4	1	3	2

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

Peluang 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

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

Penelitian Baru - Metode Baru

Genetic Algorithm (GA) - 1960
Ant Colony Optimization (ACO) - 1992
Particle Swarm Optimization (PSO) - 1995
Variable Neighbourhood 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)

Deksripsi:

Perusahaan mempunya 3 pabrik (**sumber**) Malang, Bandung, Medan

Perusahaan mendistribusikan produknya ke seluruh wilayah (t**ujuan**) 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:

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.

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

- Perbaikan bobot *artificial neural network*
- Perbaikan 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, Haviluddin, 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.

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.

Terima Kasih