

## ANALISIS DAN IMPLEMENTASI ALGORITMA ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM DALAM MASALAH PEMOTONGAN BAHAN (CUTTING STOCK PROBLEM)

Arfan Miftah Farid<sup>1</sup>, Agung Toto Wibowo<sup>2</sup>, Mahmud Dwi Suliyo<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Teknik Informatika, Fakultas Teknik Informatika, Universitas Telkom

---

### Abstrak

Cutting Stock Problem (CSP) merupakan permasalahan yang sangat krusial dalam dunia industri manufaktur. Hal ini dipicu oleh semakin tipisnya sumber daya alam dan semakin tingginya permintaan pasar, sehingga pelaku industri harus berupaya untuk memenuhi permintaan order meskipun dengan stock yang terbatas agar dapat bersaing di dunia globalisasi. Selain itu, pemanfaatan stock yang kurang optimal dalam pemotongan akan merugikan perusahaan. Salah satu cara pelaku industri untuk mengatasi permasalahan yang terjadi yaitu dengan memecahkan kasus CSP.

Tugas Akhir ini mengimplementasikan algoritma Artificial Immune System (AIS) dalam penanganan kasus CSP. AIS adalah salah satu algoritma meta-heuristik. Ide dasar AIS adalah meniru cara kerja sistem imun manusia. Kelebihannya yaitu algoritma AIS berbasis pada populasi dan jaringan serta penggunaan metode seleksi clonal selection dan mutasi dengan korelasi yang dapat bekerja secara paralel untuk banyak solusi sekaligus. Sehingga AIS dapat melakukan pencarian global dan pencarian lokal dengan baik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma AIS mampu menghasilkan solusi untuk pemecahan kasus CSP dengan optimasi rata-rata di atas 85%. Solusi yang dihasilkan sangat bergantung kepada hasil mutasi dan pembangkitan antibodi secara acak yang dihasilkan oleh death rate. Pembangkitan antibodi secara acak sangat membantu solusi yang dihasilkan untuk menyelamatkan solusi dari optimum lokal. Untuk meningkatkan optimasi sangat disarankan algoritma AIS ini digabungkan dengan algoritma pencarian lokal seperti Simulated Annealing atau Tabu Search.

**Kata Kunci :** Cutting Stock Problem, Artificial Immune System, Clonal Selection, Stock, Order.

---

### Abstract

Cutting stock problem (CSP) is a crucial problem in manufacturing industries. CSP is triggered by the lacks of natural resources and increasing market demand. So the industries strive to meet the demand even with a limited stock in order to compete in the globalized world. In addition, the utilization of not-optimal cutting stocks is going to harm the company. One of the solution which the marketers do to overcome the problem that occur is solving CSP problem.

This final project implements Artificial Immune System (AIS) Algorithm in solving the CSP cases. AIS is one of the meta-heuristic algorithms. The basic idea is to imitate how the human immune system works. The advantage of the algorithm is it (AIS) based on population and networks, and also the use of clonal selection and mutation method with correlation that can work in parallel on many solution at once. So, the AIS can perform global search and local search well.

The result showed that the AIS Algorithm is able to generate the solution to solve the CSP cases with optimization average over 85%. The solution that has been generated dependent to the result of the mutation and antibody random generation which produced by the death races. Generation of antibody randomly can be helpful in creating the solutions to save its local optimum. To increasing the optimization value, it is suggested to combine this algorithm with another local search algorithm like simulated annealing or tabu search.

**Keywords :** Cutting Stock Problem, Artificial Immune System, Clonal Selection, Stock, Order.

---

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Perusahaan industri manufaktur dihadapkan sejumlah permasalahan yang kritis dalam waktu akhir-akhir ini. Salah satunya adalah semakin menipisnya sumber daya alam yang dapat dimanfaatkan untuk dijadikan bahan baku produksi yang mengakibatkan tingginya harga bahan baku tersebut. Namun hal ini dituntut oleh pasar untuk terus meningkatkan jumlah produksi agar permintaan pasar terpenuhi, baik dari segi harga, jumlah maupun kualitas. Sehingga perusahaan tersebut dapat terus bersaing di era globalisasi ini.

Salah satu solusi yang dapat dilakukan oleh perusahaan yaitu dengan menggunakan dan memanfaatkan *stock* bahan baku yang dimiliki untuk memenuhi seluruh *order* yang diminta oleh pasar secara efektif dan efisien. Sehingga dibutuhkan pola pemotongan bahan yang optimal untuk masalah pemotongan bahan (*cutting stock problem*) ini.

Pola pemotongan bahan ini dihasilkan dari penempatan *order-order* ke dalam *stock* dan hal ini menjadi permasalahan tersendiri. Karena hingga saat ini belum ada pola pemotongan yang sempurna. Sehingga pola pemotongan tersebut masih menghasilkan sejumlah sisa bahan atau *trim loss* yang tidak terpakai. Oleh karena itu, pola pemotongan yang optimal dapat menekan jumlah *trim loss* sehingga jumlah *stock* yang digunakan seminimal mungkin dan menghasilkan jumlah *order* semaksimal mungkin. Dan hal ini dapat meningkatkan jumlah produksi, menghemat bahan baku serta menekan biaya produksi bagi perusahaan tersebut.

Penyelesaian kasus CSP ini tergolong sulit karena dibutuhkan usaha komputasi yang tinggi dan waktu yang dibutuhkannya sangat lama, sehingga diperlukan suatu metode agar waktu komputasi lebih cepat untuk menemukan solusi yang optimal. Berdasarkan hal tersebut, CSP lebih banyak dikembangkan dengan metode-metode pendekatan (*heuristic*), seperti *Ant Colony Algorithm*, Algoritma Genetika (*Genetic Algorithm*), *Simulated Annealing*. Berdasarkan saran dari peneliti tugas akhir CSP sebelumnya yaitu Budi Juliansyah yang penelitiannya berjudul “*Analisis dan Implementasi Ant Colony Optimization (ACO) dalam Masalah Pemotongan Bahan (Cutting Stock Problem) Non-Guillotine Dua Dimensi*”. Saran yang diberikan yaitu menyelesaikan kasus CSP dengan metode lain yang memiliki pencarian lokalnya lebih baik. Tugas akhir ini menggunakan metode algoritma *Artificial Immune System (AIS)*.

Algoritma *Artificial Immune System* adalah salah satu algoritma optimasi yang terinspirasi dari cara kerja sistem imun untuk menjaga sistem kekebalan tubuh manusia, yaitu interaksi antara antibodi terhadap antigen. Kelebihan algoritma ini dibandingkan algoritma lain adalah penggunaan populasi, seleksi dan mutasi sehingga bisa bekerja secara paralel untuk banyak solusi sekaligus dan memiliki kemampuan *self-organizing* sehingga tidak banyak parameter yang diperlukan. [14]. Diharapkan dengan menggunakan algoritma AIS ini akan lebih menghasilkan hasil yang lebih optimal daripada menggunakan *Ant Colony Algorithm* untuk permasalahan *Cutting Stock Problem*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dijelaskan, permasalahan yang menjadi objek pada tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana mengimplementasikan algoritma AIS dalam menyelesaikan CSP *non-guillotine* dua dimensi?
2. Bagaimana solusi yang dihasilkan AIS dalam menyelesaikan CSP?
3. Bagaimana analisis pengaruh parameter-parameter AIS dalam penyelesaian CSP terhadap solusi yang dihasilkan?

## 1.3 Batasan Masalah

Dalam penyusunan tugas akhir ini, ada beberapa hal yang menjadi batasan masalah, yaitu:

1. CSP yang ditangani adalah CSP yang memiliki varian dua dimensi dengan teknik pemotongan *non-guillotine*.
2. Model AIS yang digunakan hanya model *clonal selection*.
3. *Data set* yang diterima oleh sistem merupakan data order dengan ekstensi *file xml*.
4. *Stock* dan *order* yang digunakan berbentuk regular, yaitu segi empat (*rectangle*)
5. Order dapat diputar (*rotateable*) dengan dua orientasi, *potrait* dan *landscape*.
6. Ukuran panjang atau lebar *order* tidak ada yang melebihi panjang atau lebar *stock*.

## 1.4 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Mengimplementasikan AIS menjadi sebuah sistem untuk menemukan solusi dari CSP *non-guillotine* dua dimensi.
2. Mengetahui solusi yang dihasilkan oleh AIS dalam menyelesaikan CSP.
3. Menganalisis pengaruh parameter-parameter AIS dalam menemukan solusi CSP yang paling optimal berdasarkan nilai afinitas yang dihasilkan.

## 1.5 Hipotesis

Algoritma AIS mampu menyelesaikan dan menghasilkan solusi untuk kasus CSP dengan optimal. Hal ini didasari karena algoritma AIS berbasis pada populasi dan jaringan serta penggunaan metode seleksi *clonal selection* dan mutasi dengan korelasi yang dapat bekerja secara paralel untuk banyak solusi sekaligus. Sehingga proses pencarian global (*global search*) dan pencarian lokalnya (*local search*) dilakukan dengan sangat baik.

## 1.6 Metodologi Penyelesaian Masalah

### 1. Studi Literatur

Mencari sumber materi dan referensi yang berkaitan dan dapat menunjang proses atau tujuan dari tugas akhir ini. Pencarian materi dan referensi berkaitan dengan *cutting stock problem*, *artificial immune system* dan materi yang berkaitan lainnya baik dalam bentuk buku, jurnal maupun artikel.

### 2. Analisis Kebutuhan dan Perancangan Sistem

Menganalisis seluruh kebutuhan termasuk parameter-parameter *input* agar sistem perangkat lunak yang akan dibangun oleh AIS dalam menyelesaikan kasus CSP dapat dihasilkan. Selain itu, tahap ini juga merancang kerangka sistem dan *pseudo-code* agar alur dan bentuk AIS lebih mudah diimplementasikan.

### 3. Implementasi Sistem

Membangun sistem penyelesaian kasus CSP dengan AIS yang sesuai dengan perancangan sistem dengan menggunakan bahasa *Java* dan *tool Netbeans*. Representasi solusi dari tahap ini adalah menghasilkan pola pemotongan dalam bentuk digital dan nilai afinitas yang dihasilkan.

### 4. Uji Coba Sistem

Melakukan uji coba terhadap sistem dengan menggunakan *data set* yang telah disediakan. Tujuannya untuk mendeteksi kesalahan pada sistem selama dibangun dan mengevaluasi sistem agar sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.

### 5. Analisis Hasil

Menganalisis hasil *output* dengan pengaruh parameter-parameter AIS dari sistem yang telah dibangun. Dalam tugas akhir ini, hasil *output* berupa pola pemotongan dan grafik afinitas terbaik selama generasi. Dan fungsi afinitas yang digunakan yaitu meminimalisir sisa atau *trim loss* yang digunakan.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan buku Tugas Akhir ini terdiri dari beberapa bagian, yaitu:

1. BAB I Pendahuluan  
Alasan dan dasar utama dari pertanyaan mengapa memilih kasus CSP dan diselesaikan dengan algoritma AIS, batasan penelitian dan tujuan dari penelitian tugas akhir ini.
2. BAB II Landasan Teori  
Penjelasan teori singkat yang berhubungan dengan kasus CSP dan algoritma AIS serta yang berkaitan dengan implementasinya.
3. BAB III Perancangan dan Implementasi  
Penjelasan analisis kebutuhan sistem, mendeskripsikan sistem dan perancangan sistem dari *data set* yang akan digunakan hingga representasi solusi yang ingin dicapai.
4. BAB IV Pengujian dan Analisis  
Pengujian dari hasil implementasi sistem. Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil implementasi dengan *data set* yang ada serta *data input* acak. Analisis dilakukan dengan melihat perbandingan dan solusi yang dihasilkan dari setiap pengujian.
5. BAB V Kesimpulan dan Saran  
Uraian singkat kesimpulan dari hasil penelitian dan saran-saran yang diperlukan untuk pengembangan sistem ke depan.

## BAB V

### Kesimpulan dan Saran

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil analisis yang dilakukan pada bab sebelumnya. Dapat disimpulkan bahwa:

1. Algoritma AIS mampu menangani permasalahan CSP dengan rata rata optimasi diatas 85%
2. Semakin tinggi nilai parameter *population size* (N), *Generation* (g), *Best Antibody* (n) menghasilkan solusi pola pemotongan yang semakin baik.
3. Kombinasi terbaik dari observasi parameter yaitu dengan  $N = 100$ ,  $g = 300$ ,  $n = 25$  dan  $d = 15$  yang menghasilkan rata-rata akurasi terbesar dalam setiap kasus.
4. Dalam algoritma AIS, pemeliharaan keragaman yang didapat dari death rate sangat membantu solusi yang dihasilkan untuk menyelamatkan solusi dari optimum lokal. Hasil optimasi yang berpengaruh sangat bergantung pada pembangkitan random yang memiliki solusi sangat baik.
5. Semakin banyak generasi yang dilakukan, probabilitas kenaikan nilai optimasi menjadi semakin sulit, hal ini dikarenakan solusi yang didapatkan sebelumnya sudah mendekati nilai optimal. Dan solusi yang dihasilkan sangat bergantung kepada hasil mutasi dan pembangkitan antibodi random yang dihasilkan oleh death rate.
6. Semakin banyak jumlah *order* maka ruang masalah menjadi lebih besar dan membutuhkan waktu yang lebih lama dalam menyelesaikannya.
7. Keliling sisa yang dijadikan pembanding nilai afinitas tidak berdampak begitu besar pada solusi yang dihasilkan. Sehingga masih banyak trim loss yang masih tersebar dalam setiap solusi yang dihasilkan.

#### 5.2 Saran

1. Mengkombinasikan Algoritma AIS dengan algoritma yang memiliki pencarian lokal agar solusi yang dihasilkan menjadi lebih baik seperti algoritma *Simulated Annealing* atau *Tabu Search*.
2. Untuk pencarian nilai afinitas atau nilai fitness, tidak terlalu disarankan untuk menjadikan keliling sisa sebagai pembanding untuk mendapatkan nilai afinitas atau nilai fitness yang lebih baik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alev Soke, Zafer Bingul. (2007). *Applications of Discrete PSO Algorithm to Two-Dimensional Non-Guillotine Rectangular Packing Problems*. Las Vegas, Nevada, USA
- [2] Ali Rifky. 2013. *Implementasi Artificial Bee Colony (ABC) dan Tabu Search (TS) pada Masalah Pemotongan Bahan (Cutting Stock Problem) Non-guillotine Dua Dimensi*. Fakultas Teknik Informatika, Institut Teknologi Telkom, Bandung
- [3] Dasgupta, Dipankar. (2006). *Advances in Artificial Immune Systems*. University of Memphis, USA
- [4] De Castro Leandro. *Learning and Optimization Using the Clonal Selection Principle*. IEEE
- [5] Doyne Farmer, Norman Packard. *The Immune System, Adaptation, And Machine Learning*. Los Alamos
- [6] Erwanda Risky (2012). *Algoritma Sistem Imun Buatan dan Pencarian Rakus untuk Penjadwalan Kuliah dan Mahasiswa*. Fakultas Informatika, Institut Teknologi Telkom, Bandung
- [7] Forrest Stephanie. Alan S. Perelson. *Self-Nonself Discrimination in a Computer*. University of New Mexico
- [8] Juliansyah Budi. (2012). *Analisis dan Implementasi Ant Colony Optimization (ACO) dalam Masalah Pemotongan Bahan (Cutting Stock Problem) Non-guillotine Dua Dimensi*. Fakultas Informatika, Institut Teknologi Telkom, Bandung
- [9] Jungwon Kim. (2002). *Toward an artificial immune system for network intrusion detection An investigation of dynamic clonal selection*. London
- [10] Khalifa, O. Salem, A. Shahin. *Cutting Stock Waste Reduction Using Genetic Algorithms*. Computer Engineering Department, University of New York, USA
- [11] Liang Ko-Hsin, Xin Yao. (1999). *A new evolutionary approach to cuttingstock problems with and without contiguity*. School of Computer Science, The University of Birmingham, Birmingham
- [12] Nurkertamanda Denny, Singgih Saptadi. *Optimasi Cutting Stock Pada Industri Pemotongan Kertas Dengan Menggunakan Metode Integer Linear Programming*. Teknik Industri, Universitas Diponegoro
- [13] Suyanto. (2008). *Algoritma Optimasi, Deterministik atau Probabilistik*. Penerbit Graha Ilmu, Yogyakarta.
- [14] Suyanto. (2008). *Evolutionary Computation: Komputasi Berbasis Evolusi dan Genetika*. Penerbit Informatika, Bandung.

- [15] Tan Yin.(2005). *Artificial Immune System Model Tutorial*. Department of Intelligence Science, Peking University, Beijing
- [16] W. Robert, Paul Sweeney. *Cutting Stock Problems and Solution Procedures*. School of Business Administration, The University of Michigan, USA
- [17] Wahyu Wijanarko Fitrian. (2011). *Pencarian Solusi Optimal Cutting Stock Problem dengan Menggunakan Firefly Algorithm*. Fakultas Informatika, Institut Teknologi Telkom, Bandung

