

Penerapan Algoritma Genetika dalam Optimalisasi Topologi Struktur Rangka Atap Baja

Muhammad Izzudin*

Universitas Ma'arif Nahdlatul Ulama Kebumen, Kebumen, Indonesia

muhammad_izzudin@umnu.ac.id*

Abstrak

Penelitian ini mengaplikasikan algoritma genetika untuk mengoptimalkan topologi struktur rangka atap baja. Tujuan dari Optimalisasi struktur adalah untuk meminimalkan berat dengan memilih kombinasi variabel desain yang menentukan topologi struktur. Struktur tersebut harus memenuhi batasan tegangan dan perpindahan yang diijinkan. Terdapat delapan variabel dalam satu geometri struktur, yaitu: (1) penampang gording, (2) jumlah segmen, (3) tinggi tengah bentang, (4) penampang rangka untuk kelompok batang bawah, (5) penampang rangka untuk kelompok batang atas, (6) penampang rangka untuk kelompok batang vertikal, (7) penampang rangka untuk kelompok batang diagonal, dan (8) sudut kemiringan atap. Standar perencanaan konstruksi baja mengikuti SNI 1729-2020 mengenai "Spesifikasi Bangunan Gedung Baja Struktural". Optimasi dilakukan pada struktur rangka atap baja dengan geometri struktur berbentuk segitiga, simetris dan struktur statis tertentu. Setiap jenis atap dioptimasi berdasarkan lebar bentang (L_b), dan lebar bentang tersebut kemudian dioptimasi berdasarkan jarak antar kuda-kuda (L_k) untuk memperoleh berat per luas ($W/luas$) terendah pada setiap bentang. Selanjutnya dirumuskan hubungan antara $W/luas$ dengan L_b untuk struktur atap yang optimal tersebut.

Kata kunci: Algoritma genetika, optimalisasi topologi struktur, rangka atap baja, SNI 1729-2020, $W/luas$.

Abstract

This study applies genetic algorithms to optimize the topology of a steel roof frame structure. Structural optimization aims to minimize weight by selecting combinations of design variables that determine the topology of the structure. The structure must meet the allowable stress and displacement constraints. There are eight variables in the geometry of the structure, namely: (1) purlin cross-section, (2) number of segments, (3) mid-span height, (4) frame cross-section for the lower chord group, (5) frame cross-section for the upper chord group, (6) frame cross-section for the vertical member group, (7) frame cross-section for the diagonal member group, and (8) roof slope angle. The steel construction design standard follows SNI 1729-2020 concerning "Specifications for Structural Steel Buildings." Optimization is performed on the steel roof frame structure with a triangular, symmetrical geometry and a determinate static structure. Each type of roof is optimized based on span width (L_b), and the span width is further optimized based on the distance between trusses (L_k) to obtain the lowest weight per area ($W/area$) for each span.

Subsequently, the relationship between W/area and Lb for the optimal roof structure is formulated.

Keywords: *Genetic algorithm, structural topology optimization, steel roof frame, SNI 1729-2020, W/area.*

1. Pendahuluan

Algoritma genetika (AG) adalah algoritma pencarian hasil optimum yang didasarkan pada proses evolusi makhluk hidup, artinya individu yang lebih kuat (fit) akan memiliki tingkat survival dan tingkat reproduksi yang lebih tinggi dibandingkan dengan individu yang kurang fit. Metode seleksi ini telah banyak dilakukan oleh ilmuwan dalam proses desain untuk optimalisasi struktur. Kontribusi pertama untuk optimasi struktur dengan algoritma genetika dilakukan oleh Goldberg & Samtani (1986) yaitu optimalisasi desain truss 10 batang. Jenkins (1991) melakukan optimasi struktur atap beam. Hajela (1992) mempresentasikan optimasi sistem struktur besar. Lin & Hajela (1992 dan 1993) menggunakan variable desain diskrit untuk mendapatkan berat minimum dari rangka 8 batang, dilanjutkan desain rangka 25 batang dan 72 batang. Galanate (1996) menerapkan AG untuk desain struktur truss 2 dimensi dan desain truss 10 batang, dan tower transmisi dengan memperhatikan efek buckling. Hamza dkk (2003) menggunakan AG untuk optimasi desain dan konfigurasi struktur rangka atap. Eduardo, Elaine, dan Afonso (2004) melakukan optimasi rangka atap baja menggunakan AG. Besari dan Wibowo (1994) melakukan optimasi bentuk rangka batang dengan beban tertentu menghasilkan bentuk struktur optimal menggunakan AG.

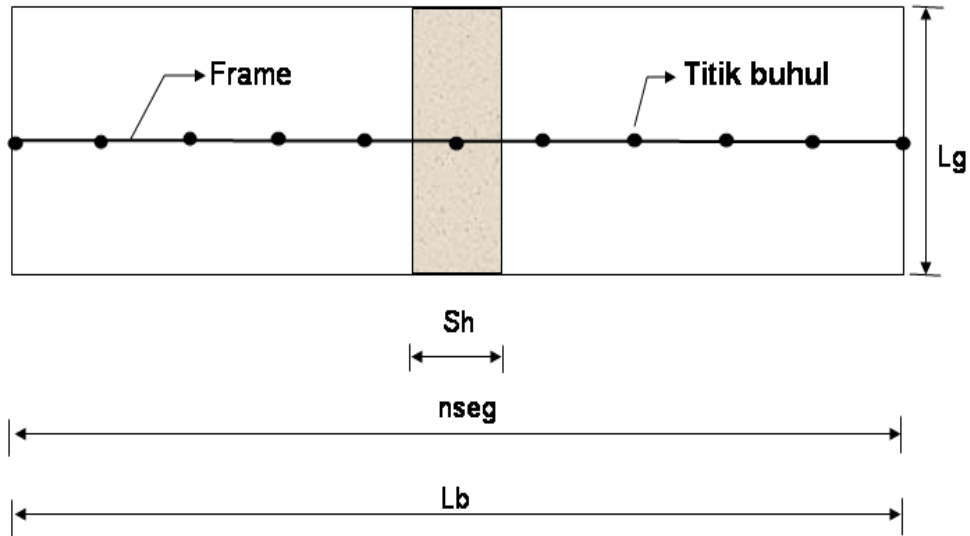
Faktor terpenting yang harus diperhatikan dalam desain struktur adalah teknis dan ekonomis. Oleh karena itu dalam desain struktur perlu dilakukan optimalisasi terhadap ukuran penampang, geometri ataupun bentuk struktur untuk mendapatkan suatu struktur kuat menahan beban yang bekerja (teknis) yang hemat bahan (ekonomis). Pada penelitian ini dibahas mengenai optimalisasi struktur rangka atap baja menggunakan algoritma genetika. Ini dilakukan dengan cara minimalisasi total berat bahan struktur yang memenuhi syarat batas tegangan dan perpindahan. Tegangan dan perpindahan yang terjadi dihitung menggunakan metode elemen hingga, sedangkan optimasi menggunakan algoritma genetika dengan bantuan program *Matlab*.

Tujuan penelitian ini adalah menerapkan metode algoritma genetika dalam optimalisasi struktur rangka atap baja untuk mendapatkan struktur yang kuat menahan beban yang bekerja dengan bahan minimum.

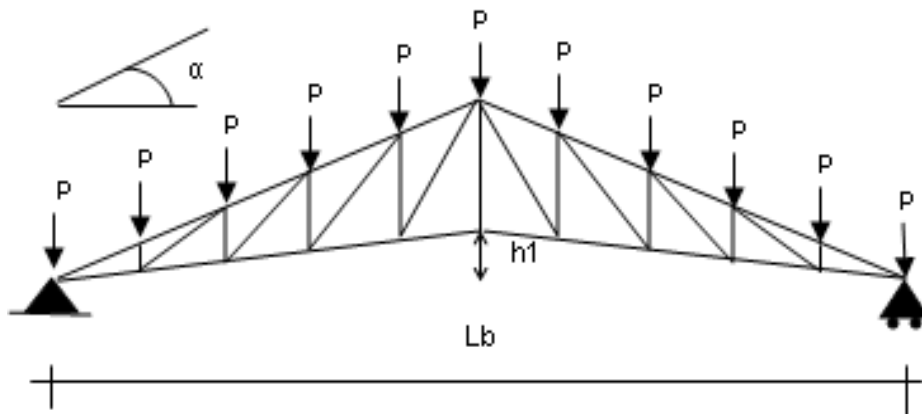
Manfaat penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan metode optimasi struktur, khususnya metode algoritma genetika.
2. Mempercepat pemodelan, perhitungan dan optimasi struktur rangka atap baja.
3. Mendapatkan desain struktur rangka atap baja yang optimal

Penelitian ini dibatasi pada struktur rangka atap baja 2 dimensi dengan tumpuan sendi dan rol seperti pada gambar 1 dan 2.



Gambar 1



Gambar 2

Keterangan:

- L_g = Panjang gording (m)
 n_{seg} = Jumlah segmen rangka
 α = Sudut kemiringan atap ($^{\circ}$)
 Sh = Jarak antar gording dalam arah horisontal (m)
 h_1 = Tinggi tengah bentang bagian bawah (m)

Ruang lingkup penelitian adalah sebagai berikut:

1. Struktur yang digunakan adalah struktur rangka atap baja 2 dimensi.
2. Material yang digunakan adalah baja ST 37, untuk rangka atap memakai profil dobel siku sama kaki, sedangkan untuk gording menggunakan profil kanal kait. Penampang yang disediakan bisa dilihat pada tabel 1.4.1 dan 1.4.2.

3. Jumlah segmen rangka (nseg) adalah variabel diskrit, dimana ini menentukan jarak antar gording (nseg = 2,4,6,8, ... ,(2Lb)).
4. Besarnya beban-beban yang bekerja tergantung jarak antar gording.
5. Panjang minimal batang dalam struktur rangka atap adalah 0,20 m, dan panjang maksimal adalah 6,00 m.
6. Tinggi tengah bentang bagian bawah (h1) adalah variabel deskrit (h1 = 0; 0,1;0,2; 0,3; 0,4; 0,5; dst..;(0,5.Lb.tg α - 0.7)) m.
7. Pada gording tidak ada trekstang.

Tabel 1 Penampang Kanal

NO	UKURAN
1	2L 40 x 40 x 4
2	2L 50 x 50 x 5
3	2L 60 x 60 x 6
4	2L 70 x 70 x 7
5	2L 75 x 75 x 8
6	2L 80 x 80 x 8
7	2L 90 x 90 x 9
8	2L 100 x 100 x 10
9	2L 120 x 120 x 11
10	2L 130 x 130 x 12
11	2L 150 x 150 x 15
12	2L 200 x 200 x 20

Tabel 2 Penampang Siku

NO	UKURAN
1	LC 100 x 50 x 20 x 2.3
2	LC 125 x 50 x 20 x 2.3
3	LC 100 x 50 x 20 x 3.2
4	LC 125 x 50 x 20 x 3.2
5	LC 150 x 65 x 20 x 3.2
6	DLC 100 x 50 x 20 x 2.3
7	DLC 125 x 50 x 20 x 2.3
8	LC 200 x 75 x 20 x 3.2
9	DLC 100 x 50 x 20 x 3.2
10	DLC 125 x 50 x 20 x 3.2
11	DLC 150 x 65 x 20 x 3.2
12	DLC 200 x 75 x 20 x 3.2

2. Metodologi Penelitian

Mencakup lokasi dan waktu penelitian, sifat penelitian (tujuan, pendekatan, cakupan sumber data), teknik pengumpulan data dan metode analisis data. Metodologi juga mencakup penjelasan didasarkan karakteristik keilmuan (rasional, empiris dan sistematis) dengan sasaran hasil penelitian yang mutakhir, bahan dan peralatan serta metode yang digunakan (termasuk alat analisis), uraian prosedur yang dilakukan, uraian rumusan matematis dan penjelasan metode yang terperinci.

2.1. Tujuan Khusus

Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan bentuk struktur rangka atap baja dengan volume bahan minimum menggunakan metode algoritma genetika yang diterapkan pada program Matlab.

2.2 Metode dan Desain

Tahap-tahap penelitian digambarkan dalam lampiran Flowchart Program Induk dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Input Data

Input data terdiri dari data struktur, data algoritma genetika, serta beberapa tabel, seperti tabel profil siku, tabel profil kanal kait, tabel nseg (jumlah segmen), tabel yl (tinggi tengah bentang), dan tabel alpha. Data ini tersimpan dalam file **inputData33.m** dengan rincian sebagai berikut:

A. Data Struktur:

- $E = 2.1 \times 10^{10} \text{ kg/m}^2$

- $\text{Sigmaleleh} = 2.4\text{e}+7 \text{ kg/m}^2$
- $\text{Sigmaputus} = 3.7\text{e}+7 \text{ kg/m}^2$
- $\text{BJ} = 7850 \text{ kg/m}^3$
- $\text{Pho} = 100 \text{ kg}$
- $\text{wa} = 25 \text{ kg/m}^2$
- $\text{Wa} = 18 \text{ kg}$
- $\text{Lb} = 10 \text{ m}$
- $\text{Wha} = 20 \text{ kg/m}^2$
- $\text{Lk} = 3 \text{ m}$

B. Data Algoritma Genetika:

- $\text{Nvar} = 8$ (jumlah variabel)
- $\text{Nbit} = 4$ (jumlah bit untuk satu variabel)
- $\text{jumGen} = \text{nbit} * \text{nvar}$ (jumlah gen dalam kromosom)
- $\text{Rb} = 1$ (batas bawah interval)
- $\text{Ra} = 12$ (batas atas interval)
- $\text{ukPop} = 200$ (jumlah kromosom dalam populasi)
- $\text{Ps} = 0.8$ (probabilitas pindah silang)
- $\text{Pmut} = 0.05$ (probabilitas mutasi)
- $\text{maxG} = 50$ (jumlah generasi)

2. Penyusunan Tabel Profil

Penyusunan tabel profil siku, kanal kait, nseg (jumlah segmen), yl (tinggi tengah bentang), dan alpha dilakukan dan tersimpan dalam file **tabelProfilR33.m**.

3. Inisialisasi Grafik 2D

Grafik 2D diinisialisasi dengan kode berikut:

```
fthreshold = 1;
Bgraf = fthreshold;
hfig = figure;
hold on;
title('OPTIMASI RANGKA ATAP BAJA DENGAN GRAFIK 2 DIMENSI');
set(hfig, 'Position', [50, 50, 600, 400]);
set(hfig, 'DoubleBuffer', 'on');
axis([1, maxG, 0, Bgraf]);
hbestplot = plot(1:maxG, zeros(1, maxG));
```

```
htext1 = text(0.6 * maxG, 0.75 * Bgraf, sprintf('Fitness terbaik: %.2f', 0.0));  
htext2 = text(0.6 * maxG, 0.70 * Bgraf, sprintf('Ag: %.2f', 0.0));  
htext3 = text(0.6 * maxG, 0.65 * Bgraf, sprintf('nseg: %.2f', 0.0));  
htext4 = text(0.6 * maxG, 0.60 * Bgraf, sprintf('yl: %.2f', 0.0));  
htext5 = text(0.6 * maxG, 0.55 * Bgraf, sprintf('Al: %.2f', 0.0));  
htext6 = text(0.6 * maxG, 0.50 * Bgraf, sprintf('A2: %.2f', 0.0));  
htext7 = text(0.6 * maxG, 0.45 * Bgraf, sprintf('A3: %.2f', 0.0));  
htext8 = text(0.6 * maxG, 0.40 * Bgraf, sprintf('A4: %.2f', 0.0));  
htext9 = text(0.6 * maxG, 0.35 * Bgraf, sprintf('alpha: %.2f', 0.0));  
xlabel('Generasi');  
ylabel('Fitness terbaik');  
hold off;  
drawnow;
```

4. Loop Evolusi dan Populasi Awal

Mulai loop evolusi dan penentuan populasi awal dengan bilangan biner. Kode berikut digunakan untuk menginisialisasi populasi:

```
for generasi = 1:maxG  
    Populasi = fix(2 * rand(ukPop, jumGen));  
    kromosom = Populasi(1, :);  
end
```

5. Konversi Bilangan Biner ke Desimal

Selanjutnya, bilangan biner dikonversi ke dalam bilangan desimal menggunakan kode kromosom yang memanggil fungsi **kodeKromR33.m**.

6. Penyusunan data penampang siku, kanal kait, nseg, yl berdasarkan populasi awal → tersimpan dalam file inputData22R33.m.

7. Perhitungan Struktur untuk populasi awal

7.1. Gording → tersimpan dalam file gording1R2.m

- Perhitungan beban mati
- Perhitungan beban hidup
- Perhitungan beban angin
- Perhitungan kombinasi beban
- Perhitungan tegangan dan lendutan yang terjadi
- Perhitungan berat semua gording dalam satu rangka baja tersimpan dalam file koordinatTruss4R2.m.

7.2. Pemodelan struktur rangka

- Penentuan koordinat titik buhul rangka

- Penentuan posisi elemen (batang) rangka
- Penentuan panjang total elemen dalam tiap kelompok elemen (rangka mempunyai 4 kelompok elemen yaitu: bawah, atas, vertikal, dan horizontal).
- Penentuan panjang masing-masing batang dalam tiap kelompok elemen.

7.3. Pembebanan pada struktur rangka tersimpan dalam file inputBebanRangkaR2.m

- Penentuan beban merata akibat berat sendiri
- Penentuan beban mati terpusat
- Penentuan beban hidup
- Penentuan beban angin

7.4. Analisis struktur rangka tersimpan dalam file truss2d_cadR2.m

8. Perhitungan berat struktur (W_{tot})

$$W_{tot} = W_{gording} + W_{kd} + W_{platspl};$$

9. Penentuan fitness kromosom → dengan memanggil fungsi evaluasiIndR33

$$\text{fitness}(1) = \text{evaluasiIndR33}(x);$$

10. Penentuan fitness maksimum, minimum, dan indeks individu terbaik untuk populasi awal.

$$\max F = \text{fitness}(1);$$

$$\min F = \text{fitness}(1);$$

$$\text{indeksIndividuTerbaik} = 1;$$

11. Penentuan populasi kedua dan seterusnya sampai ke-ukPop

$$\text{for } ii = 2:\text{ukPop},$$

$$\text{krom} = \text{populasi}(ii, :);$$

$$x = \text{kodeKromR2}(\text{krom}, \text{nvar}, \text{nbit}, \text{Ra}, \text{Rb});$$

12. Perhitungan Struktur untuk populasi kedua dan seterusnya sampai ke-ukPop.

13. Perhitungan berat struktur (W_{tot})

$$W_{tot} = W_{gording} + W_{kd} + W_{platspl};$$

14. Penentuan fitness kromosom populasi kedua sampai ke-ukPop dengan memanggil fungsi evaluasiIndR33

$$\text{fitness}(ii) = \text{evaluasiIndR33}(x);$$

15. Penentuan fitness maksimum, minimum, indeks individu terbaik, dan individu terbaik untuk populasi kedua sampai ke-ukPop.

$$\text{if } (\text{fitness}(ii) > \max F),$$

$$\max F = \text{fitness}(ii);$$

```
indeksIndividuTerbaik = ii;
```

```
bestX = x;
```

```
end
```

```
if (fitness(ii) < minF),
```

```
    minF = fitness(ii);
```

```
end
```

16. Penanganan grafik 2D

```
plotvector = get(hbestplot, 'YData');
```

```
plotvector(generasi) = maxF;
```

```
set(hbestplot, 'YData', plotvector);
```

```
set(htext1, 'string', sprintf('Fitness terbaik: %.2f', maxF));
```

```
set(htext2, 'string', sprintf('Ag: %.2f', bestX(1)));
```

```
set(htext3, 'string', sprintf('nseg: %.2f', bestX(2)));
```

```
set(htext4, 'string', sprintf('yl: %.2f', bestX(3)));
```

```
set(htext5, 'string', sprintf('Al: %.2f', bestX(4)));
```

```
set(htext6, 'string', sprintf('A2: %.2f', bestX(5)));
```

```
set(htext7, 'string', sprintf('A3: %.2f', bestX(6)));
```

```
set(htext8, 'string', sprintf('A4: %.2f', bestX(7)));
```

```
set(htext9, 'string', sprintf('alpha: %.2f', bestX(8)));
```

```
drawnow;
```

```
if maxF > fthreshold,
```

```
    break;
```

```
end
```

17. Penyimpanan populasi baru agar tidak tertimpa populasi lain, tersimpan dalam variabel temPop.

```
temPop = populasi;
```

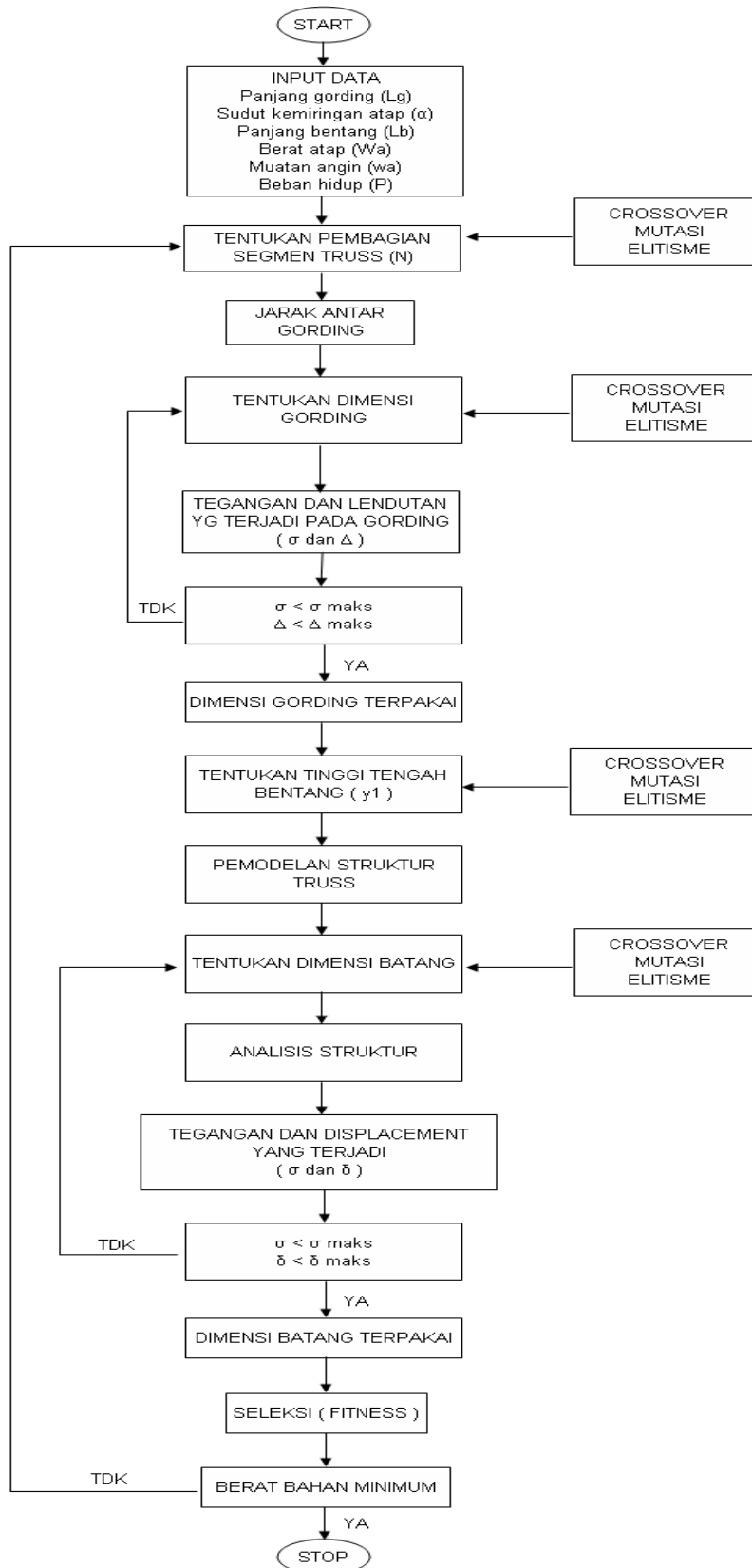
18. Pelestarian kromosom (elitisme) agar individu bernilai fitness tinggi tidak hilang selama evolusi.

19. Penskalaan nilai fitness untuk menghindari kecenderungan konvergen pada optimum lokal sehingga diperoleh nilai fitness baru yang lebih baik dengan memanggil fungsi linierFitnessRankingR2.m.

```
linierFitness = linierFitnessRankingR2(ukPop, fitness, maxF, minF);
```

20. Penentuan indeks dari kromosom yang terpilih (sebagai orang tua) untuk keperluan pindah silang (crossover) dengan memanggil fungsi rouletteWheel.m. Setelah penentuan indeks, dilakukan pindah silang → dengan memanggil fungsi pindahSilangR2.
21. Mutasi dilakukan dengan memanggil fungsi mutasiR2. Tujuannya adalah mengubah nilai gen-gen yang terpilih dari nilai 0 menjadi 1, dan 1 menjadi 0.
for kk = iterasiMulai:ukPop,
 temPop(kk, :) = mutasiR2(temPop(kk, :), jumGen, Pmut);
end
22. Penggantian semua individu dengan individu baru
 populasi = temPop;
23. Penutupan loop generasi

2.3. Bagan Alir Penelitian



3. Hasil dan Pembahasan

Proses optimasi dilakukan untuk atap ringan. Masing-masing jenis atap dioptimasi berdasarkan lebar bentang (L_b) 10 m, 15 m, 20 m, dan 20 m. Setiap lebar bentang dioptimasi berdasarkan jarak antar kuda-kuda (L_k). Dari berbagai lebar bentang, diambil W/luas minimum untuk setiap bentang sebagai W/luas terbaik pada setiap bentang.

Contoh Hasil Optimasi Rangka ($L_b = 10$ m, $L_k = 3$ m):

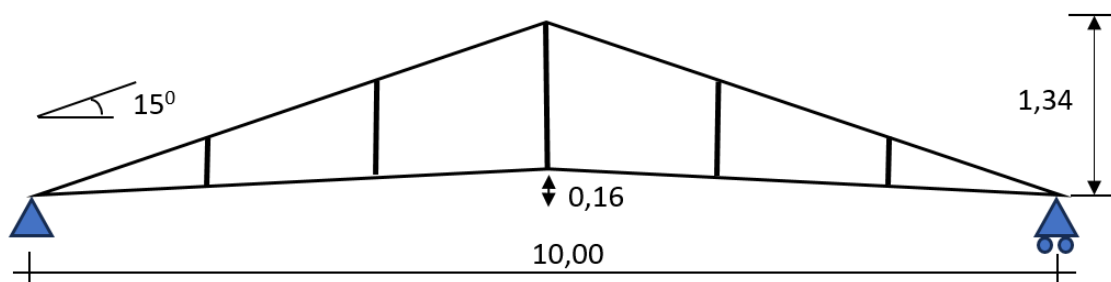
- $L_k = 3,00$ m
- Profil gording = LC 125x50x20x3,2
- Jumlah segmen (n_{seg}) = 6
- Tinggi tengah bentang (y_1) = 0,16 m
- Tinggi kuda-kuda (y_0) = 1,34 m
- Profil batang bawah = 2L 40x40x4
- Profil batang atas = 2L 60x60x6
- Profil batang vertikal = 2L 40x40x4
- Profil batang diagonal = 2L 40x40x4
- Sudut kemiringan atap (α) = 15°

Berat Struktur:

- $W_{kuda-kuda} = 215,909$ kg
- $W_{gording} = 151,440$ kg
- $W_{platsimpul} = 14,775$ kg
- Total berat = 382,124 kg

Persentase Berat:

- % $W_{platsimpul} - W_{rangka} = 3,87$ %
- $W/Luas = 12,737$ kg/m²
- $L_b/L_k = 3,333$



Tabel 3 Hasil Optimasi (Lb = 10 m)

Lk (Jarak kuda-kuda)	3 m	3,5 m	4 m	4,5 m	5 m
Gording	LC 125x50x20x3.2	LC 150x65x20x3.2	LC 150x65x20x3.2	DLC 100x50x20x2.3	DLC 125x50x20x2.3
nseg	6	6	6	6	6
y1 (m)	0,16	0,16	0,15	0,1	0,16
yo (m)	1,34	1,34	1,34	1,434	1,34
Batang Bawah	2L 40x40x4	2L 40x40x4	2L 40x40x4	2L 50x50x5	2L 50x50x5
Batang Atas	2L 60x60x6	2L 60x60x6	2L 60x60x6	2L 60x60x6	2L 70x70x7
Batang Vertikal	2L 40x40x4	2L 40x40x4	2L 40x40x4	2L 50x50x5	2L 50x50x5
Batang Diagonal	2L 40x40x4	2L 40x40x4	2L 40x40x4	2L 40x40x4	2L 40x40x4
Sudut Kemiringan (α)	15	15	15	16	15
Fitness	0,90889	0,89562	0,88892	0,8683	0,8439
Wkuda2 (kg)	215,909	215,909	215,909	256,265	294,610
Wgording (kg)	151,440	210,280	240,320	292,32	360,80
Wplatsimpul (kg)	1.477.514,000	1.477.514,000	1.477.514,000	16,305	23,472
Wrangka (kg)	382,124	440,964	471,004	564,890	678,881
% Wplatsimpul-Wkuda2	6,840	6,840	6,840	6,360	7,970
% Wplatsimpul-Wrangka	3,870	3,350	3,140	2,890	3,460
W/Luas (kg/m ²)	12,737	12,599	11,775	12,553	13,578
Lb/Lk	3,333	2,857	2,500	2,222	2,000

Tabel di atas menunjukkan hasil optimasi atap ringan untuk lebar bentang Lb= 10 m dengan jarak antar kuda-kuda masing-masing 3 m; 3,5 m; 4 m; 4,5 m dan 5 m. Ternyata menghasilkan W/luas minimum Lk = 4 m dengan W/luas = 11,755 kg/m².

Tabel 4 Hasil Optimasi (Lb = 15 m)

Lk (Jarak kuda-kuda)	3 m	3,5 m	4 m	4,5 m	5 m
Gording	LC 125x50x20x3.2	LC 150x65x20x3.2	LC 150x65x20x3.2	DLC 100x50x20x2.3	DLC 125x50x20x2.3
nseg	10	8	8	8	6
y1 (m)	0,24	0,24	0,24	0,24	0,24
yo (m)	2,01	2,01	2,01	2,01	2,01
Batang Bawah	2L 40x40x4	2L 40x40x4	2L 50x50x5	2L 50x50x5	2L 50x50x5
Batang Atas	2L 60x60x6	2L 70x70x7	2L 75x75x8	2L 75x75x8	2L 90x90x9
Batang Vertikal	2L 40x40x4	2L 40x40x4	2L 40x40x4	2L 40x40x4	2L 40x40x4
Batang Diagonal	2L 40x40x4	2L 40x40x4	2L 40x40x4	2L 40x40x4	2L 40x40x4
Sudut Kemiringan (α)	15	15	15	15	15
Fitness	0,85737	0,84019	0,81182	0,79824	0,77744
Wkuda2 (kg)	361,178	404,178	495,904	495,904	605,736
Wgording (kg)	227,160	262,850	300,400	365,400	360,800
Wplatsimpul (kg)	27,183	29,487	37,591	40,097	40,445
Wrangka (kg)	615,522	696,514	833,895	901,401	1.006,981
% Wplatsimpul-Wkuda2	7,530	7,300	7,580	8,090	6,680
% Wplatsimpul-Wrangka	4,420	4,230	4,510	4,450	4,020
W/Luas (kg/m ²)	13,678	13,267	13,898	13,354	13,426
Lb/Lk	5,000	4,286	3,750	3,333	3,000

Tabel di atas menunjukkan hasil optimasi atap ringan untuk lebar bentang $L_b = 15$ m dengan jarak antar kuda-kuda masing-masing 3,00 m; 3,50 m; 4,00 m; 4,50 m dan 5,00 m. Ternyata yang menghasilkan W/luas minimum adalah $L_k = 3,50$ m dengan $W/luas = 13,267$ kg/m². sudut kemiringan kuda-kuda tiap L_k sama yaitu 15°.

Tabel 5 Hasil Optimasi ($L_b = 20$ m)

Lk (Jarak kuda-kuda)	3 m	3,5 m	4 m	4,5 m	5 m	5,5 m
Gording	LC 150x65x20x3.2	LC 150x65x20x3.2	LC 150x65x20x3.2	DLC 100x50x20x2.3	DLC 125x50x20x2.3	DLC 125x50x20x3.2
nseg	10	12	12	12	12	12
y1 (m)	0,320	0,320	0,320	0,320	0,320	0,320
yo (m)	2,679	2,679	2,679	2,679	2,679	2,679
Batang Bawah	2L 50x50x5	2L 50x50x5	2L 60x60x6	2L 60x60x6	2L 70x70x7	2L 70x70x7
Batang Atas	2L 75x75x8	2L 75x75x8	2L 75x75x8	2L 75x75x8	2L 80x80x8	DL 100x100x10
Batang Vertikal	2L 40x40x4	2L 40x40x4	2L 40x40x4	2L 40x40x4	2L 40x40x4	DL 40x40x4
Batang Diagonal	2L 50x50x5	2L 50x50x5	2L 50x50x5	2L 50x50x5	2L 50x50x5	DL 40x40x4
Sudut Kemiringan (α)	15	15	15	15	15	15
Fitness	0,76677	0,73983	0,71672	0,69948	0,659129411	0,625643547
Wkuda2 (kg)	742,411	771,231	837,519	837,519	941,751	1.106,808
Wgording (kg)	270,360	367,990	420,560	511,560	631,400	676,500
Wplatsimpul (kg)	49,496	66,127	74,223	80,615	94,190	92,590
Wrangka (kg)	1.062,268	1.205,349	1.332,302	1.429,695	1.667,342	1.875,898
% Wplatsimpul-Wkuda2	6,670	8,570	8,860	9,630	10,000	8,370
% Wplatsimpul-Wrangka	4,660	5,490	5,570	5,640	5,650	4,940
W/Luas (kg/m ²)	17,704	17,219	16,654	15,885	16,673	17,054
Lb/Lk	6,667	5,714	5,000	4,444	4,000	3,636

Tabel di atas menunjukkan hasil optimasi atap ringan untuk lebar bentang $L_b = 20$ m dengan jarak antar kuda-kuda masing-masing 3,00 m; 3,50 m; 4,00 m; 4,50 m; 5,00 m dan 5,50

m. Ternyata yang menghasilkan W/luas minimum adalah Lk = 4,50 m dengan W/luas = 15,885 kg/m². sudut kemiringan kuda-kuda tiap Lk sama yaitu 15°.

Tabel 6 Hasil Optimasi (Lb = 25 m)

Lk (Jarak kuda-kuda)	3 m	3,5 m	4 m	4,5 m	5 m	5,5 m
Gording	LC 150x65x20x3.2	LC 150x65x20x3.2	LC 150x65x20x3.2	DLC 100x50x20x2.3	DLC 125x50x20x3.2	DLC 125x50x20x3.2
nseg	14	14	16	14	12	10
y1 (m)	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400	0,400
yo (m)	3,349	3,349	3,349	3,349	3,349	3,349
Batang Bawah	2L 60x60x6	2L 60x60x6	2L 70x70x7	2L 70x70x7	2L 50x50x5	DL50x50x5
Batang Atas	2L 80x80x8	2L 80x80x8	2L 80x80x8	2L 90x90x9	2L 100x100x10	DL120x120x11
Batang Vertikal	2L 50x50x5	2L 50x50x5	2L 50x50x5	2L 50x50x5	2L 50x50x5	DL60x60x6
Batang Diagonal	2L 50x50x5	2L 50x50x5	2L 50x50x5	2L 50x50x5	2L 60x60x6	DL60x60x6
Sudut Kemiringan (α)	15	15	15	15	15	15
Fitness	0,66618	0,65529	0,60849	0,58753	0,5454	0,5168
Wkuda2 (kg)	1.170,314	1.170,314	1.310,850	1.398,127	1.422,596	1.669,826
Wgording (kg)	360,480	420,560	540,720	584,640	861,000	811,800
Wplatsimpul (kg)	93,991	99,807	135,552	144,561	141,663	158,782
Wrangka (kg)	1.624,785	1.690,681	1.987,122	2.127,329	2.425,259	2.640,408
% Wplatsimpul-Wkuda2	8,030	8,530	10,340	10,340	9,960	9,510
% Wplatsimpul-Wrangka	5,780	5,900	6,820	6,800	5,840	6,010
W/Luas (kg/m ²)	21,664	19,322	19,871	18,910	19,402	19,203
Lb/Lk	8,333	7,143	6,250	5,556	5,000	4,545

Lk (Jarak kuda-kuda)	6 m	6,5 m	7 m	7.5 m	8 m
Gording	DLC	DLC	DLC	DLC 150x65x20x3.2	DLC 200x75x20x3.2
nseg	8	12	10	14	10
y1 (m)	0,550	0,400	0,400	0,400	0,400
yo (m)	3,584	3,349	3,349	3,349	3,349
Batang Bawah	DL50x50x5	DL60x60x6	DL60x60x6	DL60x60x6	DL60x60x6
Batang Atas	DL120x120x11	DL100x100x10	DL120x120x11	DL100x100x10	DL120x120x11
Batang Vertikal	DL60x60x6	DL50x50x5	DL50x50x5	DL50x50x5	DL60x60x6
Batang Diagonal	DL70x70x7	DL60x60x6	DL60x60x6	DL50x50x5	DL60x60x6
Sudut Kemiringan (α)	16	15	15	15	15
Fitness	0,50376	0,40205	0,45470	0,41740	0,39169
Wkuda2 (kg)	1,709.715	1,505.456	1,703.834056	1,450.692546	1,752.685862
Wgording (kg)	900,000	1.365,000	1.260,000	1.800,000	1.776,000
Wplatsimpul (kg)	132,921	186,163	188,869	244,307	220,478
Wrangka (kg)	2.742,636	3.056.619,000	3.152,703	3.494,999	3.749,164
% Wplatsimpul-Wkuda2	7,770	12,370	11,080	16,840	12,579
% Wplatsimpul-Wrangka	4,850	6,090	5,990	6,990	5,881
W/Luas (kg/m ²)	18,284	18,810	18,015	18,640	18,746
Lb/Lk	4,167	3,846	3,571	3,333	3,125

Dua Tabel di atas menunjukkan hasil optimasi atap ringan untuk lebar bentang Lb = 25 m dengan jarak antar kuda-kuda masing-masing 3,00 m; 3,50 m; 4,00 m; 4,50 m; 5,00 m; 5,50 m; 6,00; 6,50; 7,00; 7,50 dan 8,00. Ternyata yang menghasilkan W/luas minimum adalah Lk = 7,00 m dengan W/luas = 18,015 kg/m². Sudut kemiringan kuda-kuda tiap Lk sama yaitu 15°.

4. Kesimpulan

Optimasi yang dilakukan untuk mencari berat rangka baja minimum dengan ketentuan sesuai batasan masalah menghasilkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode algoritma genetika cocok digunakan untuk optimasi struktur rangka baja dan proses optimasi yang cepat.
2. Sudut kemiringan untuk struktur optimal adalah 15^0
3. Optimasi rangka atap baja menghasilkan struktur rangka yang mempunyai berat per luas ($W/luas$) minimum sesuai lebar bentang (L_b) dan tinggi tengah bentang (y_1), yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

- $W/luas = 7,2669 + 0,4268 L_b$
- $Y_1 = 0,016 L_b$

Rumus di atas berlaku untuk $L_b > 0$, dengan satuan $W/luas$ adalah kg/m^2 , sedangkan L_b dalam satuan meter (m).

Penerapan metode algoritma genetika untuk optimasi struktur rangka atap baja nonsimetris, struktur jembatan, rangka 3D, dan lainnya. Perhitungan papan simpul dibuat dengan program khusus. Tebal plat simpul disesuaikan dengan batang-batang yang digunakan, dan diameter baut tidak dibuat sama, melainkan disesuaikan dengan profil yang dipakai.

Daftar Pustaka

- Bambang Wahyudi, (2004), *"Pengantar Struktur Data dan Algoritma"*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Charlotte Larsen and Joen Sindholt, (2003), *"Optimization of Compliant Mechanisms Using Genetic Algorithms, Midterm Project, Technical University of Denmark."*
- Departemen Pekerjaan Umum, (1983), *"Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983"*, Yayasan LPMB, Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum, (1993), *"Perencanaan Bangunan Baja Indonesia"*, Yayasan LPMB, Bandung.
- Eduardo S. Croce, Elaine G. Ferreira, Afonso C. C. Lemonge, (2003), *"A Genetic Algorithm for Structural Optimization of Steel Truss Roof"*, Universidade Federal de Juiz de Fora, MG, Brasil.
- M. Myint Lwin, Chyuan-Shen Lee, J.J. Lee, (2001), *"The McGraw-Hill Civil Engineering PE Exam Depth Guide: Structural Engineering"*, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Mitsuo Gen & Runwei Cheng, (1996), *"Genetic Algorithms & Engineering Design"*, John Wiley & Sons, Inc.
- Muhammad Arhami & Anita Desiani, (2005), *"Pemrograman Matlab"*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Noyan Turkkan, (2003), *"Discrete Optimization of Structures Using a Floating Point Genetic Algorithm"*, Université de Moncton, N.B., Canada.
- Oentoeng, Ir., (1999), *"Konstruksi Baja"*, Penerbit ANDI, Yogyakarta.

- RAO, S.S., (1987), "*Optimization, Theory and Applications*", San Diego State University.
- Robert D. Cook, (1990), "*Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*", Eresco, Bandung.
- Roger L. Brockenbrough & Frederick S. Merritt, "*Structural Steel Designer's Handbook*", McGraw-Hill, Inc., New York.
- Sri Kusumadewi, (2003), "*Artificial Intelligence*", Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Suparman, (1991), "*Mengenal Artificial Intelligence*", Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Suyanto, (2005), "*Algoritma Genetika dalam MATLAB*", Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- Wahyu Agung Prasetyo, (2004), "*Tips dan Trik MATLAB (Vektorisasi, Optimasi, dan Manipulasi Array)*", Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- William Weaver, Jr. & Paul R. Johnston, (1993), "*Elemen Hingga untuk Analisis Struktur*", Eresco, Bandung.