

OPTIMASI UKURAN PENAMPANG PADA STRUKTUR RANGKA BATANG BIDANG DAN RUANG DENGAN MENGGUNAKAN MODIFIED BINARY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Richard Frans¹ dan Yoyong Arfiadi²

¹Alumni Magister Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 43 Yogyakarta
Email: richardfrans.rf@gmail.com

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta
Email: yoyong@mail.uajy.ac.id

ABSTRAK

Struktur rangka batang bidang dan struktur rangka ruang sangat banyak dijumpai dalam penggunaannya sebagai struktur atap suatu bangunan. Oleh karena itu, penggunaan ukuran penampang dari struktur rangka bidang ataupun struktur rangka ruang harus dioptimalkan sebaik mungkin sehingga dapat menghemat biaya. Pengoptimalan ini tentunya tetap harus memenuhi kriteria-kriteria perencanaan misalnya dalam segi tegangan, perpindahan, kelangsingan dari profil, dan lain-lain. Untuk mengoptimalkan struktur rangka tersebut diperlukan suatu teknik optimasi yang baik yang dapat menghasilkan struktur yang efisien berdasarkan dengan variable-variabel *constraint* yang diinginkan. Teknik optimasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *modified binary particle swarm optimization*. Penelitian ini mengambil dua bentuk struktur yaitu satu buah struktur rangka batang bidang (*plane truss*) dan satu buah struktur rangka batang ruang (*space truss*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa berat pada struktur rangka batang bidang adalah 2571,9 kg dengan batas perpindahan maksimum adalah 50,2559 mm sedangkan untuk struktur rangka batang ruang didapatkan berat struktur sebesar 231,8685 kg dengan perpindahan maksimum 8,839 mm. Hasil ini merupakan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang menggunakan teknik optimasi lainnya. Keunggulan teknik optimasi pada struktur ini adalah jumlah iterasi yang cukup sedikit untuk mendapatkan struktur yang optimum (konvergen).

Kata kunci: optimasi ukuran penampang, *particle swarm optimization*, *modified binary particle swarm optimization*, struktur rangka batang bidang, struktur rangka batang ruang

1. PENDAHULUAN

Struktur rangka batang bidang dan struktur rangka ruang sangat banyak dijumpai dalam penggunaannya sebagai struktur atap suatu bangunan. Oleh karena itu, penggunaan ukuran penampang dari struktur rangka bidang ataupun struktur rangka ruang harus dioptimalkan sebaik mungkin sehingga dapat menghemat biaya. Pengoptimalan ini tentunya tetap harus memenuhi kriteria-kriteria perencanaan misalnya dalam segi tegangan, perpindahan, kelangsingan dari profil, dan lain-lain. Banyak penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu dalam mengoptimasi ukuran penampang dari suatu struktur rangka. Rajeev dan Krishnamoorthy (1992) menggunakan algoritma genetika biner untuk mengoptimalkan ukuran penampang dari struktur rangka batang bidang maupun struktur rangka batang ruang. Lin dan Hajela (1993) melakukan penelitian untuk meminimalkan berat struktur dengan struktur yang ditinjau adalah struktur rangka batang dengan menggunakan perpindahan dan tegangan sebagai *constraints*. Sakamoto dan Oda (1993) mengoptimalkan berat struktur dengan ukuran penampang dan topologi sebagai variabel yang akan dioptimasi. Rajan (1995) menggunakan algoritma genetika untuk mengoptimasi ukuran penampang, topologi, dan bentuk struktur dari struktur rangka batang bidang. Sesok dan Belevicius (2007) mengoptimalkan berat struktur suatu struktur rangka batang dengan topologi sebagai variabel optimasi. Hultman (2010) menggunakan algoritma genetika untuk meminimalkan berat struktur dengan tegangan, perpindahan, dan angka kelangsingan sebagai *variable constraint*. Chun-Luh (2011) menggunakan *modified binary particle swarm optimization* (MBPSO) untuk mengoptimasi topologi struktur rangka batang dan *attractive and repulsive particle swarm optimization* (ARPSO) untuk mengoptimasi ukuran penampang dan bentuk struktur.

2. BINARY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Particle swarm optimization (PSO) awalnya diperkenalkan oleh Kennedy dan Eberhart (1995). Teori dari *particle swarm optimization* didasarkan pada perilaku kawanan serangga seperti lebah, rayap, atau burung. Algoritma PSO

ini meniru perilaku sosial organisme ini. Perilaku sosial terdiri dari tindakan individu dan pengaruh dari individu-individu lain dalam suatu kelompok. Kata partikel menunjukkan, misalnya, seekor burung dalam kawanan burung. Setiap individu atau partikel berperilaku secara terdistribusi dengan cara menggunakan kecerdasannya (*intelligence*) sendiri dan juga dipengaruhi perilaku kelompok kolektifnya. Dengan demikian, jika satu partikel atau seekor burung menemukan jalan yang tepat atau pendek menuju ke sumber makanan, sisa kelompok yang lain juga akan dapat segera mengikuti jalan tersebut meskipun lokasi mereka jauh di kelompok tersebut. Dalam algoritma *particle swarm optimization*, ada dua fungsi yang berubah tiap iterasinya yaitu fungsi kecepatan dan fungsi posisi. Biasanya, posisi baru dari setiap partikel berubah sesuai dengan posisi lama dari partikel dan kecepatan partikel itu sendiri. Tetapi dalam *binary particle swarm optimization*, posisi baru dari suatu partikel hanya bergantung dari kecepatan partikel itu sendiri dengan fungsi *sigmoid* dari kecepatan yang digunakan untuk memperbarui lokasi dari masing-masing partikel. (Lee, dkk, 2008).

Persamaan umum kecepatan partikel yang biasanya digunakan untuk memperbarui lokasi dari partikel-partikel tersebut antara lain:

$$v_{i,j}(t+1) = wv_{i,j}(t) + c_1R_1(p_{best,i,j} - x_{i,j}(t)) + c_2R_2(g_{best,i,j} - x_{i,j}(t)) \quad (1)$$

$$x_{i,j}(t+1) = x_{i,j}(t) + v_{i,j}(t+1) \quad (2)$$

dengan $v_{i,j}(t+1)$ adalah kecepatan partikel yang baru, $x_{i,j}(t+1)$ adalah posisi partikel yang baru, t merepresentasikan iterasi yang ke- t , $p_{best,i,j}$ adalah posisi partikel terbaik pada saat iterasi ke- t , $g_{best,i,j}$ adalah posisi partikel terbaik pada saat iterasi ke- $t+1$. R_1 dan R_2 adalah angka *random* acak, c_1 dan c_2 adalah koefisien percepatan partikel, dan w adalah koefisien *positive inertia weight*.

Oleh karena nilai $v_{i,j}$ yang dibatasi oleh nilai v_{min} (kecepatan minimum partikel yang diijinkan) dan v_{max} (kecepatan maksimum partikel yang diijinkan), maka algoritma pembatasan untuk fungsi kecepatan. Pembatasan ini digunakan agar nilai kecepatan tiap partikel dibatasi sehingga tidak melewati posisi atau lokasi optimum dan dapat keluar dari perangkap *local optima* yang bisa didapatkan oleh tiap partikel yaitu konvergen tetapi belum mendapatkan hasil yang optimum (Nezamabadi-pour, 2008). Pembatasan dilakukan dengan program sebagai berikut:

```

If  $v_{i,j} > v_{max}$ 
    do  $v_{i,j} = v_{max}$ 
elseif  $v_{i,j} < v_{min}$ 
    do  $v_{i,j} = v_{min}$ 
else
    do  $v_{i,j} = v_{i,j}$ 
end
    
```

Setelah menghitung nilai kecepatan dari masing-masing partikel, dihitung nilai *sigmoid* dari kecepatan masing-masing partikel yang digunakan untuk memperbarui lokasi dari masing-masing partikel, persamaan *sigmoid* dari kecepatan partikel dan pembaharuan posisi partikel dapat dilihat pada persamaan (3) dan (4) sebagai berikut:

$$sigmoid(v_{i,j}(t+1)) = \frac{1}{1 + e^{-v_{i,j}(t+1)}} \quad (3)$$

$$x_{i,j}(t+1) = \begin{cases} 0 & \text{if } rand() \geq sigmoid(v_{i,j}(t+1)) \\ 1 & \text{if } rand() < sigmoid(v_{i,j}(t+1)) \end{cases} \quad (4)$$

dengan, $rand()$ adalah bilangan angka acak dari 0 sampai dengan 1, v_{ij} adalah kecepatan partikel, x_{ij} adalah posisi partikel.

3. MODIFIED BINARY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

Modified binary particle swarm optimization merupakan pengembangan dari teori *binary particle swarm optimization*, perbedaan antara kedua metode ini terletak pada pembaruan posisi masing-masing partikel dan adanya operator mutasi pada *modified binary particle swarm optimization*, sedangkan pada *binary particle swarm optimization* tidak terdapat operator mutasi. Jika dalam algoritma *binary particle swarm optimization* hanya digunakan nilai kecepatan (*velocity*) sebagai variabel untuk memperbarui posisi dari partikel, dalam *modified binary particle swarm optimization* yang digunakan adalah nilai posisi dan kecepatan (*velocity*) pada tiap iterasi. Perbedaan berikutnya terletak pada persamaan *sigmoid* yang digunakan dalam memperbarui posisi partikel, jika dalam *binary particle swarm optimization* digunakan nilai *sigmoid* kecepatan (*velocity*) sedangkan dalam *modified binary particle swarm optimization*, *sigmoid* posisi yang digunakan untuk mendapatkan posisi partikel yang baru, dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$sigmoid(x_{i,j}(t+1)) = \frac{1}{1 + e^{-x_{i,j}(t+1)}} \quad (5)$$

$$x_{i,j}(t+1) = \begin{cases} 0 & \text{if } rand() \geq sigmoid(x_{i,j}(t+1)) \\ 1 & \text{if } rand() < sigmoid(x_{i,j}(t+1)) \end{cases} \quad (6)$$

dengan, $rand()$ adalah bilangan angka acak dari 0 sampai dengan 1, x_{ij} adalah posisi partikel. Sehingga persamaan yang digunakan untuk memperbarui posisi pada *modified binary particle swarm optimization* adalah persamaan (5) dan (6). Sebelum memperbarui posisi partikel dengan *sigmoid* posisi, mutasi dilakukan terlebih dahulu yang mengikuti algoritma sebagai berikut:

if $rand() < r_{mu}$

do $x_{i,j}(t+1) = -x_{i,j}(t+1)$

else $x_{i,j}(t+1) = x_{i,j}(t+1)$

4. STRUKTUR RANGKA BIDANG 10 BATANG

Algoritma *modified binary particle swarm optimization* akan diaplikasikan pada struktur rangka batang bidang dengan 10 batang yang biasanya digunakan menjadi acuan untuk menguji suatu algoritma optimasi dan hasilnya akan dibandingkan dengan hasil-hasil dari penelitian terdahulu. Ukuran penampang yang digunakan mengikuti ukuran penampang yang digunakan oleh peneliti terdahulu (Rajeev dan Krishnamoorthy, 1992) yaitu $A = [1,62; 1,8; 1,99; 2,38; 2,62; 2,88; 2,93; 3,09; 3,38; 3,47; 3,55; 3,88; 4,49; 4,59; 4,8; 4,97; 5,12; 7,22; 11,5; 13,5; 13,9; 14,2; 15,5; 16; 16,9; 18,8; 19,9; 22; 22,9; 26,5; 30; 33,5]$ inci². Ukuran penampang yang digunakan berjumlah 32 buah sehingga digunakan panjang *string* enam ($2^6 = 32$). Kriteria perencanaan berdasarkan pada tegangan batas dan perpindahan batas dengan mengabaikan kondisi tekuk. Fungsi tujuan atau fungsi sasaran yaitu meminimumkan berat struktur dengan tidak melampaui kriteria perencanaan yang diberikan. Persamaan nilai *fitness* yang digunakan pada optimasi struktur rangka bidang ini adalah

$$F = C_w W \quad (7)$$

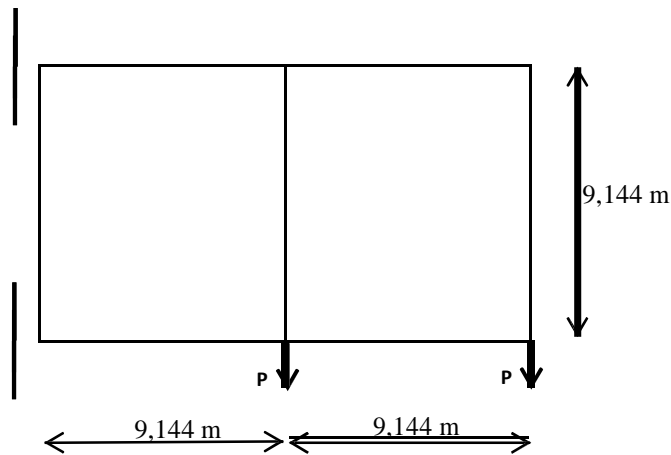
dengan F merupakan nilai *fitness* minimum (meminimumkan berat struktur), C_w merupakan faktor skala, dan W merupakan berat struktur yang akan diminimalkan.

Struktur rangka batang bidang 10-batang di atas diambil dari struktur rangka batang yang dikemukakan oleh Rajeev dan Krishnamoorthy (1992) yang dibebani oleh beban P sebesar 445,374 kN. Pada kasus ini tekuk diabaikan dalam perhitungan tegangan yang terjadi. Sifat bahan yang digunakan sebagai berikut:

$$\text{Modulus elastisitas (E)} = 68,95 \text{ GPa}$$

- Berat jenis material (ρ) = 2768 kg/m³
 Batas tegangan ijin (σ_i) = 172,37 MPa
 Batas perpindahan ijin (Δ_i) = 50,8 mm

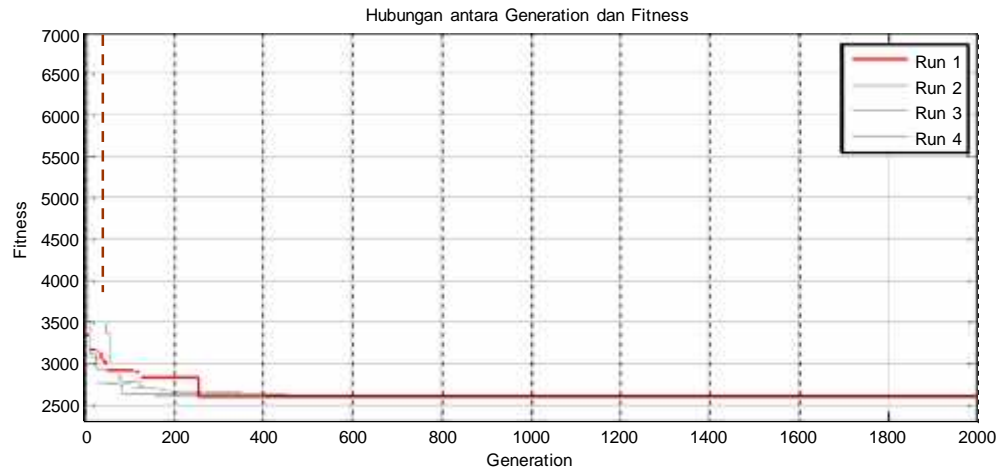
Tabel 1 menunjukkan perbandingan antara penelitian yang dilakukan oleh Rajeev dan Krisnamoorthy (1992) yang menggunakan algoritma genetika sebagai metode optimasi dengan penelitian ini yang menggunakan *modified binary particle swarm optimization*. Walaupun hasil yang didapatkan dalam penelitian ini tidak lebih ringan dari hasil yang didapatkan oleh Rajeev dan Krisnamoorthy (1992) akan tetapi pada penelitian Rajeev dan Krisnamoorthy (1992) nilai perpindahan maksimum yang terjadi melampaui nilai tegangan yang diijinkan (50,88 mm > 50,8 mm) sedangkan pada penelitian ini nilai perpindahan yang terjadi tidak melampaui perpindahan yang diijinkan (50,2559 mm < 50,8 mm). Selisih berat yang didapatkan yaitu sebesar 23,22 kg. Gambar 3 menunjukkan tingkat penurunan nilai *fitness* setiap generasi. Program dijalankan sebanyak 4 kali dengan menggunakan nilai bawah dan nilai atas yang berbeda tetapi menghasilkan variabel optimum yang sama.



Gambar 1. Struktur rangka batang bidang (10-bar truss)

Tabel 1. Perbandingan nilai tegangan maksimum, perpindahan maksimum, dan berat struktur dari hasil penelitian Rajeev dan Krisnamoorthy (1992)

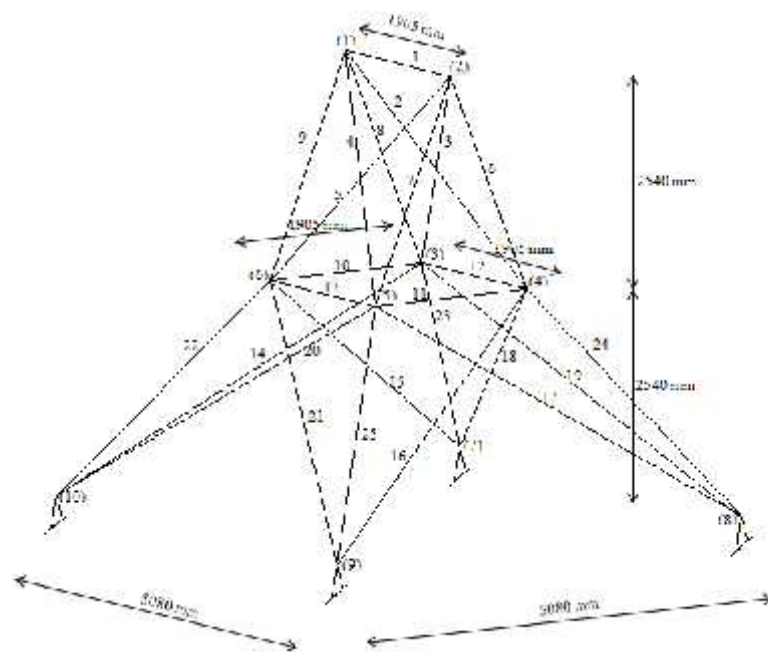
Proposal	Tegangan Maksimum (MPa)	Perpindahan Maksimum (mm)	Berat Struktur (kg)	Metode Optimasi
Rajeev dan Krisnamoorthy (1992)	651,645	50,8804	2548,68	Algoritma Genetika
Hasil penelitian	1.030,815	50,2559	2571,9	<i>Modified Binary Particle Swarm Optimization</i>



Gambar 2. Kurva penurunan nilai *fitness* tiap generasi untuk struktur rangka batang bidang 10-batang

5. STRUKTUR RANGKA RUANG 25 BATANG

Struktur kedua yang akan dioptimasi ukuran penampangnya adalah struktur rangka batang ruang 25-batang yang juga dikemukakan oleh Rajeev dan Krishnamoorthy (1992) dan biasanya digunakan oleh peneliti-peneliti terdahulu sebagai pembanding/acuan dalam mengoptimasi suatu rangka batang ruang. Gambar 3 memperlihatkan struktur rangka batang ruang dengan 25 batang.



Gambar 3. Struktur rangka batang ruang dengan 25-batang

Sifat bahan yang digunakan sebagai berikut: berat jenis material = $2767,990 \text{ kg/m}^3$ dan modulus elastisitas = $68,95 \text{ MPa}$. Pada kasus ini, ukuran penampang digolongkan menjadi delapan kelompok besar yang dikategorikan sebagai berikut: (1) A_1 , (2) A_2 - A_5 , (3) A_6 - A_9 , (4) A_{10} - A_{11} , (5) A_{12} - A_{13} , (6) A_{14} - A_{17} , (7) A_{18} - A_{21} , dan (8) A_{22} - A_{25} . Beban yang bekerja dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Beban yang bekerja pada struktur

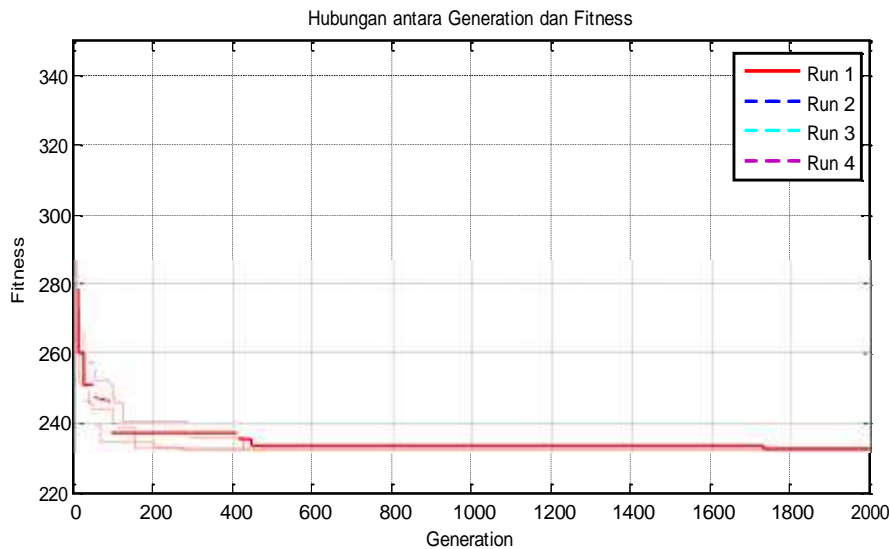
No Nodal	P_x (kN)	P_y (kN)	P_z (kN)
1	4,45	-44,5	-44,5
2	0	-44,5	-44,5
3	2,22	0	0
6	2,672	0	0

Batas tegangan yang diijinkan untuk batang tekan maupun tarik adalah sebesar 275,80 MPa. Perpindahan maksimum yang diijinkan untuk arah vertikal dan arah horisontal untuk setiap titik kumpul (*nodes*) adalah sebesar 8,89 mm. Untuk masalah tekuk diabaikan. Ukuran penampang yang disediakan berjumlah 16 buah (panjang string $4/2^4$) antara lain: A=[0,1 ; 0,3 ; 0,3 ; 0,5 ; 0,7 ; 0,9 ; 1,1 ; 1,3 ; 1,5 ; 1,7 ; 2 ; 2,1 ; 2,3 ; 2,5 ; 2,7 ; 3 ; 3,1] inch². Fungsi tujuan / sasaran dalam kasus ini adalah meminimalkan berat struktur rangka ruang tersebut dengan tidak melampaui syarat tegangan ijin dan perpindahan ijin.

Program dijalankan sebanyak empat kali untuk memperlihatkan kekonsistenan dari hasil yang didapatkan. Gambar 4 menunjukkan hasil pengurangan berat struktur (nilai *fitness*) tiap iterasi. Berat struktur yang didapatkan setelah dioptimasi adalah sebesar 231,8685 kg dengan perpindahan maksimum sebesar 8,839 mm. Sebagai perbandingan dari hasil yang didapatkan, akan dilampirkan hasil-hasil yang diperoleh oleh peneliti yang lain pada Tabel 3.

Tabel 3. Batas bawah dan batas atas tiap program dijalankan

Run	Batas Bawah	Batas Atas
1	0	100
2	0	10
3	0	500
4	0	1000



Gambar 4. Penurunan nilai berat struktur (nilai *fitness*) tiap iterasi pada struktur rangka ruang 25-batang

Tabel 4. Perbandingan hasil-hasil penelitian

Penelitian	Berat Struktur (kg)	Metode optimasi
Duan (1986)	255,254	Algoritma Diskrit Lagrangian
Zhu (1986)	255,57	Algoritma Templeman's
Rajeev dan Krisnamoorthy (1992)	247,89	Algoritma Genetika
Alrasyid, dkk (2008)	238,870	Algoritma Genetika
Arfiadi dan Frans (2014)	232,827	Algoritma Genetika Biner
Penelitian dalam makalah ini	231,8685	<i>Modified Binary Particle Swarm Optimization</i>

6. KESIMPULAN

Dengan menggunakan teknik optimasi *modified binary particle swarm optimization* didapatkan hasil ukuran penampang profil yang ringan dan memenuhi kriteria perencanaan. Keunggulan lain dari teknik optimasi ini adalah hanya membutuhkan jumlah iterasi yang sedikit jika dibandingkan dengan teknik optimasi lainnya, ditambah lagi dengan adanya operator *crossover* dan mutasi dapat menurunkan kemungkinan solusi terperangkap dalam local optima dan meningkatkan kecepatan dalam mendapatkan solusi yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Arfiadi, Y dan Frans, R. (2014). "Optimasi ukuran penampang, topologi, dan bentuk struktur pada struktur rangka batang ruang dengan menggunakan algoritma genetika *hybrid*". Seminar Nasional Teknik Sipil VIII, Institut Teknologi Nasional, Bandung.
- Chun, L.G, Lin, C.Y, and Lin Y.S. (2011). "A binary particle swarm optimization for continuum structural topology optimization". *Journal Applied Soft Computing* Vol. 11 Issue 2, pp 2833-2844.
- Duan, M. Z. (1986). "An Improved Templeman's Algorithm for the Optimum Design of Trusses with Discrete Member Sizes", *Engineering Optimization*, Vol. 9, No.4, pp. 303-312.
- Harun Alrasyid, Pujo Aji, Tavio (2008). "Optimasi Struktur Rangka Batang Dengan Algoritma Genetika". Seminar Nasional Teknik Sipil IV, Institut Teknologi Surabaya.
- Hultman, M. (2010). "Weight Optimization of Steel by a Genetic Algorithm", *Master Thesis from Department of Structural Engineering of Lund University*.
- H. Nezamabadi-pour, M. Rostami Shahrababaki and M. Maghfoori Farsangi "Binary Particle Swarm Optimization: Challenges and new Solutions". *The CSI Journal on Computer Science and Engineering* Vol. 6, No. 1 (a), 2008.
- Kennedy, J. dan Eberhart, R. C. 1995. "Particle Swarm Optimization". *Proceeding Of The IEEE International Conference on Neural Networks*. Piscataway, NJ, USA, 1942-1948.
- Lee, S., Soak, S., Oh, S., Pedrycz, W., and Jeon, M. (2008). "Modified Binary Particle Swarm Optimization". *Progress in Natural Science* Vol. 18, pp 1161-1166.
- Lin, C.-Y., and Hajela, P. (1993). "Genetic Search Strategies in Large Scale Optimization", *proceedings of the 34th AIAA/ASME/ASCE/AHS/AHS/ASC SDM Conference, La Jolla, California*, pp. 2437-2447, 1993.
- Rajan, S.D. (1995). "Sizing, Shape, and Topology Design Optimization of Trusses Using Genetic Algorithm." *Journal of Structural Engineering*, 121(10), 1480-1487.
- Rajeev, S. and Krishnamoorthy, C.S. (1992) "Discrete Optimization of Structures Using Genetic Algorithms." *Journal of Structural Engineering*, 118(5), 1233-1250.
- Sakamoto, J., and Oda, J. (1993). "A Technique of Optimal Layout Design for Truss Structures Using Genetic Algorithm." *Proc., 35th AIAA/ASCE/ASME/AHS SDM Conf., ASCE, New York, N.Y.*, 2402-2408.
- Sesok, D. and Belevicius, R. (2007). "Use of Genetic Algorithms in Topology Optimization of Truss Structure." *ISSN 1392-1207. Mechanica*. 2007. no 2(64)