OPTIMASI UKURAN PENAMPANG BETON PRATEGANG PADA BALOK SEDERHANA DAN BALOK MENERUS DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

Alfian Wiranata Zebua
Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Jl. Babarsari 44 Yogyakarta

ABSTRAK

Penentuan gaya prategang menggunakan metode koefisien momen β yang didasarkan pada tegangan ijin. Pada metode ini, akan diperoleh batas atas dan batas bawah nilai gaya prategang. Algoritma genetika merupakan metode pencarian sesuai dengan proses genetika organisme berdasarkan teori Darwin. Dalam penelitian ini, digunakan algoritma genetika *real* untuk menentukan variabel yang optimum beton prategang pada balok sederhana dan menerus dengan penampang persegi dan T berdasarkan rentang nilai gaya prategang. Variabel yang dioptimasi adalah ukuran penampang (persegi dan T) dengan meminimumkan total harga struktur. Hasil optimasi yang diperoleh adalah ukuran penampang dan total harga dipengaruhi oleh nilai gaya prategang yang digunakan untuk menentukan fungsi *fitness*. Total harga maksimum diperoleh jika nilai gaya prategang yang digunakan adalah batas atas nilai gaya prategang Fimax. Sebaliknya, harga minimum diperoleh saat nilai gaya prategang yang digunakan dalam penentuan nilai *fitness* adalah batas bawah nilai gaya prategang Fimin.

Kata-kata kunci: optimasi ukuran penampang, beton prategang, metode koefisien momen, balok sederhana, balok menerus, harga minimum, algoritma genetika

1. PENDAHULUAN

Penggunaan beton prategang pada bangunan konstruksi sipil pada masa sekarang menjadi hal yang lazim. Konstruksi dengan menggunakan beton prategang memungkinkan suatu struktur dengan ukuran penampang yang lebih kecil namun memiliki kapasitas memikul beban yang lebih besar dengan bentang yang lebih panjang. Dengan ukuran penampang yang lebih kecil, anggaran pembangunan konstruksi bangunan lebih ekonomis.

Untuk memperoleh anggaran yang ekonomis, diperlukan desain konstruksi yang aman dan ekonomis. Konstruksi yang aman berarti desain konstuksi memenuhi seluruh syarat-syarat yang telah di tentukan dalam peraturan bangunan setempat sehingga memungkinkan penggunanya merasa nyaman dan bangunan dapat berfungsi dengan baik. Konstruksi yang ekonomis berarti konstruksi tersebut tidak membutuhkan biaya yang terlalu besar namun dapat memungkinkan penghematan anggaran dalam konstruksinya. Desain konstruksi yang aman sekaligus ekonomis dapat diperoleh dengan menggunakan desain yang optimum artinya desain yang kuat strukturnya dan anggarannya paling kecil.

Algoritma genetika merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk memperoleh desain yang optimum tersebut. Algoritma genetika adalah teknik pencarian dan yang terinspirasi oleh prinsip dari genetika dan seleksi alam (teori evolusi Darwin) yang menyatakan bahwa kelangsungan hidup suatu makhluk dipengaruhi aturan "yang kuat adalah yang menang". Darwin juga menyatakan bahwa kelangsungan hidup suatu makhluk dapat dipertahankan melalui proses reproduksi, *crossover*, dan mutasi. Salah satu penggunaan algoritma genetika adalah pada permasalahan optimasi kombinasi, yaitu mendapatkan suatu nilai solusi optimal terhadap suatu permasalahan yang mempunyai banyak kemungkinan solusi.

Kumar dan Venkat (2013) dalam penelitiannya melakukan optimasi beton prategang pada balok dengan menggunakan algoritma genetika. Enam variabel desain dioptimasi untuk memperoleh biaya minimum dari beton prategang pada balok dengan tumpuan sederhana. Alqedra, Arafa, dan Ismail (2011) melakukan optimasi beton prategang dan bertulang pada balok dengan algoritma genetika. Variabel desain beton prategang dan bertulang dioptimasi untuk memperoleh biaya minimum dari beton prategang dan bertulang pada balok dengan tumpuan sederhana.

Rana, Ahsan dan Ghani (2010) menggunakan algoritma optimasi *Evolutionary Operation (EVOP)* untuk optimasi struktur atas balok I jembatan beton prategang. Ahsan, Rana dan Ghani (2012) melakukan penelitian optimasi biaya balok girder I jembatan pasca-tarik dengan menggunakan algoritma optimasi *Evolutionary Operation (EVOP)*. Fungsi *fitness* berupa biaya minimum material, fabrikasi dan proses pengerjaan. Sawant, Gore dan Salunke (2014) menggunakan SUMT (*Sequential Unconstrained*

Minimization Technique) untuk meminimumkan biaya balok girder I jembatan pasca-tarik. Variabel desain berupa lebar atas dan bawah balok girder, tinggi balok girder dan jumlah kabel.

Dalam penelitian ini, akan dilakukan optimasi beton prategang pada balok sederhana dan balok di atas empat tumpuan dengan menggunakan algoritma genetika. Optimasi beton prategang pada balok sederhana lebih mudah dilakukan daripada optimasi beton prategang pada balok di atas empat tumpuan. Hal ini disebabkan karena balok di atas empat tumpuan merupakan struktur statis tak tentu sehingga akan menimbulkan tambahan momen berupa momen sekunder yang pada struktur statis tertentu tidak ada. Untuk menyelesaikannya maka digunakan koefisien momen untuk struktur statis tak tentu pada beton prategang berdasarkan hasil studi Arfiadi dan Hadi (2011). Algoritma genetika digunakan untuk memperoleh desain optimum dari struktur tersebut.

2. BETON PRATEGANG

Beton prategang dapat didefinisikan sebagai beton yang telah diberikan tegangan-tegangan dalam, dalam jumlah dan distribusi tertentu sehingga dapat menetralisir sejumlah tertentu tegangan-tegangan yang dihasilkan oleh beban luar sesuai dengan yang direncanakan. Pemberian gaya prategang dapat dilakukan sebelum (*pretension)* atau sesudah (*posttension)* beton dicor. Beton prategang mengalami beberapa tahap pembebanan yang harus diperhatikan yaitu tahap transfer dan tahap layan (*service*).

- Tahap Transfer: beban yang bekerja sangat minimum, sementara gaya prategang yang bekerja maksimum karena belum ada kehilangan gaya prategang.
- Tahap Layan: beban yang bekerja maksimum sementara kehilangan gaya prategang sudah diperhitungkan.

Kehilangan gaya prategang ada dua kategori, yaitu kehilangan segera yang terjadi pada saat proses fabrikasi atau konstruksi, termasuk perpendekan (deformasi) beton secara elastis, kehilangan karena pengangkuran dan kehilangan karena gesekan dan kehilangan yang bergantung pada waktu, seperti rangkak, susut dan kehilangan akibat efek temperatur dan relaksasi baja.

Kehilangan prategang akibat gesekan yang terjadi antara tendon dan saluran beton disekitarnya. Kehilangan tegangan akibat gesekan pada tendon juga dipengaruhi oleh pergerakan dari selongsong (efek *Wobble*). Dalam SNI 7833:2012 gaya P_{px} dalam tendon pasca-tarik pada jarak l_{px} dari ujung angkur harus dihitung dengan:

$$P_{px} = P_{pj}e^{-(Klpx+\mu p\alpha px)}$$

dimana:P_{px} = gaya prategang pada ujung angkur, P_{pj} = gaya prategang pada titik yang ditinjau, l_{px} = panjang segmen yang diperhitungkan, K = koefisien Wobble dan μ = koefisien kelengkungan

3. METODE KOEFISIEN MOMEN

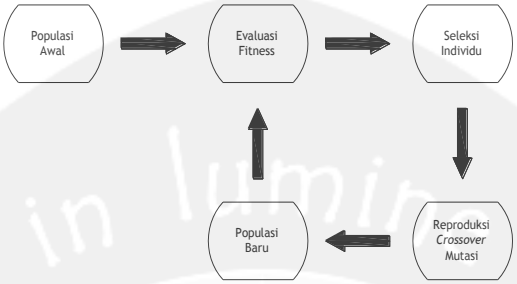
Arfiadi dan Hadi (2011) memberikan cara yang lebih mudah untuk mendesain beton prategang pada struktur statis tak tentu dengan menggunakan metode koefisien momen untuk struktur statis tak tentu beton prategang. Momen akibat prategang diasumsikan sebagai gaya prategang dikali sebuah koefisien β. Dengan menganggap momen akibat gaya prategang sebagai fungsi gaya prategang dan memperhatikan tegangan ijin yang dibutuhkan pada serat atas dan bawah, dapat diturunkan persamaan yang dapat digunakan untuk menentukan gaya prategang. Dari persamaan tersebut, batas atas dan bawah gaya prategang dapat ditentukan.

4. METODE MATRIKS KEKAKUAN

Dalam analisis struktur dikenal dua metode yaitu metode klasik dan metode matriks. Metode klasik seperti metode *slope deflection*, metode Cross diperuntukkan struktur tertentu dan ditujukan untuk penyelesaian secara manual dengan kalkulator. Metode matriks ada dua yaitu metode fleksibilitas dan metode kekakuan. Perkembangan yang pesat dalam bidang komputer menyebabkan analisa struktur yang mengacu pada metode matriks kekakuan. Hal ini dikarenakan langkah-langkah analisis pada metode matriks kekakuan sangat sistematis dan terpola sehingga mudah diprogram dengan komputer. Dengan metode matriks kekakuan, analisis struktur yang rumit dapat dilakukan dengan mudah dan cepat jika menggunakan bantuan komputer (Arfiadi, 2011).

5. ALGORITMA GENETIKA

Algoritma genetika merupakan metode pencarian yang disesuaikan dengan proses genetika dari organisme-organisme biologi yang berdasar pada teori evolusi Charles Darwin. Algoritma genetika terinspirasi dari mekanisme seleksi alam, dimana individu yang lebih kuat kemungkinan akan menjadi pemenang dalam lingkungan yang kompetitif. Secara sederhana siklus algoritma genetika dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Siklus Algoritma Genetika

Struktur umum dari suatu sistem algoritma genetika dapat diselesaikan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Membangkitkan populasi awal. Populasi awal ini dibangkitkan secara random sehingga didapatkan solusi awal. Populasi itu sendiri terdiri dari sejumlah kromosom yang merepresentasikan solusi yang diinginkan.
2. Membentuk generasi baru. Dalam membentuk digunakan tiga operator yaitu operator reproduksi/seleksi, pindah silang dan mutasi. Proses ini dilakukan berulang-ulang sehingga didapatkan jumlah kromosom yang cukup untuk membentuk generasi baru dimana generasi baru ini merupakan representasi dari solusi baru.
3. Evaluasi solusi. Proses ini akan mengevaluasi setiap populasi dengan menghitung nilai *fitness* setiap kromosom dan mengevaluasinya sampai terpenuhi kriteria berhenti. Bila kriteria tertentu belum dipenuhi maka akan dibentuk lagi generasi baru dengan mengulangi langkah 2. Beberapa kriteria berhenti yang sering digunakan antara lain:
    a. Berhenti pada generasi tertentu.
    b. Berhenti setelah dalam generasi berturut-turut didapatkan nilai *fitness* tertinggi tidak berubah.

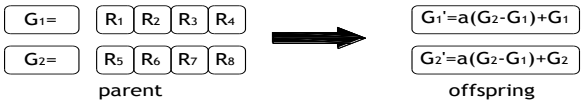
    Berhenti bila dalam n generasi berikut tidak didapatkan nilai *fitness* yang lebih tinggi.

6. ALGORITMA GENETIKA REAL

Optimasi ukuran penampang beton prategang pada balok sederhana dan balok menerus dilakukan dengan menggunakan algoritma genetika *real*. Arfiadi (2011) memberikan proses evolusi yang dilakukan pada algoritma genetika *real* untuk memperoleh solusi optimum. Misalnya sebuah individu awal dengan empat variabel desain, maka empat angka acak akan dibentuk seperti pada Gambar 2.

Gambar 2. Individu dengan Empat Variabel Desain pada RCGA

Nilai fitness menyatakan seberapa baik nilai dari suatu kromosom (individu) atau solusi yang didapat. Nilai ini akan menjadi acuan dalam mencapai nilai optimal dalam algoritma genetika. Seleksi merupakan proses untuk menentukan individu mana saja yang akan dipilih untuk dilakukan rekombinasi dan bagaimana keturunan terbentuk dari individu-individu terpilih tersebut. Alat yang biasa digunakan adalah fungsi fitness. Individu yang terpilih atau terseleksi adalah individu dengan nilai fitness terbaik.
Proses *crossover* dilakukan sebagai berikut:



Gambar 3. *'Balanced Crossover'* untuk RCGA

Proses mutasi dilakukan sebagai berikut:

Gambar 4. Mutasi Sederhana

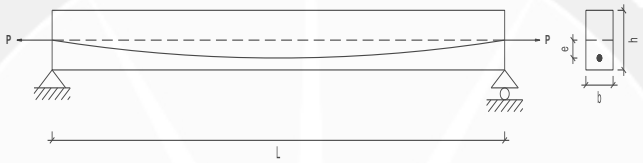
7. METODOLOGI PENELITIAN

Variabel desain pada balok penampang persegi adalah lebar balok (b) dan tinggi balok (h), sedangkan variabel desain pada balok penampang T adalah lebar balok (b), tinggi balok (d), tebal sayap (hf) dan lebar efektif (be).
Fungsi objektif atau tujuan dalam optimasi ini adalah meminimumkan total harga dari balok beton prategang.

$$f(x) = Cc \times Wc + Cs \times Ws$$

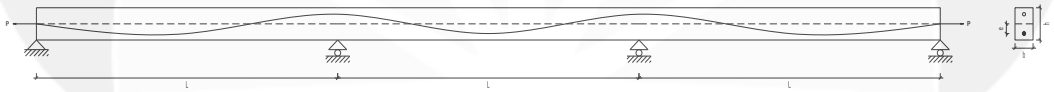
dimana: f(x) = total harga struktur balok beton prategang, Cc = harga beton per kg (Rp.), Cs = harga baja prategang per kg (Rp.), Wc = berat balok beton prategang (kg), Ws = berat baja prategang (kg).

Balok sederhana yang ditinjau pada penelitian ini adalah balok yang berada di atas tumpuan sendi-rol.



Gambar 5. Balok Sederhana

Balok menerus yang ditinjau disini adalah balok yang berada di atas empat tumpuan dimana di salah satu ujung berupa tumpuan sendi sedangkan tumpuan yang lain rol.



Gambar 6. Balok Menerus

8. PARAMETER UMUM

Balok sederhana yang ditinjau pada penelitian ini adalah balok yang berada di atas tumpuan sendi-rol. Panjang bentang balok sederhana yang ditinjau adalah 15 m. Pada balok menerus jarak antar tumpuan adalah 15 mKuat tekan beton awal (fci') = 25 MPa, kuat tekan beton akhir (fc') = 30 MPa, berat jenis beton = 24 kN/m^2, berat jenis baja = 78,5 kN/m^2. Harga beton Rp.1.500.000,- per m3 dan harga kabel baja prategang Rp. 40.000,- per kg. Beban hidup sebesar 5 kN/m' dan beban mati sebesar 9,1 kN/m' ditambah berat sendiri balok. Pada penampang persegi, lebar balok dibatasi 0,4 m dan pada penampang T lebar efektif dibatasi. Kehilangan prategang akibat gesekan diperhitungkan. Lintasan kabel parabolik, eksentrisitas pada kedua tumpuan sama dengan nol sedangkan eksentrisitas maksimum kabel di tengah bentang. Parameter-parameter optimasi yang digunakan dalam algoritma genetika antara lain jumlah populasi dalam satu generasi = 15, generasi maksimum = 500, *crossover rate* = 0,8, *mutation rate* = 0,1.

9. BALOK SEDERHANA PENAMPANG PERSEGI

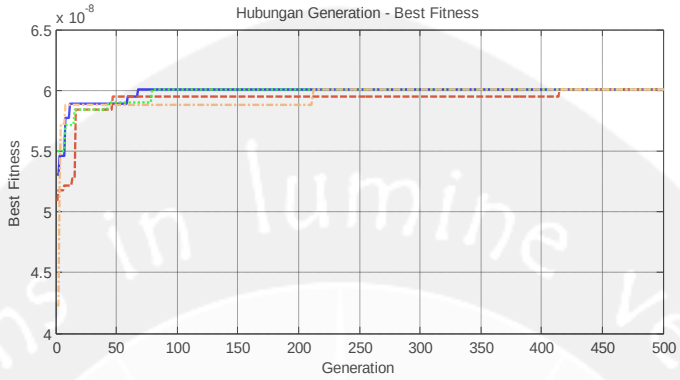
Dari hasil optimasi diperoleh sebagai berikut:

a. Lebar balok (b) = 0,40 m
b. Tinggi balok (h) = 0,67 m

Dalam proses optimasi, penentuan gaya prategang yang dibutuhkan menggunakan metode koefisien momen β. Diperoleh gaya prategang sebagai berikut:

a. Fi = 1951 kN
b. Fimax = 2504 kN
c. Fimin = 1398,8 kN

Nilai Fi merupakan rerata antara nilai Fimin dan Fimax yang digunakan untuk menentukan nilai *fitness* yang diperoleh. Nilai Fimin dan Fimax merupakan ambang batas bawah dan atas dari nilai gaya prategang yang dibutuhkan Fi. Pada bagian selanjutnya akan dibahas apabila menggunakan nilai Fimin atau Fimax sebagai gaya prategang yang dibutuhkan untuk menentukan nilai *fitness*. Pada bagian ini yang digunakan sebagai gaya prategang untuk menentukan nilai *fitness* adalah nilai Fi. Peningkatan nilai *fitness* dengan menggunakan algoritma genetika dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Peningkatan Nilai *Fitness* Balok Sederhana dengan Fi rerata

Dari hasil tersebut di atas diperoleh nilai *fitness* = 0,6006e-7. Harga yang dibutuhkan adalah beton sebesar Rp.6.150.600,-, baja prategang sebesar Rp.10.499.000,- sehingga total harga sebesar Rp. 16.649.600,-.

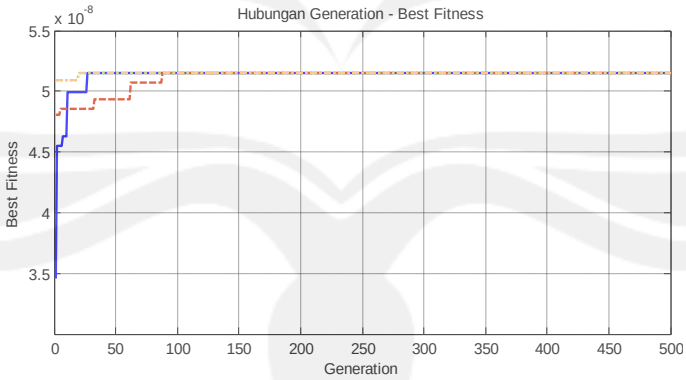
Selanjutnya, apabila nilai gaya prategang yang digunakan untuk menentukan nilai *fitness* adalah Fimax, diperoleh hasil sebagai berikut:

a. Lebar balok (b) = 0,40 m
b. Tinggi balok (h) = 0,65 m

Gaya prategang yang diperoleh sebagai berikut:

a. Fi = 2533 kN
b. Fimax = 2533 kN
c. Fimin = 1654 kN

Peningkatan nilai *fitness* dengan menggunakan algoritma genetika dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Peningkatan Nilai *Fitness* Balok Sederhana dengan Fi = Fimax

Dari hasil tersebut di atas diperoleh nilai *fitness* = 0,5152e-7. Harga yang dibutuhkan adalah beton sebesar Rp.5.967.000,-, baja prategang sebesar Rp.13.441.000,- sehingga total harga sebesar Rp. 19.408.000,-.

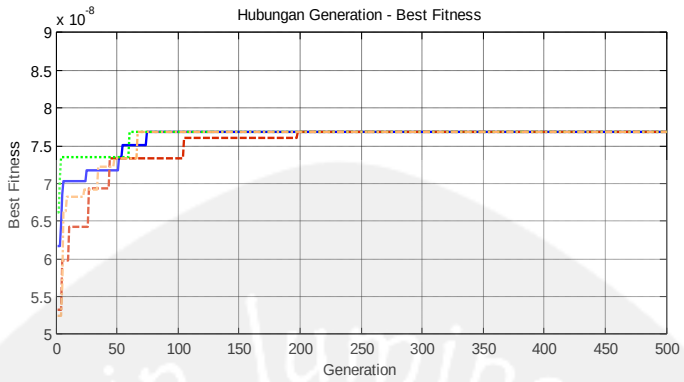
Selanjutnya, apabila nilai gaya prategang yang digunakan untuk menentukan nilai *fitness* adalah Fimin, diperoleh hasil sebagai berikut:

a. Lebar balok (b) = 0,40 m
b. Tinggi balok (h) = 0,71 m

Gaya prategang yang diperoleh sebagai berikut:

a. Fi = 1170,3 kN
b. Fimax = 2457 kN
c. Fimin = 1170,3 Kn

Peningkatan nilai *fitness* dengan menggunakan algoritma genetika dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Peningkatan Nilai *Fitness* Balok Sederhana dengan Fi = Fimin

Dari gambar tersebut di atas diperoleh nilai *fitness* = 0,7687e-7. Harga yang dibutuhkan adalah beton sebesar Rp.6.518.000,-, baja prategang sebesar Rp.6.492.000,- sehingga total harga sebesar Rp. 13.010.000,-.

Hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Alqedra, Arafa dan Ismail (2011) melakukan optimasi pada balok prategang dengan tumpuan sederhana menggunakan algoritma genetika. Salah satu optimasi dilakukan dengan panjang bentang 10 m dengan fungsi objektif meminimumkan harga struktur prategang. Perbandingan hasil penelitian tersebut dengan optimasi yang diperoleh penulis dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Perbandingan dengan Hasil Penelitian Terdahulu

Variabel	Alqedra, dkk	Optimasi GA
Lebar balok (b,cm)	0,3	0,3
Tinggi balok (h,cm)	0,805	0,8
Jumlah tul. lentur (buah)	4D12	4D16
Jumlah tendon (buah)	6	4
Diameter tendon(mm)	14,2	14,2
Eksentrisitas (e,cm)	0,3761	0,28
Harga beton (USD, m3)	60	60
Harga tul. baja (USD, t)	450	450
Harga baja prategang (USD, t)	1000	1000
Total harga beton (USD, m3)	-	144,0000
Total harga tul. baja (USD, kg)	-	28,3956
Total harga baja prategang (USD, kg)	-	55,8905
TOTAL	231,5300	228,2861

Dari tabel di atas dapat dilihat bahwa pada kasus tersebut di atas, optimasi yang dilakukan memperoleh harga $228,2861. Harga yang diperoleh tersebut lebih rendah bila dibandingkan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya.

10. BALOK MENERUS PENAMPANG PERSEGI

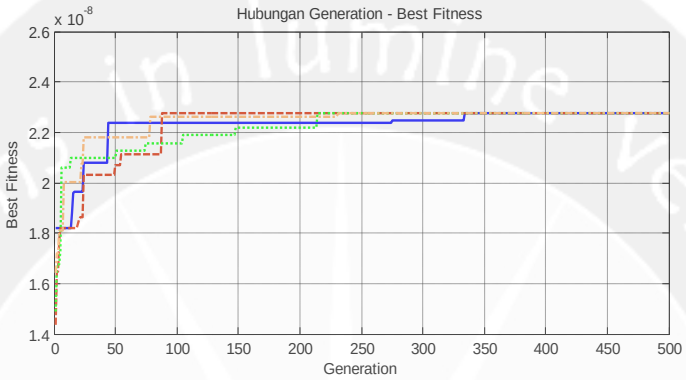
Dari hasil optimasi diperoleh sebagai berikut:

a. Lebar balok (b) = 0,40 m
b. Tinggi balok (h) = 1,18 m

Dalam proses optimasi, penentuan gaya prategang yang dibutuhkan menggunakan metode koefisien momen β. Diperoleh gaya prategang sebagai berikut:

a. Fi = 630 kN
b. Fimax = 690 kN
c. Fimin = 568 kN

Peningkatan nilai *fitness* dengan menggunakan algoritma genetika dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Peningkatan Nilai *Fitness* Balok Menerus dengan Fi rerata

Dari gambar tersebut di atas diperoleh nilai *fitness* = 0,2277e-7. Harga yang dibutuhkan adalah beton sebesar Rp.32.497.000,-, baja prategang sebesar Rp.11.400.000,- sehingga total harga sebesar Rp. 43.897.000,-.

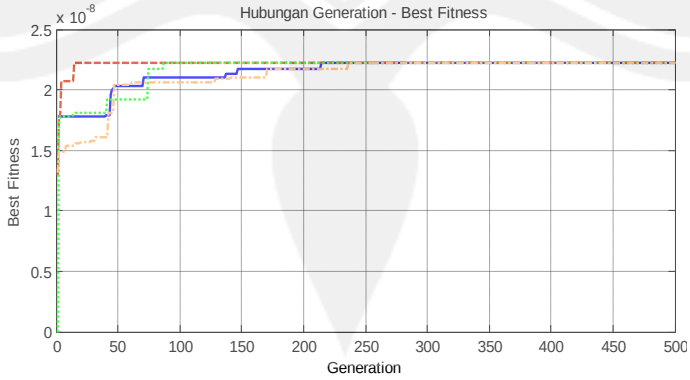
Selanjutnya, apabila nilai gaya prategang yang digunakan untuk menentukan nilai *fitness* adalah Fimax, diperoleh hasil sebagai berikut:

a. Lebar balok (b) = 0,40 m
b. Tinggi balok (h) = 1,18 m

Gaya prategang yang diperoleh sebagai berikut:

a. Fi = 689,3 kN
b. Fimax = 689,3 kN
c. Fimin = 567,9 kN

Peningkatan nilai *fitness* dengan menggunakan algoritma genetika dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Peningkatan Nilai *Fitness* Balok Menerus dengan Fi = Fimax

Dari gambar tersebut di atas diperoleh nilai *fitness* = 0,2221e-7. Harga yang dibutuhkan adalah beton sebesar Rp.32.497.000,-, baja prategang sebesar Rp.12.522.000,- sehingga total harga sebesar Rp. 45.019.000,-.

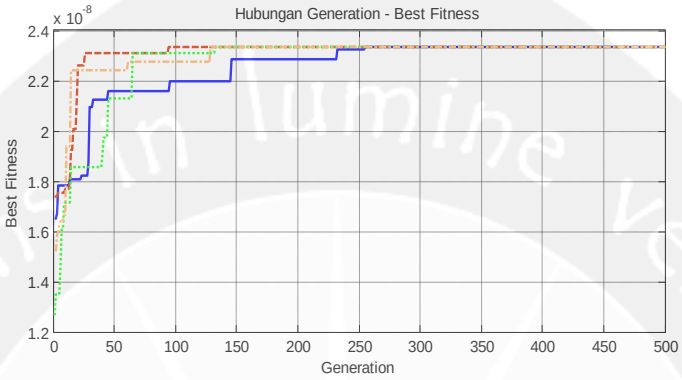
Selanjutnya, apabila nilai gaya prategang yang digunakan untuk menentukan nilai *fitness* adalah Fimin, diperoleh hasil sebagai berikut:

a. Lebar balok (b) = 0,40 m
b. Tinggi balok (h) = 1,18 m

Gaya prategang yang diperoleh sebagai berikut:

a. Fi = 568 kN
b. Fimax = 689,3 kN
c. Fimin = 568 kN

Peningkatan nilai *fitness* dengan menggunakan algoritma genetika dapat dilihat pada Gambar 12.

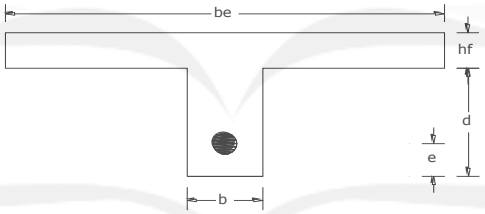


Gambar 12. Peningkatan Nilai *Fitness* Balok Menerus dengan Fi = Fimin

Dari gambar tersebut di atas diperoleh nilai *fitness* = 0,2336e-7. Harga yang dibutuhkan adalah beton sebesar Rp.32.497.000,-, baja prategang sebesar Rp.10.320.000,- sehingga total harga sebesar Rp. 42.897.000,-.

11. BALOK SEDERHANA PENAMPANG T

Penampang T yang akan dioptimasi dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Balok Penampang T

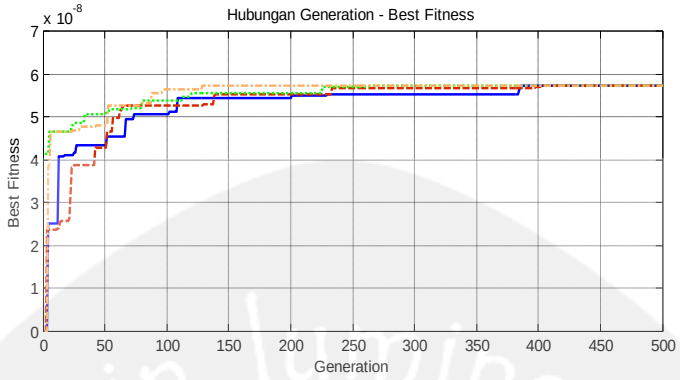
Dari hasil optimasi diperoleh sebagai berikut:

a. Lebar balok (b) = 0,40 m
b. Tinggi balok (d) = 0,59 m
c. Tebal sayap (hf) = 0,13 m
d. Lebar efektif balok (be) = 0,61 m

Dalam proses optimasi, penentuan gaya prategang yang dibutuhkan menggunakan metode koefisien momen β. Diperoleh gaya prategang sebagai berikut:

a. Fi = 1757 kN
b. Fimax = 2422,7 kN
c. Fimin = 1091 kN

Peningkatan nilai *fitness* dengan menggunakan algoritma genetika dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Peningkatan Nilai *Fitness* Balok Sederhana Penampang T dengan Fi rerata

Dari gambar tersebut di atas diperoleh nilai *fitness* = 0,5742e-7. Harga yang dibutuhkan adalah beton sebesar Rp.7.236.000,-, baja prategang sebesar Rp.10.178.000,- sehingga total harga sebesar Rp. 17.414.000,-.

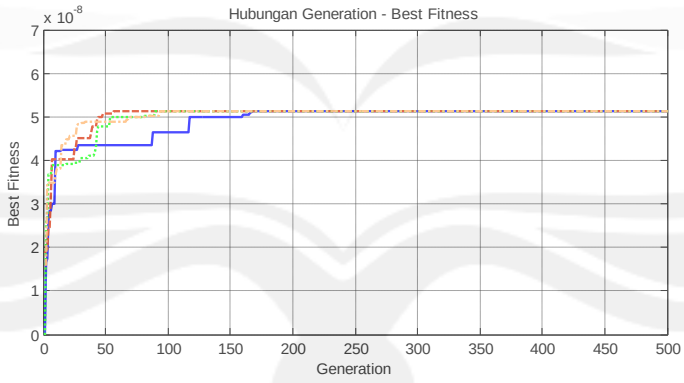
Selanjutnya, apabila nilai gaya prategang yang digunakan untuk menentukan nilai *fitness* adalah Fimax, diperoleh hasil sebagai berikut:

a. Lebar balok (b) = 0,40 m
b. Tinggi balok (d) = 0,52 m
c. Tebal sayap (hf) = 0,13 m
d. Lebar efektif balok (be) = 0,61 m

Gaya prategang yang diperoleh sebagai berikut:

a. Fi = 2491 kN
b. Fimax = 2491 kN
c. Fimin = 1250 kN

Peningkatan nilai *fitness* dengan menggunakan algoritma genetika dapat dilihat pada Gambar 15.



Gambar 15. Peningkatan Nilai *Fitness* Balok Sederhana Penampang T dengan Fi = Fimax

Dari gambar tersebut di atas diperoleh nilai *fitness* = 0,4866e-7. Harga yang dibutuhkan adalah beton sebesar Rp.6.594.000,-, baja prategang sebesar Rp.13.995.000,- sehingga total harga sebesar Rp. 20.549.000,-.

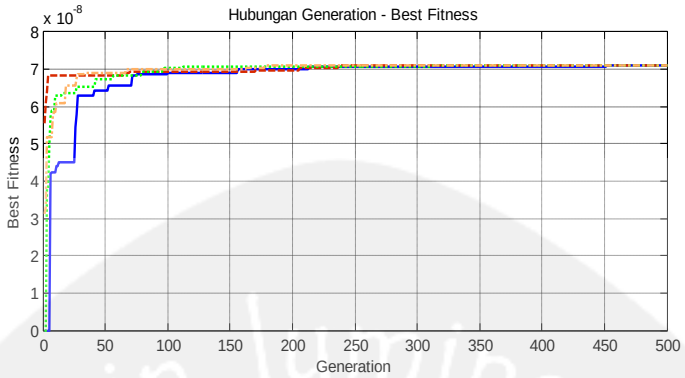
Selanjutnya, apabila nilai gaya prategang yang digunakan untuk menentukan nilai *fitness* adalah Fimin, diperoleh hasil sebagai berikut:

a. Lebar balok (b) = 0,40 m
b. Tinggi balok (d) = 0,68 m
c. Tebal sayap (hf) = 0,13 m
d. Lebar efektif balok (be) = 0,61 m

Gaya prategang yang diperoleh sebagai berikut:

a. Fi = 967,5 kN
b. Fimax = 2382,8 kN
c. Fimin = 967,5 kN

Peningkatan nilai *fitness* dengan menggunakan algoritma genetika dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. Peningkatan Nilai *Fitness* Balok Sederhana dengan Penampang T dengan Fi = Fimin

Dari Gambar tersebut di atas diperoleh nilai *fitness* = 0,7100e-7. Harga yang dibutuhkan adalah beton sebesar Rp.8.062.000,-, baja prategang sebesar Rp.6.022.000,- sehingga total harga sebesar Rp. 14.084.000,-.

12. BALOK MENERUS PENAMPANG T

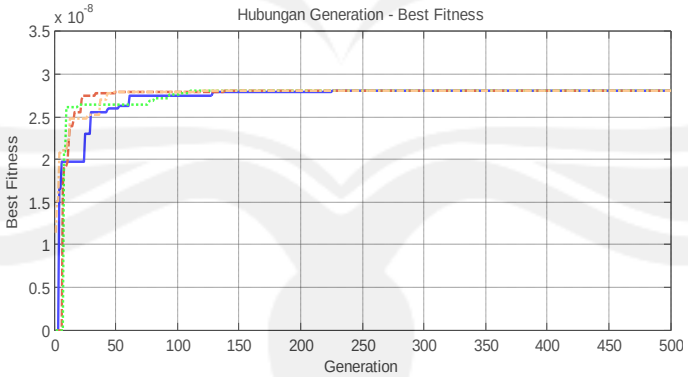
Dari hasil optimasi diperoleh sebagai berikut:

a. Lebar balok (b) = 0,40 m
b. Tinggi balok (d) = 0,50 m
c. Tebal sayap (hf) = 0,13 m
d. Lebar efektif balok (be) = 0,83 m

Dalam proses optimasi, penentuan gaya prategang yang dibutuhkan menggunakan metode koefisien momen β. Diperoleh gaya prategang sebagai berikut:

a. Fi = 995 kN
b. Fimax = 1065 kN
c. Fimin = 924,9 kN

Peningkatan nilai *fitness* dengan menggunakan algoritma genetika dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Peningkatan Nilai *Fitness* Balok Menerus dengan Penampang T dengan Fi rerata

Dari Gambar tersebut di atas diperoleh nilai *fitness* = 0,2802e-7. Harga yang dibutuhkan adalah beton sebesar Rp.21.200.000,-, baja prategang sebesar Rp.14.490.000,- sehingga total harga sebesar Rp. 35.690.000,-.

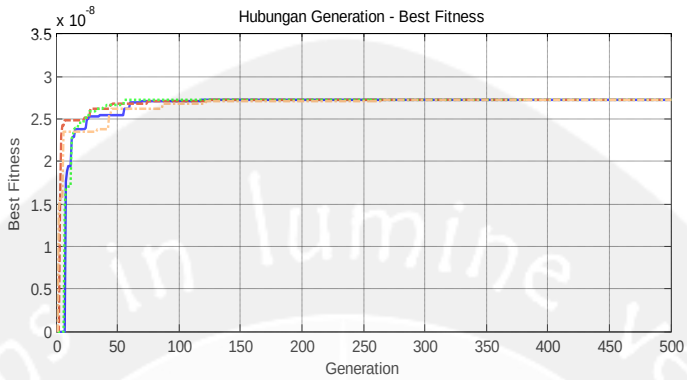
Selanjutnya, apabila nilai gaya prategang yang digunakan untuk menentukan nilai *fitness* adalah Fimax, diperoleh hasil sebagai berikut:

a. Lebar balok (b) = 0,40 m
b. Tinggi balok (d) = 0,52 m
c. Tebal sayap (hf) = 0,13 m
d. Lebar efektif balok (be) = 0,75 m

Gaya prategang yang diperoleh sebagai berikut:

a. Fi = 1065 kN
b. Fimax = 1065 kN
c. Fimin = 920 kN

Peningkatan nilai *fitness* dengan menggunakan algoritma genetika dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Peningkatan Nilai *Fitness* Balok Menerus dengan Penampang T dengan Fi = Fimax

Dari gambar tersebut di atas diperoleh nilai *fitness* = 0,2724e-7.. Harga yang dibutuhkan adalah beton sebesar Rp.21.200.000,-, baja prategang sebesar Rp.15.510.000,- sehingga total harga sebesar Rp. 36.710.000,-.

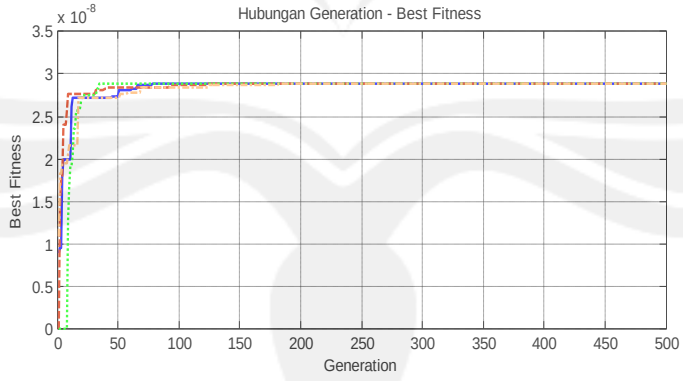
Selanjutnya, apabila nilai gaya prategang yang digunakan untuk menentukan nilai *fitness* adalah Fimin, diperoleh hasil sebagai berikut:

a. Lebar balok (b) = 0,40 m
b. Tinggi balok (d) = 0,50 m
c. Tebal sayap (hf) = 0,13 m
d. Lebar efektif balok (be) = 0,83 m

Gaya prategang yang diperoleh sebagai berikut:

a. Fi = 920 kN
b. Fimax = 1065 kN
c. Fimin = 920 kN

Peningkatan nilai *fitness* dengan menggunakan algoritma genetika dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Peningkatan Nilai *Fitness* Balok Menerus dengan Penampang T dengan Fi = Fimin

Dari gambar tersebut di atas diperoleh nilai *fitness* = 0,2885e-7. Harga yang dibutuhkan adalah beton sebesar Rp.21.200.000,-, baja prategang sebesar Rp.13.500.000,- sehingga total harga sebesar Rp. 34.700.000,-.

Hasil dari optimasi yang telah dilakukan tersebut di atas diberikan dalam Tabel-Tabel berikut.

Tabel 2. Hasil Optimasi Balok Sederhana Penampang Persegi

	Balok Sederhana Penampang Persegi		
	Fi rerata	Fimax	Fimin
Lebar Balok (b, m)	0,40	0,40	0,40
Tinggi Balok (h, m)	0,67	0,65	0,71
Harga Beton (Rp.)	6.150.600,-	5.967.000,-	6.518.000,-
Harga Baja Prategang (Rp.)	10.499.000,-	13.441.000,-	6.492.000,-
Total Harga (Rp.)	16.649.600,-	19.408.000,-	13.010.000,-

Tabel 3. Hasil Optimasi Balok Menerus Penampang Persegi

	Balok Menerus Penampang Persegi		
	Fi rerata	Fimax	Fimin
Lebar Balok (b, m)	0,40	0,40	0,40
Tinggi Balok (h, m)	1,18	1,18	1,18
Harga Beton (Rp.)	32.497.000,-	32.497.000,-	32.497.000,-
Harga Baja Prategang (Rp.)	11.400.000,-	12.522.000,-	10.320.000,-
Total Harga (Rp.)	43.897.000,-	45.019.000,-	42.817.000,-

Tabel 4. Hasil Optimasi Balok Sederhana Penampang T

	Balok Sederhana Penampang T		
	Fi rerata	Fimax	Fimin
Lebar Balok (b, m)	0,40	0,40	0,40
Tinggi Balok (d, m)	0,59	0,52	0,68
Tebal sayap (hf, m)	0,13	0,13	0,13
Lebar efektif (be, m)	0,61	0,61	0,61
Harga Beton (Rp.)	7.236.000,-	6.594.000,-	8.062.000,-
Harga Baja Prategang (Rp.)	10.178.000,-	13.955.000,-	6.022.000,-
Total Harga (Rp.)	17.414.000,-	20.549.000,-	14.084.000,-

Tabel 5. Hasil Optimasi Menerus Penampang T

	Balok Menerus Penampang T		
	Fi rerata	Fimax	Fimin
Lebar Balok (b, m)	0,40	0,40	0,40
Tinggi Balok (d, m)	0,50	0,50	0,50
Tebal sayap (hf, m)	0,13	0,13	0,13
Lebar efektif (be, m)	0,83	0,83	0,83
Harga Beton (Rp.)	21.200.000,-	21.200.000,-	21.200.000,-
Harga Baja Prategang (Rp.)	14.490.000,-	15.510.000,-	13.500.000,-
Total Harga (Rp.)	35.690.000,-	36.710.000,-	34.700.000,-

Dari tabel-tabel di atas dapat dilihat bahwa total harga maksimum diperoleh saat nilai Fi yang digunakan dalam penentuan nilai *fitness* adalah batas atas nilai gaya prategang Fimax. Sebaliknya, harga minimum diperoleh saat Fi yang digunakan dalam penentuan nilai *fitness* adalah batas bawah nilai gaya prategang Fimin. Sedangkan apabila menggunakan nilai Fi rerata, maka harga yang diperoleh berada di antara rentang harga yang diperoleh dari Fimax dan Fimin.

Dapat dilihat bahwa faktor yang paling menentukan dalam memperoleh harga adalah nilai gaya prategang. Semakin besar rentang antara batas atas dan batas bawah nilai gaya prategang maka semakin besar selisih harga yang diperoleh. Dalam pelaksanaan dapat menggunakan baik batas atas dan bawah nilai gaya prategang karena masih memenuhi persyaratan yang berlaku, namun sebaiknya menggunakan nilai Fi rerata karena tegangan-tegangan yang terjadi tidak terlalu dekat dengan nilai tegangan ijin beton prategang.

13. KESIMPULAN

Algoritma genetika mampu untuk melakukan optimasi pada ukuran penampang baik persegi maupun T struktur beton prategang pada balok sederhana maupun balok menerus. Selisih nilai gaya prategang Fimax dan Fimin sangat menentukan dalam menentukan dimensi penampang dan harga struktur secara keseluruhan. Batas atas gaya prategang Fimax memberikan total harga yang lebih bila dibandingkan dengan batas bawah gaya prategang Fimin. Nilai gaya prategang rerata Fi menghasilkan total harga yang berada di antara harga yang peroleh dari batas atas dan batas bawah gaya prategang.

DAFTAR PUSTAKA

Ahsan, R., Rana, S., dan Ghani, S.,N., 2012, *Cost Optimum Design of Posttensioned I-Girder Bridge Using Global Optimization Algorithm*, Jurnal of Structural Engineering, vol. 138, No. 2

Alqedra, M., Arafa, M., dan Ismail, M., 2011, *Optimum Cost of Prestressed and Reinforced Concrete Beams using Genetic Algorithms*, Journal of Artificial Inteligence 4 (1), 76-88

Arfiadi, Y., 2011, *Analisis Struktur dengan Metode Matriks Kekakuan*, Cahaya Atma Pustaka

Arfiadi, Y., dan Hadi, M.N.S., 2011, *Moment Coefficients for Statically Indeterminate Prestressed Concrete Structures*, Asian Jurnal of Civil Engineering (Building and Housing) vol 12, no. 1(2011), pages 39-59

Arfiadi, Y., dan Hadi, M.N.S., 2001, *Optimal Direct (Static) Output Feedback Controller using Real Coded Genetic Algorithms*, Computer and Structures 79 (2001) 1625-1634

Arfiadi, Y., dan Hadi, M.N.S., 2011, *Optimum Placement and Properties of Tuned Mass Dampers using Hybrid Genetic Algorithms*, Int. J. Optim. Eng., 2011,1:167-187

Arfiadi, Y., 2013, *Pengembangan Program Berbasis Open Source Realin untuk Analisis Struktur*, Konferensi Nasional Teknik Sipil 7, Universitas Sebelas Maret (UNS-Solo), 24-25 Oktober 2013

Budiadi, A., 2008, *Desain Praktis Beton Prategang*, Andi Offset Yogyakarta

Goldberg, D.,E., 1989, *"Genetic Algorithms in Search, Optimization, dan Machine Learning"*, Addison-Wesley, Reading, MA

Kumar, J.D.C., dan Venkat, L., 2013, *Genetic Algorithm Based Optimum Design of Prestressed Concrete Beam*, International Jurnal of Civil and Structural Engineering vol. 3, no.3

Libby ,J.R.,1977, *Modern Prestressed Concrete: Design Principles and Construction Methods*, Van Nonstrand Reinhold

Lin, T.Y., 1963, *Design of Prestressed Concrete Structures*, John Wiley and Sons

Naaman, A., 1982, *Prestressed Concrete Analysis and Design*, McGraw-Hill Book Company

Nawy, E.G., 2003, *Prestressed Concrete: a Fundamental Approach*. Prentice Hall

Rana, S., Ahsan, R., dan Ghani, S.N., 2010, *Design of Prestressed Concrete I-Girder Bridge Superstructure Using Optimization Algorithm*, IABSE-JSCE Joint Conference on Advanceds in Bridge Engineering

Sawant, D., Gore, N.,G., dan Salunke, P.,J., 2014, *Minimum Cost Design of PSC Post-Tensioned I-Girder for Short to Medium Span Bridges*, International Jurnal of Recent Technology and Engineering (IJRTE) ISSN:2277-3878, vol. 3, Issue-1, March 2014

Suyanto, 2005, *Algoritma Genetika dalam MATLAB*, Andi Offset Yogyakarta

Winter, G. dan Nilson, A.H., 1993, *Perencanaan Struktur Beton Bertulang*, PT Pradnya Paramita

SNI 2847:2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, BSN

SNI 7833:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Beton Pracetak Dan Prategang Untuk Bangunan Gedung, BSN