

PENGARUH PANJANG BENTANG TERHADAP UKURAN PENAMPANG OPTIMUM BETON PRATEGANG PADA BALOK SEDERHANA DENGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA

Alfian Wiranata Zebua¹

¹) Program Studi Pendidikan Teknik Bangunan,
Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, IKIP Gunungsitoli,

Email: alfianzeb@yahoo.com

Abstract: Structural design philosophy expected to be low cost and safe at once. At prestressed concrete structure, concrete allowable stress for bending structural component have to fulfill limit values on transfer and service condition. Prestressed force determined using moment coefficient β method based on allowable stress. At this structure, to achieve optimum design is not an easy task due to interaction between dimension size and prestressing force value. To determine optimum design criteria, genetics algorithms as one of optimum design method has been used in this paper. Genetics algorithm is a method to find the best solution using organism genetics process based on Darwin theory which solutions with the best fitness value that could be survive as the optimization result. Fitness value is minimum construction cost. Optimization process using genetics algorithm has been worked with computer software assistance Matlab. Simple beam has been considered as numerical example. Optimization result is optimum design of dimension size and prestressing force. Optimization procedure with beam length (L) 10 m result are beam width (b) 0,40 m, beam height (h) 0,47 m, prestressing force (F_i) value 1344 KN and building cost total Rp. 16.651.000,-. Next optimization procedure has been done using different beam length. From this study, the interaction between beam length to optimum dimension size and minimum building cost has been achieved.

Keywords : beam length, genetics algorithm, optimum sizing, prestressed concrete

Abstrak: Filosofi perencanaan struktur diharapkan ekonomis sekaligus aman. Pada struktur beton prategang, tegangan ijin beton untuk komponen struktur lentur harus memenuhi nilai batas pada saat transfer dan beban layan. Gaya prategang ditentukan dengan menggunakan metode koefisien momen β yang didasarkan pada tegangan ijin. Pada struktur ini, penentuan desain optimum tidak mudah karena adanya keterkaitan antara ukuran penampang dengan besaran gaya prategang yang dibutuhkan. Untuk memperoleh kriteria desain yang optimum digunakan metode optimasi dengan menggunakan algoritma genetika. Algoritma genetika merupakan metode pencarian sesuai dengan proses genetika organisme berdasarkan teori evolusi Darwin, dimana solusi dengan nilai *fitness* (tujuan) yang tinggi yang mampu bertahan sebagai hasil dari proses optimasi. Nilai *fitness* (tujuan) adalah memperoleh total harga konstruksi yang paling rendah. Proses optimasi dengan algoritma genetika dikerjakan dengan bantuan software komputer Matlab. Untuk melakukan optimasi digunakan algoritma genetika real. Jenis struktur yang ditinjau adalah balok sederhana. Dari hasil optimasi dengan berbagai panjang bentang diperoleh dimensi balok dan nilai gaya prategang yang optimum. Proses optimasi dengan panjang bentang (L) 10 m, diperoleh lebar balok (b) 0,40 m, tinggi balok (h) 0,47 m, nilai gaya prategang (F_i) sebesar 1344 KN dengan total harga Rp. 16.651.000,-. Proses optimasi selanjutnya dilakukan dengan panjang bentang balok yang bervariasi. Dari hasil penelitian diperoleh hubungan antara panjang bentang balok dengan ukuran penampang optimum serta harga total struktur yang paling rendah.

Kata kunci : algoritma genetika, beton prategang, panjang bentang, ukuran penampang optimum

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 konstruksi memenuhi seluruh syarat-syarat yang telah ditentukan dalam peraturan bangunan setempat sehingga memungkinkan penggunaannya 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, dkk (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, dkk (2010) menggunakan algoritma optimasi Evolutionary Operation (EVOP) untuk optimasi struktur atas

balok I jembatan beton prategang. Ahsan, dkk (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, dkk (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 ukuran penampang beton prategang pada balok sederhana dengan menggunakan algoritma genetika real. Untuk melakukan optimasi ukuran penampang maka digunakan metode koefisien momen pada beton prategang berdasarkan hasil studi Arfiadi dan Hadi (2011). Selanjutnya, akan dilihat pengaruh panjang bentang balok sederhana terhadap ukuran penampang optimum. Algoritma genetika digunakan untuk memperoleh desain optimum dari struktur tersebut.

Beton Prategang

Beton adalah suatu bahan yang mempunyai kekuatan tekan yang tinggi, tetapi kekuatan tariknya relatif rendah. Sedangkan baja adalah suatu material yang mempunyai kekuatan tarik yang sangat tinggi. Dengan mengkombinasikan beton dan baja sebagai bahan struktur maka tegangan tekan dipikul oleh beton sedangkan tegangan tarik oleh baja. Pada struktur dengan bentang yang panjang, struktur beton bertulang biasa tidak cukup untuk menahan tegangan lentur, geser atau puntir yang tinggi. Karakteristik-karakteristik dari beton bertulang biasa tersebut sebagian besar telah dapat diatasi dengan pengembangan beton prategang.

Beton prategang dapat didefinisikan sebagai beton yang telah diberikan tegangan-tegangan dalam, dalam jumlah dan distribusi tertentu sehingga dapat menetralkan sejumlah tertentu tegangan-tegangan yang dihasilkan oleh beban luar sesuai dengan yang direncanakan. Gaya prategang ini berupa tendon yang diberikan tegangan awal sebelum memikul beban kerjanya yang berfungsi mengurangi atau menghilangkan tegangan tarik pada saat beton mengalami beban kerja serta menggantikan tulangan tarik pada struktur beton bertulang

biasa.

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 rangkai, 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:

$$P_{px} = P_{pje} - (Kl_{px} + \mu p p_{px}) \quad (1)$$

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

2. 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. Metode yang sama juga dapat digunakan pada struktur statis tertentu.

Didefinisikan β sebagai koefisien momen akibat gaya prategang, sehingga momen akibat gaya prategang pada kondisi awal adalah:

$$MF_i = F_i \times \beta \quad (1a)$$

dengan asumsi struktur linier elastik, maka diperoleh momen akibat gaya prategang pada kondisi akhir adalah:

$$MF = F \times \beta \quad (2)$$

Gaya prategang efektif pada kondisi akhir setelah kehilangan tegangan diperhitungkan adalah:

$$F = \alpha F_i \quad (3)$$

dimana:

MF_i = momen akibat gaya prategang pada saat awal (*transfer*),

MF = momen akibat gaya prategang setelah kehilangan tegangan,

F_i = gaya prategang saat *transfer*,

F = gaya prategang efektif,

α = koefisien gaya prategang setelah kehilangan tegangan.

Untuk memperoleh momen akibat prategang, digunakan beberapa asumsi berikut:

- Eksentrisitas kabel kecil jika dibandingkan dengan bentang balok.
- Kehilangan prategang akibat gesekan kabel diabaikan.
- Jumlah kabel sepanjang bentang sama.

Untuk menentukan koefisien momen β , perlu dihitung beban ekuivalen akibat prategang. Momen sekunder dapat dihitung dengan mengurangi momen akibat beban ekuivalen dengan momen primer akibat eksentrisitas. Koefisien β dapat diperoleh dari analisis struktur dengan memberikan gaya prategang sebagai satuan gaya.

Dengan asumsi bahwa:

- tegangan tekan diberi tanda negatif (-) dan tegangan tarik positif (+),
- momen positif jika serat bawah tertarik,
- gaya prategang F dan F_i bernilai positif dalam persamaan.

Tegangan dalam beton harus memenuhi persamaan yang diberikan dalam peraturan bangunan gedung sebagai berikut.

Pada transfer (kondisi awal) pada serat atas jika mengalami tarik:

$$-\frac{F_i}{A_c} - \frac{M_{Fi}Y_t}{I_c} - \frac{M_{DL}Y_t}{I_c} < \sigma_{ti} \quad (4)$$

Jika mengalami tekan:

$$-\frac{F_i}{A_c} - \frac{M_{Fi}Y_t}{I_c} - \frac{M_{DL}Y_t}{I_c} > \sigma_{ci} \quad (5)$$

dimana:

A_c = luas penampang,

I_c = momen inersia,

y_t = jarak garis netral dari serat atas,

M_{DL} = momen akibat beban mati,

σ_{ti} = tegangan ijin tarik beton saat transfer,

σ_{ci} = tegangan ijin tekan saat transfer.

Pada serat bawah jika mengalami tarik:

$$-\frac{F_i}{A_c} + \frac{M_{Fi}Y_b}{I_c} + \frac{M_{DL}Y_b}{I_c} < \sigma_{ti} \quad (6)$$

Jika mengalami tekan:

$$-\frac{F_i}{A_c} + \frac{M_{Fi}Y_b}{I_c} + \frac{M_{DL}Y_b}{I_c} > \sigma_{ci} \quad (7)$$

dimana y_b = jarak garis netral dari serat bawah.

Pada kondisi akhir (setelah kehilangan tegangan) kondisi berikut harus terpenuhi. Pada serat atas jika mengalami tarik:

$$-\frac{F}{A_c} - \frac{M_F Y_t}{I_c} - \frac{M_{TL} Y_t}{I_c} < \sigma_t \quad (8)$$

Jika mengalami tekan:

$$-\frac{F}{A_c} - \frac{M_F Y_t}{I_c} - \frac{M_{TL} Y_t}{I_c} > \sigma_c \quad (9)$$

dimana:

σ_t = tegangan ijin tarik pada kondisi akhir,

σ_c = tegangan ijin tekan pada kondisi akhir.

Pada serat bawah jika mengalami tarik:

$$-\frac{F}{A_c} + \frac{M_F Y_t}{I_c} + \frac{M_{TL} Y_t}{I_c} < \sigma_t \quad (10)$$

Jika mengalami tekan:

$$-\frac{F}{A_c} + \frac{M_F Y_t}{I_c} + \frac{M_{TL} Y_t}{I_c} > \sigma_c \quad (11)$$

Untuk memperoleh nilai dari gaya prategang, diingat bahwa:

$$r = \sqrt{\frac{I_c}{A_c}} \quad (12)$$

$$Z_t = \frac{I_c}{Y_t} \quad (13)$$

$$Z_b = \frac{I_c}{Y_b} \quad (14)$$

Gaya Prategang Berdasarkan Kondisi Awal

Berdasarkan tegangan ijin pada serat atas

Jika persamaan (4), dimana tegangan pada serat atas adalah tarik, dikalikan dengan persamaan (13) dan memperhatikan persamaan (12) dan (1a) akan menghasilkan:

$$F_i \left(-\beta - \frac{r^2}{y_t} \right) < \sigma_{ti} Z_t + M_{DL} \quad (15)$$

Jika $\left(-\beta - \frac{r^2}{y_t} \right) > 0$ maka pertidaksamaan pada persamaan (15) menjadi:

$$F_{i\max} = \frac{\sigma_{ti} Z_t + M_{DL}}{\left(-\beta - \frac{r^2}{y_t} \right)} \quad (16)$$

Jika $\left(-\beta - \frac{r^2}{y_t} \right) < 0$ maka pertidaksamaan pada persamaan (15) menjadi:

$$F_{i\min} = \frac{\sigma_{ti} Z_t + M_{DL}}{\left(-\beta - \frac{r^2}{y_t} \right)} \quad (17)$$

Hampir sama seperti pada persamaan (5), dimana tegangan pada serat atas adalah tekan, maka:

Jika $\left(-\beta - \frac{r^2}{y_t}\right) > 0$ maka:

$$F_{imin} = \frac{\sigma_{ci}Z_t + M_{DL}}{\left(-\beta - \frac{r^2}{y_t}\right)} \quad (18a)$$

Jika $\left(-\beta - \frac{r^2}{y_t}\right) < 0$ maka:

$$F_{imax} = \frac{\sigma_{ci}Z_t + M_{DL}}{\left(-\beta - \frac{r^2}{y_t}\right)} \quad (18b)$$

Berdasarkan tegangan ijin pada serat bawah

Sebaliknya dari kondisi tegangan pada serat bawah saat transfer pada persamaan (6) dikalikan dengan persamaan (14) dan menggunakan (12) dan (1a) akan diperoleh sebagai berikut:

Jika $\left(\beta - \frac{r^2}{y_b}\right) > 0$ maka:

$$F_{imax} = \frac{\sigma_{ti}Z_b - M_{DL}}{\left(\beta - \frac{r^2}{y_b}\right)} \quad (19a)$$

Jika $\left(\beta - \frac{r^2}{y_b}\right) < 0$ maka:

$$F_{imin} = \frac{\sigma_{ti}Z_b - M_{DL}}{\left(\beta - \frac{r^2}{y_b}\right)} \quad (19b)$$

Sama seperti pada persamaan (7), diperoleh:

Jika $\left(\beta - \frac{r^2}{y_b}\right) > 0$ maka:

$$F_{imin} = \frac{\sigma_{ti}Z_b - M_{DL}}{\left(\beta - \frac{r^2}{y_b}\right)} \quad (20a)$$

Jika $\left(\beta - \frac{r^2}{y_b}\right) < 0$ maka:

$$F_{imax} = \frac{\sigma_{ti}Z_b - M_{DL}}{\left(\beta - \frac{r^2}{y_b}\right)} \quad (20b)$$

Gaya Prategang Berdasarkan Kondisi Akhir (Setelah Kehilangan Tegangan)

Berdasarkan tegangan ijin pada serat atas

Jika persamaan (8), dimana tegangan pada serat atas adalah tarik, dikalikan dengan persamaan (13) dan memperhatikan persamaan (12), (2) dan (3) akan

menghasilkan:

Jika $\left(-\beta - \frac{r^2}{y_t}\right) > 0$ maka:

$$F_{imax} = \frac{\sigma_t Z_t + M_{TL}}{\alpha \left(-\beta - \frac{r^2}{y_t}\right)} \quad (21a)$$

Jika $\left(-\beta - \frac{r^2}{y_t}\right) < 0$ maka:

$$F_{imin} = \frac{\sigma_t Z_t + M_{TL}}{\alpha \left(-\beta - \frac{r^2}{y_t}\right)} \quad (21b)$$

Sama dengan persamaan (9), diperoleh:

Jika $\left(-\beta - \frac{r^2}{y_t}\right) > 0$ maka:

$$F_{imin} = \frac{\sigma_c Z_t + M_{TL}}{\alpha \left(-\beta - \frac{r^2}{y_t}\right)} \quad (22a)$$

Jika $\left(-\beta - \frac{r^2}{y_t}\right) < 0$ maka:

$$F_{imax} = \frac{\sigma_c Z_t + M_{TL}}{\alpha \left(-\beta - \frac{r^2}{y_t}\right)} \quad (22b)$$

Berdasarkan tegangan ijin pada serat bawah

Sebaliknya dari kondisi tegangan pada serat bawah saat transfer pada persamaan (10) dikalikan dengan persamaan (14) dan menggunakan (12) dan (1a) akan diperoleh sebagai berikut:

Jika $\left(\beta - \frac{r^2}{y_t}\right) > 0$ maka:

$$F_{imax} = \frac{\sigma_t Z_b - M_{TL}}{\alpha \left(\beta - \frac{r^2}{y_b}\right)} \quad (23a)$$

Jika $\left(\beta - \frac{r^2}{y_t}\right) < 0$ maka:

$$F_{imin} = \frac{\sigma_t Z_b - M_{TL}}{\alpha \left(\beta - \frac{r^2}{y_b}\right)} \quad (23b)$$

Sama dengan persamaan (11), diperoleh:

Jika $\left(\beta - \frac{r^2}{y_t}\right) > 0$ maka:

$$F_{imin} = \frac{\sigma_t Z_b - M_{TL}}{\alpha \left(\beta - \frac{r^2}{y_b}\right)} \quad (24a)$$

Jika $\left(\beta - \frac{r^2}{y_t}\right) < 0$ maka:

$$F_{imax} = \frac{\sigma_t Z_b - M_{TL}}{\alpha \left(\beta - \frac{r^2}{y_b}\right)} \quad (24b)$$

Persamaan (16) sampai dengan persamaan (24) dapat digunakan untuk menentukan rentang jarak antara gaya prategang F_i untuk memenuhi syarat tegangan pada kondisi awal dan akhir (setelah kehilangan tegangan). Perlu dicatat bahwa gaya prategang yang diperoleh memenuhi syarat tegangan pada persamaan (4) sampai dengan persamaan (11).

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, 2013).

Algoritma Genetika

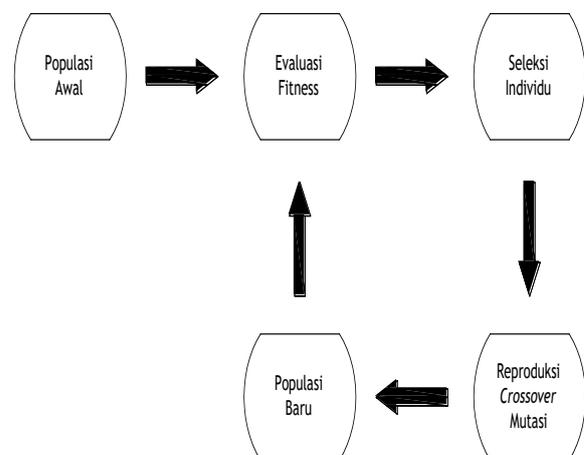
Algoritma genetika merupakan metode pencarian yang disesuaikan dengan proses genetika dari organisme-organisme biologi yang berdasar pada teori evolusi Charles Darwin. Algoritma genetika terinspirasi dari mekanisme seleksi alam, dimana individu yang lebih kuat kemungkinan akan menjadi pemenang dalam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

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

- 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.

- 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.
- 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:
 - Berhenti pada generasi tertentu.
 - 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.



Gambar 1. Siklus Algoritma Genetika

Algoritma Genetika Real

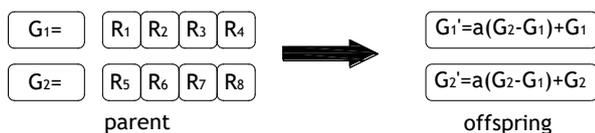
Optimasi ukuran penampang beton prategang pada balok sederhana dan balok menerus dilakukan dengan menggunakan algoritma genetika real. Arfiadi (2013) memberikan proses evolusi yang dilakukan pada algoritma genetika real untuk memperoleh solusi optimum. Misalnya sebuah individu awal dengan empat variabel desain, maka empat angka acak akan dibentuk seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Individu dengan Empat Variabel Desain pada RCGA

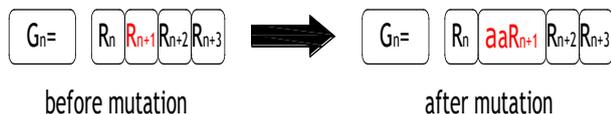
Nilai fitness menyatakan seberapa baik nilai dari suatu kromosom (individu) atau solusi yang didapat. Nilai ini akan menjadi acuan dalam mencapai nilai optimal dalam algoritma genetika. Seleksi merupakan proses untuk menentukan individu mana saja yang akan dipilih untuk dilakukan rekombinasi dan bagaimana 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

3. METODE PENELITIAN

Dari proses optimasi diperoleh lebar balok (b) dan tinggi balok (h) dengan panjang bentang tertentu. Selanjutnya, panjang bentang diberikan secara variatif, sehingga akan diperoleh lebar balok (b) dan tinggi balok (h) yang berbeda untuk setiap panjang bentang yang diberikan. Dari hasil tersebut, akan diperoleh grafik pengaruh panjang bentang terhadap hasil optimasi ukuran penampang.

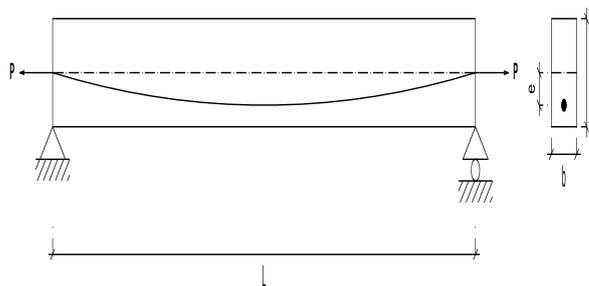
Fungsi objektif atau tujuan dalam optimasi ini adalah meminimumkan total harga dari balok beton prategang.

$$f(x) = C_c \times W_c + C_s \times W_s \quad (25)$$

dimana:

- $f(x)$ = total harga struktur balok beton prategang,
- C_c = harga beton per kg (Rp.),
- C_s = harga baja prategang per kg (Rp.),
- W_c = berat balok beton prategang (kg),
- W_s = berat baja prategang (kg).

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



Gambar 5. Balok Sederhana

Parameter Umum

Balok sederhana yang ditinjau pada penelitian ini adalah balok yang berada di atas tumpuan sendi-rol. Panjang bentang balok sederhana yang ditinjau bervariasi. Kuat tekan beton awal (f_{ci}') = 25 MPa, kuat tekan beton akhir (f_c') = 30 MPa, berat jenis beton = 24 kN/m³, berat jenis baja = 78,5 kN/m³. Harga beton Rp.2.400.000,- 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. 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 = 6, generasi maksimum = 500, $crossover\ rate = 0,8$, $mutation\ rate = 0,1$.

4. HASIL PEMBAHASAN

Hasil Optimasi

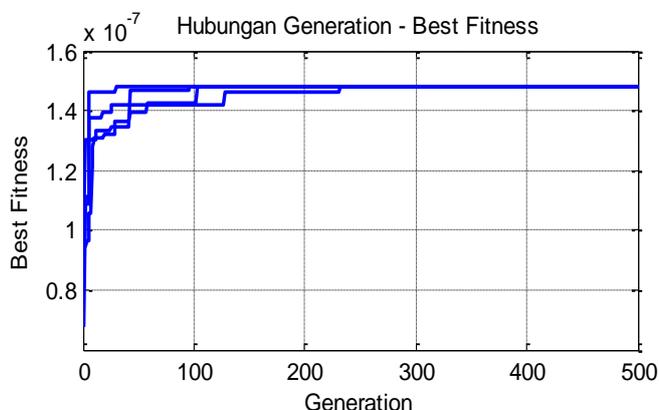
Dari hasil optimasi dengan panjang bentang (L) = 10 m, diperoleh sebagai berikut:

- Lebar balok (b) = 0,40 m

- Tinggi balok (h) = 0,47 m

Dalam proses optimasi, penentuan gaya prategang yang dibutuhkan menggunakan metode koefisien momen β . Nilai F_i merupakan rerata antara nilai F_{imin} dan F_{imax} yang digunakan untuk menentukan nilai fitness yang diperoleh. Diperoleh gaya prategang (F_i) sebesar 1344 kN. Peningkatan nilai fitness dengan menggunakan algoritma genetika dapat dilihat pada Gambar 6.

Dari hasil tersebut di atas diperoleh nilai $fitness = 0,1483e-7$. Harga yang dibutuhkan adalah beton sebesar Rp.2.876.400,-, baja prategang sebesar Rp.3.868.600,- sehingga total harga sebesar Rp. 6.745.200,-.



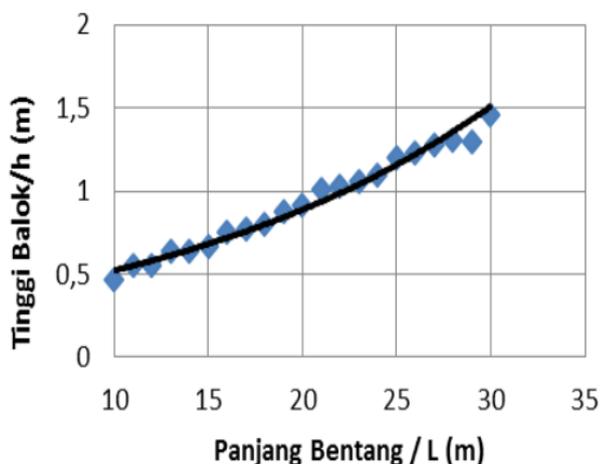
Gambar 6. Peningkatan Nilai Fitness dengan Panjang Bentang 10 m

Pengaruh Panjang Bentang Terhadap Desain Optimum

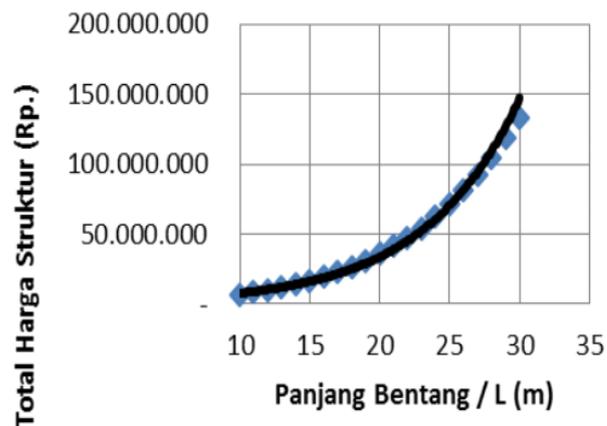
Hasil optimasi ukuran penampang dengan panjang bentang yang bervariasi dapat dilihat pada Tabel 1. Hubungan antara panjang bentang dengan harga kabel prategang dapat dilihat pada Gambar 8. Hubungan antara panjang bentang dengan tinggi balok optimum dapat dilihat pada Gambar 7. Hubungan antara panjang bentang dengan harga beton dapat dilihat pada Gambar 9. Hubungan antara panjang bentang dengan gaya prategang dapat dilihat pada Gambar 11.

Tabel 1. Hasil Optimasi Ukuran Penampang Dengan Panjang Bentang Variatif

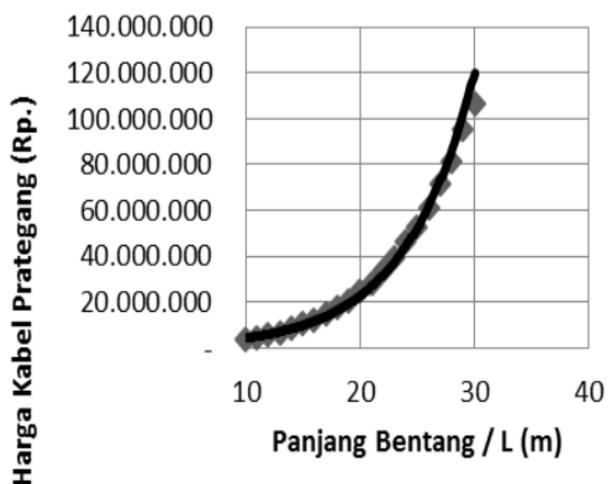
No	L	Nilai fitness	b(m)	h(m)	Ws (Rp)	Wc (Rp)	Total (Rp)	Fi (kN)
1.	10	0,1483e-07	0.40	0.47	3,868,800	2,876,400	6,745,200	1344
2.	11	0,1210e-07	0.40	0.55	4,559,400	3,703,000	8,262,400	1356
3.	12	0,1017e-07	0.40	0.55	5,790,000	4,039,000	9,829,000	1553
4.	13	0,8396e-07	0.40	0.64	6,819,000	5,092,000	11,911,000	1561
5.	14	0,7182e-07	0.40	0.64	8,440,000	5,484,000	13,924,000	1747
6.	15	0,6006e-07	0.40	0.67	10,500,000	6,151,000	16,651,000	1951
7.	16	0,5124e-07	0.40	0.75	12,171,000	7,344,000	19,515,000	1937
8.	17	0,4386e-07	0.40	0.77	14,788,000	8,011,000	22,799,000	2128
9.	18	0,3743e-07	0.40	0.8	17,902,000	8,812,800	26,714,800	2339
10.	19	0,3245e-07	0.40	0.88	20,580,000	10,233,000	30,813,000	2313
11.	20	0,2797e-07	0.40	0.91	24,612,000	11,138,000	35,750,000	2516
12.	21	0,2409e-07	0.40	1.01	28,530,000	12,981,000	41,511,000	2539
13.	22	0,2111e-07	0.40	1.03	33,510,000	13,868,000	47,378,000	2705
14.	23	0,1843e-07	0.40	1.06	39,340,000	14,921,000	54,261,000	2920
15.	24	0,1603e-07	0.40	1.1	46,200,000	16,157,000	62,357,000	3110
16.	25	0,1403e-07	0.40	1.2	52,920,000	18,360,000	71,280,000	3120
17.	26	0,1238e-07	0.40	1.23	61,200,000	19,572,000	80,772,000	3303
18.	27	0,1081e-07	0.40	1.28	71,330,000	21,151,000	92,481,000	3468
19.	28	0,9608e-08	0.40	1.31	81,630,000	22,448,000	104,078,000	3708
20.	29	0,8468e-08	0.40	1.3	95,120,000	23,072,000	118,192,000	4101
21.	30	0,7518e-08	0.40	1.46	106,200,000	26,806,000	133,006,000	3900



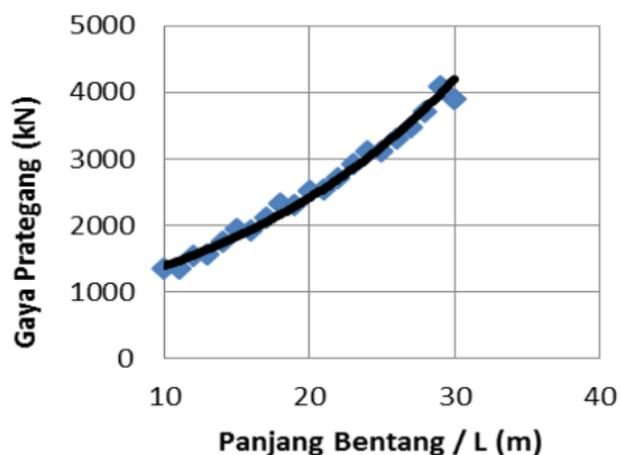
Gambar 7. Hubungan Antara Panjang Bentang Dengan Tinggi Balok



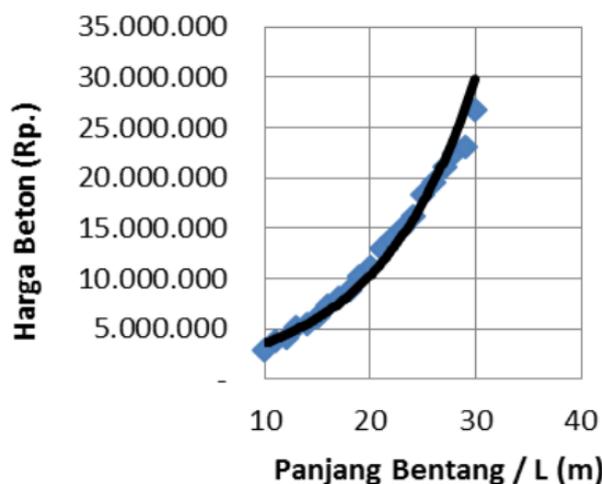
Gambar 10. Hubungan Antara Panjang Bentang Dengan Total Harga Struktur



Gambar 8. Hubungan Antara Panjang Bentang Dengan Harga Kabel Prategang



Gambar 11. Hubungan Antara Panjang Bentang Dengan Gaya Prategang



Gambar 9. Hubungan Antara Panjang Bentang Dengan Harga Beton

Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa panjang bentang balok sederhana mempengaruhi proses optimasi ukuran penampang dengan menggunakan algoritma genetika. Semakin panjang bentang balok, ukuran penampang juga bertambah seiring dengan pertambahan nilai gaya prategang yang dibutuhkan.

5. KESIMPULAN

Metode optimasi dengan menggunakan algoritma genetika dapat memberikan hasil optimasi pada ukuran penampang struktur beton prategang pada balok sederhana. Panjang bentang pada struktur beton prategang balok sederhana mempengaruhi desain optimum penampang serta nilai gaya prategang yang dibutuhkan.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Ahsan, R., Rana, S., dan Ghani, S.,N., 2012, Cost Optimum Design of Posttensioned I-Girder Bridge Using Global Optimization Algorithm, *Journal of Structural Engineering*, vol. 138, No. 2
- [2]. Alqedra, M., Arafa, M., dan Ismail, M., 2011, Optimum Cost of Prestressed and Reinforced Concrete Beams using Genetic Algorithms, *Journal of Artificial Intelligence* 4 (1), 76-88
- [3]. Arfiadi, Y., 2011, Analisis Struktur dengan Metode Matriks Kekakuan, Cahaya Atma Pustaka
- [4]. Arfiadi, Y., dan Hadi, M.N.S., 2011, Moment Coefficients for Statically Indeterminate Prestressed Concrete Structures, *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)* vol 12, no. 1(2011), pages 39-59
- [5]. 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
- [6]. Kumar, J.D.C., dan Venkat, L., 2013, Genetic Algorithm Based Optimum Design of Prestressed Concrete Beam, *International Journal of Civil and Structural Engineering* vol. 3, no.3
- [7]. 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 Advances in Bridge Engineering*
- [8]. 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 Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)* ISSN:2277-3878, vol. 3, Issue-1, March 2014
- [9]. SNI 2847:2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, BSN
- [10]. SNI 7833:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Beton Pracetak Dan Prategang Untuk Bangunan Gedung, BSN