

OPTIMASI STRUKTUR *RETAINING WALL* TIPE KANTILEVER DENGAN METODE METAHEURISTIK

Patricia Sally Tanaya¹, Sanjaya Halim², Doddy Prayogo³, dan Teddy Susanto⁴

ABSTRAK : Dalam melakukan desain struktur *retaining wall*, hal penting yang dilakukan adalah untuk menghasilkan suatu desain yang aman dan ekonomis. Optimasi adalah salah satu metode yang dapat dimanfaatkan untuk memperoleh suatu desain yang efisien dengan tetap mengutamakan *safety*. Penyelesaian proses optimasi dibantu dengan algoritma metaheuristik. Algoritma metaheuristik akan bekerja dalam *random variables* meliputi dimensi struktur *retaining wall* dan tulangan yang diperlukandengan tetap memperhitungkan *constraints* dalam melakukan analisis stabilitas struktur. Adanya *penalty function method* digunakan untuk mengontrol batasan-batasan yang ada agar hasil desain yang diperoleh adalah desain yang optimal, ekonomis, dan memenuhi syarat aman. Fungsi objektif dalam penelitian ini adalah untuk meminimalkan keseluruhan biaya dari struktur *retaining wall*. Algoritma yang digunakan pada penelitian ini adalah *Particle Swarm Optimization* (PSO) dan *Symbiotic Organisms Search* (SOS). Kedua algoritma diuji pada kasus *retaining wall* tipe kantilever dengan batasan sesuai SNI 8460:2017 dan SNI 2847:2013. Performa dari masing-masing algoritma diukur dari lima kriteria biaya, yaitu biaya terbaik, terburuk, median, rata-rata, dan standar deviasi dari struktur *retaining wall*. Hasil penelitian berhasil menemukan desain struktur yang paling optimal dengan tetap memenuhi syarat aman. Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa algoritma SOS memiliki performa lebih baik dalam memperoleh hasil desain yang optimal.

KATA KUNCI: optimasi, metaheuristik, *random variables*, ekonomis

1. PENDAHULUAN

Dalam bidang geoteknik, salah satu masalah utama yang sering dihadapi oleh seorang *geotechnical engineering* dalam melakukan desain struktur adalah untuk menghasilkan suatu desain yang aman dan ekonomis (Khajezadeh, et al., 2011). Dalam analisis stabilitas *retaining wall*, struktur harus didesain untuk mampu bekerja dengan aman terhadap geser, guling, daya dukung atau kapasitas izin, dan stabilitas lereng secara keseluruhan (Setiawan, 2011). Proses optimasi akan sangat mempermudah dan mempercepat pengerjaan untuk memperoleh desain yang paling optimal. Dalam prosedur proses optimasi, hal-hal yang menjadi batasan dalam melakukan desain akan tetap dalam kontrol dan dijadikan acuan untuk memperoleh desain serta harga secara keseluruhan struktur *retaining wall* yang paling optimal (Khajezadeh, et al., 2010). Suatu penyelesaian proses optimasi dapat dibantu dengan menggunakan metode metaheuristik untuk memperoleh hasil pendekatan yang mendekati hasil eksak atau hasil sesungguhnya (Blum & Roli, 2003). Penelitian ini menggunakan dua algoritma metaheuristik, yaitu algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) dan algoritma *Symbiotic Organisms Search* (SOS). Kedua algoritma akan bekerja dengan *penalty function method* untuk mengontrol batasan-batasan yang ada saat melakukan suatu desain sehingga diperoleh hasil yang optimal, ekonomis, dan tetap memenuhi syarat aman.

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, m21416065@john.petra.ac.id

²Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, m21416067@john.petra.ac.id

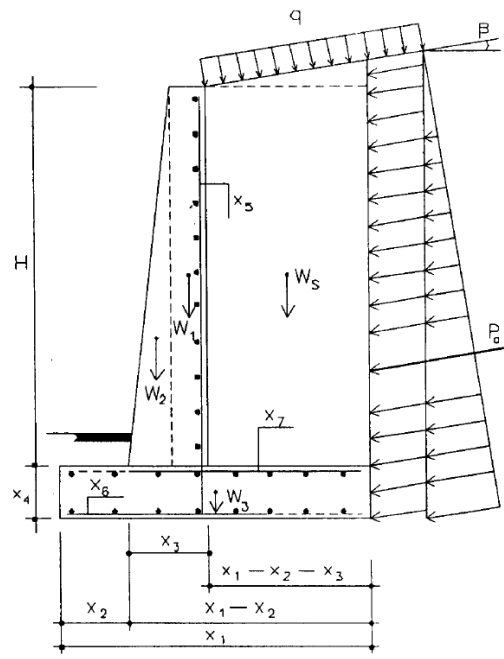
³Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, prayogo@petra.ac.id

⁴Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya, tsusanto53@gmail.com

2. FORMULASI *PROBLEM OPTIMASI DESAIN* UNTUK *RETAINING WALL*

Terdapat banyak jenis dinding penahan tanah, salah satunya adalah dinding penahan tanah tipe kantilever. Dinding penahan kantilever mengandalkan berat sendirinya dan massa tanah di atas *base slab* untuk menjaga stabilitasnya. Secara umum, fase yang dipertimbangkan dalam proses optimasi adalah model struktur, pemodelan optimasi desain, dan algoritma optimasi yang digunakan. Untuk melakukan proses optimasi agar diperoleh hasil yang optimal, dibutuhkan variabel yang akan dioptimasi, batasan atau *constraint*, dan tujuan atau *objective* yang ingin dicapai dari proses optimasi.

Variabel-variabel yang digunakan dalam proses optimasi berhubungan dengan dimensi dari dinding penahan kantilever dan tulangan baja yang diperlukan. Variabel desain yang digunakan dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Pemodelan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever (Saribas & Erbatur, 1996)

di mana:

- X_1 = total base width
- X_2 = toe projection
- X_3 = stem thickness at the bottom
- X_4 = thickness of base slab
- X_5 = vertical steel area of the stem per unit length of the wall
- X_6 = horizontal steel area of the toe per unit length of the wall
- X_7 = horizontal steel area of the heel per unit length of the wall

Beberapa parameter desain lain yang digunakan adalah *properties* tanah, *surcharge load*, tinggi muka air tanah, harga material, karakteristik pembebanan, dan kemiringan tanah urugan. *Properties* tanah yang menjadi parameter desain meliputi sudut gesek tanah (ϕ'), kohesi tanah dasar, dan massa jenis tanah. *Random* variabel desain dibatasi dengan adanya *upper bound* dan *lower bound* yang merupakan batas nilai maksimum dan nilai minimum variabel desain yang akan diacak. **Tabel 1** menunjukkan *upper bound* dan *lower bound* yang digunakan.

Tabel 1. Upper Bound dan Lower Bound untuk Variabel Desain

Parameter	Lower Bounds	Upper Bounds
X ₁	0.4H	0.7H
X ₂	0.4H /3	0.7H /3
X ₃	t	0.1H
X ₄	H/12	H/10
X ₅	$\frac{1.4}{f_y} \times b_w \times (0.9 \times X_2)$	$0.75 \times \rho_b \times b \times d$
X ₆	$\frac{1.4}{f_y} \times b_w \times (0.9 \times X_5)$	$0.75 \times \rho_b \times b \times d$
X ₇	$\frac{1.4}{f_y} \times b_w \times (0.9 \times X_5)$	$0.75 \times \rho_b \times b \times d$

di mana:

$$\rho_b = \frac{0.85 f_c'}{f_y} \beta_1 \frac{600}{600 + f_y}$$

H = tinggi dari stem

Batasan atau *constraint* digunakan untuk memastikan bahwa hasil desain dari proses optimasi tidak mengalami kegagalan. Batasan-batasan yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Mode-Mode Kegagalan

Constraint	Mode Kegagalan
g ₁ (X)	Shear at bottom of the stem
g ₂ (X)	Moment at bottom of stem
g ₃ (X)	Overtuning stability
g ₄ (X)	Sliding stability
g ₅ (X)	Bearing capacity
g ₆ (X)	Toe shear
g ₇ (X)	Toe moment
g ₈ (X)	Heel shear
g ₉ (X)	Heel moment

Syarat-syarat untuk batasan yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada SNI 8460:2017, SNI 2847:2013, dan *Rankine Theory*. Dalam SNI 8460:2017, disajikan persyaratan-persyaratan dan tata cara perencanaan dinding penahan tanah beserta dimensi tipikal dinding yang digunakan untuk awal perancangan. Dari SNI yang sama, penelitian ini mengambil faktor keamanan minimum terhadap guling, geser lateral, dan daya dukung. Dalam SNI 2847:2013, diatur syarat pemasangan tulangan horizontal dan vertical serta perhitungan untuk desain gaya geser dan desain beban lentur. *Rankine theory* digunakan untuk melakukan perhitungan desain struktur berkaitan dengan keadaan tegang massa tanah dalam menentukan tekanan tanah lateral pada dinding.

Objective function merupakan rumusan fungsi yang menggambarkan suatu nilai yang merupakan tujuan dari proses optimasi. Tujuan yang diinginkan dalam penelitian ini adalah pengoptimasian biaya. *Objective function* yang digunakan dirumuskan dalam **Persamaan 1**.

$$f(X) = C_c V_c + C_s V_s + C_b V_b + C_f A_f + C_s W_s \quad (1)$$

di mana:

- C_c = biaya pengecoran beton per unit volume
- V_c = volume beton
- C_e = biaya pengerukan per unit volume
- V_e = volume pengerukan
- C_b = biaya *compacted backfill* per unit volume
- V_b = volume *compacted backfill*
- C_f = biaya bekisting per unit luas
- A_f = luas bekisting
- C_s = biaya tulangan baja per satuan massa
- W_s = massa tulangan baja

Selanjutnya, dalam *final objective function* dilakukan eliminasi hasil desain yang tidak memenuhi *constraint* yang ada dengan menggunakan penalti seperti pada **Persamaan 2**.

$$F(X) = f(X) + r \sum_{i=1}^{24} \max\{0, g_i(X)\}^l \quad (2)$$

di mana:

- $F(X)$ = *penalty function*
- r = *penalty factor*
- l = *power of penalty function*
- $g_i(X)$ = *relative violation function of the constraint*
- $f(X)$ = *objective function*

Proses optimasi pada penelitian ini menggunakan dua algoritma metaheuristik, yaitu PSO dan SOS. PSO adalah metode optimasi global yang diperkenalkan oleh Kennedy dan Eberhart pada tahun 1995 berdasarkan penelitian terhadap perilaku kawanan burung dan ikan saat mencari makanan (Eberhart & Kennedy, 1995). Inisiasi awal dari PSO adalah penempatan partikel secara acak. Setiap partikel memiliki kecepatan masing-masing. Pergerakan setiap partikel untuk menentukan lokasi selanjutnya dipengaruhi oleh kecepatan partikel saat ini, lokasi terbaik yang pernah ditempati partikel tersebut, lokasi terbaik dari populasi, dan lokasi dari partikel tersebut. Lokasi terbaik dari seluruh partikel akan dipilih menjadi *global solution* yang paling optimal.

SOS diusulkan oleh Cheng dan Prayogo pada tahun 2014 (Cheng & Prayogo, 2014). Algoritma ini mensimulasikan interaksi simbiosis antara makhluk hidup agar dapat bertahan hidup di suatu ekosistem. Simbiosis yang digunakan dalam algoritma SOS adalah simbiosis mutualisme, komensalisme, dan parasitisme. Cara kerja dari algoritma SOS adalah melalui semua fase dengan proses yang terus berulang sampai kriteria terpenuhi. Penerapan simbiosis mutualisme adalah menggantikan organisme lama jika hasil organisme baru lebih baik untuk kemudian digunakan dalam fase komensalisme lalu fase parasitisme.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Proses optimasi dalam penelitian ini menggunakan algoritma PSO dan SOS yang dijalankan melalui MATLAB R2016b. Variabel-variabel yang dipilih berhubungan dengan ukuran *retaining wall* dan variasi diameter tulangan yang digunakan, menyesuaikan dengan syarat-syarat yang ada di dalam SNI 8460:2017 dan SNI 2847:2013 sebagai *constraint*. Jika hasil yang diberikan tidak memenuhi *constraint* yang ada, algoritma akan memberikan *penalty function* sampai diperoleh hasil yang memenuhi *constraint*. Hasil yang diperoleh berupa ukuran *retaining wall* yang paling optimal dengan biaya yang dikeluarkan juga minimum. Hasil dari kedua algoritma metaheuristik, PSO dan SOS akan

dibandingkan untuk mengetahui algoritma yang lebih baik untuk memberikan hasil ukuran *retaining wall* yang paling optimal dengan biaya yang minimum.

Secara umum, konsep pengerjaan optimasi ukuran *retaining wall* adalah dengan mengoptimasi beberapa aspek, seperti bentuk yang optimal, memaksimalkan stabilitas struktur, meminimalkan momen lentur, dan mengoptimalkan sudut kemiringan tanah atau lereng. Hal yang dilakukan pertama kali adalah melakukan *input* desain parameter. Setelah itu, algoritma PSO dan SOS akan bekerja dengan *random variables* yang kemudian diperiksa terhadap *constraint* sesuai dengan SNI 8460:2017 dan SNI 2847:2013. Apabila hasil yang diperoleh tidak memenuhi *constraint*, akan ada penalti berupa biaya yang ditambahkan dengan biaya total sehingga hasil tersebut tidak terpilih sebagai nilai optimum. Iterasi akan berhenti jika kriteria sudah tercapai dan diperoleh *output* berupa nilai *gbest*, yaitu biaya optimal terkecil yang dihasilkan setelah algoritma berjalan hingga iterasi maksimum.

4. HASIL DAN DISKUSI

Penelitian ini menggunakan data tanah dari pabrik PT. Hon Chuan Indonesia di Kota Mojokerto yang dikerjakan oleh PT. Sarana Data Persada dengan parameter *input* berupa sudut gesekan tanah dasar (ϕ_2) sebesar 33° , berat jenis tanah dasar (γ_2) sebesar 18 kN/m^3 , dan kohesi tanah dasar (c) sebesar 0 kPa . Untuk tanah tertahan menggunakan sudut geser dalam (ϕ_1) sebesar 30° , berat jenis tanah (γ_1) sebesar 18 kN/m^3 , dan kohesi (c) sebesar 0 kPa . Sedangkan, untuk muka air tanah dalam penelitian ini diasumsikan berada di bawah pondasi. Parameter *input* lain dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Parameter *Input* pada Studi Kasus *Retaining Wall* Tipe Kantilever

Input Parameter	Input Value
Tinggi <i>stem</i> (m)	3
Lebar bagian atas <i>stem</i> (m)	0.2
Selimit beton (mm)	70
Diameter tulangan baja (mm)	16
Beban <i>surchage</i> (kPa)	20
Kemiringan urugan ($^\circ$)	10
Sudut gesekan tanah tertahan ($^\circ$)	30
Berat jenis tanah tertahan (kN/m^3)	18
Berat jenis beton (kN/m^3)	23.5
Kedalaman tanah depan dinding (m)	0.8
Kekuatan leleh tulangan baja (MPa)	400
Kekuatan tekan beton (MPa)	19

Parameter *input* dibutuhkan untuk menyelesaikan persoalan linier dalam program optimasi untuk menghasilkan struktur *retaining wall* yang paling optimal dari segi ukuran dan biaya dengan tetap memenuhi syarat aman. Tujuh variabel yang digunakan, yaitu lebar total *base*, lebar *toe*, tebal *stem* bagian bawah, tebal *base slab*, tulangan vertikal bagian *stem*, tulangan horizontal bagian *toe*, dan tulangan horizontal bagian *heel* akan diacak sampai menemukan hasil optimal pada akhir iterasi menurut batasan masing-masing variabel dan *constraint* yang dapat dilihat pada **Tabel 2** sebelumnya. Dalam penelitian ini, ditambahkan *constraint* menurut SNI 8460:2017 mengenai persyaratan untuk potensi kegagalan eksternal akibat momen guling yang dapat dilihat pada **Persamaan 3**.

$$e \leq L/6 \quad (3)$$

di mana:

- e = eksentrisitas resultan gaya-gaya
- L = panjang dinding

Dalam penelitian ini, *objective function* yang merupakan rumusan fungsi untuk menggambarkan suatu nilai yang menjadi tujuan proses optimasi menggunakan perhitungan biaya material dan juga biaya tenaga kerja untuk pengecoran beton dan pembesian tulangan baja. *Objective function* yang digunakan dapat dilihat pada **Persamaan 4**.

$$f(X) = C_c V_c + C_e V_e + C_b V_b + C_f A_f + C_s W_s + C_{pc} V_c + C_{ps} W_s \quad (4)$$

di mana:

- C_c = biaya pengecoran beton per unit volume
- V_c = volume beton
- C_e = biaya pengerukan per unit volume
- V_e = volume pengerukan
- C_b = biaya *compacted backfill* per unit volume
- V_b = volume *compacted backfill*
- C_f = biaya bekisting per unit luas
- A_f = luas bekisting
- C_s = biaya tulangan baja per satuan massa
- W_s = massa tulangan baja
- C_{pc} = biaya pekerja pengecoran beton per unit volume
- C_{ps} = biaya pekerja pembesian tulangan baja per satuan massa

Analisa harga yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4**. **Tabel 5** menunjukkan perbandingan hasil optimasi yang diperoleh dari algoritma PSO dan SOS untuk memperoleh hasil struktur yang paling optimal.

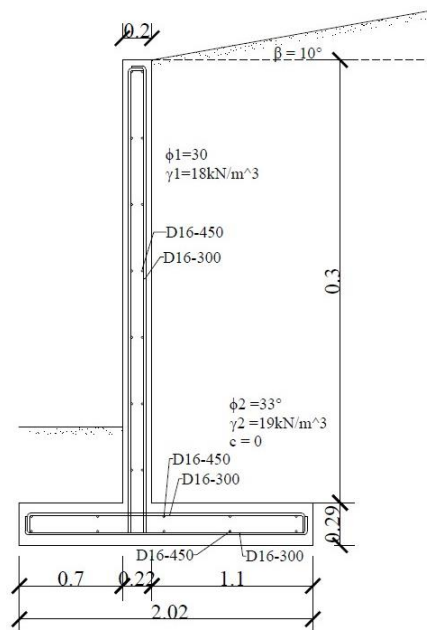
Tabel 4. Harga Material dan Tenaga Kerja

Jenis Pekerjaan	Uraian	Jumlah Harga
Pekerjaan Beton	Tenaga kerja	Rp 121,625.00
	Bahan	Rp 816,000.00
Pekerjaan Tanah	Galian	Rp 94,050.00
	Urugan	Rp 133,500.00
Pekerjaan Bekisting	<i>Base</i> (dasar)	Rp 127,490.00
	<i>Stem</i> (dinding)	Rp 353,692.50
Pekerjaan Pembesian	Tenaga kerja	Rp 1,365.50
	Bahan	Rp 10,354.20

Tabel 5. Hasil Optimasi Struktur Retaining Wall Tipe Kantilever

Variabel	PSO	SOS
X ₁ (m)	2.026	2.02
X ₂ (m)	0.7	0.7
X ₃ (m)	0.225	0.225
X ₄ (m)	0.3	0.288
X ₅ (mm ²)	630	630
X ₆ (mm ²)	787.5	787.5
X ₇ (mm ²)	787.5	787.5
Terbaik (Rp /m ¹)	4,688,287.00	4,660,133.00
Terburuk (Rp /m ¹)	4,870,374.00	4,660,133.00
Median (Rp /m ¹)	4,735,776.00	4,660,133.00
Rata-Rata (Rp /m ¹)	4,735,348.00	4,660,133.00
Std. Deviasi (Rp /m ¹)	49,804.00	0.00
Koef. Variasi (%)	1.05	0.00

Berdasarkan tabel yang menunjukkan perbandingan proses olah data dari kedua algoritma, yaitu PSO dan SOS, dapat dilihat bahwa algoritma SOS menghasilkan biaya struktur yang lebih rendah sebesar Rp 4,660,133.00/ m¹ dibandingkan PSO sebesar Rp 4,688,287.00/m¹. Dari rata-rata 30 kali percobaan, diperoleh bahwa SOS memiliki hasil rata-rata yang lebih baik sebesar Rp 4,660,133.00/m¹ dibandingkan PSO sebesar Rp 4,735,348.00/ m¹. Algoritma SOS juga dapat dikatakan memiliki performa yang lebih baik dalam proses optimasi struktur retaining wall ini dilihat dari koefisien variasi sebesar 0% yang artinya secara keseluruhan proses olah data memberikan hasil yang paling optimal di setiap iterasinya. Sedangkan, koefisien variasi untuk algoritma PSO adalah sebesar 1.05% dengan hasil terburuk selama iterasi sebesar Rp 4,870,374.00/ m¹. Hasil optimasi desain struktur yang paling optimal dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Desain Struktur Retaining Wall Tipe Kantilever Berdasarkan Hasil Optimasi

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan diskusi dari penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil sebuah kesimpulan. Pada penelitian ini, peneliti sudah membandingkan performa optimasi dari dua buah algoritma metaheuristik, yaitu PSO dan SOS dengan meninjau satu studi kasus dari penelitian sebelumnya menggunakan batasan-batasan menurut SNI 8460:2017 dan SNI 2847:2013. Algoritma SOS mampu memberikan hasil desain yang paling optimal pada akhir iterasi, sedangkan algoritma PSO belum mampu memberikan hasil optimal di akhir iterasinya. Sehingga, performa algoritma SOS dapat dikatakan lebih baik dalam penelitian ini untuk menemukan hasil desain struktur *retaining wall* tipe kantilever yang optimal.

6. DAFTAR REFERENSI

- Blum, C., & Roli, A. (2003). Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual Comparison. *ACM Computing Surveys*, 35(3), 268–308. doi:10.1145/937503.937505.
- Cheng, M. Y., & Prayogo, D. (2014). Symbiotic Organisms Search: A New Metaheuristic Optimization Algorithm. *Computers and Structures*, 139, 98–112. doi:10.1016/j.compstruc.2014.03.007.
- Eberhart, R., & Kennedy, J. (1995). New Optimizer Using Particle Swarm Theory. *Proceedings of the International Symposium on Micro Machine and Human Science*, 39–43. doi:10.1109/mhs.1995.494215.
- Khajehzadeh, M., Taha, M. R., El-Shafie, A., & Eslami, M. (2010). Economic Design of Retaining Wall Using Particle Swarm Optimization with Passive Congregation. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(11), 5500–5507.
- Khajehzadeh, M., Taha, M. R., El-Shafie, A., & Eslami, M. (2011). Modified Particle Swarm Optimization for Optimum Design of Spread Footing and Retaining Wall. *Journal of Zhejiang University: Science A*, 12(6), 415–427. doi:10.1631/jzus.A1000252.
- Saribas, A., & Erbatur, F. (1996). Optimization and Sensitivity of Retaining Structures. *Journal of Geotechnical Engineering*, 122(8), 649–656. doi:10.1061/(asce)0733-9410(1996)122:8(649).
- Setiawan, H. (2011). Perbandingan Penggunaan Dinding Penahan Tanah Tipe Kantilever dan Gravitasi dengan Variasi Ketinggian Lereng. *Journal Teknik Sipil dan Infrastruktur*, Vol 1, No 2 (2011). <http://jurnal.untad.ac.id/jurnal/index.php/JTISI/article/view/687>.