

OPTIMASI SUDUT DALAM KUDA-KUDA BAJA DENGAN METODE *ARTIFICIAL NEURAL NETWORK*

Auliya Isti Makrifa

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Al-Azhar, Mataram
Jln. Unizar No. 20 Turida, Mataram
Email: aulyamakrifa@gmail.com

ABSTRAK

Optimasi sudut dalam kuda-kuda dilakukan agar struktur berat sendiri yang ringan dan mampu menahan beban yang ada, sesuai dengan kaidah peraturan yang berlaku. Tujuan dari tulisan ini adalah untuk mendapatkan sudut dalam kuda-kuda baja yang optimum dengan bentang kuda-kuda 6m sampai dengan 12m, dan sudut atap antara 25° sampai dengan 35° . Data yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak sembilan buah, yang didapatkan dari hasil pemodelan SAP 2000. Metode optimasi yang digunakan adalah dengan pemodelan *Artificial Neural Network* (ANN) menggunakan program MATLAB. Rumus empiris yang didapatkan kemudian digunakan untuk mendapatkan jarak antar kuda-kuda optimum yang dilanjutkan untuk mendapatkan sudut dalam optimum. Hasil dari penelitian ini berupa rumus empiris ANN yang dapat digunakan untuk mendesain kuda-kuda dengan sudut dalam yang optimum dengan bentang antara 6m sampai dengan 12m dan sudut atap mulai dari 25° sampai dengan 35° .

Kata kunci: optimasi, kuda-kuda baja, *Artificial Neural Network*

ABSTRACT

Angular optimization in the truss is done so that the weight structure itself is light and able to withstand existing loads, in accordance with the rules of the applicable regulations. The purpose of this paper is to get the optimum angle in steel truss with 6m to 12m truss, and roof angles between 25° to 35° . The data used in this study were nine, which were obtained from the results of SAP modeling 2000. The optimization method used is modeling Artificial Neural Network (ANN) using the MATLAB program. The empirical formula obtained is then used to get the optimum distance between the truss which is continued to get the optimum inner angle. The results of this study are an ANN empirical formula that can be used to design truss with optimum inner angles with a span between 6m to 12m and roof angles ranging from 25° to 35° .

Keyword: *optimation, steel truss, Artificial Neural Network*

PENDAHULUAN

Optimasi struktural merupakan salah satu tantangan bagi para *engineer* teknik sipil dalam menyediakan desain struktur yang efisien. Dimana struktur tersebut selain murah harus memenuhi kriteria perencanaan. Optimasi sudut dalam kuda-kuda merupakan langkah awal untuk

mendapatkan berat kuda-kuda baja yang optimum.

Perencanaan struktur atap yang selama ini dilakukan secara manual memakan waktu yang cukup lama, sehingga dirasa kurang praktis dilakukan di lapangan, terlebih bagi *engineer* yang belum banyak pengalaman. Hal ini mendorong untuk

diciptakannya metode pembantu guna mempermudah dan mempercepat prediksi perhitungan struktur. Penelitian ini mengusulkan metode prediksi optimasi dimensi rangka atap menggunakan metode *Artificial Neural Network* (ANN). Metode ini telah banyak digunakan, dan memberikan hasil yang akurat serta mudah diaplikasikan di lapangan.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- a) Tujuan dari penelitian ini adalah menghitung jarak antar kuda-kuda yang optimum pada struktur atap rangka baja dengan variasi bentang kuda-kuda serta variasi sudut atap.
- b) Menghitung sudut dalam kuda-kuda yang optimum pada struktur atap rangka baja dengan variasi bentang kuda-kuda serta variasi sudut atap.

Optimasi Perencanaan Rangka Atap Baja

Marsiano (2010) melakukan penelitian penggunaan struktur rangka atap dalam berbagai variasi bentuk rangka serta variasi sudut kemiringan atap, guna memperoleh tipe rangka atap yang paling optimum dari segi berat rangka atapnya.

Metode dan teknik pengumpulan data menggunakan program SAP 2000 dalam memperoleh gaya-gaya dalam serta reaksi perletakan, yang kemudian dianalisis menggunakan rumus yang ada sehingga

dapat disajikan dalam bentuk angka dan grafik.

Disimpulkan bahwa kombinasi struktur atap antara profil IWF dengan baja siku menghasilkan berat struktur yang lebih ringan, dengan kemiringan atap 20^0 menghasilkan berat kuda-kuda paling optimum.

Optimasi Berat Perluasan Struktur Atap Rangka Baja

Terdapat beberapa penelitian terkait yang dilakukan pada tahun 2011. Penelitian ini menggunakan data profil gording C serta profil siku untuk kuda-kuda. Optimasi yang dilakukan ditinjau dari berat per meter persegi, dengan kontrol tegangan dan lendutan.

Perhitungan dimulai dengan mengoptimasi bentang gording. Variasi bentang gording dimulai dengan penambahan tiap 0,5 meter hingga mencapai bentang optimum. Perhitungan dilanjutkan dengan mengoptimasi berat optimum kuda-kuda menggunakan variasi sudut dalam. Sudut dalam dimulai dari 0^0 dengan kenaikan setiap 5^0 . Teknik pengumpulan data menggunakan matriks serta bantuan program SAP 2000 untuk memperoleh gaya-gaya dalam serta reaksi perletakan. Perhitungan dilakukan dengan bantuan program Microsoft Excel.

Tabel 1. Hasil perhitungan optimasi berat Ganni dkk (2011)

Nama Peneliti	L (m)	Sudut Atap	Jarak KK (m)	Sudut dalam	Berat optimum kg/m ²
Ganni L.	6	30	1,73	5	7,82
Meirino Dwi	6	40	2,85	25	8,84
Mhd. Salim J.	6	60	3,94	45	7,39
Aditya Wisnu	9	30	2,54	10	8,85
Reza Satria I.	9	40	2,63	25	9,89
Dhoni Rahadi	9	50	2,42	30	9,31

Penggunaan ANN untuk Prediksi Tegangan pada Balok Kastela Hexagonal Bentang 1 Meter

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Ahmad Muhtarom (2012) digunakan data sekunder input berupa 10 variasi dimensi lubang balok kastela bukaan heksagonal bentang 1 meter (BKBH-1M) yang ada di pasaran dan data sekunder berupa output target tegangan tarik maksimum, tegangan tekan maksimum dan tegangan geser maksimum yang

terjadi hasil analisis Metode Elemen Hingga (MEH).

Data input dan output tersebut kemudian dimasukkan dalam persamaan ANN. Dari hasil *running* program, didapatkan fungsi matematis dari generalisasi tegangan maksimum yang terjadi.

Perbandingan antara hasil perhitungan menggunakan MEH dan ANN, didapatkan rasio perbandingan seperti berikut :

Tabel 2. Rasio perbandingan output MEH dan ANN Muhtarom (2012)

Jenis Batasan	Rata-rata Output MEH	Rata-rata Output ANN	Rasio
Tegangan Tarik	489,00	485,45	0,9927403
Tegangan Tekan	496,40	496,40	1,00000
Tegangan geser	313,30	332,73	1,0620172

Hybrid neural network model for the design of beam subjected to bending and shear

Penelitian yang dilakukan oleh Sudarsana Rao dan Ramesh Babu (2007) ini mengkombinasikan *Artificial Neural Network* (ANN) serta *Genetic Algorithms*

(GA) untuk mendesain sebuah balok berdasarkan momen dan gesernya. Sampel yang digunakan sebanyak 100 buah sampel dengan 1000 kali *training*.

Dari penelitian yang telah dilakukan, metode ini menunjukkan bahwa model *Neural Network* dapat menyediakan

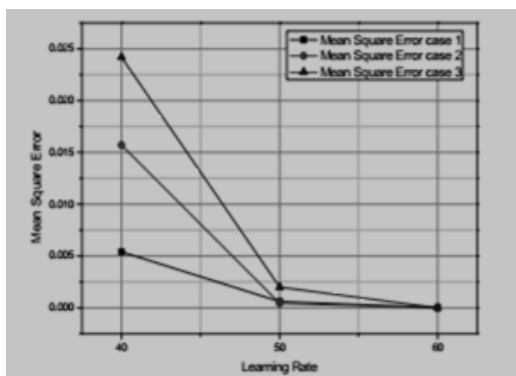
desain yang aman untuk balok berdasarkan momen serta gesernya. Metode ini dapat digunakan sebagai prediksi tinggi balok, luas tulangan, jarak sengkang untuk kasus balok baru.

Frame Optimization using Neural Network

Suhairil dkk (2012) melakukan penelitian untuk membuktikan bahwa *Neural Network* dapat digunakan untuk memprediksi berat optimum portal hasil hitungan menggunakan *software Finite Element (FE)*. Data yang digunakan menggunakan tegangan dan lendutan sebagai kriteria optimum.

Dalam penelitian ini terdapat tiga kasus dengan perbedaan kompleksitas konfigurasi struktur, serta sistem pembebanan.

Penelitian ini menunjukkan bahwa *Neural Network* dapat memprediksi kriteria optimasi. Kompleksitas konfigurasi struktur mempengaruhi hasil yang dicapai, yang diperlihatkan melalui *Mean Square Error (MSE)* seperti berikut :



Gambar 1. Pencapaian MSE Suhairil (2012)

Prediction of Optimal Design and Deflection of Space Structures Using Neural Networks

Penelitian ini dilakukan oleh Reza Kamyab dkk (2012). Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan desain paling optimum yang ditunjukkan oleh berat paling optimal, dengan lendutan paling maksimum untuk *space structure*. Metode yang digunakan adalah menggunakan *Neural Network*. Variabel yang digunakan dalam penelitian adalah luas penampang, panjang bentang serta tinggi struktur. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah menggunakan *double layer grids* yang kemudian dilanjutkan dengan *training* untuk *Radial Basis Function (RBF)* dan *Generalized Regression (GR) neural network*. Dengan metode ini, peneliti mampu memprediksi desain optimal dengan lendutan maksimal dalam waktu yang singkat.

Pembebanan Struktur Atap

Jenis-jenis beban yang biasa dipergunakan dalam perencanaan struktur rangka atap antara lain sebagai berikut:

- Beban mati DL (*Dead Load*)
- Beban hidup LL (*Life Load*)
- Beban angin WL (*Wind Load*)

Analisis Pembebanan

Kombinasi pembebanan merupakan suatu perhitungan, dimana struktur harus mampu menahan semua kombinasi

pembebanan yang terjadi. Kombinasi pembebanan yang harus ditinjau menurut Peraturan Pembebanan Indonesia untuk Gedung 1983 adalah sebagai berikut :

- a) Pembebanan tetap : $M + H$
- b) Pembebanan Sementara : $M + H + A$

Dimana :

M = Beban Mati, DL (*Dead Load*)

H = Beban Hidup, LL (*Life Load*)

A = Beban Angin, WL (*Wind Load*)

Struktur baja harus mampu memikul semua kombinasi pembebanan di bawah ini:

- a) 1,4 DL
- b) 1,2 DL + 1,6 LL + 0,5 WL
- c) 1,2 DL + 1,6 LL + 0,8WL
- d) 1,2 DL + 1,3 WL + γ_L LL
- e) 0,9 DL \pm 1,3WL

Perhitungan Jarak kuda-kuda Optimum

Perhitungan balok gording dilakukan untuk mendapatkan bentang kuda-kuda paling optimum untuk profil yang tersedia mengacu pada SNI 03-1729-2015.

Kekuatan lentur desain ditentukan oleh $\phi_b M_n$, dengan nilai ϕ_b adalah 0,9 (DFBK). Kuat lentur nominal, M_n , harus nilai terendah yang diperoleh sesuai dengan keadaan batas dari leleh (momen plastis) dan tekuk torsi lateral.

- a) Pelelehan

$$M_n = M_p = F_y Z_x \quad (1)$$

- b) Tekuk torsi lateral

- 1) Bila $L_b \leq L_p$, maka keadaan batas dari tekuk torsi lateral tidak boleh digunakan

- 2) Bila $L_p < L_b \leq L_r$, maka M_n dihitung dengan rumus :

$$M_n = C_b \left[M_p - 0,7 F_y S_x \right] \left[\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p} \right] \leq M_p \quad (2)$$

- 3) Bila $L_b > L_r$, maka M_n dihitung:

$$M_n = F_{cr} S_x \leq M_p \quad (3)$$

Untuk kriteria lendutan, balok biasa lendutan aktual tidak boleh lebih dari $L/240$.

Perencanaan Batang Tarik Kuda-kuda

Rangka batang merupakan sistem struktur gabungan dari beberapa batang yang dihubungkan untuk mentransfer beban ke tumpuan dalam bentuk gaya aksial (tarik maupun tekan) murni. Perencanaan rangka batang menggunakan baja mengacu pada SNI 03-1729-2015.

Pada batang tarik gaya dukung nominal yang diperhitungkan adalah pada kondisi leleh sepanjang batang. Kondisi fraktur di sambungan tidak diperhitungkan karena penelitian ini dibatasi sambungan tidak diperhitungkan. Gaya dukung nominal pada batang tarik diperoleh dengan rumus sebagai berikut:

$$\phi_t P_n = \phi_t A_g F_y \text{ dengan } \phi_t = 0,9 \quad (4)$$

Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tarik, angka perbandingan kelangsingannya L/r lebih baik tidak melebihi 300.

Perencanaan Batang Tekan Kuda-kuda

Sesuai dengan Tabel B4.1a dalam SNI 03-1729-2015, Rasio tebal terhadap

lebar untuk komponen struktur yang menahan tekan aksial, khususnya untuk elemen kaki dari siku ganda dengan pemisah ditetapkan sebagai berikut :

$$\frac{b}{t} \leq 0,45 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \quad (5)$$

Untuk kondisi tekan, kekuatan tekan desain dapat dihitung dengan formula sebagai berikut :

$$\phi_c P_n = \phi_c A_g F_{cr} \text{ dengan } \phi_c = 0,9 \quad (6)$$

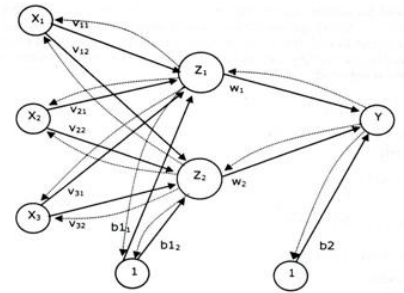
Untuk batang-batang yang direncanakan terhadap tekan, angka perbandingan kelangsingan globalnya KL/r sebaiknya tidak melebihi 200.

Pemodelan dengan Artificial Neural Network

Artificial Neural Network merupakan salah satu sistem pemrosesan informasi yang didesain dengan menirukan cara kerja otak manusia dalam menyelesaikan suatu masalah dengan melakukan proses belajar melalui perubahan bobot sinapsisnya. Salah satu metode ANN yang digunakan adalah metode *Backpropagation*.

Arsitektur algoritma *backpropagation* terdiri dari tiga layer, yaitu *input layer*, *hidden layer* dan *output layer*. Pada *input layer* tidak terjadi proses komputasi, namun terjadi pengiriman sinyal *input X* ke *hidden layer*. Pada *hidden* dan *output layer* terjadi proses komputasi terhadap bobot dan bias serta proses

perhitungan besarnya *output* dari *hidden* dan *output layer* tersebut berdasarkan fungsi aktivasi tertentu.



Gambar 2. Arsitektur *Backpropagation* ANN

- X = data *input*.
- V_{ij} = bobot awal input
- W_{ij} = bobot awal lapisan
- b_{ij} = bobot bias

$$Y = Z_i \cdot W[i,j] + b[i,j] \quad (7)$$

$$Z_{i \text{ nj}} = f(X_i \cdot V[i,j] + b[i,j]) \quad (8)$$

$$Z_i = \frac{1}{1+e^{-Z_{inj}}} \quad (9)$$

METODE

Dalam penelitian dilakukan optimasi dimensi struktur atap dengan menggunakan metode *Artificial Neural Network*. Materi yang digunakan adalah hasil pemodelan menggunakan *software* Microsoft Excel dan SAP 2000 yang kemudian digunakan sebagai *input* dalam pemodelan jaringan syaraf tiruan menggunakan bantuan program MATLAB untuk mendapatkan rumus empirisnya.

Alat yang digunakan dalam penelitian ini merupakan beberapa program komputer yang membantu, yaitu Microsoft Excel, SAP 2000 serta MATLAB.

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan, secara umum dapat dijabarkan sebagai berikut:

- a) Menghitung jarak kuda-kuda optimum menggunakan Microsoft Excel yang mengacu pada SNI 03-1729-2015 tentang komponen lentur;
- b) Menghitung pembebanan kuda-kuda dengan acuan PPIUG 1983;
- c) Membuat model kuda-kuda menggunakan program SAP 2000 dengan variasi bentang, sudut atap serta sudut dalam kuda-kuda;
- d) Menginput ukuran profil baja dan melakukan *trial* dalam program SAP 2000 dan mengganti profil berdasarkan masing-masing grup (grup batang tekan atas, grup batang diagonal, grup batang tarik bawah) secara manual ke dalam program SAP 2000, untuk mendapatkan profil yang paling optimum;
- e) Menganalisa batang tekan dan tarik dengan acuan SNI 03-1729-2015;
- f) Hasil dari pemodelan SAP 2000 berupa berat kuda-kuda yang akan diolah kembali ke dalam Microsoft Excel untuk mendapatkan total berat struktur atap, yang kemudian diinputkan ke dalam ANN;
- g) Membuat pemodelan ANN dalam program MATLAB dengan *input* awal adalah bentang kuda-kuda dan

sudut atap, guna mendapatkan jarak optimum antar kuda-kuda. Sistem yang digunakan adalah sistem ANN bertingkat. *Output* yang didapatkan dari perhitungan sebelumnya digunakan sebagai *input* pada perhitungan selanjutnya. Dengan menggunakan sistem tersebut, kemudian akan didapatkan sudut dalam optimum kuda-kuda

- h) Dari rumus empiris ANN yang didapatkan, kemudian dipakai untuk variasi model dalam beberapa parameter yaitu bentang kuda-kuda dan sudut atap;
- i) Melakukan validasi dengan cara pengecekan kembali profil yang didapatkan secara random dari persamaan ANN ke dalam SAP 2000.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Optimasi Jarak Kuda-kuda

Optimasi dilakukan terhadap gording *light lip channel* tipe 150.65.20.3,2 untuk mendapatkan bentang optimum. Kriteria kontrol berdasarkan tegangan, momen lentur serta lendutan.

Perhitungan Kuda-kuda

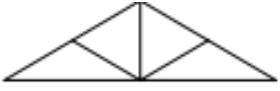
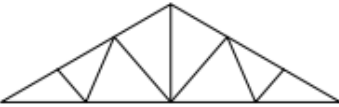
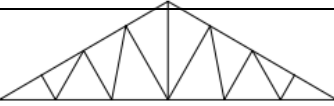
Pada perhitungan kuda-kuda ini, digunakan bantuan program SAP 2000 dengan *design code* AISC 360-05/IBC 2006 yang senada dengan SNI 03-1729-

2015. Kemudian perhitungan dilanjutkan menggunakan Microsoft Excel.

Model kuda-kuda dibagi menjadi tiga grup, yaitu grup A (batang tekan bagian atas), grup B (batang diagonal) serta grup C (batang tarik bagian bawah). Pembagian grup ini dimaksudkan untuk mempermudah pelaksanaan pemasangan di lapangan.

Optimasi dilakukan terhadap berat struktur atap, yang kemudian dikonversikan terhadap profil batang pada masing-masing grup kuda-kuda. Variabel yang divariasikan adalah bentang kuda-kuda dan sudut atap. Bentang kuda-kuda yang dipakai sebagai pemodelan adalah 6m, 9m, dan 12m. Sedangkan sudut atap 25° , 30° dan 35° . Hasil optimasi berupa jarak kuda-kuda, sudut dalam optimum, berat optimum struktur atap, berat masing-masing grup kuda-kuda. Untuk masing-masing bentang, model kuda-kuda dapat dilihat dalam Tabel 3 berikut ini :

Tabel 3. Model kuda-kuda tiap bentang

Bentang (m)	Bentuk kuda-kuda
6	
9	
12	

Pemodelan awal dilakukan dengan untuk mendapatkan jarak optimum antar kuda-kuda dengan *input* bentang kuda-kuda dan sudut atap. Dihasilkan rumus empiris dengan konstanta sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_{[1,1]} &= 2,8871E-07 \\
 V_{[1,2]} &= -1,0180977 \\
 V_{[2,1]} &= 1,32575701 \\
 V_{[2,2]} &= 1,26675306 \\
 b_{[1,1]} &= 30,3583356 \\
 b_{[1,2]} &= -19,871176 \\
 W_{[1,1]} &= 0,55692803 \\
 W_{[2,1]} &= 0,58570497 \\
 b_{[2,1]} &= 2,66145953
 \end{aligned}$$

$$Zin_1 = (2,8871E-07 X_1) + (-1,0180977 X_2) + 30,3583356$$

$$Zin_2 = (1,32575701 X_1) + (1,26675306 X_2) - 19,871176$$

Dari persamaan di atas, dihasilkan rumus empiris sebagai berikut :

$$Y = 2,66 + 0,56 Z_1 + 0,59 Z_2 \quad (10)$$

Pemodelan yang kedua dilakukan untuk mendapatkan sudut dalam optimum, dengan *input* bentang kuda-kuda, sudut atap dan jarak antar kuda-kuda. Dihasilkan rumus empiris dengan konstanta sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 V_{[1,1]} &= -5,3526E-05 \\
 V_{[1,2]} &= -0,55336193 \\
 V_{[1,3]} &= 6,179860433 \\
 V_{[2,1]} &= 3,652076491 \\
 V_{[2,2]} &= -4,050317501 \\
 V_{[2,3]} &= 30,45177122 \\
 b_{[1,1]} &= -4,779402128 \\
 b_{[1,2]} &= -37,93141353 \\
 W_{[1,1]} &= -9,174424141
 \end{aligned}$$

$$W_{[2,1]} = -6,050834927$$

$$b_{[2,1]} = 20,15510753$$

$$Z_{in1} = (-5,3526E-05 X_1) + (-0,553361933 X_2) + (6,179860433 X_3) - 4,779402128$$

$$Z_{in2} = (3,652076491 X_1) + (-4,050317501 X_2) + (30,45177122 X_3) - 4,779402128$$

Dari persamaan di atas, dihasilkan rumus empiris sebagai berikut :

$$Y = 20,16 - 9,17 Z_1 - 6,05 Z_2 \quad (11)$$

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini antara lain adalah sebagai berikut:

- a) Didapatkan dua buah rumus empiris ANN yang dapat digunakan untuk mendapatkan desain kuda-kuda yang optimum dengan mengetahui bentang kuda-kuda dan sudut atap untuk mendapatkan jarak kuda-kuda dan sudut dalam optimum.
- b) Didapatkan desain kuda-kuda optimum dengan bentang dan sudut atap yang diketahui, sebagai berikut :

Tabel 4. Desain kuda-kuda optimum dengan rumus ANN bertingkat

Bentang (m)	Sudut atap	Sudut dalam
6	25	10
7	25	6
8	25	5
9	25	5
10	25	5
11	27	5
12	28	5

DAFTAR PUSTAKA

- Wijaya, A.W. 2011. *Optimization of Steel Roof Structure Design for 9m Span Length and 30 Derajat Pitch Based on ITS Strenght and Deflection*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Muhtarom, A. 2012. *Penggunaan ANN untuk Prediksi Tegangan pada Balok Kastela Hexagonal Bentang 1 Meter*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Rahadi, D. 2011. *Optimasi Berat Perluasan Struktur Atap Rangka Baja Bentang 9 Meter Susut 50 Derajat*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Firdausa, F. 2015. *Optimasi Dimensi Berat Profil Batang Bangunan Atas Jembatan Tipe Warren Tertutup dengan Metode Artificial Neural Network*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Luthfiansyah, G. 2011. *Optimasi Berat Perluasan Struktur Atap Rangka Baja Bentang 6 Meter Sudut 30 Derajat*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Marsiano. 2010. *Optimasi Perencanaan Rangka Atap Baja*. Program Studi Teknik Sipil FTSP ISTN Jakarta.
- Handoyo, M.D. 2011. *Optimasi Berat Perluasan Struktur Atap Rangka Baja Bentang 6 Meter Sudut 40 Derajat*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.

- Jung, M.S. 2011. *Optimasi Struktur Atap Rangka Baja Bentang 6 Meter dengan Sudut Atap 60 Derajat Ditinjau dari Segi Berat dan Lendutan*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Moghadas, dan Reza, K. 2012. *Prediction of Optimal Design and Deflection of Space Structures Using Neural Networks*. Hindawi Publishing Corporation. Mathematical Problems in Engineering. Article doi:10.1155/2012/712974
- Rao, S. 2007. Hybrid Neural Network Model for The Design of Beam Subjected to Bending and Shear. *Shadana* 32(5): 577-586.
- Iswandrata, R.S. 2011. *Optimasi Struktur Atap Rangka Baja Bentang 9 Meter dengan Sudut Atap 40 Derajat Ditinjau dari Segi Berat dan Lendutan*. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Suhairil. 2012. Frame Optimization using Neural Network. *International Journal on Advanced Since Engineering Information Technology* 2(1).