

KAJI NUMERIK DAN EKSPERIMENTAL LENDUTAN STRUKTUR TRUSS PROFIL UK 75

Onny S. Sutresman

Jurusan Teknik Mesin
Universitas Hasanuddin

Jl. Perintis Kemerdekaan km X, Makassar (90245)
Sulawesi Selatan, Indonesia

Phone: +62-411-584639, FAX: +62-411-586015, E-mail: mustafa7mesin@yahoo.co.id

ABSTRACT

This aim of the study was to numerically and experimentally analyze the displacement (deflection) of truss structure by using profile UK-75 of thickness 0.50 mm and 0.80 mm. The study used the finite element method for numeric analysis and testing of full scale load frame structure for experimental analysis. For the finite element method in numeric analysis, the structure was divided into 35 elements, whereas the testing of full scale load frame structure for experimental analysis was done by dividing the structure as much as 35 trusses. The supports used were a hinge and a roller with the material profile of UK-75 of thickness 0.50 mm and 0.80 mm with span length 10 m and height 3 m. The devices used in the study were linear variable differential transducers, data logger, load cell, and loading frame. The results of the study obtained that maximum displacement (deflection) value was 13.80 mm (numerically) and 15.30 mm (experimentally). The value of displacement (deflection) was greater than the value obtained numerically. The value of displacement (deflection) that occur were smaller than the maximum allowed displacement (deflection), hence the truss structure was safe from the requirements of strength and stiffness.

Keywords : Truss structure, deflection, finite element method

1. Pendahuluan

Untuk membangun sebuah rumah atau gedung diperlukan beberapa komponen, salah satunya adalah atap. Tugas atap adalah untuk melindungi penghuni bangunan dari sinar matahari yang terik, air hujan, dan cuaca yang berubah-ubah sesuai musimnya. Salah satu bagian atap yaitu strukturnya. Atap memiliki bermacam-macam model struktur, salah satunya adalah kuda-kuda atau *truss*. Fungsi *truss* menanggung semua beban atap. Maka dari itu material *truss* juga menentukan kuat dukung dari *truss* sendiri.

Beberapa tahun terakhir struktur *truss* kebanyakan masih dibuat dari kayu. Kayu sudah menjadi material kuda-kuda sejak lama, dikarenakan kayu mempunyai daya dukung yang memadai, dan juga kayu cukup tahan terhadap lingkungan sekitarnya, termasuk cuaca selama kayu tetap dijaga dalam kondisi kering (tidak lembab) dengan kondisi kelembaban yang kurang dari 20%. Meskipun demikian disadari bahwa kayu adalah bagian dari alam dimana umumnya dapat dipengaruhi dengan kondisi alam sekitarnya seperti kehadiran rayap, tikus, atau lumut yang dapat saja timbul pada permukaan kayu.

Keberadaan kayu yang mulai tidak tentu maka dianggap perlu untuk mencari material lain yang juga memadai. Salah satu material yang lebih mungkin

digunakan adalah *cold rolled steel* yang disebut juga *light steel frame* atau rangka baja ringan. Baja ringan mempunyai berat yang lebih ringan daripada kayu dan kekuatan yang setara dengan kayu kelas I (satu). Dewasa ini bahan material baja ringan dipadukan dengan material lain untuk mendapatkan keunggulan yang lebih lagi.

Profil UK - 75 diperkenalkan sebagai alternatif bahan untuk sistem struktur *truss* yang terbuat dari baja ringan yang dilapisi aluminium yang biasa disebut zinc aluminium. Kemanfaatan profil UK - 75 pada sistem struktur *truss* baja karena kehandalannya, diharapkan dapat mengisi kebutuhan alternatif komponen bangunan akan efisiensi waktu dan biaya pembangunan.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis lendutan struktur *truss* dengan menggunakan profil UK-75 tebal 0,50 mm dan 0,80 mm secara numerik dan eksperimental.

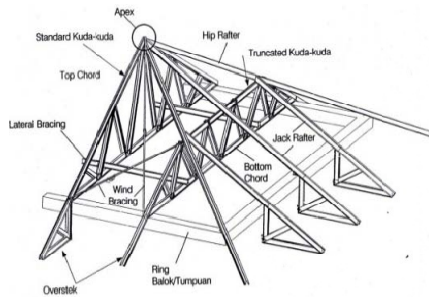
2. Tinjauan Pustaka

Pada umumnya konfigurasi struktur *truss* ditentukan dari bentuk atap dan denah atap yang akan ditutupi, dimana bentuk atap terbagi menjadi dua bentuk standar yaitu pelana dan perisai. Ujung atap pelana hanya mempunyai dua bidang atap yang miring dengan



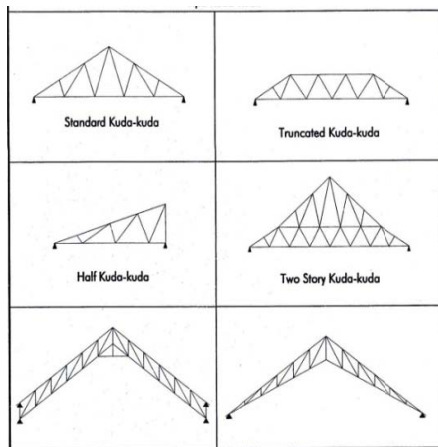
ujung dinding naik hingga menuju puncak atap. Sedangkan tipe perisai mempunyai tambahan bidang atap miring pada sisi di sebelahnya.

Terminologi konfigurasi kuda-kuda dapat dilihat pada gambar 1 berikut :



Gambar 1. Konfigurasi Struktur Atap

Sedangkan tipe struktur truss dapat dilihat pada gambar 2 berikut :



Gambar 2. Tipe Struktur Truss

Menurut peraturan pembebanan yang berlaku di Indonesia, beban desain standar meliputi :

1. Beban Mati.
Beban mati meliputi beban mati struktur, beban mati penutup atap, serta beban lain yang dipasang pada rangka kuda-kuda.
2. Beban Hidup.
Beban hidup yang sesuai dengan pedoman perencanaan pembebanan untuk rumah dan gedung SKBI-1.3.53.1987 untuk atap rumah adalah beban terbagi rata, beban terpusat berasal dari seorang pekerja dengan peralatan minimum sebesar 100 kg.
3. Beban Angin.
4. Beban Nok.

Beban nok dapat diperhitungkan sebagai beban terpusat pada apex kuda-kuda utama, dan sudut-sudut Top Chord pada truncated. Beban Nok merupakan beban mati struktur.

Kombinasi pembebanan yang digunakan adalah:

1. Beban Mati
2. Beban Mati + Beban Hidup (Hujan)
3. Beban Mati + Beban Hidup (Orang)
4. $0,75 \times [\text{Beban Mati} + \text{Beban Hidup (hujan)} + \text{Beban Angin (dari kiri)}]$
5. $0,75 \times [\text{Beban Mati} + \text{Beban Hidup (orang)} + \text{Beban Angin (dari kiri)}]$
6. $0,75 \times [\text{Beban Mati} + \text{Beban Hidup (hujan)} + \text{Beban Angin (dari kanan)}]$
7. $0,75 \times [\text{Beban Mati} + \text{Beban Hidup (orang)} + \text{Beban Angin (dari kanan)}]$

Menurut AISI akibat pembebanan angin, semua komponen kombinasi pembebanan dapat direduksi sebesar 25% sehingga kombinasi ke-4 hingga ke-7 semua kombinasi dikalikan dengan 0,75.

Metode elemen hingga adalah suatu bentuk metode yang digunakan sebagai salah satu solusi pendekatan untuk memecahkan berbagai permasalahan fisik, berupa analisis numerik teknik.

Prosedur perhitungan lendutan dengan metode elemen hingga adalah sebagai berikut :

1. Menentukan jumlah elemen, titik nodal, dan derajat kebebasan yang berhubungan dengan elemen tersebut.
2. Menyusun matriks kekakuan lokal (elemen), dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{bmatrix} - \\ k \end{bmatrix} = \frac{AE}{l} \begin{bmatrix} \lambda^2 & \lambda\mu & -\lambda^2 & -\lambda\mu \\ \lambda\mu & \mu^2 & -\lambda\mu & -\mu^2 \\ -\lambda^2 & -\lambda\mu & \lambda^2 & \lambda\mu \\ -\lambda\mu & -\mu^2 & \lambda\mu & \mu^2 \end{bmatrix} \quad \dots (1)$$

Dimana :

$$\lambda = \cos \phi$$

$$\mu = \sin \phi$$

3. Transformasi matriks kekakuan dari koordinat elemen (lokal) ke koordinat sistem (global). Matriks transformasi menggunakan persamaan :

$$[L] = \begin{bmatrix} \lambda & \mu & 0 & 0 \\ -\mu & \lambda & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda & \mu \\ 0 & 0 & -\mu & \lambda \end{bmatrix} \quad \dots (2)$$

4. Menyusun matriks kekakuan global, yang dikenal dengan pengglobalan matriks lokal. Matriks kekakuan global dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :



$$\begin{bmatrix} \bar{K} \end{bmatrix} = \sum_{s=1}^{\infty} [L]_s^T \begin{bmatrix} \bar{k} \end{bmatrix}_s [L]_s \quad \dots \quad (3)$$

$s = \text{nomor elemen} = 1, 2, \dots, \infty$

5. Memasukkan kondisi batas.
6. Memecahkan persamaan untuk memperoleh harga lendutan yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$\begin{Bmatrix} \bar{F} \end{Bmatrix} = [k] \{u\} \quad \dots \quad (4)$$

Dimana :
F = gaya
k = matriks kekakuan reduksi
u = lendutan

3. Metodologi Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Profil UK-75 dengan tipe 0.50 mm dan 0.80 mm.

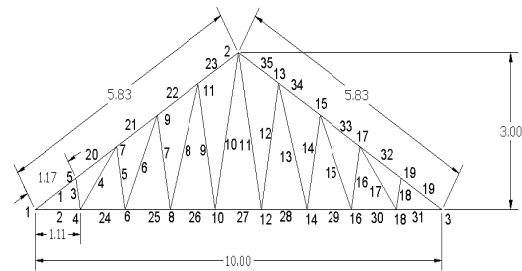
Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

- a. Rangka (*frame*) yang berfungsi sebagai pemegang struktur kuda-kuda dan *actuator (enerpac)*.
- b. Balok penyalur beban (*spreader beam*) yang berfungsi untuk menyalurkan beban dari *actuator (enerpac)* ke struktur kuda-kuda.
- c. *Actuator (enerpac)* yang berfungsi sebagai pemberi beban.
- d. Pompa hidrolik yang berfungsi sebagai penggerak *actuator (enerpac)*.
- e. Load Cell yang berfungsi sebagai pengubah nilai beban *actuator (enerpac)* dari analog menjadi digital.
- f. *Linear Variable Differential Transducers* sebagai alat pengukur nilai penurunan struktur kuda-kuda (lendutan).

Model benda uji disusun dari elemen-elemen yang terbuat dari profil tipe UK-75, dimana untuk batang atas dan batang bawah digunakan profil UK-75, 0,8 mm, sedangkan untuk batang tegak digunakan profil UK-75, 0,5 mm. Untuk sambungan antar elemen, pada masing-masing buhul digunakan tiga buah baut diameter 5 mm tanpa pelat, kecuali untuk sambungan batang bawah dengan batang atas menggunakan pelat sambungan U.

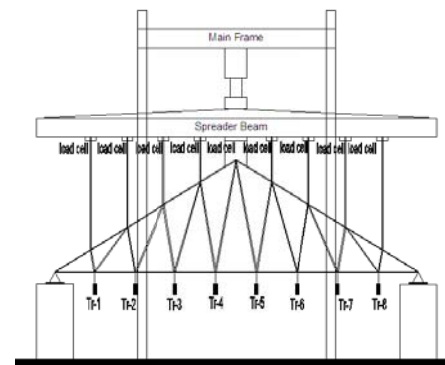
Model struktur *Truss* yang diuji merupakan kuda kuda rangka baja lapis aluminium dengan bentang efektif = 10 m dan tinggi = 3 m.

Secara skematis desain benda uji disajikan pada gambar 3 berikut :



Gambar 3. Desain Skema Struktur Truss Yang Direncanakan

Gambar 4. berikut ini merupakan setup pengujian struktur truss skala penuh.



Gambar 4. Detail Pemasangan Tranduser Pada struktur truss

Setelah struktur disusun seperti pada gambar 4 di atas, maka langkah-langkah pelaksanaan pengujian model uji skala penuh dilakukan sebagai berikut:

1. Struktur *Truss* dibebani mulai dari pembebanan awal 190 kg. Kemudian ditahan selama 5 menit dan diamati penurunannya. Apabila terjadi keruntuhan pada salah satu elemen batang, maka struktur rangka kuda-kuda dianggap gagal dan pengujian dihentikan.
2. Pembebanan terus diberikan secara bertahap dan penurunannya selalu dicatat sesuai dengan langkah (1) untuk beban 390 kg, 540 kg, 730 kg, 890 kg, 1090 kg, 1270 kg, 1420 kg, 1640 kg, 1870 kg.
2. Pembebanan dihentikan setelah terjadi gejala kerusakan pada salah satu elemen struktur truss.

4. Hasil Dan Pembahasan

Untuk menganalisis lendutan yang terjadi pada struktur truss ini didasarkan pada hasil pengamatan (secara eksperimental) pada tabel 1, serta hasil perhitungan dengan metode elemen hingga (secara numerik) pada tabel 2, prosentase kesalahan pada tabel 3, serta grafik hubungan antara beban dengan lendutan pada grafik 1 sampai 8 sebagai berikut :



Tabel 1. Hasil Pembacaan Tranduser (Lendutan Secara Eksperimental).

Beban Uji (kg)		Pembacaan Tranduser (Lendutan Secara Eksperimental) (mm)							
P total	P/9	Tr-1 y4	Tr-2 y6	Tr-3 y8	Tr-4 y10	Tr-5 y12	Tr-6 y14	Tr-7 y16	Tr-8 y18
190	21,11	0,51	1,64	1,96	2,18	2,20	2,00	1,66	0,52
390	43,33	1,13	2,80	3,32	3,67	3,69	3,40	2,83	1,15
540	60,00	1,45	3,65	4,39	4,73	4,76	4,45	3,70	1,46
730	81,11	1,98	4,75	5,71	6,14	6,16	5,76	4,80	2,00
890	98,89	2,41	5,73	6,80	7,49	7,50	6,87	5,82	2,48
1090	12,11	2,95	6,83	8,27	8,92	9,00	8,36	6,90	3,00
1270	141,11	3,54	7,94	9,50	10,40	10,45	9,62	8,00	3,65
1420	157,78	3,97	8,85	10,60	11,53	11,63	10,76	8,93	4,10
1640	182,22	4,52	10,16	12,14	13,30	13,40	12,40	10,40	4,63
1870	207,78	5,17	11,47	13,80	15,17	15,30	14,10	11,70	5,30

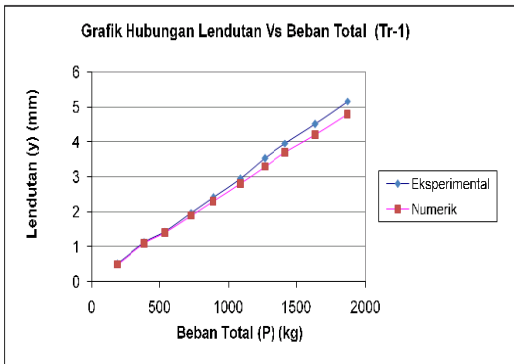
Tabel 2. Hasil Perhitungan Lendutan dengan MEH (Lendutan Secara Numerik).

Beban Uji (kg)		Hasil Perhitungan dengan MEH (Secara Numerik) (mm)							
P Total	P/9 (kg)	Tr-1 y4	Tr-2 y6	Tr-3 y8	Tr-4 y10	Tr-5 y12	Tr-6 y14	Tr-7 y16	Tr-8 y18
190	21,11	0,50	1,60	1,90	2,10	2,10	1,90	1,60	0,50
390	43,33	1,10	2,70	3,20	3,50	3,50	3,20	2,70	1,10
540	60,00	1,40	3,50	4,20	4,50	4,50	4,20	3,50	1,40
730	81,11	1,90	4,50	5,40	5,80	5,80	5,40	4,50	1,90
890	98,89	2,30	5,40	6,40	7,00	7,00	6,40	5,40	2,30
1090	12,11	2,80	6,40	7,70	8,30	8,30	7,70	6,40	2,80
1270	141,11	3,30	7,40	8,80	9,60	9,60	8,80	7,40	3,30
1420	157,78	3,70	8,20	9,80	10,60	10,60	9,80	8,20	3,70
1640	182,22	4,20	9,40	11,20	12,20	12,20	11,20	9,40	4,20
1870	207,78	4,80	10,60	12,70	13,80	13,80	12,70	10,60	4,80

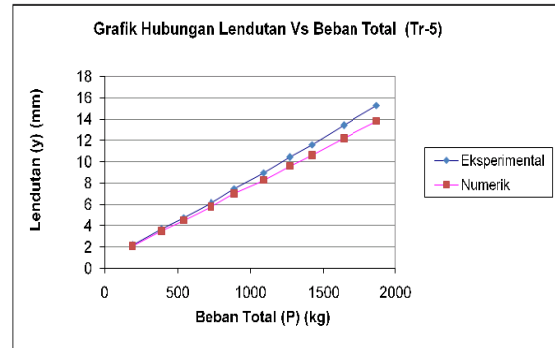
Tabel 3. Prosentase Kesalahan untuk Lendutan.

Beban Uji (kg)		Prosentase Kesalahan (%)							
P total	P/9 (kg)	y4	y6	y8	y10	y12	y14	y16	y18
190	21.11	1.96	2.44	3.06	3.67	4.55	5.00	3.61	3.85
390	43.33	2.65	3.57	3.61	4.63	5.15	5.88	4.59	4.35
540	60.00	3.45	4.11	4.33	4.86	5.46	5.62	5.41	4.11
730	81.11	4.04	5.26	5.43	5.54	5.84	6.25	6.25	5.00
890	98.89	4.56	5.76	5.88	6.54	6.67	6.84	7.22	7.26
1090	121.11	5.08	6.30	6.89	6.95	7.78	7.89	7.25	6.67
1270	141.11	6.78	6.80	7.37	7.69	8.13	8.52	7.50	9.59
1420	157.78	6.80	7.34	7.55	8.07	8.86	8.92	8.17	9.76
1640	182.22	7.08	7.48	7.74	8.27	8.96	9.68	9.62	9.29
1870	207.78	7.16	7.59	7.97	9.03	9.80	9.93	9.40	9.43

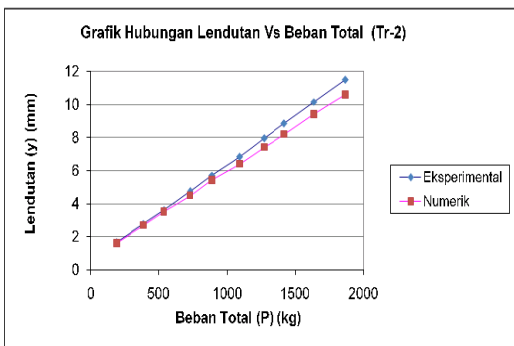




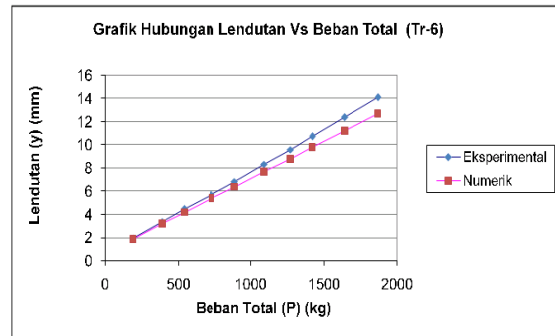
Grafik 1. Hubungan Beban Total Vs Lendutan (Tr-1)



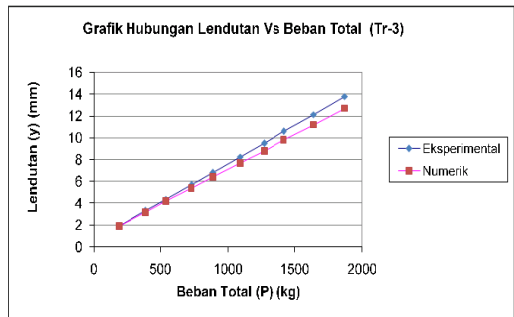
Grafik 5. Hubungan Beban Total Vs Lendutan (Tr-5)



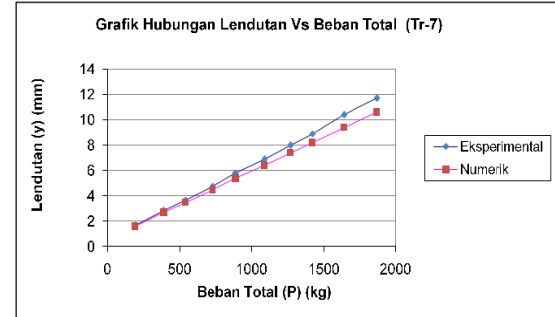
Grafik 2. Hubungan Beban Total Vs Lendutan (Tr-2)



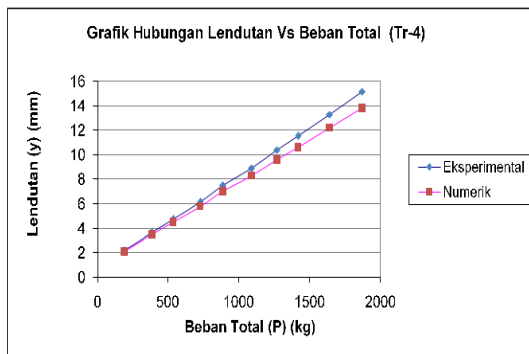
Grafik 6. Hubungan Beban Total Vs Lendutan (Tr-6)



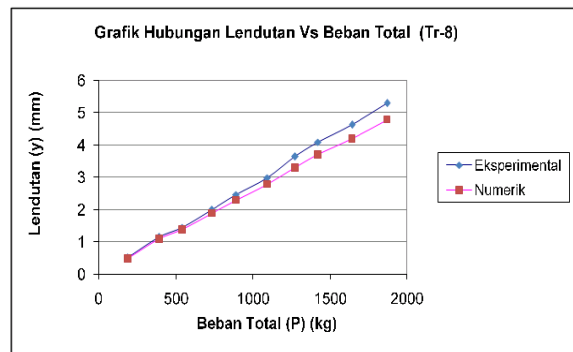
Grafik 3. Hubungan Beban Total Vs Lendutan (Tr-3)



Grafik 7. Hubungan Beban Total Vs Lendutan (Tr-7)



Grafik 4. Hubungan Beban Total Vs Lendutan (Tr-4)



Grafik 8. Hubungan Beban Total Vs Lendutan (Tr-8)



Lendutan yang akan dianalisis adalah lendutan pada titik nodal yang dipasang transduser.

Dari grafik 1 sampai 8 diperoleh bahwa semakin besar pembebanan, maka lendutannya (defleksinya) juga semakin besar. Lendutan (defleksi) terbesar terjadi pada pembebanan total 1870 kg (207,78 kg pada masing-masing titik nodal bagian atas). Untuk analisis secara numerik, pada pembebanan ini, lendutan (defleksi) pada masing-masing titik buhul (nodal) yang dipasang transduser dari yang terbesar adalah 13,80 mm (titik nodal 10 dan titik nodal 12), 12,70 mm (titik nodal 8 dan titik nodal 14), 10,60 mm (titik nodal 6 dan titik nodal 16), 4,80 mm (titik nodal 4 dan titik nodal 18). Sedangkan untuk analisis secara eksperimental, pada pembebanan yang sama, lendutan (defleksi) pada masing-masing titik buhul (nodal) yang dipasang transduser dari yang terbesar adalah 15,30 mm (titik nodal 12), 15,17 mm (titik nodal 10), 14,10 mm (titik nodal 14), 13,80 mm (titik nodal 8), 11,70 mm (titik nodal 16), 11,47 mm (titik nodal 6), 5,30 mm (titik nodal 18), 5,17 mm (titik nodal 4).

Berdasarkan persyaratan Pedoman Perencanaan Bangunan Baja untuk Bangunan Gedung, SNI 1729-189-F, lendutan (defleksi) maksimum yang diizinkan akibat beban mati dan beban hidup ditentukan sebesar $1/500 L$. Sehingga, untuk bentang 10 m yang diambil dalam penelitian ini, lendutan (defleksi) maksimum yang diizinkan adalah sebesar $y_{maks} = (1/500) \times 10000 = 20$ mm. Dari hasil analisis numerik maupun secara eksperimental, diperoleh lendutan (defleksi maksimum) adalah 13,80 mm (secara numerik) dan 15,30 mm (secara eksperimental). Kedua lendutan (defleksi) maksimum yang terjadi lebih kecil dari defleksi maksimum yang diizinkan, (13,80 mm dan 15,30 mm < 20 mm). Dengan demikian struktur truss aman dari syarat kekuatan dan kekakuan.

Dari hasil analisis, baik secara numerik maupun secara eksperimental diperoleh bahwa lendutan (defleksi) yang diperoleh secara eksperimental lebih besar dari pada yang diperoleh secara numerik. Tetapi hasil yang diperoleh secara eksperimental tidak jauh dengan hasil yang diperoleh secara numerik, seperti yang ditunjukkan pada tabel 3.

5. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan, pengujian dan analisis data, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Lendutan (defleksi) yang terjadi mengalami peningkatan seiring dengan penambahan pembebanan. Untuk analisis numerik, nilai lendutan (defleksi) maksimum adalah 13,80 mm, sedangkan untuk analisis eksperimental, nilai maksimum adalah 15,30 mm.
2. Nilai lendutan (defleksi) dan yang diperoleh secara eksperimental lebih besar jika dibandingkan dengan nilai yang diperoleh secara numerik.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini terlaksana di bawah bimbingan Prof. Dr. Ir. H. Hammada Abbas, MSME dan Rafiuddin Syam, ST, M. Eng, Ph.D, keduanya berasal dari Universitas Hasanuddin, Makassar.

Pada kesempatan ini kami menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah memberikan bimbingan dan petunjuk, terutama kepada Prof. Dr. Ir. H. Hammada Abbas, MSME, dan Rafiuddin Syam, ST, M. Eng, Ph.D selaku pembimbing utama atas segala waktu, kesabaran, toleransi, pemahaman, dorongan dan bimbingannya selama penelitian dan penyusunan laporan ini hingga selesai.

Daftar Pustaka

- [1] American Galvanizers Association, Zinc Coating, *Peraturan Muatan Indonesia 1970 N.I-18*, Cetakan keempat, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta, 1980.
- [2] Bachtiar Ibrahim, *Rencana dan Estimate Real Of Cost*, Cetakan ketiga, PT. Bumi Aksara, Jakarta, 2001.
- [3] Darmawan Harsokoesoemo, Satryo Soemantri, *Metode Elemen Hingga*, Teknik Mesin ITB, Bandung, 1985.
- [4] Heinz Frick, *Ilmu Konstruksi Bangunan 2*, PT. Kanisius Yogyakarta, 1980.
- [5] Revi Renansiva, Sabari, *Dasar-Dasar Perencanaan Kuda-Kuda*, PT. Jindo Metal Industries, Bandung, 2003.
- [6] Sopyan Haristian, *Prosedur Penyiapan dan Pemasangan Rangka Atap UK*, PT Jindo Metal Industries, 2003.

