

KAJIAN STRUKTUR PENDOPO AKIBAT PENAMBAHAN BEBAN PENUTUP ATAP STUDI KASUS BANGSAL KEPATIHAN YOGYAKARTA

Prasetya Adi

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Janabadra Yogyakarta
Jl. Tentara Rakyat Mataram 55-57 Yogyakarta 55231 Telp/Fax (0274) 543676
pras_atiek@yahoo.com

ABSTRACT

Pendopo is one of Java traditional building. All of structural component of pendopo are timber except foundation structure called umpak. Traditional timber connection system is used for element connection. Lightweight of roofing materials usually used for roofing system.
Bangsal Kepatihan Yogyakarta is used for this research, because large deflection and deformation of the structure caused by heavy roofing material replacement and Yogyakarta earthquake 2006.
The structure of pendopo is safe under all of load combination although the bending stresses and axial stresses nearly the allowable stress. Placing strengthening steel for element connection system and shear connector for beam element is possible to optimize the structural component.

Keyword : pendopo, structure, roofing material

PENDAHULUAN

Pendopo adalah salah satu jenis bangunan tradisional Jawa. Struktur bangunan pendopo seluruhnya terbuat dari kayu kecuali bagian umpak atau fondasi yang menggunakan batu kali sejenis yang dipergunakan sebagai material candi. Sistem sambungan kayu menggunakan lubang, purus, takikan serta pasak. Rangka atap pendopo tidak menggunakan kuda-kuda melainkan dengan balok sebagai komponen horizontal dan ander sebagai komponen vertikal. Penutup atap pendopo umumnya menggunakan bahan ringan seperti atap sirap atau genting tanah liat.

Banyak bangunan pendopo yang sudah tua sehingga harus dipelihara dengan baik karena merupakan benda cagar budaya (BCB). Bangsal Kepatihan yang dibangun pada masa Hamengku Buwono I jelas masuk dalam BCB.

Seiring dengan perkembangan, banyak penutup atap pendopo yang diganti menggunakan bahan berat seperti genteng beton, genteng keramik dan sebagainya. Penggantian ini mempunyai konsekuensi yaitu peningkatan beban sendiri yang akan menambah beban struktur dan meningkatnya

beban gempa yang akan diterima. Efek dari penggantian tersebut dapat dirasakan langsung berupa kegagalan struktur, atau jangka panjang berupa lendutan yang berlebihan. Efek lain yang lebih berbahaya adalah jika terjadi gempa. Saat ini penutup atap sudah diganti dari genteng tanah liat menjadi genteng keramik.

Rumah merupakan manifestasi dari kesatuan makrokosmos dan mikrokosmos serta pandangan hidup masyarakat Jawa. Pembagian ruangan pada bangunan Jawa didasarkan atas klasifikasi simbolik yang diantaranya berdasarkan dua kategori yang berlawanan atau saling melengkapi yang oleh Tjahjono dalam Agung (2008) disebut sebagai dualitas (*duality*). Selain itu ada pemusatan (sentralitas) dalam tata ruang bangunan.

Bangunan Tradisional Jawa menurut Dakung dalam Agung (2008) dibedakan menjadi lima klasifikasi menurut bentuk atapnya, yaitu: atap Panggang Pe, atap Kampung, atap Limasan, Atap Joglo dan atap Tajug. Dari klasifikasi tersebut terdapat hirarki kesempurnaan atau keutamaan dilihat dari kompleksitas strukturnya, teknik penggerjaannya, jumlah material bangunan,

biaya serta tenaga yang digunakan. Menurut Tjahjono dalam Agung (2008) perbedaan bentuk pada rumah Jawa menunjukkan status sosial, sedangkan persamaan dalam susunan ruang menandakan adanya pandangan hidup yang diwujudkan melalui aturan-aturan dalam kehidupan rumah tangga.

Beban gempa statik ekivalen adalah beban statik yang dianggap seolah-olah bekerja pada struktur secara aktif, beban tersebut baru muncul jika ada percepatan tanah akibat beban gempa. Berdasarkan SNI 03–1762–2002 (1) ditetapkan untuk bangunan yang masuk kategori beraturan direkomendasikan untuk menggunakan analisis beban gempa statik ekivalen. Cara statik ekivalen adalah cara analisis statik 3 dimensi (3D) linier pada struktur bangunan yang beraturan yang dianggap berperilaku sebagai struktur 2 dimensi (2D). Keteraturan tersebut akan berakibat jika bangunan digetarkan, pada salah satu sumbu utamanya akan dominan gerak translasi ragam getar pertama saja sedangkan ragam getar ke-2 akan dominan dalam gerak translasi pada arah sumbu utama yang lain. Struktur 3D pada bangunan yang masuk kategori beraturan akan berperilaku sebagai struktur 2D dalam masing-masing arah sumbu utamanya. Perbedaan tingkat ragam getar pada kedua arah sumbu menyebabkan respon dinamik struktur hanya ditentukan oleh ragam getar pertama dimana bekerja gaya geser dasar gempa terbesar, dan dapat ditampilkan sebagai akibat dari beban gempa statik ekivalen.

Jika beban geser dasar gempa bekerja tidak sejajar salah satu sumbu utama, maka perilaku 3D diantisipasi dengan memasukkan beban gempa dasar penuh pada sumbu yang ditinjau dan 30% pada sumbu yang tegak lurus. Bangunan Pendopo Joglo dengan bentuk bangunan yang sederhana dapat dikelompokkan dalam bangunan dengan kategori beraturan seperti terdapat dalam ketentuan dalam pasal 4.2.1 SNI 03 – 1762 – 2002. Langkah selanjutnya dilakukan analisis respon bangunan berdasarkan analisis beban statik ekivalen dengan meninjau struktur secara 2D pada satu arah sumbu utama. Gaya gempa menggeser pondasi dengan percepatan tertentu, dan bangunan merespon getaran tersebut berdasarkan sifat strukturnya. Berat massa mengakibatkan bekerjanya gaya inersia yang arahnya berlawanan dengan arah

datangnya gaya gempa, kekakuan struktur mengakibatkan timbulnya gaya pegas dan kecepatan mengakibatkan terjadi gaya redam. Peredaman adalah mekanisme yang menguntungkan bagi struktur bangunan. Peredaman elastik dihasilkan oleh sifat lentur-elastik struktur, sedangkan peredaman plastis dihasilkan oleh sifat daktail struktur. Konsep analisis beban statik ekivalen didasarkan pada filosofi perencanaan struktur yaitu :

- a. Bangunan tidak rusak sama sekali terhadap getaran gempa kecil
- b. Boleh rusak terhadap getaran gempa besar tapi tidak robuh

SNI 03 – 1762 – 2002 menetapkan gempa rencana dengan periode ulang 500 tahun dan umur bangunan 50 tahun, maka resiko terjadinya gempa rencana adalah 10%. Pada suatu tingkat daktilitas tertentu struktur akan melakukan peleahan (pembentukan sendi plastis) pertama apabila terjadi beban yang melampaui kekuatan elastiknya akibat pengaruh gempa rencana. Struktur yang berperilaku elastik akan memikul beban seluruh gempa rencana ekivalen V_c , sedangkan struktur yang berperilaku daktail akan melakukan peleahan pertama pada saat beban sebesar $V_y = V_c / \mu$. Faktor daktilitas μ mereduksi beban gempa, sehingga struktur menerima beban yang lebih kecil dari beban gempa rencana. Semakin daktail sebuah struktur maka reduksi beban gempa semakin besar. SNI 03 – 1762 – 2002 menetapkan bahwa untuk struktur yang daktail penuh $\mu = 5,3$, sedangkan struktur yang berperilaku elastik penuh $\mu = 1$. Struktur bangunan direncanakan terhadap beban gempa nominal statik ekivalen V_n . V_n ini lebih kecil dari V_y karena direduksi dengan faktor kuat lebih f_1 . Faktor kuat lebih ini diberikan karena dalam kenyataannya selalu terjadi kekuatan unsur-unsur struktur yang berlebihan karena jumlah tulangan atau profil yang terpasang lebih besar dari yang diperlukan. Rumus beban geser dasar nominal statik ekivalen (V_n):

$$V_n = (C_1 \cdot I \cdot W_t / R) \cdot W_t$$

Beban geser dasar kemudian didistribusikan menjadi beban gempa nominal statik ekivalen (F) pada seluruh tinggi bangunan dengan persamaan :

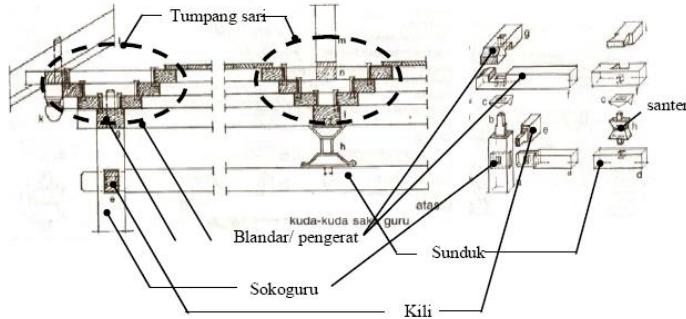
$$F_i = (W_i \cdot z_i / \sum W_i \cdot Z_i) \cdot V_n$$

Komponen fondasi pada pendopo adalah umpak. Komponen kolom pada pendopo terdiri dari Soko Guru, Soko Penanggap dan

Soko Penitih sedangkan komponen balok adalah molo, tumpang sari sunduk, kili dan blandar.

Beban horizontal pada struktur pendopo berasal dari beban angin dan beban gempa. Berbeda dengan beban vertikal yang dapat terdistribusi ke setiap kolom, beban horizontal hanya ditahan oleh sektor Soko Guru. Hal ini

terjadi karena pada sambungan antara blandar dan Soko Penanggap atau blandar dan Soko Penitih bukan merupakan sambungan momen. Bagian sektor guru terdapat tumpang sari berupa susunan balok membentuk kerucut terbalik yang sangat kaku, balok sunduk dan kili yang disatukan dengan blandar oleh santen, sehingga struktur menjadi kaku.

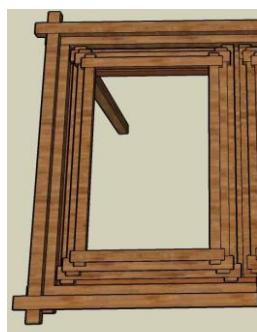


Sumber: Frick, Heinz (1997), Pola Struktural dan teknik bangunan di Indonesia, halaman 118

Sumber: Frick, Heinz (1997), Pola Struktural dan teknik bangunan di Indonesia, halaman 117

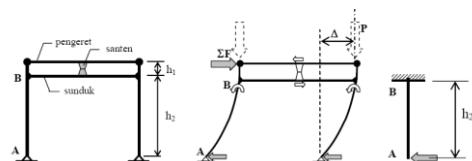
Gambar 1. Sistem struktur balok tumpang sari

Balok tumpangsari mempunyai kekuatan horizontal yang tinggi sehingga mampu menjadi tumpuan usuk. Pada bagian titik sudut mempunyai kekuatan yang lebih tinggi mampu mendukung jurai (dudur) dengan baik.

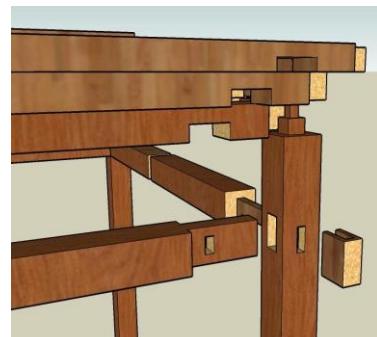


Gambar 2. Perspektif balok tumpang sari

Seperti telah disebutkan terdahulu bahwa stabilitas terhadap beban horizontal Pendopo Joglo berpusat pada sistem struktur area soko guru, namun perlu ditinjau akibat beban gempa. Peninjauan ini diperlukan karena bagian atas soko guru terdapat balok tumpangsari dengan berat yang cukup besar. Beban gempa juga dapat berasal dari sektor soko guru – soko penanggap serta bagian pringgitan, mengingat bagian ini terkait dengan soko guru dalam arah horizontal.



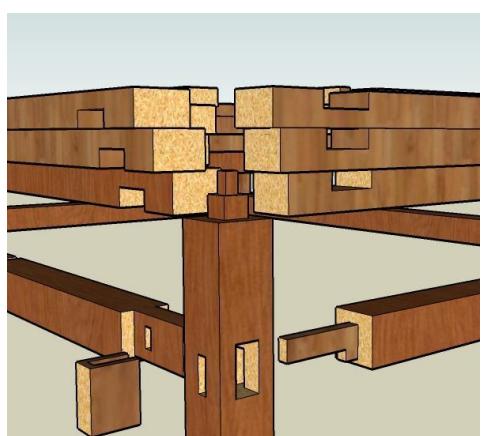
Gambar 3. Idealisasi struktur pendopo saat menerima beban gempa



Gambar 4. Sistem sambungan balok sunduk, balok kili dan kolom

Sistem sambungan balok kili dan kolom menggunakan purus dan lubang. Secara teknis akan menguntungkan jika balok kili memiliki bentang yang lebih kecil, karena balok kili memiliki purus yang kecil (daripada sunduk). Balok kili ini juga berfungsi

mengunci balok sunduk sehingga tidak tertarik keluar dari purus. Pengunci balok kili menggunakan penutup dan dipasangi pasak.



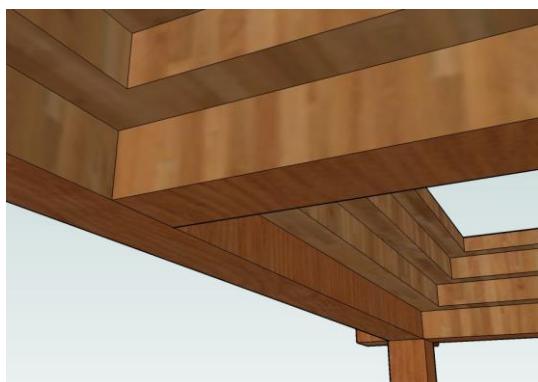
Gambar 5. Sistem sambungan balok tumpang sari

Sambungan balok tumpangsari berupa sambungan sudut dengan takikan. Pada sambungan ini juga terdapat gimbal atau bagian kayu yang menjorok. Secara teknis gimbal ini berfungsi sebagai perluasan bidang geser.

Sambungan kolom (Soko) dengan umpak umumnya menggunakan sambungan purus dan lubang. Purus dan lubang berfungsi menahan geser, tetapi tidak dapat digunakan untuk menahan momen. Sistem sambungan tersebut akan berperilaku sebagai sendi. Perilaku sendi tersebut menguntungkan bagi struktur umpak, karena umpak hanya akan menerima beban vertikal dan geser, sedangkan momen akan ditahan oleh sistem soko guru dan balok tumpangsari. Geser yang terjadi pada umpak dapat juga menimbulkan momen tetapi kecil karena ketinggian umpak yang relatif kecil.



Gambar 6. Sistem kolom dan umpak



Gambar 7. Sistem balok melintang dan balok pengerat

Sambungan bagian ini menggunakan takikan, dengan takikan menghadap ke atas pada balok pengerat dan takikan menghadap ke bawah pada balok melintang.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan pada bangunan Pendopo Bangsal Kepatihan Yogyakarta yang terletak di Jalan Malioboro.

Penelitian dilakukan dengan cara pengukuran langsung pada bangunan eksisting meliputi pengukuran dimensi bangunan, dimensi komponen struktur dan beban yang ada, selanjutnya di analisis dengan bantuan perangkat lunak komputer untuk mengetahui gaya-gaya yang bekerja.



Gambar 8. Bagan alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Menurut hasil pengamatan, sistem struktur Pendopo Bangsal Kepatihan sesuai dengan referensi yang ada. Saat ini kondisi beberapa komponen struktur menunjukkan ketidaksempurnaan antara lain :

1. Terdapat kolom miring
2. Terdapat balok melengkung
3. Terdapat kayu keropos
4. Terdapat soko tambahan
5. Terdapat beberapa perkuatan baja
6. Kondisi umpak yang tidak seragam (sudah ada beberapa perubahan sistem karena perbaikan)

Kemiringan soko-soko jika diambil rata-rata sebesar 4,6 cm diukur pada ketinggian soko 4,5 m.

Kemiringan tersebut belum dapat dipastikan kapan mulai terjadi, apakah sejak

awal sudah terdapat kemiringan, seiring berjalannya umur bangunan, penambahan beban atau akibat beban gempa tahun 2006. Jika dilihat dari nilai rata-rata kemiringan belum terlalu besar jika dibandingkan tinggi soko. Secara keseluruhan kemiringan mengarah ke Selatan, karena pada sisi Utara bangunan terdapat Bale Ageng dengan dinding yang cukup tebal sehingga memiliki kekakuan yang tinggi. Kemiringan soko tersebut juga bisa diakibatkan oleh melonggaranya sistem sambungan karena penyusutan kayu. Seperti telah disebutkan bahwa sistem tahanan horizontal terdapat pada sektor soko guru, sehingga kaitan ke bagian tersebut melonggar maka soko penanggap dan peniti menjadi miring. Kemungkinan kemiringan soko peniti akibat desakan atap bagian pringgitan juga kecil, karena sistem penyangga atap sudah menggunakan kuda-kuda. Pada soko penanggap, kemiringan bisa terjadi akibat beban atap, karena pada bagian ini tidak terdapat kuda-kuda, melainkan dudur dan usuk yang dapat menekan soko ke arah horizontal, sehingga kekuatan arah horizontal ditentukan oleh kaitan usuk dan dudur ke sektor soko guru.

Seperti pada kajian soko, kapan mulai melengkungnya balok tidak diketahui dengan pasti. Melengkungnya balok sangat mungkin terjadi karena bentang yang besar (5 m sampai 7 m). Pada bentang besar, kekuatan balok mungkin masih dapat teratas namun kekakuan balok kurang sehingga menimbulkan kelengkungan. Melengkungnya balok selain akibat beban juga bisa diakibatkan oleh kelembaban (kelengkungan balok yang ada di bawah talang datar).

Struktur Pendopo Bangsal Kepatihan terbuat dari kayu jati. Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia 1961 menyebutkan bahwa kayu Jati termasuk kayu kelas kuat II dan kelas awet I. Menurut Lembaga Penelitian Hasil Hutan Indonesia, kelas awet kayu digolongkan menjadi 5 yaitu :

Tabel 1. Kondisi keawetan kayu

Kelas Awet	I	II	III	IV	V
Selalu berhubungan dengan tanah lembab	8 thn	5 thn	3 thn	Sangat pendek	Sangat pendek
Hanya terbuka terhadap angin dan iklim tetapi dilindungi thd pemasukan	20 thn	15 thn	10 thn	Beberapa tahun	Sangat pendek

Kelas Awet	I	II	III	IV	V
air dan kelemasan					
Dibawah atap tidak berhubungan dengan tanah lembab dan dilindungi terhadap kelengasan	Tak terbatas	Tak terbatas	Sangat lama	Beberapa tahun	Sangat pendek
Seperti di atas tetapi dipelihara dengan baik, dicat dan sebagainya	Tak terbatas	Tak terbatas	Tak terbatas	20 thn	20 thn
Serangan oleh rayap	tidak	jarang	Agak cepat	Sangat cepat	Sangat cepat
Serangan oleh bubuk kayu kering	tidak	tidak	Hampir tidak	Tak seberapa	Sangat cepat

Struktur kayu Bangunan Bangsal Kepatihan termasuk kategori “di bawah atap tidak berhubungan dengan tanah lembab dan dilindungi terhadap kelengasan, dipelihara dengan baik dan di cat” sehingga secara teori bangunan memiliki umur tak terbatas.

Adapun jika terjadi kerusakan pada sebagian struktur, seperti hasil pengamatan, terjadi karena kebocoran yang tidak diketahui (merembes dalam kayu). Kebocoran baru diketahui setelah terjadi tetesan air, padahal kayu sudah terlanjur terganggu tingkat kekeringannya.

Jika dilihat dari sisi arsitektur bangunan Jawa, pada beberapa tempat terdapat soko tambahan. Keberadaan soko tambahan ini jika ditinjau dari sisi struktur adalah untuk melakukan perkuatan. Soko tambahan yang diletakkan di tengah bentang difungsikan untuk mengatasi balok yang melengkung. Beberapa bagian terdapat soko tambahan yang diletakkan hanya sejarak 1 m dari soko asli, soko tambahan ini secara struktur dimungkinkan untuk mengatasi beban geser pada tumpuan balok.



Gambar 9. Soko tambahan dan perkuatan baja

Pada pertemuan balok dan soko terdapat plat baja yang digunakan sebagai perkuatan. Melihat posisinya, plat baja ini digunakan untuk perkuatan sambungan pertemuan.

Analisis struktur

Kolom soko guru :

$$\text{Gaya aksial} = 76.90 \text{ kN} = 7690 \text{ kg}$$

$$\text{Penampang} = 27 \times 27 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tegangan} = \frac{7690}{27 \times 27} = 10.54 \text{ kg/cm}^2 < 85 \text{ kg/cm}^2$$

Kesimpulan =soko guru aman

Kolom soko penanggap :

$$\text{Gaya aksial} = 50.46 \text{ kN} = 5046 \text{ kg}$$

$$\text{Penampang} = 21 \times 21 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tegangan} = \frac{5046}{21 \times 21} = 11.44 \text{ kg/cm}^2 < 85 \text{ kg/cm}^2$$

Kesimpulan =soko penanggap aman

Kolom soko penitih :

$$\text{Gaya aksial} = 30.38 \text{ kN} = 3038 \text{ kg}$$

$$\text{Penampang} = 21 \times 21 \text{ cm}^2$$



$$\text{Tegangan} = \frac{3038}{21 \times 21} = 6.88 \text{ kg/cm}^2 < 85 \text{ kg/cm}^2$$

Kesimpulan = soko penitih aman

Balok

$$\text{Momen} = 6.13 \text{ kNm} = 6130 \text{ kgcm}$$

$$\text{Penampang} = 20 \times 15 \text{ cm}^2$$

$$\text{Tegangan} = \frac{6130 \times 7.5}{\frac{1}{12} \times 20 \times 15^3} = 81.7 \text{ kg/cm}^2 < 100$$

$$\text{kg/cm}^2$$

Kesimpulan = balok aman

Bangsal Kepatihan secara struktur aman, namun menunjukkan tegangan yang sudah mendekati tegangan ijin. Hal ini jika dibiarkan akan berakibat kurang baik bagi struktur. Tegangan yang terjadi tersebut juga sudah menimbulkan permasalahan dari sisi arsitektur yaitu defleksi yang berlebihan. Penyelesaian dengan cara mengganti elemen sulit dilakukan karena bahan yang sekualitas sudah sulit didapatkan, juga karena bangunan merupakan cagar budaya (BCB) maka sedapat mungkin tidak dilakukan penggantian elemen.

Penanganan dapat dilakukan dengan pengurangan beban dan optimalisasi elemen yang ada. Pengurangan beban dilakukan terutama pada beban atap, mengingat berat sendiri genteng keramik yang besar ($50 - 60 \text{ kg/m}^2$). Jenis genteng yang dapat disarankan adalah jenis genteng metal dengan berat sendiri sekitar 6 kg/m^2 . Pengurangan berat atap diharapkan dapat mengurangi beban balok blandar mengingat pada struktur pendopo, semua beban atap disangga oleh balok sebelum dilanjutkan ke kolom, karena struktur pendopo tidak terdapat kuda-kuda melainkan hanya ander yang disangga balok.

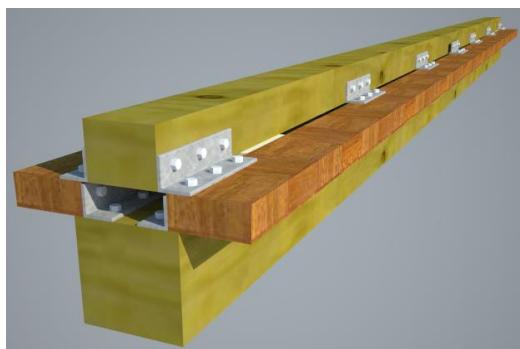
Pada kasus Bangsal Kepatihan, terdapat kuda-kuda yang tidak berada di atas kolom, melainkan di atas blandar yang menjadikan blandar melengkung.

Elemen balok yang terdapat di Bangsal Kepatihan masih dapat di optimalkan. Beberapa penyelesaian yang dapat dilakukan untuk optimalisasi elemen adalah dengan menggabungkan balok blandar. Balok blandar terpasang terdiri dari 4 balok yaitu bagian bawah, sayap-sayap tepi (2 buah) untuk menahan plafon, dan balok atas yang menyangga usuk. Balok ini jika digabungkan dengan komponen yang dapat menahan geser

(plat baja) akan menjadi elemen yang lebih kaku dan lebih kuat.

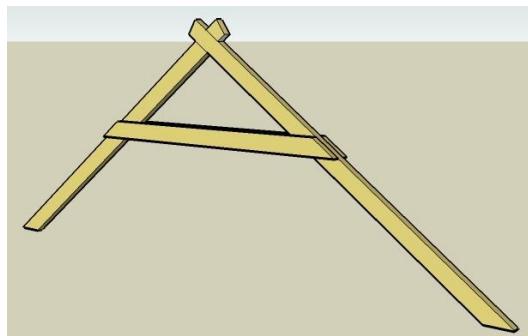


Gambar 10. Pemodelan kuda-kuda yang ditumpu blandar

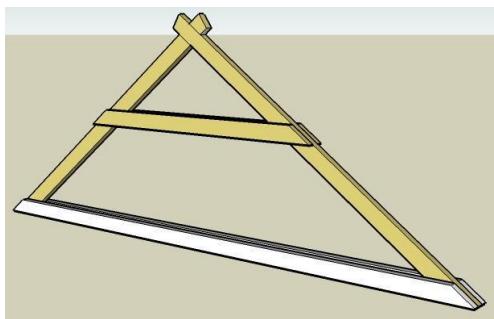


Gambar 11. Penggabungan balok

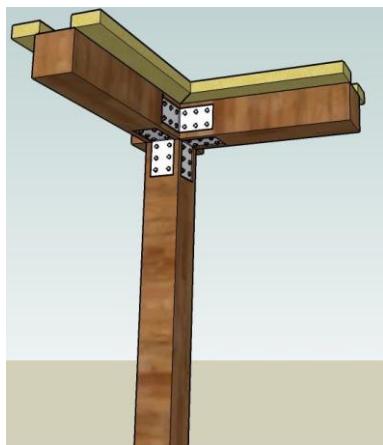
Kuda-kuda yang ada juga tidak memiliki batang tarik di bagian bawah (hanya bagian tengah) sehingga perlu dioptimalkan dengan menambahkan batang tarik.



Gambar 12. Kuda-kuda tanpa batang tarik bawah (model dan kenyataan)



Gambar 13. Penambahan batang tarik (model)



Gambar 14. Penambahan plat baja pada sambungan (model)

KESIMPULAN

1. Pada beban tetap, tegangan aksial pada soko guru maupun soko penanggap masih di bawah tegangan ijin kayu (100 kg/cm^2)
2. Pada beban tetap, tegangan lentur pada balok blandar sudah mendekati tegangan ijin kayu (100 kg/cm^2)
3. Pada beban gempa dan angin, tegangan aksial pada soko guru maupun soko penanggap masih di bawah tegangan ijin kayu ($1.5 \times 100 \text{ kg/cm}^2$)
4. Pada beban gempa dan angin, tegangan lentur pada balok blandar sudah mendekati tegangan ijin kayu ($1.5 \times 100 \text{ kg/cm}^2$)
5. Lendutan batang sebesar 1.85 cm, lendutan ini berdasarkan kayu dalam kondisi standar. Kondisi dapat berbeda dengan di lapangan jika dimensi kayu terdapat perbedaan yang berakibat inersia berubah atau kelembaban kayu/keropos yang dapat menurunkan modulus elastisitas.
6. Optimasi elemen struktur masih dapat dilakukan

DAFTAR PUSTAKA

- Bisatya W. Maer, 2008, **Respon Pendopo Joglo Yogyakarta Terhadap Getaran Gempa Bumi**, Dimensi Teknik Arsitektur Vol. 36, No. 1, Juli 2008: 1 - 9
- Departemen Pekerjaan Umum, 1961, **Peraturan Konstruksi Kayu Indonesia**, Yayasan Lembaga Pendidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1987, **Pedoman Perencanaan Pembebatan Untuk Rumah Dan Gedung SKBI-1.3.53.1987**, Yayasan Lembaga Pendidikan Masalah Bangunan, Bandung.

Departemen Pekerjaan Umum, 2002, **Standar Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung SNI – 1726 – 2002**, Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Permukiman, Bandung.

- Frick, H., 1994, **Ilmu Konstruksi Bangunan, Kanisius**, Yogyakarta
- Sardjono, Agung B, 1996, **Rumah-rumah di Kota Lama Kudus**, Tesis Program Pascasarjana UGM, Yogyakarta.