

# BISAKAH STRUKTUR RONG-RONGAN RUMAH JOGLO HANYA MENGANDALKAN “SANTEN”?

## Abstrak

Tulisan ini membahas keamanan struktur bangunan rumah tradisional jawa “*joglo*”. Penelitian penulis diawali dari hasil penelitian Prihatmaji (2007) tentang perilaku rumah tradisional jawa “*joglo*” terhadap gempa. Dalam kesimpulannya dinyatakan bahwa struktur rumah *joglo* aman untuk wilayah gempa 3 apabila sistem tumpuan dibuat jepit. Padahal sistem tumpuan struktur rumah *joglo* adalah sendi atau rol, maka hasil penelitian tersebut mengindikasikan bahwa sebenarnya struktur *rong-rongan* tidak benar-benar aman terhadap gempa di wilayah 3.

Tujuan penelitian ini adalah membuat rancangan model struktur eksperimen dengan tumpuan sendi yang dapat meningkatkan kekakuan struktur dibandingkan dengan model struktur *rong-rongan* yang asli, dan memanfaatkan *santen* yang ada di dalam struktur *rong-rongan* sebagai struktur penahan geser yang menjamin stabilitas dan kekakuan struktur, tanpa merubah bentuk/tampilan fisik *rong-rongan* asli. Untuk itu dibuat simulasi empat buah model struktur dengan software ETABS, yaitu model struktur *rong-rongan* asli, dan tiga buah model struktur eksperimen.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa model-model eksperimen mempunyai kekakuan minimal sama dan lebih besar dengan model struktur *rong-rongan* asli.

Kata kunci: kekakuan, struktur, *rong-rongan*, sendi, *santen*.

## Pendahuluan

Mei 2006 Yogyakarta digoncang gempa bumi tektonik, Departemen Pekerjaan Umum mencatat berdasarkan data per 11 Juni sebanyak 5.737 orang meninggal dunia, 570.490 rumah rusak, diantaranya 96.730 rumah rata dengan tanah (<http://ciptakarya.pu.go.id/dok/gempa/main.htm>). Angka-angka tersebut menunjukkan besarnya akibat yang ditimbulkan oleh gempa yang bekerjanya hanya dalam hitungan menit saja. Dapat dibayangkan betapa berat penderitaan para korban yang kehilangan keluarga, harta benda dan matapencaharian mereka, kiranya gambar 1a dan 1b cukup mewakili gambaran kerusakan dan penderitaan tersebut. Bencana semacam ini mengingatkan kita bahwa keamanan jiwa penghuni/ pengguna bangunan merupakan faktor utama yang harus diperhatikan oleh para perancang bangunan maupun para pembangun. Salah satu elemen bangunan yang dapat berperan menjaga keamanan bangunan terhadap gempa adalah struktur dan konstruksi bangunannya. Dalam perancangan struktur bangunan terhadap gempa, disyaratkan bangunan boleh rusak berat, tapi tidak boleh roboh terhadap gempa kuat untuk menjamin keselamatan jiwa penghuni. Tulisan ini difokuskan pada pembahasan keamanan struktur bangunan terhadap gempa bumi.



*Gambar 1a. Pendopo dan Senthong Rumah Bupati Juru Kunci Puroloyo Imogiri*

*Sumber: Pengabdian Kepada Masyarakat Fakultas Ilmu Budaya U.G.M*

*Gambar 1b. Salah Satu Penderitaan Korban Gempa Yogyakarta*

Diantara sekian banyak rumah yang rusak dan roboh, terdapat juga beberapa rumah tradisional Jawa “joglo” juga mengalami kerusakan/runtuh (lihat gambar 2a, 2b), oleh karena itu penulis tertarik

untuk lebih mendalami struktur bangunannya, bukan untuk membuktikan kekuatan struktur tapi untuk menemukan sistem yang dapat meningkatkan kinerjanya. Penulis akan memulai dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Prihatmaji (2007) tentang perilaku rumah tradisional Jawa “*joglo*” terhadap gempa, yang menyimpulkan bahwa struktur rumah *joglo* aman untuk wilayah gempa 3 apabila sistem tumpuan dibuat jepit (Yogyakarta termasuk dalam wilayah gempa 3 menurut SNI - 1726 - 2002). Struktur utama rumah *joglo* yang mendukung beban gempa adalah struktur rangka *sakaguru* (Prihatmaji menyebutnya *rong-rongan*). Menurut Prihatmaji dan dalam kenyataannya, tumpuan sakaguru di atas umpak ber-sifat sendi (gambar 2b) atau rol maka hasil penelitian tersebut mengindikasikan bahwa sebenarnya struktur *rong-rongan* tidak benar-benar aman terhadap gempa di wilayah 3. Oleh karena itu penulis tertarik untuk menemukan rancangan model struktur yang dapat berkinerja lebih baik terhadap gempa daripada struktur *rong-rongan* asli, tanpa harus menghilangkan keunikan tampilan fisik rangka *rong-rongan* tersebut.



Gambar 2a. Atap Rumah Joglo yang Roboh  
 Gambar 2b. Saka dibawah tumpangsari patah  
 Gambar 3. Pen Saka

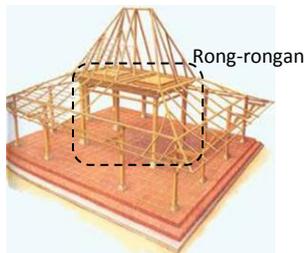
Sumber: Maria I. Hidayatun

Dalam struktur *rong-rongan* ada yang terdapat *santen* (tidak di semua *rong-rongan* ada *santennya*) yang letaknya diapit oleh *blandar/pangeret* (“balok ring”) dengan *sunduk/kili* (“balok portal”). Penulis melihat peran struktural dari *santen* tersebut dapat dimanfaatkan sebagai komponen penahan gaya geser lateral terhadap gaya gempa (gambar 3a, 3b). Peran *santen* menurut Priotomo (2005) adalah sebagai pelengkap, yaitu menghindari lendutan *blandar-pangeret* yang terdapat

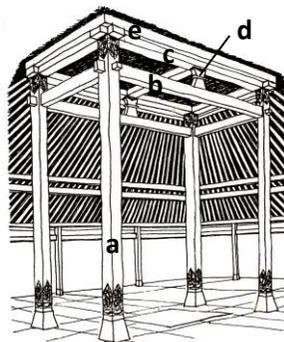
di dalam *rong-rongan*. Model struktur eksperimen yang dikemukakan dalam penelitian ini adalah: “struktur rangka pemikul momen yang mengandalkan pada kemampuan *santen* menahan gaya geser”. Model struktur eksperimen merupakan sistem struktur rangka pemikul momen yang model strukturnya berbeda dengan sistem rangka pemikul momen *rong-rongan* asli, walaupun bentuk fisiknya sama.

Tujuan penelitian:

- Membuat rancangan model struktur eksperimen dengan tumpuan sendi yang dapat meningkatkan kekakuan struktur dibandingkan dengan model struktur *rong-rongan* yang asli, dengan memanfaatkan *santen* yang ada di dalam struktur *rong-rongan* sebagai struktur penahan geser yang menjamin stabilitas dan kekakuan struktur, tanpa merubah bentuk/tampilan fisik *rong-rongan* asli, tidak mengurangi komponen-komponen struktural yang sudah ada, dan tidak menambahkan komponen-komponen lain didalamnya.
- Membandingkan kekakuan model struktur *rong-rongan* asli dengan kekakuan model-model struktur eksperimen melalui perbandingan besarnya defleksi lateral antara kedua model struktur tersebut.



Gambar 3a. Struktur Bangunan Joglo  
Sumber: rumahjoglo.com



Gambar 3b. Struktur Rong-rongan  
Sumber: Frick, 1997  
(a = saka, b = sunduk, c = blandar, d = santen, e = tumpangsari)

## Metode

Pembuatan rancangan MSe, diawali dengan studi literatur dan kajian teoritis tentang anatomi *rong-rongan*, penyaluran gaya dan perilaku terhadap gaya lateral dari tiap sambungannya, serta perilaku sistem struktur terhadap gempa.

Peningkatan kinerja MSe dibandingkan dengan MSr terhadap gempa diukur dari besarnya defleksi lateral strukturnya. Untuk membandingkan besarnya defleksi lateral struktur *rong-rongan* asli dengan defleksi lateral struktur eksperimen, dilakukan simulasi empat model struktur (teoritis) menggunakan *software* ETABS *non linear version* 9.0.7., yaitu: model struktur *rong-rongan* asli (MSr), dibandingkan dengan tiga buah model struktur eksperimen (MSe). Dalam model ini tinggi struktur, jarak saka ke saka, dimensi *blandar/pangeret*, dimensi *sunduk/kili*, jarak tinggi antara *blandar/pangeret* dan *sunduk/kili*, dan dimensi saka, adalah tetap dan sama diantara setiap model struktur. Variable bebas adalah dimensi lebar santen, dan jumlah santen. Variabel tergantunya adalah defleksi lateral,

## Studi Literatur

1. Perilaku Rumah Tradisional Jawa “Joglo” Terhadap Gempa (Prihatmaji, 2007).

Struktur *rong-rongan (umpak-sakaguru-blandar/tumpang sari)* bekerja sebagai sebagai struktur inti penahan gaya lateral, termasuk gempa. Sistem tumpuan bersifat sendi dan atau rol, sistem sambungan lidah alur, konfigurasi *soko-soko emper* terhadap *soko guru* dan kekakuan *soko guru* oleh *tumpang sari/brunjung* merupakan kesatuan sistem *earthquake responsive building*.

Hasil pengujian model struktur *rong-rongan* terhadap getaran gaya gempa dengan *horizontal slip table*, menunjukkan bahwa;

- Terhadap gempa dengan frekuensi tinggi: 10.0 Hz (waktu getar pendek: 0.1 detik) dan akselerasi rendah sampai tinggi, sistem

pembebanan bagian atas (tumpang-sari dan atap) di struktur rong-rongan menyumbang kestabilan.

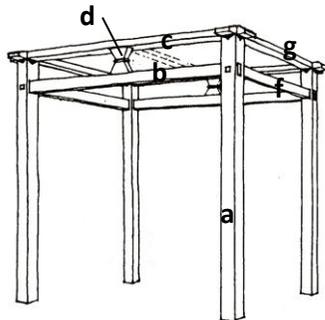
- Terhadap gempa dengan frekuensi rendah: 1 Hz – 10.0 Hz (waktu getar panjang : 1 – 0.1 detik) dan akselerasi rendah sampai tinggi, sistem pembebanan bagian atas membuat model lebih banyak mengalami deformasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa, struktur rumah *joglo* aman untuk wilayah gempa 3 (apabila sistem tumpuan dibuat jepit).

## 2. Anatomi Struktur Bangunan *Joglo* Rumah Jawa.

Rumah *joglo* terdiri dari bagian-bagian: *pendopo*, *pringgitan*, *dalem*, *sentong* dan *tratang*. *Pendopo* terletak di depan, tidak mempunyai dinding dan berfungsi sebagai ruang pertemuan atau ruang penerima tamu, *pringgitan* di tengah, diantara *pendopo* dan *dalem* biasanya digunakan untuk tempat memainkan wayang, dan *dalem agung* merupakan ruang privat, berfungsi sebagai ruang keluarga dan merupakan pusat susunan ruang-ruang lain. Dibelakang *dalem agung* terdapat *sentong*, yaitu tiga buah kamar berjajar. Diantara *pendopo* dan *pringgitan* terdapat *tratang* (gang). Dibagian tengah denah *pendopo* terdapat sektor *guru* yang dikelilingi *emperan*. Atap sektor *guru* disangga oleh empat buah *sakaguru* dan atap *emperan* disangga oleh deretan saka pengarak (gambar 3a, 3b). Tulisan ini selanjutnya hanya difokuskan pada pembahasan *sektor guru* saja. *Sektor guru* terdiri dari struktur inti dan struktur penggenap. Struktur inti terdiri dari: *dudur*, *blandar-pangeret*, *sunduk*, *sakaguru* (4 buah), *umpak* atau *ceblokan* (tanpa *umpak*). Struktur penggenap terdiri dari: *molo*, *ander*, *dhada-peksi*, *tumpangsari*, *gonja*, dan *santen* (Priotomo, 2005). Keempat buah *sakaguru* ditumpu oleh *umpak*, di puncak *sakaguru* ditempatkan dua buah *blandar* pada sisi panjang dan dua buah atau lebih *pangeret* di sisi pendek. *Blandar* dan *pangeret* diletakkan dengan posisi penampang melintang “tidur” (*second-moment* terkecil terhadap gaya vertikal). Di bawah *blandar* dan *pangeret* terdapat *sunduk* (sisi panjang) dan *kili* (sisi pendek), yang diletakkan

dalam posisi penampang melintang “berdiri” (*second-moment* terbesar terhadap gaya vertikal). Diantara *blandar* dan *sunduk*, pada beberapa rangka *sakaguru* terdapat satu buah atau lebih *santen*. Di atas *blandar* dan *pangeret* terdapat *tumpangsari* yang disusun secara bertumpuk melebar keatas, kearah interior dan eksterior. Balok *tumpangsari* yang paling atas dan paling luar menjadi tumpuan *usuk-usuk pandedel*. Rangkaian *blandar-pangeret*, *sunduk-kili*, *santen* dan empat buah *sakaguru* merupakan kesatuan struktur yang oleh Frick disebut kuda-kuda *sakaguru* yang membentuk *rong-rongan* (gambar 4). Dalam tulisan ini struktur bangunan sektor guru hanya ditinjau bagian *rong-rongan* nya saja, yaitu mulai dari *umpak*, *sakaguru* sampai dengan *tumpangsari*. Atas di atas *tumpangsari* terdiri dari *dudur* (“*jurai*”), *usuk pandedel* (“*usuk*”), *gonja*, *ander*, *molo*, dalam penelitian ini dianalisis sebagai beban gravitasi.



Gambar 4. Struktur Rong-rongan tanpa tumpangsari

Sumber: Frick, 1997

(*a* = saka, *b* =sunduk, *c* = blandar, *d* = santen, *f* = kili, *g*=pangeret)

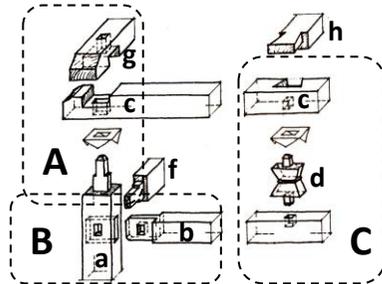
Struktur dan konstruksi bangunan *rong-rongan* dapat dipelajari dari beberapa detail konstruksi sambungannya berikut ini (gambar 5):

- Detail A (gambar 5) menunjukkan konstruksi sambungan kolom-balok atas (*saka-blandar* dan *saka-pangeret*) dengan pen di ujung *saka* dan lubang di *blandar* dan *pangeret*, pertemuan ini bersifat sendi. Tumpukan balok-balok *tumpangsari* diatas *blandar* dipasak satu sama lain, dan yang terbawah dipasak ke *blandar*. Dengan cara pemasangan tersebut, maka *tumpangsari*

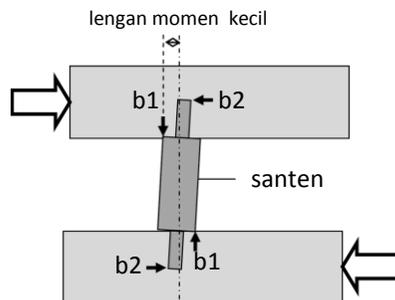
menjadi satu dengan *blandar/pangeret* dan membentuk “balok” yang sangat kaku yang ditumpu di ujung-ujung *saka*. *Usuk pandedel* diletakkan diatas *tumpangsari* yang berada disisi eksterior, maka beban atap membebani “balok” *tumpangsari-blandar/pangeret* dan diteruskan ke empat buah sakaguru. *Tumpangsari* pendek dan *tumpangsari* panjang dihubungkan dengan sambungan coakan setengah balok dan ditembus oleh pen dari *saka*, sehingga pada bidang denah saling mengunci dan bersama dengan rangka plafond bekerja sebagai diafragma horisontal yang kaku.

- Detail B (gambar 5) menunjukkan konstruksi sambungan balok-kolom (*saka-sunduk* dan *saka-kili*) dengan konstruksi pen-lubang saling mengunci. Di *saka* terdapat dua buah lubang pen, satu menghadap kearah *sunduk* (lubang pen besar), yang lain menghadap kearah *kili* (lubang pen kecil). Pada pen-*sunduk* diberi lubang untuk masuknya pen-*kili* menembus *saka* dan pen *sunduk* tersebut, dan di ujung pen-*kili* yang menonjol keluar dari *saka* diberi pasak kayu. Sambungan tersebut saling mengunci antara *saka*, *sunduk* dan *kili*. Terhadap gaya lateral searah *sunduk*, momen akan memutar pertemuan *saka-sunduk*, namun karena pen-*kili* masuk kedalam lubang-*sunduk*, maka perputaran sudut tersebut tertahan, demikian juga terhadap gaya lateral searah *kili* terjadi perilaku yang sama, sehingga sambungan *saka-sunduk* dan *saka-kili* merupakan sambungan momen, dan rangka sakaguru dapat bekerja sebagai RPM.
- Detail C menunjukkan konstruksi pertemuan *santen* dengan *blandar* dan *sunduk*. *Santen* merupakan komponen pelengkap yang berfungsi untuk meniadakan lendutan *blandar*, berarti *santen* tidak berperan menahan gaya geser lateral (Joseph Priotomo 2005). Hal ini terlihat dari bentuk *santen* yang tidak mempunyai satu prototipe, ada *santen* yang berbentuk membidang (kedalaman struktur besar) dan ada yang berbentuk

batang/kurus. *Santen* berbentuk batang tidak dapat bekerja efektif menahan gaya geser lateral, sedangkan *santen* berbentuk membidang mampu bekerja melawan gaya geser lateral (gambar 6).



Gambar 5. Detail konstruksi sambungan saka-sunduk/kili, saka-blandar/pangeret, santen-blandar/sunduk  
 Sumber: Frick, 1997(a = saka, b =sunduk, c = blandar, d = santen, f = kili, g=pangeret, h= dadapeksi)



Gambar 6. Perilaku gaya di santen kurus

## Kajian Teoritis

Konstruksi sambungan *santen-blandar* dan *santen-sunduk* adalah konstruksi sambungan pen dan lubang. Terhadap gaya geser lateral dari kiri, *blandar* cenderung bergeser kekanan lebih jauh dibandingkan *sunduk/kili*. Perilaku tersebut menyebabkan *santen* mau berputar dan cenderung dilawan oleh *santen* melalui bekerjanya gaya geser di titik-titik temu ujung-ujung *santen-blandar/pangeret* dan *santen-sunduk/kili* (gaya-gaya b1 dan b2). Tapi apabila *santen* berbentuk kurus

/berbentuk batang, perlawanan terhadap perpindahan tersebut kecil karena lengan momennya kecil, sehingga kemampuan perlawanan tersebut diabaikan (gambar 6). Berdasarkan detail-detail konstruksi sambungan A, B, C (gambar 5), serta perilaku santen kurus tersebut (gambar 6), maka dapat disimpulkan bahwa struktur *rong-rongan* merupakan struktur rangka pemikul momen dengan sambungan kaku di pertemuan *saka* dengan *sunduk/kili*, dan tumpuannya sendi (gambar model). Konstruksi sambungan antara *saka-sunduk* dan *saka-kili* yang saling mengunci satusamalah mengakibatkan struktur *rong-rongan* merupakan struktur rangka pemikul momen utuh yang bekerja secara tiga dimensi, dan disatukan secara lateral oleh diafragma horisontal kaku *tumpangsari* dan plafond.

“Balok” *tumpangsari* ditambah dengan beban atap yang berat semuanya ditumpu oleh empat buah *saka* membentuk “konfigurasi” struktur *rong-rongan* yang titikberatnya terakumulasi dibagian atas, sehingga gaya inersia akibat getaran gempa berada jauh dari tumpuan *saka*. Dengan “konfigurasi” semacam ini waktu getar bangunan cenderung panjang (Arnold, 1982). Selain itu, menurut Arnold apabila waktu getar struktur sama dengan dengan waktu getar alami tanah, maka akan terjadi *quasi-resonance*, berarti terjadi amplifikasi getaran pada mode getaran tertentu dan di posisi tertentu dalam struktur. Penelitian Prihatmaji menunjukkan perilaku yang sama, yaitu terhadap gempa dengan waktu getar panjang/frekuensi rendah (dalam uji coba lab, frekuensi antara 1.0 – 10.0 HZ atau waktu getar 1 – 0.1 detik) dan akselerasi rendah sampai tinggi struktur *rong-rongan* lebih banyak mengalami deformasi. Dikaitkan dengan teori yang dijelaskan oleh Arnold tersebut diatas, hal ini menunjukkan bahwa struktur *rong-rongan* “*tune*” terhadap karakteristik getaran yang memiliki waktu getar panjang, baik untuk akselerasi rendah maupun tinggi. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa struktur *rong-rongan* mempunyai waktu getar yang panjang. Struktur dengan waktu getar panjang cenderung terjadi pada

struktur yang mempunyai kekakuan kecil. Memperbaiki perilaku struktur *rong-rongan* terhadap gempa yang waktu getar alaminya panjang, dapat dilakukan dengan memperkaku struktur agar waktu getar struktur tidak “*tune*” dengan waktu getar alami tanah.

Menurut Lin (1981), kekakuan lateral seluruh rangka struktur dapat ditingkatkan dengan meningkatkan ratio antara: ‘kekakuan sambungan kolom-balok’ dengan ‘kekakuan kolom’. Semakin kaku sambungan kolom-balok dibandingkan dengan kekakuan kolom, maka deformasi/defleksi akibat momen lateral semakin kecil. Lin memberikan gambaran, apabila ratio tersebut  $\geq 4$  maka defleksi lateral struktur hanya setengah dari defleksi lateral struktur apabila rasionya = 1.

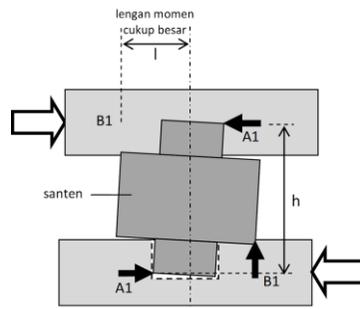
Kekakuan sambungan kolom-balok dapat ditingkatkan dengan:

- 1) menambah dimensi kedalaman (h) balok di pertemuan kolom-balok, merubah balok menjadi 2) rangka batang, atau 3) merubah balok menjadi *vierendeel truss*. Bentuk rangka *rong-rongan* yang terdapat *santen* didalamnya, lebih dapat disesuaikan dengan bentuk *vierendeel truss*. *Vierendeel* merupakan *truss* tanpa batang diagonal, unit-unitnya berbentuk empat persegi membentuk rangka yang terdiri dari batang-batang horizontal atas, batang-batang horizontal bawah dan batang-batang vertikal. Tiap pertemuan batang horizontal dan vertikal dihubungkan dengan sambungan kaku pemikul momen. *Vierendeel truss* dapat berkinerja baik terhadap beban gravitasi karena perilaku perlawanan momen dan geser di setiap pertemuan batang vertikal dan batang horizontal. Batang vertikal yang terletak di tengah bentang tidak melakukan perlawanan momen dan geser karena di titik tersebut gaya geser luarnya adalah nol, sehingga batang vertikal tidak berputar. Namun terhadap beban lateral, semua batang vertikal mengalami perpindahan sudut karena batang horizontal atas cenderung bergeser lebih jauh dibanding batang horizontal bawah, maka terhadap beban lateral *vierendeel truss* dapat bekerja walaupun hanya ada satu batang vertikal di tengah bentang (disarikan dari: Schueller, 1977 dan Engel, 1977). Apabila

diterapkan pada struktur *rong-rongan*, batang horizontal atasnya adalah *blandar/ pangeret* (tidak termasuk *tumpang-sari*) sebagai batang horizontal atas, batang horizontal bawahnya adalah *sunduk/kili*, dan “batang” vertikalnya *santen*. Pada “*vierendeel truss*” tersebut, *tumpang-sari* sengaja dihindarkan bersatu dengan *blandar /pangeret* agar tidak menjadi balok yang sangat kaku seperti yang ada pada struktur *rong-rongan* asli sehingga kinerja *vierendeel* tidak efektif. Agar rangkaian tersebut dapat bekerja sebagai “*vierendeel truss*”, *santen* harus mampu bekerja sebagai penahan gaya geser dan momen, oleh karena itu harus dipilih proporsi dan dimensi *santen* yang membidang (gambar 8).



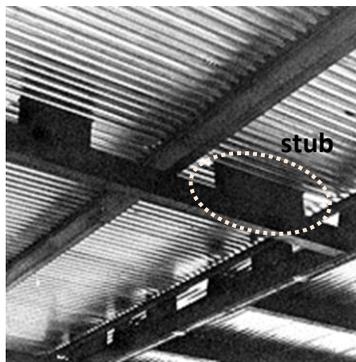
Gambar 8. Santen berbentuk bidang



Gambar 9. Perilaku gaya di santen membidang

Perilaku “*santen*” yang membidang terhadap perputaran sudut tidak seperti perilaku *santen* asli (gambar 9). Kecenderungan *blandar* mau bergeser terhadap *sunduk* atau *pangeret* terhadap *kili* akan memaksa “*santen*” untuk berputar. Perputaran sudut “*santen*” tersebut dilawan oleh kopel  $A1 \times$  lengan momen  $h$ , dan  $B1 \times$  lengan momen  $2l$ . Kopel perlawanan tersebut cukup berarti karena lengan momennya cukup besar, sehingga pergeseran antara “*blandar-saka*” dan “*sunduk/kili-saka*” terkekang. Pengekangan tersebut mengakibatkan perputaran sudut antara *saka* dengan “*blandar/pangeret*” dan dengan “*sunduk/kili*” juga terkekang, dengan demikian apabila sambungan “*blandar/pangeret-saka*” dan “*sunduk/kili-saka*” dikondisikan sebagai sambungan geser /sendi, model struktur *rong-rongan* tetap dapat bekerja sebagai rangka

pemikul momen. “*Vierendeel truss*” yang terbentuk dari rangkaian “*blandar/pangeret-santen-sunduk/kili*”, mempunyai kedalaman struktur yang relatif kecil bila dibandingkan dengan *vierendeel truss* pada umumnya. Bentuk “*vierendeel truss*” tersebut mirip dengan balok komposit “*stub-girder*”. *Stub-girder* adalah balok komposit antara baja profil, pelat lantai beton, dan *stub*. Pelat lantai beton diidealisasikan sebagai “batang” (= pelat) horizontal atas, balok baja sebagai batang horizontal bawah, dan *stub* sebagai “batang” vertikal yang sangat kaku (Taranath, 2005). Bentuk *stub* inilah yang menginspirasi pengembangan fungsi *santen* dalam tulisan ini.



Gambar 10. *Stub Girder*

Sumber: *American Institute of Steel Construction*

### **Pemodelan Struktur Rong-rongan.**

Dalam pemodelan ini diusahakan semua komponen struktur sama antara model *rong-rongan* asli (MSr) dan model eksperimen. Apabila karena perbedaan sistem perlu diadakan perbedaan, maka perbedaan tersebut dibuat sedemikian rupa agar tetap setara dalam hal jumlah beban. Komponen-komponen yang dapat disamakan adalah: jenis material, dimensi *saka*, dimensi *sunduk/kili*, dan kondisi tumpuan.

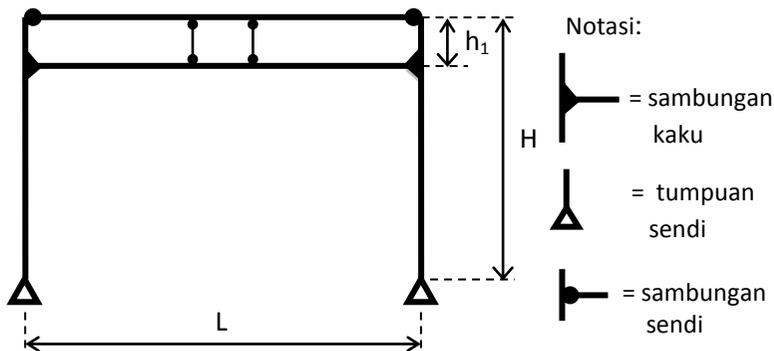
- Denah rumah Notoprajan dengan ukuran *rong-rongan* 22 X 36 kilan (= 690 cm ukuran as ke as termasuk dimensi *saka*) dan

emperan 27 kilan (= 530 cm ukuran as ke as termasuk dimensi saka), Frick (1997).

- Tinggi rong-rongan (H) = 444 cm.
- Jarak tinggi sunduk ke blandar/pangeret ( $h_1$ ) = 44 cm.
- Material dari kayu dengan massa jenis  $0.0009 \text{ kg/cm}^3$ .
- Dimensi *sunduk*, dan *kili*  $15/20 \text{ cm}^2$ .
- Dimensi *sakaguru*  $40/40 \text{ cm}^2$ .
- Kondisi tumpuan bersifat sendi.
- Masukan gempa: respon spektrum gempa wilayah 3 menurut SNI 03 – 1726 – 2002.
- Pemodelan *tumpangsari* untuk MSr dan untuk model struktur eksperimen perlu dibedakan. Hal ini disebabkan karena *tumpangsari* eksterior menerima beban atap, sedangkan *tumpangsari* interior hanya memikul beratnya sendiri dan beban plafond.
  - *Tumpangsari* interior dan penutup plafond sangat kaku pada arah lateral dan bekerja sebagai diafragma horizontal yang kaku, oleh karena itu *tumpangsari* interior bersama plafond dimodelkan sebagai bidang *shell* kayu. Ketebalan bidang *shell* kayu disesuaikan dengan masing-masing model, ketebalannya diperhitungkan dari total berat *tumpangsari* interior ditambah dengan plafond dibagi luas proyeksinya pada denah dan dibagi massa jenis kayu. Diasumsikan jenis kayu sama dengan jenis kayu struktur *rong-rongan*.
  - *Tumpangsari* eksterior pada MSr dimodelkan sebagai balok  $15/65 \text{ cm}^2$  yang terbentuk dari kerjasama antara *tumpangsari* dengan *blandar*. Sedangkan pada model struktur eksperimen *blandar* sengaja dibebaskan dari kerjasama dengan *tumpangsari* agar model struktur eksperimen dapat bekerja dengan efektif, dimensi *blandar* tersebut adalah  $15/20$ .

### 1. Model struktur *rong-rongan* asli (MSr).

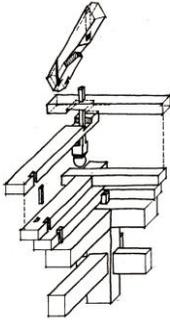
- MSr dimodelkan sebagai rangka pemikul momen dengan sambungan pertemuan *sunduk/kili-saka* bersifat kaku, maka stabilitas dan kekakuan struktur MSr mengandalkan hanya pada kekakuan sambungan tersebut. Sedangkan sambungan antara pertemuan *blandar/pangeret-saka* bersifat sendi, sehingga tidak berperan terhadap perlawanan momen (gambar 11).



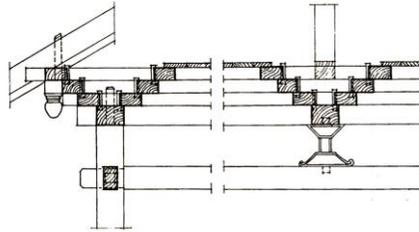
Gambar 11. Model Struktur Rong-rongan Asli (MSr)

- Batang-batang vertikal (di posisi *santen*) 5/5 yang ada di model MSe sengaja diadakan pada MSr, agar ada pembagian panjang *blandar/pangeret* dan *sunduk/kili* yang sama dengan MSe.
- Model *blandar* dan *tumpangsari* eksterior disederhanakan dari kondisi aslinya, dianggap sebuah balok yang menyatu dengan *blandar* dengan dimensi 15/65. Pemodelan ini didasarkan pada detail konstruksi tumpangsari (gambar 12 dan 13) dimana *tumpangsari* dipasak satusamalain dan menyatu dengan *blandar* sehingga membentuk kesatuan sebagai balok yang tinggi, memikul beban dari atap. Agar kondisi sambungan sendi balok 15/65-*saka* pada MSr setara dengan sambungan sendi *blandar/pangeret-saka* dan *sunduk/kili-saka* pada MSe, maka balok 15/65 dibuat terpancung sehingga dimensi balok yang bertemu dengan *saka* dimensinya disamakan dengan MSe = 15/20.

- Beban atap yang membebani balok *blandar/pangeret-tumpangsari* diperhitungkan sebagai beban sebesar 3.75 kg/cm.
- *Tumpangsari* interior dimodelkan sebagai bidang *shell* kayu setebal 5.7 cm (*tumpangsari* eksterior sudah digabung dengan *blandar* sebagai balok 15/65).



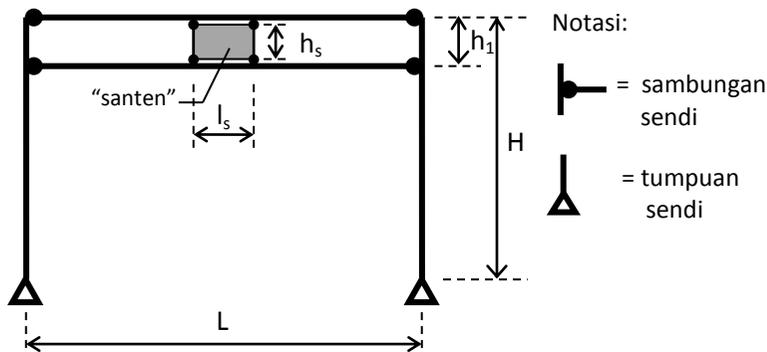
Gambar 12. Perspektif konstruksi tumpangsari  
Sumber: Frick, 1997



Gambar 13. Detail penampang konstruksi tumpangsari  
Sumber: Frick, 1997

## 2. Model struktur eksperimen (MSe-1)

- Dalam MSe-1 ditetapkan jumlah "*santen*" satu buah (jumlah minimal untuk model struktur eksperimen). Dengan jumlah satu buah "*santen*" tersebut, memang tidak diharapkan kontribusi "*santen*" untuk memikul beban gravitasi.
- Sambungan "*blandar/pangeret-saka*" dan "*sunduk/kili-saka*" dikondisikan sebagai sambungan sendi, sehingga benar-benar stabilitas dan kekakuan strukturnya hanya tergantung dari kemampuan "*santen*" menahan gaya geser lateral. Tumpuan di dasar *saka* dikondisikan sebagai sendi (gambar 14).
- Sambungan "*blandar/pangeret-saka*" dan "*sunduk/kili-saka*" dikondisikan sebagai sambungan sendi, sehingga benar-benar stabilitas dan kekakuan strukturnya hanya tergantung dari kemampuan "*santen*" menahan gaya geser lateral. Tumpuan di dasar *saka* dikondisikan sebagai sendi (gambar 14).



Gambar 14 Model Struktur Eksperimen (MSe)

- “Santen” dimodelkan sebagai bidang shell kayu tebal 5 cm dikelilingi rangka kayu 5/5. Dimensi bidang “santen”:  $h_s \times l_s = 40 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$  untuk arah *blandar*, dan  $40 \times 40$  untuk arah *pangeret* (gambar14). Pertemuan batang vertikal “santen” dengan *blandar/pangeret* dan dengan *sunduk/kili* dikondisikan sebagai sambungan sendi. Sisa batang vertikal yang bebas dari bidang shell dibuat sangat pendek (2 cm) agar tidak mengurangi kekakuan rangka kayu 5/5 *santen* sebagai bidang kaku.
- “Blandar” dimodelkan sebagai balok 15/20 dengan posisi “berdiri”. Hal ini dimaksudkan untuk mengefektifkan kerjasama antara “*blandar/pangeret - santen - sunduk/kili*” sebagai balok “*vierendeel*”.
- *Tumpangsari* interior dan eksterior ditambah plafon dimodelkan sebagai bidang shell kayu setebal 12 cm.
- Beban atap 3.75 kg/cm.

### 3. Model struktur eksperimen (MSe-2)

- MSe-2 merupakan varian dari MSe-1 dengan jumlah “santen” satu buah untuk tiap portal, dimensi bidang “santen”:  $h_s \times l_s = 40 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$  untuk arah *blandar*, dan  $40 \times 50$  untuk arah *pangeret*.

#### 4. Model struktur eksperimen (MSe-3)

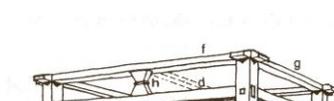
- MSe-3 merupakan varian dari MSe-1 dengan jumlah “*santen*” dua buah untuk tiap portal, dimensi bidang “*santen*”:  $h_s \times l_s = 40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$  untuk arah *blandar*, dan  $40 \times 30$  untuk arah *pangeret*

### Hasil Analisis dan Kajian

MSr (Model struktur *rong-rongan* asli), dibandingkan dengan MSe-1, MSe-2, dan MSe-3:

Defleksi lateral UX, UY, dan UZ yang diamati adalah di titik 104 di puncak *saka*. Hasil analisis ETABS dengan masukan respon spektrum gempa wilayah 3 ke dalam model MSr, MSe-1, MSe-2, MSe-3 dengan 3 arah sumbu, yaitu sumbu x, sumbu  $45^\circ$  dan y, menunjukkan:

- MSe-1 dengan satu buah “*santen*”, defleksinya ( $U_x$ ) sedikit lebih besar/relative sama dengan defleksi MSr terhadap respon spektrum arah x, sedangkan terhadap respon spektrum  $45^\circ$  dan  $90^\circ$  defleksi MSe-1 semuanya lebih kecil dari defleksi MSr. Kekakuan lateral struktur MSr dan MSe-1 relative hampir sama.
- Ketika dimensi “*santen*” diperlebar pada MSe-2, kekakuan lateralnya meningkat dibandingkan dengan kekakuan MSe-1, dan secara keseluruhan menjadi lebih kaku dari MSr.
- Penambahan jumlah “*santen*” menjadi dua buah tiap portal pada MSe-3 semakin meningkatkan kekakuan model, terutama untuk arah sumbu x dan sumbu  $45^\circ$ .
- Peningkatan kekakuan MSe-2 (defleksi lateral = 1.888 cm) dan MSe-3 (defleksi lateral = 1.835 cm) terhadap MSr untuk arah sumbu y hampir sama. Berarti penambahan jumlah *santen* lebih memberikan pengaruh terhadap struktur yang kekakuannya kecil (arah sumbu x, bentang lebih lebar).



Tabel 1. Defleksi lateral maksimal MSr dan MSe, Respon Spektrum Arah Sumbu X

	Story	Point	Load	UX	UY	UZ
<b>MSr</b>	STORY3	104	COMB4 MAX	<b>2.2727</b>	1.3106	-0.0032
<b>MSe-1</b>	STORY3	104	COMB4 MAX	<b>2.2749</b>	1.1666	-0.0045
<b>MSe-2</b>	STORY3	104	COMB4 MAX	<b>2.2087</b>	1.1311	-0.0045
<b>MSe-3</b>	STORY3	104	COMB4 MAX	<b>2.1178</b>	1.1273	-0.0045

Tabel 2. Defleksi lateral maksimal MSr dan MSe, Respon Spektrum Arah Sumbu 45 derajat

	Story	Point	Load	UX	UY	UZ
<b>MSr</b>	STORY3	104	COMB4B MAX	<b>2.0243</b>	1.8639	-0.0028
<b>MSe-1</b>	STORY3	104	COMB4B MAX	<b>2.0085</b>	1.7175	-0.004
<b>MSe-2</b>	STORY3	104	COMB4B MAX	<b>1.9497</b>	1.6663	-0.004
<b>MSe-3</b>	STORY3	104	COMB4B MAX	<b>1.8692</b>	1.662	-0.0041

Tabel 3. Defleksi lateral maksimal MSr dan MSe, Respon Spektrum Arah Sumbu y

	Story	Point	Load	UX	UY	UZ
<b>MSr</b>	STORY3	104	COMB4C MAX	1.4247	<b>2.0931</b>	-0.0025
<b>MSe-1</b>	STORY3	104	COMB4C MAX	1.3654	<b>1.9458</b>	-0.0037
<b>MSe-2</b>	STORY3	104	COMB4C MAX	1.3245	<b>1.888</b>	-0.0037
<b>MSe-3</b>	STORY3	104	COMB4C MAX	1.2689	<b>1.8835</b>	-0.0037

Keterangan:

Ux = defleksi lateral arah sumbu x

Uy = defleksi lateral arah sumbu y

Uz = defleksi lateral arah sumbu z

### Kesimpulan.

1. Simulasi empat model membuktikan bahwa model struktur eksperimen dimana stabilitas dan kekakuannya mengandalkan hanya pada "santen", dapat memberikan stabilitas dan kekakuan struktur, minimal sama dengan model struktur *rong-rongan* asli.
2. Meningkatkan kekakuan model struktur eksperimen dapat dilakukan dengan mudah, yaitu dengan menambah dimensi lebar "santen" atau menambah jumlah "santen". Untuk bentang yang lebih lebar, penambahan jumlah santen lebih efektif.
3. Hasil analisis dalam penelitian ini hanya membuktikan bahwa model-model struktur eksperimen dapat lebih kaku daripada model struktur *rong-rongan* asli.

## Rekomendasi

1. Penelitian ini baru merupakan penelitian awal yang dapat dilanjutkan dengan penelitian lebih dalam dan uji laboratorium untuk mempelajari kinerja model struktur eksperimen terhadap gempa dengan waktu getar alami yang panjang.
2. Muncul gagasan penulis untuk penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan kinerja struktur, yaitu: “*santen* sebagai *fuse*” yang berfungsi meredam getaran gempa pada struktur, untuk diterapkan pada struktur bangunan rong-rongan atau struktur bangunan yang lebih berat dengan bentang lebih lebar, seperti beton pracetak dan baja.

## Daftar Pustaka

- Arnold, C. (1982), *Building configuration and seismic design*, John Wiley & Sons.
- Badan Standard Nasional – BSN, *Standar perencanaan tahan gempa untuk struktur bangunan gedung*, SNI 03 – 1726 – 2002.
- Engel, Henry (1977), *Structure systems*< Deutsche Verlags-Anstalt, Stuttgart Germany
- Frick, Heinz (1997), *Pola struktural dan teknik bangunan di Indonesia*, Penerbit Kanisius
- Lin, T.Y., & Stotesbury, S. D. (1981), *Structural concepts and systems for architects and engineers*, John Wiley & Sons
- Prihatmaji, Yulianto P (2007), *Perilaku rumah tradisional jawa “joglo” terhadap gempa*, *Journal Dimensi Teknik Arsitektur Vol. 35, No. 1. Juli 2007, hlm: 1 – 12.*
- Priotomo, Josef (2005), *Pengkonstruksian Sektor Guru dari griya Jawa: Tassir atas kawruh kalang*, *Journal Dimensi Teknik Arsitektur Vol.33, No 2. Desember 2005, hlm: 99 – 111.*
- Schueller, Wolfgang (1977), *High rise building structures*, John Wiley & Sons.
- Taranath, Bungale S. (2005), *Wind and Earthquake Resistant Buildings, structural analysis and design*, Marcel Dekker New York.





