

## Bisakah Struktur *Rong-Rongan* Rumah *Joglo* Hanya Mengandalkan “*Santen*”?

Bisatya W. Maer

### Abstrak

Tulisan ini membahas 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. Tujuan penelitian ini adalah membuat rancangan model struktur eksperimen yang: pertama mengambil bentuk struktur dan kondisi tumpuan sama dengan *rong-rongan* asli, dan kedua diharapkan mempunyai kekakuan lateral lebih besar dibandingkan dengan model struktur *rong-rongan* asli tersebut. Stabilitas dan kekakuan lateral model struktur *rong-rongan* asli mengandalkan pada sistem sambungan kaku antara *saka-sunduk/kili*, sedangkan stabilitas dan kekakuan lateral model struktur eksperimen mengandalkan pada “*SANTEN*”<sup>1</sup>. Sistem sambungan *saka-sunduk/kili* pada model struktur eksperimen ditetapkan sendi sehingga stabilitas dan kekakuan lateral struktur benar-benar hanya tergantung dari “*SANTEN*” saja. Hasil simulasi empat buah model struktur dengan *software* ETABS menunjukkan bahwa model-model struktur eksperimen dapat mempunyai kekakuan minimal sama, atau lebih besar dibandingkan dengan model struktur *rong-rongan* asli.

Kata kunci: *Rong-rongan*, “*SANTEN*”, Kekakuan, Struktur, Sendi.

### 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>). Bencana semacam ini mengingatkan kita bahwa keamanan jiwa penghuni/pengguna bangunan merupakan faktor utama yang harus diperhatikan oleh para perancang bangunan maupun para

---

Staf Pengajar Jurusan Arsitektur U.K. Petra

<sup>1</sup> “*SANTEN*” adalah komponen dalam model eksperimen yang mengambil bentuk *santen*, dan letaknya di dalam *rong-rongan* sama dengan letak *santen*. *Santen* tersebut adalah komponen penggenap di dalam *rong-rongan* rumah *joglo* yang terletak diantara *blandar/pangeret* dan *sunduk/kili* serta berfungsi untuk menghindari lendutan *blandar/pangeret* (Priyotomo 2005). *Santen* aktif bekerja terhadap gaya aksial tekan, sedangkan “*SANTEN*” dalam model eksperimen berfungsi sebagai penahan gaya geser lateral, merupakan komponen yang aktif bekerja terhadap gaya geser lateral dan gaya aksial.

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, khususnya rumah tradisional Jawa “*joglo*”. Penulis tertarik untuk lebih mendalami struktur bangunannya, bukan untuk membuktikan kekuatan struktur tapi untuk menemukan sistem yang dapat meningkatkan kekakuannya.

Penulis memulai penelitian ini 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. 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 bersifat sendi atau rol dan bukan jepit, 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 eksperimen dengan mengambil bentuk struktur *rong-rongan* asli, yang diharapkan mempunyai kekakuan lateral lebih besar dibandingkan dengan model struktur *rong-rongan* asli, tanpa harus menghilangkan keunikan tampilan fisik *rong-rongan* tersebut.

Dalam beberapa struktur *rong-rongan* terdapat *santen* (tidak di semua *rong-rongan* ada *santennya*) yang letaknya diapit oleh *blandar/ pangeret* (“balok ring”) dengan *sunduk/kili* (“balok portal”). Menurut Prijotomo (2005), peran *santen* adalah sebagai penggenap, yaitu menghindari lendutan *blandar/pangeret* yang terdapat di dalam *rong-rongan*. Dalam penelitian ini, penulis merubah fungsi struktural *santen* tersebut menjadi komponen penahan gaya geser lateral terhadap gaya gempa, selanjutnya disebut “*SANTEN*”. Model struktur eksperimen yang dikemukakan dalam penelitian ini adalah: “struktur rangka pemikul momen yang mengandalkan pada kemampuan “*SANTEN*” menahan gaya geser lateral. Model struktur eksperimen tersebut walaupun bentuk fisiknya sama dengan bentuk struktur *rong-rongan* asli, namun model strukturnya berbeda.

Tujuan penelitian:

- Membuat rancangan model struktur eksperimen (Mse) yang mengambil bentuk struktur dan kondisi tumpuan sama dengan *rong-rongan* asli.
- Membuat rancangan MSe yang mempunyai kekakuan lateral lebih besar dibandingkan dengan model struktur *rong-rongan* yang asli (MSr).

- Membandingkan kekakuan MSr dengan kekakuan MSe melalui perbandingan besarnya defleksi lateral antara kedua model struktur tersebut.

## Metode

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 kekakuan MSe dibandingkan dengan MSr terhadap gempa diukur dari besarnya defleksi lateral strukturnya. Perbandingan besarnya defleksi lateral struktur *rong-rongan* asli dengan defleksi lateral struktur eksperimen, dilakukan dengan simulasi empat buah 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-1, Mse-2, Mse-3, masing-masing model tersebut dijelaskan dalam pembahasan pemodelan struktur. Variable bebas MSe adalah dimensi lebar *santen*, dan jumlah *santen*, sedangkan variabel tergantungnya adalah *defleksi lateral maksimal*.

## Studi Literatur

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

Struktur *rong-rongan* (*umpak-sakaguru-blandar/tumpang sari*) bekerja sebagai struktur inti penahan gaya lateral, termasuk gempa. Sistem tumpuan bersifat sendi dan atau rol, sistem sambungan lidah alur. 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 (*tumpangsari* 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.

Prihatmaji menyimpulkan bahwa struktur rumah *joglo* aman untuk wilayah gempa 3 apabila sistem tumpuan dibuat jepit.

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

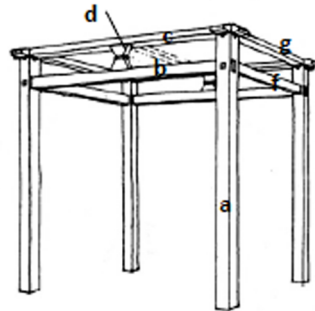
Tulisan ini hanya difokuskan pada pembahasan *sektor guru* saja (gambar 1). *Blandar/pangeret* dan *sunduk/kili* diletakkan dengan posisi penampang melintang “tidur” (*second-moment* terkecil terhadap

gaya vertikal). Diantara *blandar/pangeret* dan *sunduk/kili*, pada beberapa rangka *sakaguru* terdapat satu buah atau lebih *santen*. *Tumpangsari* di atas *blandar* dan *pangeret* disusun 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 1). Dalam tulisan ini struktur bangunan sektor *guru* hanya ditinjau bagian *rong-rongannya* saja, yaitu mulai dari *umpak*, *sakaguru* sampai dengan *tumpangsari*. Atap di atas *tumpangsari* terdiri dari *dudur* ("jurai"), *usuk pandedel* ("usuk"), *gonja*, *ander*, *molo*, dalam penelitian ini dimasukkan sebagai beban gravitasi.

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

- Detail A (gambar 2) menunjukkan konstruksi sambungan kolom-balok atas (*saka-blandar*, dan *saka-pangeret*) dengan pen di ujung *saka*, dan lubang di *blandar* maupun *pangeret*, pertemuan ini bersifat sendi. Tumpukan balok-balok *tumpangsari* diatas *blandar* dipasak satu sama lain, dan yang terbawah dipasak ke *blandar*, sehingga *tumpangsari* menjadi satu dengan *blandar/pangeret* dan membentuk "balok" sangat kaku yang ditumpu di ujung-ujung *saka*. *Usuk pandedel* diletakkan diatas *tumpangsari* sisi eksterior, maka beban atap membebani "balok" *tumpangsari-blandar/pangeret* dan diteruskan ke empat buah *sakaguru* (gambar 3). *Tumpangsari* pendek dan *tumpangsari* panjang dihubungkan dengan sambungan coakan setengah balok dan ditembus oleh pen dari *saka*, sehingga pada bidang denah saling mengunci (gambar 2) dan bersama dengan rangka plafond bekerja sebagai diafragma horisontal yang kaku.
- Detail B (gambar 2) 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* yang mampu menahan momen, maka rangka *sakaguru* dapat bekerja sebagai rangka pemikul momen.
- Detail C (gambar 2) menunjukkan konstruksi pertemuan *santen* dengan *blandar* dan *sunduk*. *Santen* merupakan komponen penggenap yang berfungsi untuk meniadakan lendutan *blandar*(Priyotomo, 2005), berarti *santen* tidak berperan menahan gaya geser lateral. 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 dan dapat efektif bekerja melawan gaya geser lateral.



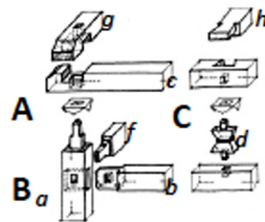
Gambar 1. Struktur Rong-rongan tanpa tumpangsari

Sumber: Frick, 1997

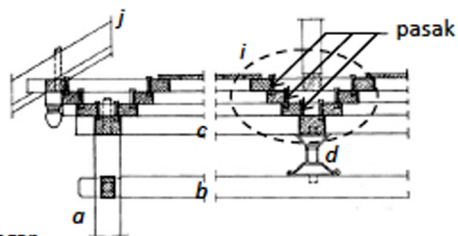
(a = saka, b =sunduk, c = blandar, d = santen, f = kili, g=pangeret)

### Kajian Teoritis

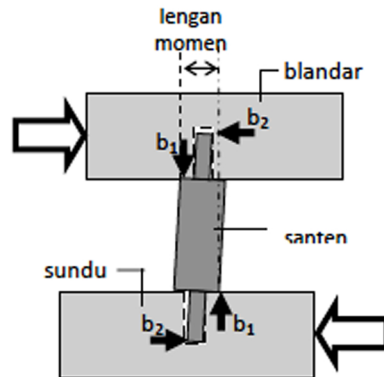
Konstruksi sambungan *santen-blandar* dan *santen-sunduk* (C) adalah konstruksi sambungan pen dan lubang (gambar 2). Bentuk *santen* di dalam gambar 2 dan 3 adalah salah satu varian dari bentuk-bentuk *santen* yang beragam. Dari uraian sebelumnya dinyatakan bahwa *santen* hanya merupakan komponen penggenap untuk menghindari lendutan *blandar/pangeret* dan tidak selalu ada dalam *rong-rongan*, maka diasumsikan *santen* hanya aktif terhadap gaya aksial tekan, dan dimodelkan sebagai batang lurus (gambar 4). Terhadap gaya geser lateral dari kiri, *blandar/pangeret* 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 karena *santen* berbentuk lurus/berbentuk batang, maka perlawanan terhadap perputaran tersebut kecil karena lengan momennya kecil, sehingga kemampuan perlawanan tersebut diabaikan (gambar 4).



Gambar 2. 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 3. Detail penampang konstruksi tumpangsari  
 Sumber: Frick, 1997  
 (a = saka, b =sunduk, c = blandar, d = santen, i = tumpangsari, j =usuk pandedel)

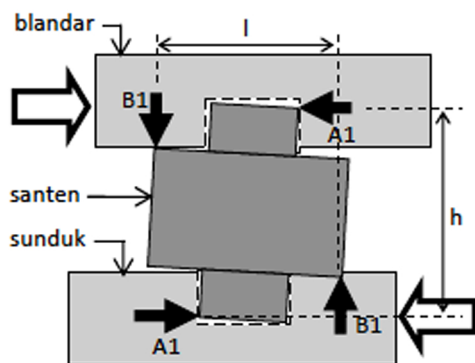


Gambar 4. Perilaku gaya di santon kurus/batang

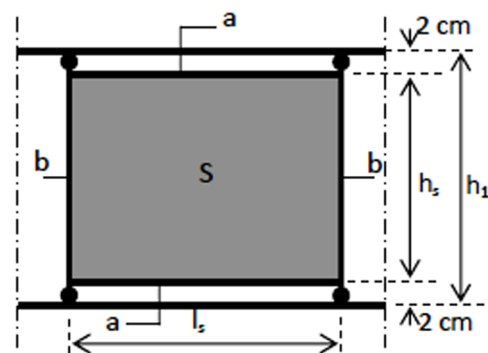
Oleh karena itu struktur *rong-rongan* merupakan struktur rangka pemikul momen dengan tumpuan sendi, yang stabilitas dan kekakuan lateralnya ditentukan oleh sistem sambungan kaku antara *saka* dengan *sunduk/kili* (detail B di gambar 2). Rangka *rong-rongan* tersebut disatukan secara lateral oleh *tumpangsari* dan plafon (gambar 3) sebagai diafragma horisontal kaku.

Menurut Prihatmaji (2007), 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. Menurut Arnold (1982) 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. Bila hasil penelitian Prihatmaji dikaitkan dengan teori Arnold tersebut, maka 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. Untuk memperpendek waktu getar bangunan tersebut agar tidak “*tune*” dengan waktu getar alami tanah maka struktur harus diperkaku.

Kekakuan lateral struktur, menurut Lin (1981) dapat ditingkatkan dengan meningkatkan ratio antara: ‘kekakuan sambungan kolom-balok’ dengan ‘kekakuan kolom’. Semakin kaku sambungan kolom-balok dibandingkan dengan kekakuan kolom, maka defleksi akibat momen lateral semakin kecil. Kekakuan sambungan kolom-balok tersebut dapat ditingkatkan dengan: 1) menambah dimensi kedalaman balok di pertemuan kolom-balok, merubah balok menjadi 2) rangka batang, atau 3) merubah balok menjadi *viendeel truss*. Bentuk rangka *rong-rongan* yang didalamnya terdapat *santen*, lebih cenderung disesuaikan dengan bentuk *viendeel truss*. *Viendeel* 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. *Viendeel truss* dapat berkinerja baik terhadap beban gravitasi karena perilaku perlawanan momen dan geser di setiap pertemuan batang vertikal dan batang horizontal, namun batang vertikal yang terletak di tengah bentang tidak melakukan perlawanan momen dan geser terhadap gaya gravitasi, karena di titik tersebut gaya geser eksternalnya adalah nol, sehingga batang vertikal tidak berputar. Namun terhadap gaya lateral, semua batang vertikal mengalami perputaran sudut karena batang horizontal atas cenderung bergeser lebih jauh dibandingkan batang horizontal bawah, maka *viendeel truss* dapat bekerja terhadap gaya lateral walaupun hanya ada satu batang vertikal di tengah bentang (disarikan dari: Schueller, 1977 dan Engel, 1977). Apabila diterapkan pada bentuk *rong-rongan* MSe: sebagai batang horizontal atas adalah *blandar/pangeret* (tidak termasuk *tumpangsari*), sebagai batang horizontal bawah adalah *sunduk/kili*, dan sebagai “batang” vertikal adalah “*SANTEN*”. “*SANTEN*” (gambar 6) pada MSe tersebut adalah penahan gaya geser, dikembangkan dari *santen* yang proporsinya membidang



Gambar 5. Santen bidang: perilaku gaya, perlawanan geser dan momen



Gambar 6. Model struktur "SANTEN",  $a$  = batang kayu 5/5,  $b$  = batang kayu 5/5,  $S$  = shell kayu 5 cm,  $\bullet$  = sambungan sendi

(gambar 5). *Tumpangsari* MSe, sengaja tidak disatukan dengan *blandar* /*pangeret* sebagai balok yang sangat kaku seperti yang ada pada struktur *rong-rongan* asli, agar kinerja *vierendeel truss* tersebut efektif.

Pemilihan bentuk *santen* bidang karena perilakunya terhadap perputaran sudut tidak seperti perilaku *santen* kurus (gambar 5, bandingkan dengan gambar 4). Kecenderungan *blandar* mau bergeser terhadap *sunduk*, atau *pangeret* terhadap *kili* akan memaksa *santen* bidang untuk berputar. Perputaran sudut *santen* bidang tersebut dilawan oleh kopel 'A1 x lengan momen  $h$ ', dan 'B1 x lengan momen  $l$ '. Kopel perlawanan tersebut cukup berarti karena lengan momen  $l$  cukup besar, sehingga pergeseran antara *blandar-sunduk* dan *pangeret-kili* 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, MSe tetap dapat bekerja sebagai rangka pemikul momen. "*Vierendeel truss*" yang terbentuk dari rangkaian '*blandar/pangeret-santen-sunduk/kili*', mempunyai kedalaman struktur ( $h$ ) yang relatif kecil bila dibandingkan dengan *vierendeel truss* pada umumnya. Bentuk "*vierendeel truss*" tersebut mirip dengan balok komposit "*stub-girder*" (gambar 7). *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 bentuk "*SANTEN*" dalam tulisan ini.



Gambar 7. Stub Girder

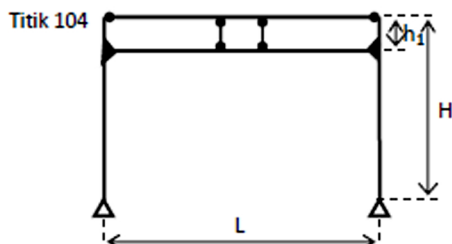
Sumber: American Institute of Steel Construction

### Pemodelan Struktur Rong-rongan

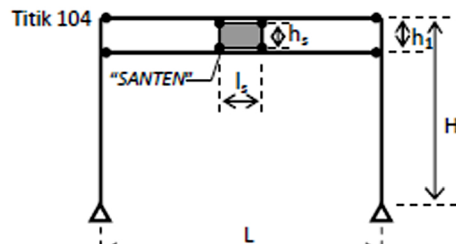
Dalam pemodelan ini diusahakan agar semua komponen mempunyai kondisi struktur yang sama, antara MSr dan MSE. Apabila karena perbedaan sistem perlu diadakan perbedaan, maka perbedaan tersebut dibuat sedemikian rupa agar tetap setara dalam hal jumlah beban. Komponen-komponen yang dapat disamakan adalah: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

- Diambil 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 plafon sangat kaku pada arah lateral dan bekerja sebagai diafragma horisontal yang kaku, oleh karena itu *tumpangsari* interior bersama plafon 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*.
  - Pada MSr, *blandar* disatukan dengan *tumpangsari* eksterior dimodelkan sebagai balok 15/65 cm<sup>2</sup>. Sedangkan pada MSE, *blandar* dibebaskan dari kerjasama dengan *tumpangsari*, dimensi *blandar* pada MSE adalah 15/20.
1. Model struktur *rong-rongan* asli (MSr), gambar 8.
- 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 10).
  - Batang-batang vertikal *santen* 5/5 ditetapkan 2 buah dengan jarak seperti yang ada di model MSE, agar pembagian panjang *blandar/pangeret* dan *sunduk/kili* 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 3) dimana *tumpangsari* dipasak satu sama lain 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 8. Model Struktur  
Rong-rongan Asli (MSr)



Gambar 9. Model Struktur  
Eksperimen (MSe-1 dan MSe-2)

Notasi:  = sambungan kaku ,  = tumpuan sendi ,  = sambungan sendi

2. Model struktur eksperimen (MSe-1), gambar 9.

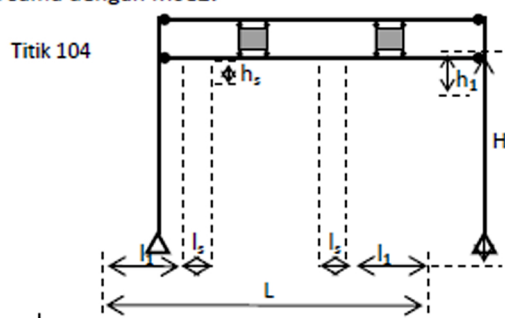
- Dalam MSe-1 ditetapkan jumlah “SANTEN” satu buah ( jumlah minimal untuk model struktur eksperimen), kontribusi “SANTEN” untuk memikul beban gravitasi diabaikan.
- Sambungan “*blandar/pangeret-saka*” dan “*sunduk/kili-saka*” dikondisikan sebagai sambungan sendi, sehingga stabilitas dan kekakuan strukturnya hanya tergantung dari kemampuan “SANTEN” menahan gaya geser lateral. Tumpuan di dasar *saka* dikondisikan sebagai sendi.
- “SANTEN” dimodelkan sebagai bidang *shell* kayu tebal 5 cm dikelilingi rangka kayu 5/5. Dimensi “SANTEN”:  $h_s \times l_s = 40 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$  untuk arah *blandar*, dan  $40 \times 40$  untuk arah *pangeret* (gambar 9). Pertemuan batang vertikal “SANTEN” dengan *blandar/pangeret* dan dengan *sunduk/kili* dikondisikan sebagai sambungan sendi. Sisa batang vertikal yang bebas dari bidang *shell* kayu dibuat sangat pendek (2 cm) agar tidak mengurangi kekakuan rangka kayu “SANTEN” 5/5.
- “*Blandar*” dimodelkan sebagai balok 15/20 dengan posisi “berdiri”. Hal ini dimaksudkan untuk mengefektifkan kerjasama antara “*blandar/pangeret-santen-sunduk/kili*” sebagai balok “*vierendeel*”.
- *Tumpang Sari* 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), (= gambar 9).

- MSe-2 merupakan varian dari MSe-1 dengan jumlah "SANTEN" satu buah untuk tiap portal, dengan merubah dimensi bidang "SANTEN" menjadi:  $h_s \times l_s = 40 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$  untuk arah *blandar*, dan  $40 \times 50$  untuk arah *pangeret*.
- Butir lainnya sama dengan MSe2.

### 4. Model struktur eksperimen (MSe-3), gambar 10.

- 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*. Jarak "SANTEN" terhadap *saka*  $l_1 = 105 \text{ cm}$  untuk arah *pangeret*, dan  $180 \text{ cm}$  untuk arah *blandar* (gambar 10).
- Butir lainnya sama dengan MSe2.



Gambar 13. Model Struktur Eksperimen MSe-3

## Hasil Analisis dan Kajian

Perbandingan MSr 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 sumbu y (tabel 1, tabel 2, tabel 3), 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, defleksinya lebih kecil dari MSr, berarti 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°.
- Peningkatan kekakuan MSe-2 (defleksi lateral = 1.888 cm) dan MSe-3 (defleksi lateral = 1.8835 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
MSr	STORY3	104	COMB4 MAX	2.2727	1.3106	-0.0032
MSe-1	STORY3	104	COMB4 MAX	2.2749	1.1666	-0.0045
MSe-2	STORY3	104	COMB4 MAX	2.2087	1.1311	-0.0045
MSe-3	STORY3	104	COMB4 MAX	2.1178	1.1273	-0.0045

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

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

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

	Story	Point	Load	UX	UY	UZ
MSr	STORY3	104	COMB4C MAX	1.4247	2.0931	-0.0025
MSe-1	STORY3	104	COMB4C MAX	1.3654	1.9458	-0.0037
MSe-2	STORY3	104	COMB4C MAX	1.3245	1.888	-0.0037
MSe-3	STORY3	104	COMB4C MAX	1.2689	1.8835	-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 yang 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 menambah dimensi lebar “SANTEN” atau menambah jumlah “SANTEN”.

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 mendalam, serta uji laboratorium untuk mempelajari perilaku model struktur eksperimen terhadap gempa.
2. Muncul gagasan penulis untuk penelitian lebih lanjut tentang peningkatan kinerja struktur, yaitu: ...“SANTEN” sebagai “fuse” ... untuk meredam getaran gempa pada struktur, pada struktur bangunan *rong-rongan*, atau pada 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: tafsir 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.