

SISTEM *STAGGERED TRUSS FRAME* SEBAGAI ALTERNATIF SISTEM STRUKTUR BENTANG LEBAR PADA GEDUNG BERTINGKAT

Y. DJOKO SETIYARTO

Jurusan Teknik Sipil
Universitas Komputer Indonesia

Meskipun dalam perkembangannya kurang populer dibandingkan sistem pemikul momen (portal) namun sistem staggered truss frame dapat dijadikan salah satu alternatif pada pemilihan sistem struktur bentang lebar untuk gedung bertingkat. Pertimbangan utamanya adalah kemampuan sistem staggered truss frame dalam menyediakan daerah bebas kolom yang luas dan menahan gaya-gaya lateral yang bekerja pada sistem struktur.

Staggered truss, spandrel beam, sistem lantai

PENDAHULUAN

Konsep *staggered truss* atau sistem kerangka batang tersusun bergantian pertama kali dikembangkan oleh Departemen Arsitek dan Sipil dari MIT pada tahun 1960-an. Sistem *staggered truss* terdiri atas rangkaian rangka batang tersusun (truss), dengan ketinggian *truss* setinggi tingkat yang membentang keseluruhan lebar antara dua baris kolom eksterior dan diatur dalam pola bergantian (*staggered*) pada garis kolom yang berdekatan.



Gambar 1

Sistem struktur *staggered truss* (Scalzi,

1971)

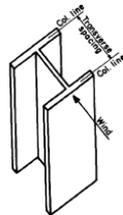
Sistem tersebut dikembangkan untuk memperoleh kerangka struktur yang paling efisien dalam menahan beban horizontal dan dalam waktu yang bersamaan menyediakan pula *layout* lantai dengan daerah bebas kolom yang luas. Sehingga sistem *staggered truss* dapat dijadikan salah satu alternatif pada pemilihan sistem struktur bentang lebar.

Meskipun dalam perkembangan selanjutnya sistem ini kurang populer dibandingkan sistem rangka pemikul momen (portal), sistem *core and outrigger*, dan sistem *Full Height Truss Frame* (Gordon, 2005), namun sistem *staggered truss frame* telah diterapkan pada beberapa proyek pembangunan gedung-gedung bertingkat 20 s/d 30 lantai di dunia internasional, seperti Resort International Hotel di Atlantic City New Jersey (Hassler, 1986), Embassy Suites Hotel di New York (Brazil, 2000), dan Taj Mahal Hotel di Atlantic City New Jersey (Cohen, 1986).

Alamat korespondensi pada Y. Djoko Setiyarto, Jurusan Teknik Sipil Universitas Komputer Indonesia, Jalan Dipati Ukur 114, Bandung 40132. Email: setiyarto@telkom.net.

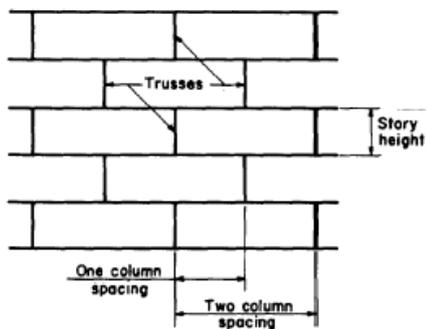
KONSEP DASAR STAGGERED TRUSS

Konsep dasar sistem *staggered truss* yaitu perilaku keseluruhan kerangka (frame) sebagai balok kantilever ketika sistem diberi beban lateral (Scalzi 1971). Dalam konteks ini, seluruh kolom yang terletak pada sisi eksterior dari gedung berfungsi sebagai sayap balok, sementara *truss* yang membentang dalam arah transversal pada keseluruhan lebar di antara kolom berfungsi sebagai badan dari balok kantilever.



Gambar 2
Sistem *staggered truss* diibaratkan sebagai kantilever vertikal (Scalzi, 1971)

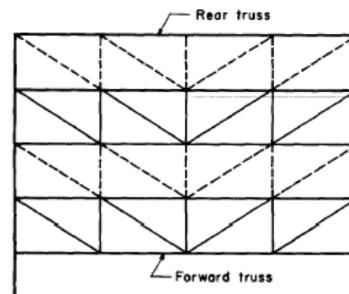
Dengan kolom hanya pada sisi eksterior dari gedung dan biasanya kolom interior dihilangkan, maka sistem *staggered truss* memberikan suatu bentang lebar yang bebas kolom. Pengaturan bergantian dari rangka batang tersusun setinggi lantai (floor-deep trusses) terletak pada level-level alternatif garis kolom yang berdekatan, yang mengijinkan bentang pelat lantai adalah sejarak kedua kolom yang menjadi tumpuan truss. Sehingga sistem tersebut menyediakan kebebasan pengaturan fungsi lantai bagi arsitek.



Gambar 3
Pola bergantian *truss* pada sistem struktur

staggered truss

Sistem lantai membentang dari tepi atas salah satu *truss* ke tepi bawah *truss* lain yang berdekatan. Selanjutnya, lantai menjadi komponen utama dari sistem kerangka struktur yang berperan sebagai suatu *diaphragm* yang memindahkan gaya geser lateral dari satu garis kolom ke garis kolom yang lainnya. Jadi memungkinkan struktur berperilaku sebagai *single braced frame*, meskipun *truss* terletak pada dua

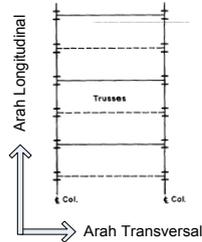


bidang yang sejajar.

Gambar 4
Aksi *double-planar* pada sistem struktur *staggered truss*

Aksi kantilever dari sistem *truss* adalah dua bidang (*double-planar*) yang menyebabkan beban-beban lateral dapat mengurangi momen lentur yang terjadi pada kolom. Orientasi badan kolom adalah tegak lurus dengan *truss*, sehingga tekuk lokal karena hubungan dengan ujung tepi *truss* dapat diabaikan. Diperhatikan pula, orientasi sumbu kuat dari penampang melintang kolom juga harus tersedia untuk sistem kerangka

portal dalam arah longitudinal gedung.

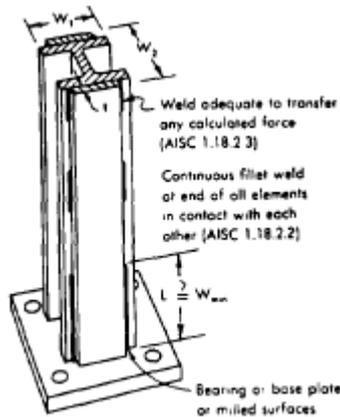


Gambar 5
Contoh Denah *Staggered Truss*

KOMPONEN – KOMPONEN DARI SISTEM STAGGERED TRUSS

Kolom

Fungsi kolom pada staggered truss sama dengan fungsi kolom pada sistem struktur umumnya, yaitu untuk mendukung beban gravitasi total dan beban lateral pada arah transversal dan longitudinal dari sistem struktur.



Gambar 6
Elemen Kolom (Hassler, 1986)

Beban gravitasi didistribusikan ke kolom dengan cara umum yang dilakukan yaitu berdasarkan perbandingan luas lantai, yang menerima sejumlah beban reduksi sesuai dengan peraturan yang ada. Beban gravitasi dipertimbangkan sebagai gaya aksial langsung yang bekerja pada kolom,

akibat hubungan truss pada badan kolom.

Gaya angin atau lateral pada gedung menghasilkan beban langsung pada kolom sebagai hasil dari aksi sistem *double planar truss*. Beban kolom dihitung dari momen lentur, M , pada setiap level, Z , dari ujung dan dapat dirumuskan (Scalzi 1986) sebagai

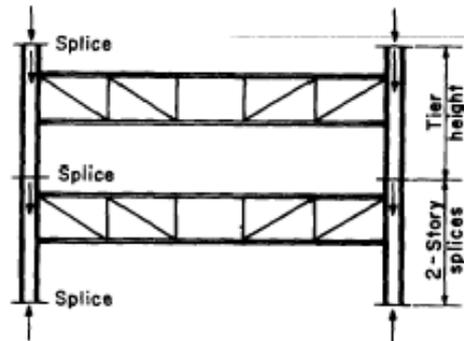
$$M = \frac{1}{2} WZ^2 \quad (1)$$

di mana W adalah beban angin atau lateral seragam per kaki ketinggian gedung. Untuk beban angin atau lateral lainnya perhitungan perbandingan perlu dibuat. Perhitungan beban angin pada kolom berdasarkan aksi balok kantilever yang diekspresikan sebagai:

$$P = M/D \quad (2)$$

di mana

- P = beban aksial kolom
- M = momen lentur
- D = lebar dalam arah transversal gedung



Gambar 7
Beban kolom diasumsikan berasal dari hubungan tepi atas truss dengan kolom (Scalzi, 1971)

Cara pemilihan penampang kolom sama dengan desain kolom baja (Segui, 2003) pada umumnya, yaitu berdasarkan pertimbangan beban aksial dan perilaku momen dalam arah longitudinal dan transversal dari gedung. Penelitian menunjukkan bahwa kolom bagian tengah menerima 90% beban aksial dan momen dari hubungan tepi atas truss. Selanjutnya, untuk desain, diasumsikan semua beban kolom bekerja pada

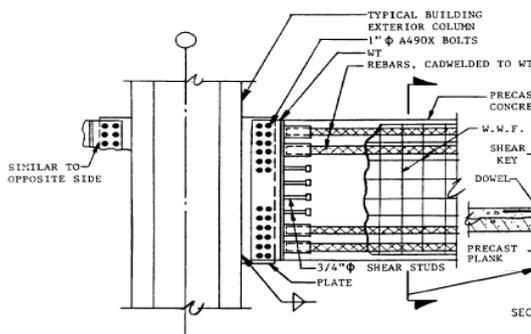
hubungan tepi atas *truss* ke kolom.

Spandrel Beams

Spandrel beam merupakan bagian tak terpisahkan dari sistem lantai untuk membentuk diafragma, sering disebut sebagai balok tinggi (*deep beam*). Hubungan yang monolit antara pelat lantai (*slab*) dan *spandrel* akan meningkatkan kekakuan lateral dari sistem lantai dan mengurangi tegangan pada daerah yang dianggap memiliki beban yang relatif besar. *Spandrel beam* juga merupakan bagian dari sistem pemikul momen dalam arah longitudinal gedung, yang desainnya berdasarkan beban lateral yang paling menentukan pada dua arah gedung.

Pemilihan jenis *spandrel beam* diawali dari sisi arsitektural dengan mempertimbangkan juga kekuatan struktural. Kedua komponen *spandrel beam* yaitu baja struktural dan beton dapat dipertimbangkan selama keduanya memenuhi persyaratan yang ada.

Dimensi penampang *spandrel beam* dengan lebar 12 inch (30 cm) dan tinggi 4 feet (120 cm) dianggap cukup memberikan keuntungan sisi arsitektural dan kekakuan struktural untuk bentang sepanjang 30 feet (9 m). Detail lengkap dari *spandrel beam* dapat dilihat pada gambar 8.

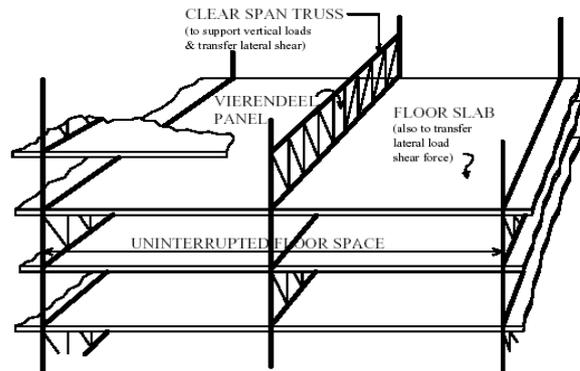


Gambar 8
Detail Spandrel Beam (Cohen, 1986)

Truss

Persyaratan umum untuk rangka batang tersusun setinggi tingkat (*the story-deep trusses*) adalah membentang dalam arah transversal dari dimensi gedung, menopang beban gravitasi secara langsung, dan menyediakan ketahanan yang cukup untuk beban lateral (Scalzi 1986).

Truss harus menyediakan suatu bukaan (*opening*) dekat pusat bentang untuk koridor dengan perbandingan lebar dan ketinggian yang cukup. Bagian tepi (atas dan bawah) atau *chord* dari *truss* seharusnya disesuaikan dengan lebar minimum sayap (*flens*), dengan tujuan untuk mendapatkan dinding dengan ketebalan minimum dan cukup untuk menyediakan dudukan bagi sistem lantai.

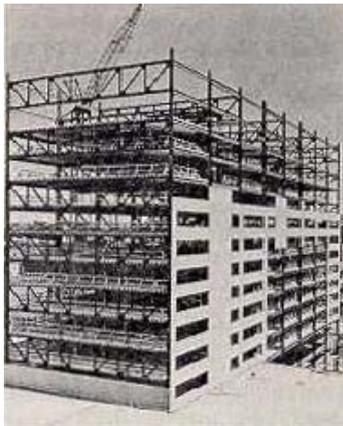


Gambar 9
Sistem Staggered Truss
(Del Savio et al, 2005)

Agar ekonomis untuk produksi massal, *truss* seluruh gedung seharusnya identik dalam bentuk dan jenis elemen, serta desain yang berselang-seling harus dapat mengakomodasikan perbedaan yang sedikit dalam dimensi elemen.

Desain dan pabrikasi yang ekonomis tentang diagonal *truss* ditunjukkan oleh

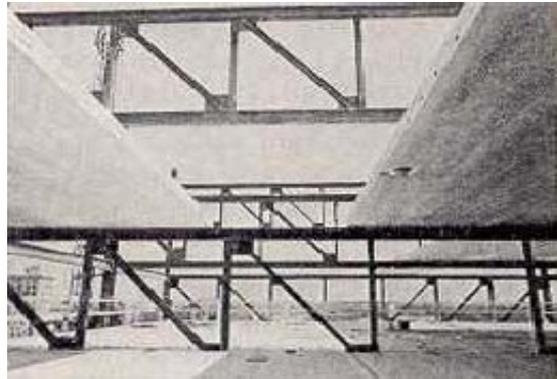
Pratt truss (Kowalczyk et al, 1994), yang diagonal-diagonalnya mengabaikan adanya koridor / jalan lurus. Saat ini *Pratt truss* dipandang sebagai jenis diagonal *truss* yang paling efisien digunakan dalam *staggered truss system* jika dipadukan dengan *Vierendeel truss*. *Vierendeel truss* adalah desain *truss* dengan panel berlubang, juga merupakan pilihan pertama sebagai *truss* yang paling efisien digunakan pada sistem *staggered truss*. Bagaimanapun, sang desainer harus mengevaluasi keekonomisan dari berbagai sistem *truss* yang digunakan untuk desain, khususnya sebelum membuat keputusan pemilihan akhir.



Gambar 10

Truss dalam pelaksanaan kontruksi tampak dari luar gedung (Del Savio et al 2005)

Beban gravitasi dari sistem lantai dimodelkan sebagai beban terpusat pada joint panel dari tepi atas dan bawah *truss*. Ukuran elemen ditentukan berdasarkan asumsi hubungan pin rangka batang sederhana (pin-connected trusses simply) yang didukung pada kedua ujung dan penyesuaian adanya tekuk lokal. Analisis awal akibat beban gravitasi umumnya menggunakan profil baja W10 (tinggi profil 10 inch), tebal pelat lantai 8 inch dan ketinggian *truss* adalah 8' - 10" atau 265 cm (Cohen, 1986).



Gambar 11

Truss dalam pelaksanaan kontruksi tampak dari dalam gedung (Del Savio et al 2005)

Pada proyek Resort International Hotel (Hassler, 1986), berat *truss* bervariasi dari 10.000 lbs pada gedung bertingkat 4 lantai hingga 36 ton pada gedung bertingkat 43 lantai. Pabrikasi *truss* tidak sulit, namun diperlukan tukang las yang berkualifikasi untuk mematuhi program *quality assurance*. Bentang *truss* relatif lebar yaitu; 68 feet (20,4 m) untuk Proyek Taj Mahal, dan 56' - 1" (16,8 m).



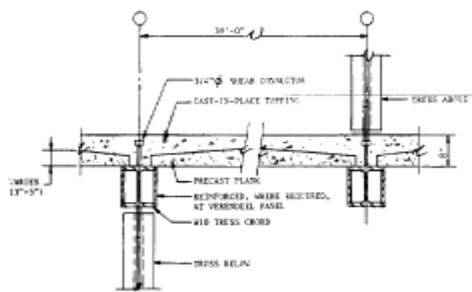
Gambar 12

Truss yang telah di-pabrikasi dan siap untuk *erecting* (Hassler 1986)

Sistem Lantai

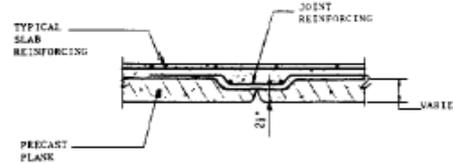
Sistem lantai yang digunakan untuk

staggered truss umumnya adalah pelat pracetak prategang (precast prestressed) atau pelat pracetak beton berongga (hollow-core precast concrete planks) satu arah dengan penambahan *topping* yang dicetak dan dicor di tempat (cast-in-place concrete topping). Pelat lantai membentang dari tepi atas salah satu truss ke tepi bawah truss lain yang bersebelahan. Sistem lantai harus berfungsi sebagai diafragma geser yang menahan gaya lateral, sehingga sistem sambungan antara pelat harus bersifat *rigid* dan mampu menyalurkan gaya geser yang timbul.



Gambar 13
Detail Peletakan Lantai (Cohen, 1986)

Pada Proyek Resort International Hotel menggunakan desain tebal pelat lantai 8 inci, sedangkan Proyek Taj Mahal menggunakan tebal pelat lantai 12 inci pada bagian lantai tingkat bawah yang berfungsi menahan beban hidup publik dan menggunakan tebal 8 inci pada bagian lantai tingkat atas yang berfungsi sebagai hunian. Tebal papan precast yang digunakan adalah 3 inci pada bagian ujung dan 5 inci pada bagian tengah.



Gambar 14
Detail Sambungan Antar Pelat Lantai (Cohen, 1986)

TAHAP KONSTRUKSI STAGGERED TRUSS

Berdasarkan pengalaman proyek pembangunan Resort International Hotel (Hassler 1986), sistem struktur *staggered truss* dilaksanakan secara bertahap lantai per lantai, karena ketidakstabilan yang diakibatkan oleh sistem lantai yang perletakkannya berbeda, ujung yang satu terletak pada tepi bawah *truss*, sedangkan ujung yang lain terletak pada tepi atas *truss*.

Tower crane merupakan salah satu alat berat yang wajib digunakan dengan pemilihan jenisnya berdasarkan ketinggian gedung, jangkauan dan kapasitas (beban ambil) untuk seluruh area lantai. Untuk gedung dengan jumlah lantai hingga 20 tingkat cukup menggunakan *tower crane self-supported* (model truk atau cat-mounted). Untuk gedung yang memiliki jumlah lantai lebih dari 20 tingkat perlu menggunakan *external climbing crane* yang di-support oleh menara baja dan dihubungkan dengan sistem struktur gedung setiap interval ketinggian 75 feet.

Berikut tahap-tahap pelaksanaan konstruksi *staggered truss* yang harus diperhatikan untuk menciptakan stabilitas struktur:

1. Pemasangan kolom
2. Pemasangan spandrel beams untuk mengikat kolom-kolom sepanjang sumbu kuat
3. Pemasangan rangka batang baja (steel trusses)
4. Sambungan tepi bawah sebaiknya dibaut kencang penuh setelah beban mati ditambah dari sistem lantai.
5. Pembautan dengan baut mutu tinggi
6. Pembautan pelat (sebagai pengganti pengelasan pelat) pada truss. *Grouting* bertujuan menciptakan sistem *bracing*, acuan kerja dan lain-lain di antara *truss*, bahkan *grouting* adalah kunci *joints* untuk dapat memberikan pembagian gaya geser pada pelat lantai yang telah disebutkan sebelumnya.

PENUTUP

Sistem *staggered truss* dapat dijadikan salah satu alternatif struktur bentang lebar pada gedung bertingkat dengan pertimbangan sebagai berikut:

1. Kolom memiliki momen lentur yang relatif kecil dibandingkan sistem portal karena adanya aksi kantilever dari sistem *double-planar* kerangka.
2. Kolom-kolom yang diorientasikan dalam sumbu kuat dapat bermanfaat untuk menahan gaya lateral dalam arah longitudinal gedung. *Staggered truss* dengan panjang lebih dari 15 m selain bermanfaat untuk menahan gaya lateral dalam arah transversal

gedung, juga bermanfaat memberikan keleluasaan pengaturan fungsi ruang bagi arsitektural.

3. Lantai membentang pada lebar bentang yang pendek, yang disediakan oleh bentang spasi dua kolom atau dua *truss*. Maka, tebal pelat lantai dapat dibuat seminimal mungkin.
4. Bentang area terbuka yang sangat lebar untuk parkir atau tempat berkumpul banyak orang adalah dimungkinkan pada level lantai pertama, karena kolom-kolom berlokasi hanya pada sisi luar gedung.
5. *Drift* (simpangan antar tingkat) yang terjadi adalah kecil, karena keseluruhan *frame* berperilaku sebagai *truss* kaku dengan beban aksial langsung bekerja pada seluruh elemen struktur.
6. Struktur baja yang relatif ringan dapat dicapai jika menggunakan baja mutu tinggi dan sistem kerangka yang efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Brazil, Aine. (2000). *Staggered truss system proves economical for hotel*. Modern Steel Construction.
- Cohen, M.P. (1986). Design Solutions Utilizing the Staggered-steel Truss System. *Engineering Journal*. Third Quarter. AISC. hlm 97-106.
- Gordon, J.C. (2005). *Development of the full height truss frame*. Master Degree Thesis, Georgia Institute of Technology.
- Hassler, A.E. (1986). Erecting the Staggered Truss System: A View from

