

PERBANDINGAN SISTEM TUNGGAL DAN SISTEM GANDA STRUKTUR BAJA RANGKA TERBREIS KONSENTRIS KHUSUS BERBENTUK V TERBALIK DENGAN *DIRECT ANALYSIS METHOD*

Ian Dharmawan Saputra¹, Louis Antonio Tjandra², Effendy Tanojo³ dan Hasan Santoso⁴

ABSTRAK : Untuk keperluan menghadapi gempa, perencanaan bangunan di Indonesia mengikuti SNI 1726:2012. Umumnya terdapat dua sistem penahan gempa, yaitu sistem tunggal dan sistem ganda. Untuk sistem tunggal, gaya gempa hanya signifikan pada portal baja yang terdapat breising. Sistem tunggal dalam penelitian ini menggunakan Rangka Terbreis Konsentris Khusus (RTKK). Sistem ganda pada penelitian ini berupa RTKK dan Rangka Momen Khusus (RMK) dengan mengikuti persyaratan SNI 1726:2012 pasal 7.2.5.1, yakni sistem rangka pemikul momen harus mampu menahan 25% dari gaya lateral terhadap proporsi kekakuannya. Kedua sistem dibandingkan agar dapat diketahui sistem penahan gaya gempa yang lebih baik performanya secara kekuatan serta *serviceability*. *Direct Analysis Method* (DAM) digunakan pada penelitian ini sekaligus dibandingkan tingkat keekonomisannya dengan hasil desain sistem ganda menggunakan *Effective Length Method* (ELM) sebagai metode desain stabilitas pada penelitian sebelumnya. Langkah penelitian meliputi verifikasi penggunaan DAM pada program analisis struktur, *preliminary design*, pemodelan dan pembebanan, desain kapasitas, pengecekan *drift*, pengujian kinerja bangunan, dan evaluasi performa bangunan beserta diskusi hasil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem tunggal lebih baik performanya daripada sistem ganda, meski sedikit lebih buruk dari segi *serviceability* pada bangunan 18-lantai. Secara khusus, sistem ganda yang didesain dengan DAM lebih ekonomis daripada ELM.

KATA KUNCI: struktur baja, sistem tunggal, sistem ganda, RTKK, RMK, DAM, performa, ekonomis.

1. PENDAHULUAN

Bahaya yang ditimbulkan gempa pada bangunan tidak dapat diabaikan, oleh karenanya diperlukan sistem struktur penahan gaya lateral. Dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 1726:2012, setidaknya terdapat 85 macam sistem penahan gaya gempa yang bisa digunakan (BSN, 2012), secara sederhana dapat diklasifikasikan menjadi sistem tunggal dan sistem ganda (Jaya & Winar, 2017). Struktur baja yang memanfaatkan sistem ganda Rangka Momen Khusus (RMK) dan Rangka Terbreis Konsentris Khusus (RTKK) perlu mengikuti SNI 1726:2012 yang berbunyi, “Untuk sistem ganda, rangka pemikul momen harus mampu menahan paling sedikit 25 persen gaya gempa desain. Tahanan gaya gempa total harus disediakan oleh kombinasi rangka pemikul momen dan dinding geser atau rangka breising, dengan distribusi yang proporsional terhadap kekakuannya” (BSN, 2012). Jaya dan Winar (2017) terpaksa membesarkan profil-profil kolom yang didesain secara RMK demi tercapainya ketentuan tersebut. Sementara pada sistem tunggal, beban gempa hanya signifikan bagi portal yang terdapat breising, sehingga bilamana sistem ganda berupa RMK dan RTKK didesain ulang dengan sistem tunggal RTKK, bangunan bisa menjadi ekonomis karena lebih ringan. Barangkali sistem tunggal lebih hemat dilihat dari segi ukuran profilnya, namun perlu ditinjau manakala menghadapi gaya gempa yang besar. Penelitian ini bermaksud mendesain ulang struktur baja pada studi kasus Jaya dan Winar (2016) menggunakan sistem tunggal RTKK untuk kemudian dibandingkan dengan sistem ganda RMK dan RTKK dari segi performanya. Penelitian dilakukan dengan

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, m21414142@john.petra.ac.id.

² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, m21414152@john.petra.ac.id.

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, effendy@petra.ac.id.

⁴ Dosen Program Studi Teknik Sipil, Universitas Kristen Petra Surabaya, hasan@petra.ac.id.

menggunakan *Direct Analysis Method* (DAM) sebagai metode desain stabilitas utama dalam SNI 1729:2015 (BSN, 2015) dan secara khusus, tingkat keekonomisan sistem ganda yang menggunakan DAM dibandingkan dengan hasil desain sistem ganda dengan *Effective Length Method* (ELM) sebagai metode desain stabilitas yang digunakan pada penelitian Jaya dan Winar (2017).

2. LANDASAN TEORI

2.1. Respons Spektrum

Sesuai SNI 1726:2012 pasal 7.9.4.1, gaya geser dasar bangunan akibat respons spektrum harus lebih besar atau sama dengan 85% gaya geser dasar akibat gempa statik ekuivalen. Untuk sistem tunggal RTKK menggunakan $R = 6$ dan sistem ganda RMK dan RTKK menggunakan $R = 7$ (BSN, 2012).

2.2. Rangka Terbreis Konsentris Khusus (RTKK)

Dalam SNI 7860:2015, perancangan RTKK diharapkan memberi kapasitas deformasi inelastis yang besar utamanya melalui tekuk dan pelelehan pada breising (BSN, 2015). Elemen breising direncanakan untuk leleh terlebih dahulu (Jaya & Winar, 2017).

2.3. Rangka Momen Khusus (RMK)

Target yang harus dicapai dalam RMK adalah *strong-column/weak-beam*, sesuai ketentuan SNI 7860:2015 (BSN, 2015). Setiap elemen struktur baja didesain terhadap aksial, geser, lentur, dan kombinasi aksial dan lentur sesuai dengan SNI 1729:2015 (BSN, 2015).

2.4. Sistem Tunggal (ST)

Sistem tunggal tidak perlu mengikuti SNI 1726:2012 pasal 7.2.5.1. Pada sistem tunggal, gaya gempa dominan atau signifikan pada struktur eksterior beserta rangka breisingnya.

2.5. Sistem Ganda (SG)

Untuk penggunaan sistem ganda, SNI 1726:2012 pasal 7.2.5.1 mensyaratkan bahwa RMK harus mampu menahan minimal 25% gaya gempa desain.

2.6. *Direct Analysis Method* (DAM)

Perencanaan dengan DAM mengikuti SNI 1729:2015 pasal C (BSN, 2015) dengan beberapa pendekatan, seperti penggunaan beban *notional* untuk mengakomodasi ketidaksempurnaan awal dan reduksi kekakuan. Pemakaian reduksi kekakuan hanya boleh dilakukan dalam analisis yang berkaitan dengan kekuatan dan tidak digunakan pada analisis yang berkaitan dengan *serviceability*.

3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dengan urutan sebagai berikut:

1. Melakukan verifikasi SAP2000 v19.0.0 dengan *benchmark* uji DAM pada elemen struktur dan portal sederhana.
2. Melakukan *preliminary design* dan pemodelan struktur menggunakan SAP2000 v19.0.0. Terdapat tiga model bangunan, masing-masing dikerjakan dengan skenario sistem tunggal (ST), sistem ganda dengan DAM (SG-DAM), dan sistem ganda dengan ELM (SG-ELM). Adapun penamaan dan keterangan bangunan disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kode Penamaan Bangunan

| Kode Bangunan | Makna Kode |
|---------------|---|
| 31J12 | Bangunan 3 Bentang 1 RTKK, pada wilayah gempa Jayapura, 12-lantai |
| 52J12 | Bangunan 5 Bentang 2 RTKK, pada wilayah gempa Jayapura, 12-lantai |
| 52J18 | Bangunan 5 Bentang 2 RTKK, pada wilayah gempa Jayapura, 18-lantai |

3. Menentukan pembebanan pada bangunan, meliputi beban mati, hidup, dan gempa secara respons spektrum.
4. Melakukan pengecekan persentase gaya geser dasar. Pada skenario ST, tidak terdapat batasan persentase gaya geser dasar, namun diupayakan agar persentasenya besar pada struktur yang terdapat rangka breising. Sedangkan pada skenario SG, persentase gaya geser dasar RMK minimal 25%. Apabila tidak sesuai dengan yang dikehendaki, maka dilakukan perubahan profil.
5. Melakukan desain kapasitas sesuai dengan syarat RTKK dan/atau RMK. Apabila tidak memenuhi persyaratan, maka dilakukan perubahan profil.
6. Pemeriksaan *drift* bangunan. Apabila tidak terpenuhi, maka dilakukan perubahan profil.
7. Evaluasi kinerja struktur dengan analisis *time history* secara nonlinier.
8. Evaluasi performa bangunan, tingkat keekonomisan, diskusi hasil, dan penarikan kesimpulan.

4. HASIL DAN ANALISIS

4.1. Dimensi Profil

Hasil desain seluruh bangunan disajikan pada **Tabel 2** hingga **Tabel 4**.

Tabel 2. Profil Terpakai Bangunan 31J12-ST dan 31J12-SG

| Elemen Struktur | Lantai | Lokasi | ST | SG (DAM & ELM) |
|-----------------|-----------|-----------|--------------------|--------------------|
| Breising | 1 s/d 3 | SEMUA | H - 264.257.12.20 | H - 250.250.9.14 |
| | 4 s/d 6 | SEMUA | H - 222.209.13.21 | H - 222.209.13.21 |
| | 7 s/d 9 | SEMUA | H - 216.206.10.17 | H - 208.202.10.16 |
| | 10 s/d 12 | SEMUA | H - 206.204.8.13 | H - 203.203.7.11 |
| Balok Anak | 1 s/d 12 | SEMUA | WF - 298.201.9.14 | WF - 298.201.9.14 |
| Balok Induk | 1 s/d 3 | SUDUT | WF - 551.315.15.24 | WF - 450.200.9.14 |
| | | EKSTERIOR | WF - 551.315.15.24 | WF - 450.200.9.14 |
| | | INTERIOR | WF - 400.200.8.13 | WF - 476.285.15.24 |
| | 4 s/d 6 | SUDUT | WF - 543.312.13.20 | WF - 450.200.9.14 |
| | | EKSTERIOR | WF - 543.312.13.20 | WF - 450.200.9.14 |
| | | INTERIOR | WF - 400.200.8.13 | WF - 488.300.11.18 |
| | 7 s/d 9 | SUDUT | WF - 488.300.11.18 | WF - 400.200.8.13 |
| | | EKSTERIOR | WF - 488.300.11.18 | WF - 400.200.8.13 |
| | | INTERIOR | WF - 400.200.8.13 | WF - 420.262.12.19 |
| | 10 s/d 12 | SUDUT | WF - 440.300.11.18 | WF - 400.200.8.13 |
| | | EKSTERIOR | WF - 440.300.11.18 | WF - 400.200.8.13 |
| | | INTERIOR | WF - 400.200.8.13 | WF - 415.260.10.17 |
| Kolom | 1 s/d 3 | SUDUT | H - 455.419.42.68 | H - 435.412.36.57 |
| | | EKSTERIOR | H - 435.412.36.57 | H - 435.412.36.57 |
| | | INTERIOR | H - 435.412.36.57 | H - 550.448.72.115 |
| | 4 s/d 6 | SUDUT | H - 455.419.42.68 | H - 425.409.33.53 |
| | | EKSTERIOR | H - 425.409.33.53 | H - 425.409.33.53 |
| | | INTERIOR | H - 407.404.27.44 | H - 531.442.66.106 |
| | 7 s/d 9 | SUDUT | H - 455.419.42.68 | H - 365.322.27.44 |
| | | EKSTERIOR | H - 416.406.30.48 | H - 365.322.27.44 |
| | | INTERIOR | H - 375.394.17.28 | H - 483.428.51.82 |

Tabel 2. Profil Terpakai Bangunan 31J12-ST dan 31J12-SG (Sambungan)

| | | | | |
|--|-----------|------------------|-------------------|-------------------|
| | 10 s/d 12 | SUDUT | H - 375.394.17.28 | H - 356.319.24.40 |
| | | EKSTERIOR | H - 381.395.19.30 | H - 356.319.24.40 |
| | | INTERIOR | H - 365.322.27.44 | H - 465.421.45.72 |

Tabel 3. Profil Terpakai Bangunan 52J12-ST dan 52J12-SG

| Elemen Struktur | Lantai | Lokasi | ST | SG (DAM & ELM) |
|--------------------|-----------|------------------|--------------------|--------------------|
| Breising | 1 s/d 3 | SEMUA | H - 264.257.12.20 | H - 250.250.9.14 |
| | 4 s/d 6 | SEMUA | H - 260.256.11.17 | H - 216.206.10.17 |
| | 7 s/d 9 | SEMUA | H - 216.206.10.17 | H - 200.200.8.12 |
| | 10 s/d 12 | SEMUA | H - 200.200.8.12 | H - 200.200.8.12 |
| Balok Anak | 1 s/d 12 | SEMUA | WF - 294.200.8.12 | WF - 294.200.8.12 |
| Balok Induk | 1 s/d 3 | SUDUT | WF - 467.282.12.20 | WF - 533.209.10.16 |
| | | EKSTERIOR | WF - 472.283.14.22 | WF - 533.209.10.16 |
| | | INTERIOR | WF - 400.200.8.13 | WF - 506.201.11.19 |
| | 4 s/d 6 | SUDUT | WF - 467.282.12.20 | WF - 533.209.10.16 |
| | | EKSTERIOR | WF - 472.283.14.22 | WF - 533.209.10.16 |
| | | INTERIOR | WF - 400.200.8.13 | WF - 506.201.11.19 |
| | 7 s/d 9 | SUDUT | WF - 467.282.12.20 | WF - 528.209.10.13 |
| | | EKSTERIOR | WF - 472.283.14.22 | WF - 528.209.10.13 |
| | | INTERIOR | WF - 400.200.8.13 | WF - 415.260.10.17 |
| | 10 s/d 12 | SUDUT | WF - 463.280.11.17 | WF - 400.200.8.13 |
| | | EKSTERIOR | WF - 463.280.11.17 | WF - 400.200.8.13 |
| | | INTERIOR | WF - 400.200.8.13 | WF - 415.260.10.17 |
| Kolom | 1 s/d 3 | SUDUT | H - 498.432.56.89 | H - 483.428.51.82 |
| | | EKSTERIOR | H - 498.432.56.89 | H - 483.428.51.82 |
| | | INTERIOR | H - 425.409.33.53 | H - 483.428.51.82 |
| | 4 s/d 6 | SUDUT | H - 455.419.42.68 | H - 483.428.51.82 |
| | | EKSTERIOR | H - 416.406.30.48 | H - 483.428.51.82 |
| | | INTERIOR | H - 425.409.33.53 | H - 483.428.51.82 |
| | 7 s/d 9 | SUDUT | H - 416.406.30.48 | H - 407.404.27.44 |
| | | EKSTERIOR | H - 399.401.25.40 | H - 407.404.27.44 |
| | | INTERIOR | H - 393.399.23.37 | H - 446.416.39.63 |
| | 10 s/d 12 | SUDUT | H - 399.401.25.40 | H - 407.404.27.44 |
| | | EKSTERIOR | H - 393.399.23.37 | H - 407.404.27.44 |
| | | INTERIOR | H - 372.374.16.26 | H - 446.416.39.63 |

Tabel 4. Profil Terpakai Bangunan 52J18-ST dan 52J18-SG

| Elemen Struktur | Lantai | Lokasi | ST | SG (DAM & ELM) |
|-----------------|---------|--------------|-------------------|-------------------|
| Breising | 1 s/d 3 | SEMUA | H - 308.305.10.15 | H - 229.210.15.24 |
| | 4 s/d 6 | SEMUA | H - 264.257.12.20 | H - 216.206.10.17 |
| | 7 s/d 9 | SEMUA | H - 229.210.15.24 | H - 206.204.8.13 |

Tabel 4. Profil Terpakai Bangunan 52J18-ST dan 52J18-SG (Sambungan)

| | | | | | |
|--------------------|--------------|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | 10 s/d 12 | SEMUA | H - 222.209.13.21 | H - 206.204.8.13 | |
| | 13 s/d 15 | SEMUA | H - 210.205.9.14 | H - 206.204.8.13 | |
| | 16 s/d 18 | SEMUA | H - 206.204.8.13 | H - 206.204.8.13 | |
| Balok Anak | 1 s/d 18 | SEMUA | WF - 294.200.8.12 | WF - 294.200.8.12 | |
| Balok Induk | 1 s/d 3 | SUDUT | WF - 560.318.18.29 | WF - 506.201.11.19 | |
| | | EKSTERIOR | WF - 560.318.18.29 | WF - 463.280.11.17 | |
| | | INTERIOR | WF - 415.260.10.17 | WF - 506.201.11.19 | |
| | 4 s/d 6 | SUDUT | WF - 560.318.18.29 | WF - 506.201.11.19 | |
| | | EKSTERIOR | WF - 560.318.18.29 | WF - 463.280.11.17 | |
| | | INTERIOR | WF - 415.260.10.17 | WF - 506.201.11.19 | |
| | 7 s/d 9 | SUDUT | WF - 560.318.18.29 | WF - 506.201.11.19 | |
| | | EKSTERIOR | WF - 560.318.18.29 | WF - 463.280.11.17 | |
| | | INTERIOR | WF - 415.260.10.17 | WF - 506.201.11.19 | |
| | 10 s/d 12 | SUDUT | WF - 482.286.17.27 | WF - 417.181.11.18 | |
| | | EKSTERIOR | WF - 551.315.15.24 | WF - 463.280.11.17 | |
| | | INTERIOR | WF - 415.260.10.17 | WF - 506.201.11.19 | |
| | 13 s/d 15 | SUDUT | WF - 476.285.15.24 | WF - 417.181.11.18 | |
| | | EKSTERIOR | WF - 482.286.17.27 | WF - 417.181.11.18 | |
| | | INTERIOR | WF - 415.260.10.17 | WF - 506.201.11.19 | |
| | 16 s/d 18 | SUDUT | WF - 420.262.12.19 | WF - 417.181.11.18 | |
| | | EKSTERIOR | WF - 420.262.12.19 | WF - 417.181.11.18 | |
| | | INTERIOR | WF - 400.200.8.13 | WF - 400.200.8.13 | |
| | Kolom | 1 s/d 3 | SUDUT | H - 550.448.72.115 | H - 531.442.66.106 |
| | | | EKSTERIOR | H - 514.437.60.97 | H - 531.442.66.106 |
| | | | INTERIOR | H - 425.409.33.53 | H - 498.432.56.89 |
| | | 4 s/d 6 | SUDUT | H - 531.442.66.106 | H - 514.437.60.97 |
| | | | EKSTERIOR | H - 465.421.45.72 | H - 498.432.56.89 |
| | | | INTERIOR | H - 425.409.33.53 | H - 483.428.51.82 |
| 7 s/d 9 | | SUDUT | H - 483.428.51.82 | H - 498.432.56.89 | |
| | | EKSTERIOR | H - 425.409.33.53 | H - 498.432.56.89 | |
| | | INTERIOR | H - 416.406.30.48 | H - 483.428.51.82 | |
| 10 s/d 12 | | SUDUT | H - 465.421.45.72 | H - 416.406.30.48 | |
| | | EKSTERIOR | H - 416.406.30.48 | H - 425.409.33.53 | |
| | | INTERIOR | H - 393.399.23.37 | H - 435.412.36.57 | |
| 13 s/d 15 | | SUDUT | H - 465.421.45.72 | H - 416.406.30.48 | |
| | | EKSTERIOR | H - 407.404.27.44 | H - 407.404.27.44 | |
| | | INTERIOR | H - 387.398.21.33 | H - 435.412.36.57 | |
| 16 s/d 18 | | SUDUT | H - 399.401.25.40 | H - 399.401.25.40 | |
| | | EKSTERIOR | H - 381.395.19.30 | H - 399.401.25.40 | |
| | | INTERIOR | H - 372.374.16.26 | H - 435.412.36.57 | |

4.2. Faktor Pengali dan Distribusi Gaya Lateral

Faktor pengali yang digunakan dan hasil distribusi gaya lateral disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Faktor Pengali dan Distribusi Gaya Lateral

| Bangunan | Skenario | Faktor Pengali ($E_x=E_y$) | Persentase Gaya Lateral (X=Y) | | |
|----------|----------|------------------------------|-------------------------------|----------|-----------|
| | | | RMK | RTKK | |
| | | | | Interior | Eksterior |
| 31J12 | ST | 2,08220 | - | 9,93% | 90,07% |
| | SG-DAM | 1,73456 | 27,08% | - | 72,92% |
| | SG-ELM | 1,58806 | 26,56% | - | 73,44% |
| 52J12 | ST | 2,21000 | - | 15,47% | 84,53% |
| | SG-DAM | 1,70000 | 28,32% | - | 71,68% |
| | SG-ELM | 1,54845 | 27,91% | - | 72,09% |
| 52J18 | ST | 2,26841 | - | 16,80% | 83,20% |
| | SG-DAM | 1,64085 | 25,44% | - | 74,56% |
| | SG-ELM | 1,52422 | 25,11% | - | 74,89% |

4.3. Berat Bangunan

Data berat bangunan baja disajikan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Berat Bangunan Baja

| Bangunan | Skenario | Berat Total | | Luas Per Lantai (m^2) | Lantai | Luas Total (m^2) | Rerata Berat Per-Luasan Lantai | | Persentase (%) |
|----------|----------|-------------|---------|---------------------------|--------|----------------------|--------------------------------|---------------|----------------|
| | | (kg) | (ton) | | | | (kg/m^2) | (ton/m^2) | |
| 31J12 | ST | 600145,20 | 600,15 | 324 | 12 | 3888 | 154,36 | 0,1544 | 100 |
| | SG | 643443,36 | 643,44 | 324 | 12 | 3888 | 165,49 | 0,1655 | 107,21 |
| 52J12 | ST | 1339159,20 | 1339,16 | 900 | 12 | 10800 | 124,00 | 0,1240 | 100 |
| | SG | 1621184,40 | 1621,18 | 900 | 12 | 10800 | 150,11 | 0,1501 | 121,06 |
| 52J18 | ST | 2349828,00 | 2349,83 | 900 | 18 | 16200 | 145,05 | 0,1450 | 100 |
| | SG | 2536944,00 | 2536,49 | 900 | 18 | 16200 | 156,60 | 0,1566 | 107,96 |

4.4. Perbandingan DAM dan ELM pada Sistem Ganda

Perbandingan rasio kapasitas antara DAM dan ELM disajikan pada **Tabel 7** hingga **Tabel 9**.

Tabel 7. Perbandingan Rasio Kapasitas (Interaksi) 31J12-SG-DAM dan 31J12-SG-ELM

| Elemen Struktur | | DAM<ELM | | DAM=ELM | | DAM>ELM | |
|-----------------------|-------|---------|----------------------|---------|----------------------|---------|----------------------|
| Nama | Total | Jumlah | Selisih terhadap DAM | Jumlah | Selisih terhadap DAM | Jumlah | Selisih terhadap DAM |
| Balok Anak | 216 | 17 | 0-0,096% | 1 | 0% | 198 | 0,007-2,079% |
| Balok Induk Sudut | 96 | 8 | 0,167-1,088% | - | - | 88 | 0,047-2,658% |
| Balok Induk Eksterior | 48 | 20 | 3,548-12,346% | - | - | 28 | 0,073-6,982% |

| | | | | | | | |
|----------------------|-----|----|---------------|---|---|-----|--------------|
| Balok Induk Interior | 144 | 8 | 0,123-0,5% | - | - | 136 | 0,026-3,395% |
| Breising | 96 | 80 | 0,075-2,803% | - | - | 16 | 1,408-1,711% |
| Kolom Sudut | 48 | 48 | 0,738-41,364% | - | - | - | - |
| Kolom Eksterior | 96 | 96 | 0,718-9,103% | - | - | - | - |
| Kolom Interior | 48 | 4 | 0,991-0,991% | - | - | 44 | 0,004-0,006% |

Tabel 8. Perbandingan Rasio Kapasitas (Interaksi) 52J12-SG-DAM dan 52J12-SG-ELM

| Elemen Struktur | | DAM<ELM | | DAM=ELM | | DAM>ELM | |
|-----------------------|-------|---------|----------------------|---------|----------------------|---------|----------------------|
| Nama | Total | Jumlah | Selisih terhadap DAM | Jumlah | Selisih terhadap DAM | Jumlah | Selisih terhadap DAM |
| Balok Anak | 600 | 148 | 0,003-0,492% | - | - | 452 | 0,008-1,701% |
| Balok Induk Sudut | 96 | 4 | 1,146-1,146% | - | - | 92 | 0,092-4,749% |
| Balok Induk Eksterior | 144 | 52 | 0,212-21,98% | - | - | 92 | 0,651-13,137% |
| Balok Induk Interior | 480 | 8 | 0,657-0,841% | - | - | 472 | 0,021-3,57% |
| Breising | 192 | 160 | 0,612-2,56% | - | - | 32 | 0,187-2,361% |
| Kolom Sudut | 48 | 48 | 0,424-16,601% | - | - | - | - |
| Kolom Eksterior | 192 | 188 | 0,086-34,045% | - | - | 4 | 0,029-0,029% |
| Kolom Interior | 192 | 152 | 0-1,705% | - | - | 40 | 0-0,041% |

Tabel 9. Perbandingan Rasio Kapasitas (Interaksi) 52J18-SG-DAM dan 52J18-SG-ELM

| Elemen Struktur | | DAM<ELM | | DAM=ELM | | DAM>ELM | |
|-----------------------|-------|---------|----------------------|---------|----------------------|---------|----------------------|
| Nama | Total | Jumlah | Selisih terhadap DAM | Jumlah | Selisih terhadap DAM | Jumlah | Selisih terhadap DAM |
| Balok Anak | 900 | 301 | 0-0,731% | - | - | 599 | 0,001-1,934% |
| Balok Induk Sudut | 144 | 40 | 0,008-0,683% | - | - | 104 | 0,102-3,001% |
| Balok Induk Eksterior | 216 | 76 | 0,71-25,121% | - | - | 140 | 0,191-12,54% |
| Balok Induk Interior | 720 | 98 | 0,003-3,673% | - | - | 622 | 0-3,095% |
| Breising | 288 | 230 | 0,031-3,753% | - | - | 58 | 0,034-3,299% |
| Kolom Sudut | 72 | 72 | 0,48-38,024% | - | - | - | - |
| Kolom Eksterior | 288 | 288 | 1,104-44,73% | - | - | - | - |
| Kolom Interior | 288 | 200 | 0-2,789% | - | - | 88 | 0,001-0,024% |

4.5. Rasio *Drift* dan *Displacement*

Hasil rasio *drift* maksimum dan *displacement* maksimum akibat gempa dengan periode ulang 2500 tahun disajikan pada **Tabel 10**.

Tabel 10. *Drift Ratio* Maksimum dan *Displacement* Maksimum (Gempa Periode Ulang 2500 Tahun)

| Model Bangunan | Rasio <i>Drift</i> (%) | | | | <i>Displacement</i> (mm) |
|--------------------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|---------------------|--------------------------|
| | <i>Immediate Occupancy</i> | <i>Life Safety</i> | <i>Collapse Prevention</i> | <i>Unacceptable</i> | |
| 31J12-ST | | 0,96% | | | 370,61 |
| 31J12-SG-DAM | | 1,27% | | | 409,972 |
| 31J12-SG-ELM | | 1,29% | | | 408,879 |
| 52J12-ST | | 0,83% | | | 307,565 |
| 52J12-SG-DAM | | | 1,54% | | 434,891 |
| 52J12-SG-ELM | | | 1,54% | | 433,556 |
| 52J18-ST | | 0,91% | | | 504,243 |
| 52J12-SG-DAM | | 0,86% | | | 429,921 |
| 52J12-SG-ELM | | 0,86% | | | 429,921 |
| Batas Rasio <i>Drift</i> | <0,5% | 0,5%-1,5% | 1,5%-2% | >2% | |

4.6. Lokasi Sendi Plastis

Lokasi terjadinya sendi plastis pada akhir pengujian *time history* disajikan pada **Tabel 11**.

Tabel 11. Lokasi Terjadinya Sendi Plastis Akibat Gempa 2500 Tahun (Detik ke-30)

| Bangunan | Eksterior dan Sudut | Tahap Kinerja | Interior | Tahap Kinerja |
|----------------------------------|----------------------|---------------|----------------------|---------------|
| - 31J12-ST | Balok induk | IO | Balok induk | B |
| | Breising | E | | |
| | Kolom lantai 1 | C | | |
| | Kolom lantai 2 | IO | | |
| - 31J12-SG-DAM | Balok induk | IO | Balok induk | B |
| | Breising | E | | |
| | Kolom lantai 1 dan 2 | IO | Kolom lantai 1 dan 2 | IO |
| - 31J12-SG-ELM | Balok induk | IO | Balok induk | B |
| | Breising | E | | |
| | Kolom lantai 1 dan 2 | C | Kolom lantai 1 dan 2 | IO |
| - 52J12-ST | Balok induk | IO | Balok induk | B |
| | Breising | E | | |
| | Kolom lantai 1 | B | | |
| - 52J12-SG-DAM - 52J12-SG-ELM | Balok induk | IO | Balok induk | B |
| | Breising | E | | |
| | Kolom lantai 1 | IO | | |
| - 52J18-ST | Balok induk | IO | Balok induk | IO |
| | Breising | D | | |
| | Kolom lantai 1 | C | | |
| - 52J18-SG-DAM - 52J18-SG-ELM | Balok induk | IO | Balok induk | IO |
| | Breising | E | | |
| | Kolom lantai 1 | IO | | |

5. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa sistem tunggal RTKK memiliki performa kekuatan dan *serviceability* yang lebih baik daripada sistem ganda RMK dan RTKK, meski sedikit lebih buruk dari segi *serviceability* pada bangunan 18-lantai. Secara teoretis, penggunaan DAM pada sistem ganda lebih hemat bila dibandingkan dengan ELM, meski keduanya dapat digunakan profil yang sama.

6. DAFTAR REFERENSI

- BSN. (2012). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung: SNI 1726:2002*, Jakarta, Indonesia.
- BSN. (2015). *Ketentuan Seismik untuk Struktur Baja Bangunan Gedung (Seismic Provisions for Structural Steel Buildings): ANSI/AISC 341-10, IDT: SNI 7860:2015*, Jakarta, Indonesia.
- BSN. (2015). *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural: SNI 1729:2015*, Jakarta, Indonesia.
- Jaya, A., Winar, H. (2017). "Evaluasi SNI 1726:2012 Pasal 7.2.5.1 Mengenai Distribusi Gaya Lateral terhadap Kekakuan dan Kekuatan pada Sistem Ganda SRPMK dan SRBKK." *Jurnal Dimensi Pratama*. Vol. 6, No. 1.
- SAC Joint Venture (2000). *FEMA-356 Recommended Seismic Design Criteria for New Steel Moment-Frame Buildings*. Federal Emergency Management Agency, California.