

EVALUASI KINERJA STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN DAN TANPA DILATASI (Studi Kasus: Gedung Lapas Perempuan Tabanan)

Putu Bagus Sayudha Putra*, Made Sukrawa, I Gede Adi Susila

Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Udayana, Jimbaran, Bali, Indonesia

*Email: putra.2205511041@student.unud.ac.id

ABSTRAK

Gedung Lembaga Pemasyarakatan (Lapas) Perempuan di Tabanan merupakan bangunan bertingkat dengan panjang total 51,45 m yang direncanakan menggunakan sistem dilatasi kolom ganda (*twin columns*). Umumnya, dilatasi diterapkan pada bangunan dengan denah tidak beraturan atau panjang melebihi 60 m. Mengingat gedung ini memiliki denah beraturan dan bentang kurang dari 60 m, efektivitas penggunaan dilatasi perlu dievaluasi untuk meningkatkan efisiensi tanpa mengurangi keamanan struktur. Penelitian ini membandingkan kinerja Model Dengan Dilatasi (MDD) dan Model Tanpa Dilatasi (MTD) terhadap beban gempa, termal, dan susut beton. Analisis dilakukan menggunakan SAP2000 dengan metode Dinamis Respon Spektrum dan *Static Nonlinear Pushover Analysis* (SNPA) berdasarkan SNI 1726:2019 dan ATC-40. Beban termal dimodelkan dengan $\Delta T = 4,67^{\circ}\text{C}$ dan susut beton dengan regangan $\epsilon_{sh} = -0,0003$. Hasil menunjukkan rasio simpangan maksimum MTD sebesar 0,52%, masih di bawah batas izin 0,77%, serta kedua model mencapai tingkat *Immediate Occupancy* (IO). Analisis susut meningkatkan kebutuhan tulangan balok MTD hingga 21% tanpa perubahan dimensi. Dari sisi efisiensi, MTD mengurangi volume beton sebesar 8%, sehingga desain tanpa dilatasi dinilai lebih optimal, aman, dan ekonomis.

Kata kunci: Dilatasi, *Pushover Analysis*, *Immediate Occupancy*, Beban Termal dan Susut

PERFORMANCE EVALUATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES WITH AND WITHOUT DILATION (Case Study: Tabanan Women's Correctional Facility)

ABSTRACT

The Women's Correctional Facility (*Lapas*) building in Tabanan is a multi-storey building with a total length of 51.45 m which is designed using a twin column dilation system. Generally, dilation is applied to buildings with irregular floor plans or lengths exceeding 60 m. Considering that this building has a regular floor plan and less than 60 m span, the effectiveness of using dilation needs to be evaluated to improve efficiency without reducing structural safety. This study compares the performance of the Model with Dilation (MDD) and Model Without Dilation (MTD) against earthquake, thermal, and concrete shrinkage loads. The analysis was carried out using SAP2000 with the Dynamic Response Spectrum and Static Nonlinear Pushover Analysis (SNPA) methods based on SNI 1726:2019 and ATC-40. The thermal load was modeled with $\Delta T = 4.67^{\circ}\text{C}$ and concrete shrinkage with a strain of $\epsilon_{sh} = -0.0003$. The results show a maximum ratio MTD deviation of 0.52%, which is below the allowable limit of 0.77%, and both models achieved the Immediate Occupancy (IO) level. Shrinkage analysis increased the MTD beam reinforcement requirement by 21% without any dimensional changes. In terms of efficiency, MTD reduced concrete volume by 8%, making the dilation-free design more optimal, safe, and economical.

Keywords: *Dilation, Pushover Analysis, Immediate Occupancy, Thermal Load and Shrinkage*

1 PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur gedung fasilitas publik di wilayah dengan risiko gempa tinggi, seperti Kabupaten Tabanan yang termasuk dalam Kategori Desain Seismik (KDS) D, menuntut perencanaan struktur yang tidak hanya handal terhadap gaya lateral tetapi juga efisien dari segi biaya dan metode konstruksi. Salah satu tantangan dalam desain bangunan bentang menengah adalah keputusan mengenai penggunaan dilatasi (*expansion joint*).

Perencanaan dilatasi yang kurang tepat dapat berujung pada inefisiensi material atau justru menimbulkan kerumitan pelaksanaan yang tidak perlu.

Objek studi pada penelitian ini adalah Gedung Hunian Lembaga Pemasyarakatan (Lapas) Perempuan Kelas IIA Tabanan. Berdasarkan data perencanaan eksisting, gedung ini memiliki panjang total 51,45 meter dan didesain menggunakan sistem dilatasi kolom ganda (*twin columns*) yang memisahkan struktur menjadi beberapa segmen independen. Penerapan ini didasari oleh pertimbangan konservatif untuk mengantisipasi kerusakan akibat gempa dan deformasi suhu. Namun, literatur beton bertulang seperti ACI *Committee 224* merekomendasikan sambungan ekspansi secara mutlak hanya apabila panjang bangunan melebihi 60 meter. Dengan panjang 51,45 meter, gedung ini berada dalam kategori "area abu-abu", sehingga urgensi penggunaan dilatasi perlu dikaji ulang untuk menghindari *overdesign*.

Penghilangan dilatasi pada bangunan memanjang (sistem monolit) memang menawarkan efisiensi, namun menghadirkan risiko gaya dalam tambahan akibat beban deformasi paksa (*imposed deformation*), khususnya beban susut (*shrinkage*) dan beban termal. Jika pergerakan alami beton akibat fluktuasi suhu dan penyusutan tertahan oleh kekakuan elemen vertikal, akan timbul gaya tarik internal (*restrained forces*) yang dapat memicu keretakan struktur. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja struktur melalui studi komparasi antara model eksisting (Model Dengan Dilatasi/MDD) dan model redesain (Model Tanpa Dilatasi/MTD). Evaluasi dilakukan secara komprehensif mencakup kinerja seismik berbasis perpindahan (*displacement-based*) menggunakan *Static Pushover Analysis* sesuai standar ATC-40, serta analisis spesifik terhadap dampak beban lingkungan (termal dan susut). Penelitian ini diharapkan dapat memberikan justifikasi teknis mengenai efektivitas peniadaan dilatasi sebagai solusi yang lebih ekonomis tanpa mengurangi keamanan struktur.

2 DILATASI DAN PERILAKU STRUKTUR

Dilatasi adalah pemisahan struktur yang bertujuan memitigasi kerusakan akibat interaksi antar elemen bangunan yang memiliki karakteristik dinamis berbeda atau dimensi yang panjang. Pada daerah rawan gempa, penentuan jarak antar bangunan (*separation gap*) sangat krusial untuk mencegah terjadinya benturan antar gedung (*pounding effect*) saat struktur mengalami simpangan lateral maksimum. Standar ASCE 7-10 mensyaratkan jarak pemisah minimum harus mampu mengakomodasi jumlah simpangan inelastis dari kedua struktur yang bersebelahan.

Sesuai dengan SNI 1726:2019 dan ASCE 7-10 Pasal 12.12.3 (*Seismic Separation*), jarak pemisahan struktur ditujukan untuk mencegah tumbukan (*pounding*) akibat simpangan lateral selama gempa, dengan jarak minimum ditentukan sebagai penjumlahan simpangan maksimum desain.

$$Jarak_{min} = \Delta_{m1} + \Delta_{m2} \quad (1)$$

Dengan: Δ_{m1} = Simpangan bangunan 1

Δ_{m2} = Simpangan bangunan 2

2.1 Pembebanan Struktur

Pembebanan struktur meliputi beban mati, beban mati tambahan, beban hidup, beban gempa, beban termal, dan beban susut beton. Beban gempa dihitung menggunakan metode statik ekuivalen berdasarkan SNI 1726:2019 dengan sistem struktur berupa Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK). Pengaruh temperatur dimodelkan sebagai regangan termal seragam mengacu pada Martin & Acosta (1970), dengan deformasi termal elemen dihitung menggunakan:

$$\Delta L = \alpha \times L \times \Delta T \quad (2)$$

Dengan: ΔL : deformasi termal

α : koefisien muai panas beton ($1,0 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$)

L: bentang bangunan

Perubahan suhu memiliki peranan krusial dalam perancangan struktur beton karena fenomena tersebut dapat menyebabkan ekspansi maupun kontraksi dimensi. Perubahan dimensi ini berpotensi menimbulkan tegangan termal serta kerusakan apabila pergerakannya tertahan oleh elemen struktural. Pergerakan sambungan ekspansi diketahui sangat dipengaruhi oleh kondisi suhu dan tingkat kekangan struktur Walid Aboumoussa et al. (2023). Perubahan temperatur desain dihitung berdasarkan pendekatan Martin & Acosta (1970):

$$\Delta t = \frac{2}{3} (T_{max} - T_{min}) \quad (3)$$

Dengan: T_{max} = Suhu tertinggi

T_{min} = Suhu terendah

Dengan kombinasi pembebanan yaitu: 1,2D + 1,2L + 1,2T

Selain itu, beton mengalami penyusutan volume (*shrinkage*) akibat proses hidrasi dan penguapan. *Bureau of Indian Standards* (IS 456:2000) merekomendasikan nilai regangan susut (ϵ_{sh}) sebesar -0,0003 untuk keperluan desain. Pemendekan total akibat susut (δ_{sh}) dihitung sebagai:

$$\delta_{sh} = \epsilon_{sh} \times L \quad (4)$$

2.2 Analisis Kinerja Seismik (*Pushover Analysis*)

Static Pushover Analysis merupakan metode yang digunakan untuk mengidentifikasi perilaku keruntuhan bangunan akibat gempa. Proses ini dilakukan dengan memberikan pola beban lateral secara bertahap pada struktur hingga mencapai perpindahan lateral tertentu pada titik referensi, yang umumnya berada di pusat massa atap (Sari *et al.*, 2024). Analisis *pushover* menghasilkan kurva *pushover* yang menunjukkan hubungan antara gaya geser dasar (V) dan perpindahan titik referensi pada atap (D). Kurva kapasitas awalnya menunjukkan respons linier hingga mencapai titik leleh, setelah itu perilakunya menjadi non-linier (Dewobroto, 2005):

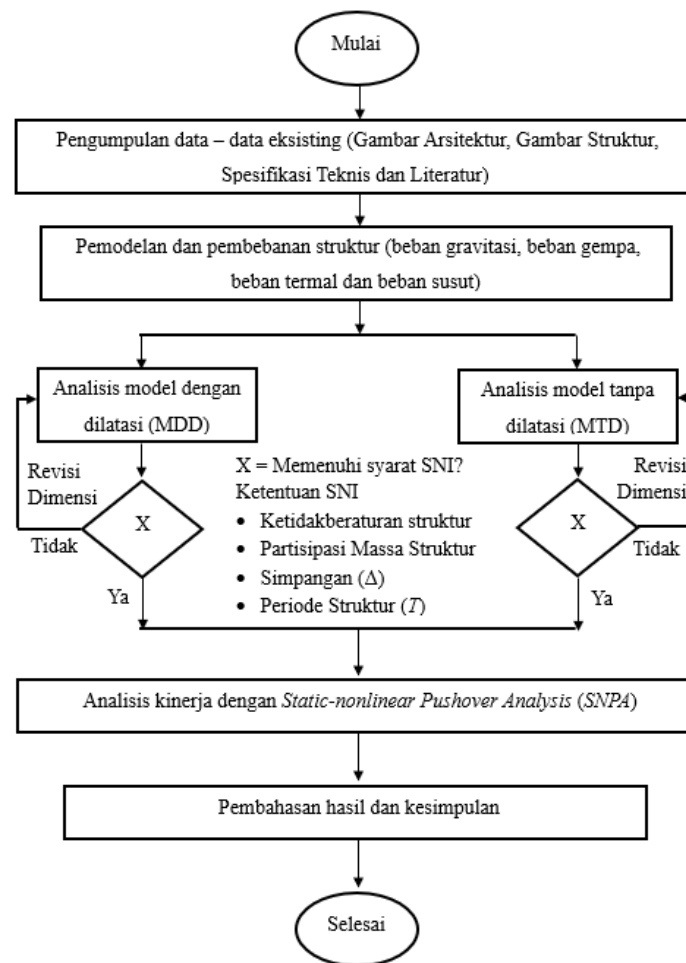
Berdasarkan FEMA 356 (2000), kinerja struktur bangunan dikategorikan ke dalam dua kelompok, yaitu *Discrete Structural Performance Levels* (IO, LS1, dan CP) serta *Intermediate Structural Performance Ranges* (DC dan LS2). Penjelasan lebih lanjut mengenai masing-masing tingkat kinerja disajikan sebagai berikut.

- a) *Immediate Occupancy* (IO)
Kinerja struktur *Immediate Occupancy* didefinisikan sebagai keadaan kerusakan pascagempa di mana struktur tetap aman untuk ditempati dan pada dasarnya mempertahankan kekuatan dan kekakuan sebelum gempa.
- b) *Damage Control* (DC)
Kinerja struktur *Damage Control* didefinisikan sebagai keadaan kerusakan pascagempa antara *Immediate Occupancy Structural Performance Level* dan *Life Safety Structural Performance Level*.
- c) *Life Safety* (LS1)
Kinerja struktur *Life Safety* didefinisikan sebagai keadaan kerusakan pasca gempa di mana suatu struktur memiliki komponen yang rusak tetapi mempertahankan margin keamanan terhadap timbulnya keruntuhan sebagian atau total.
- d) *Limited Safety* (LS2)
Kinerja struktur *Limited Safety* didefinisikan sebagai keadaan kerusakan pascagempa antara *Life Safety Structural Performance Level* dan *Collapse Prevention Structural Performance Level*.
- e) *Collapse Prevention* (CP)
Kinerja struktur *Collapse Prevention* didefinisikan sebagai keadaan kerusakan struktur pascagempa, di mana suatu komponen struktur telah rusak dan terus menopang beban gravitasi tetapi tidak dapat mempertahankan margin terhadap keruntuhan.
- f) *Not Considered*
Kinerja struktur *Not Considered* didefinisikan sebagai level kinerja yang tidak dipertimbangkan.

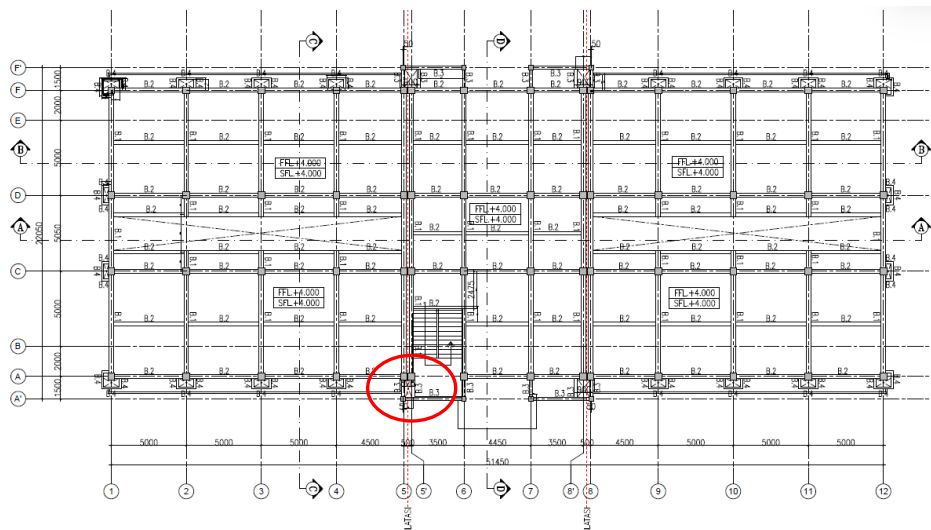
3 METODE

Objek penelitian dimodelkan menggunakan SAP2000 dengan dua skenario, yaitu Model Dengan Dilatasi (MDD) yang merepresentasikan kondisi eksisting dimodelkan hanya bagian kiri saja dengan asumsi bagian tengah dan kanan sama dengan sistem kolom ganda (*twin columns*), dan Model Tanpa Dilatasi (MTD) sebagai alternatif redesain dengan sistem struktur monolit. Data sekunder yang digunakan meliputi gambar perencanaan, dimensi elemen, dan spesifikasi material, dengan mutu beton $f_c' = 25$ MPa dan baja tulangan $f_y = 420$ MPa. Bangunan terdiri atas tiga lantai dengan tinggi total 13,70 m, dengan balok dan kolom dimodelkan sebagai *frame element*, pelat lantai sebagai *shell element*, serta tumpuan dimodelkan jepit.

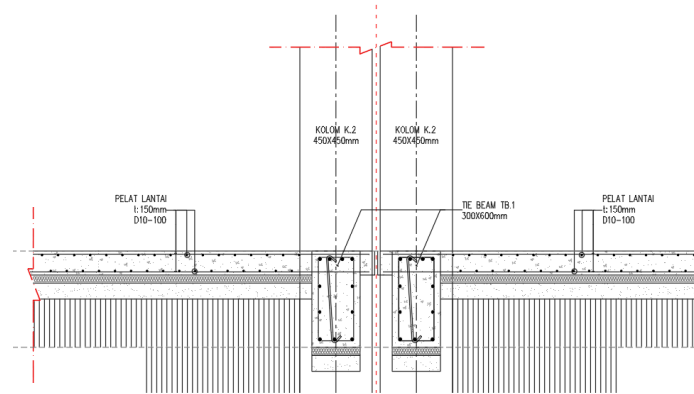
Analisis diawali dengan pengecekan ketidakberaturan, partisipasi massa, dan kontrol simpangan (*drift*) pada fase elastis. Selanjutnya, dilakukan analisis beban lingkungan untuk mengetahui peningkatan gaya dalam pada MTD. Terakhir, dilakukan analisis non-linier *pushover* untuk menentukan kapasitas, mekanisme sendi plastis, dan level kinerja struktur (*Performance Point*) sesuai ATC-40 (Gambar 1). Denah bangunan dan detail dilatasi ditampilkan dalam Gambar 2a dan 2b.



Gambar 1. Bagan alir penelitian



Gambar 2a Denah Bangunan Lapis Perempuan Tabanan

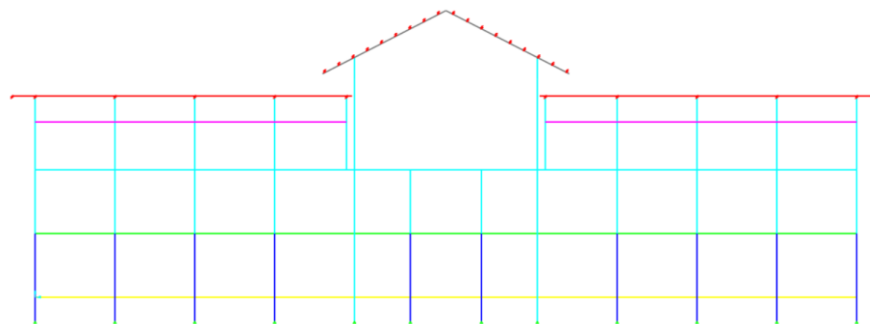


Gambar 2b Detail Dilatasi

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Prilaku Model Tanpa Dilatasi

Evaluasi ketidakberaturan struktur MTD dilakukan untuk menentukan metode analisis gempa yang sesuai berdasarkan SNI 1726:2019. Ketidakberaturan yang ditinjau meliputi ketidakberaturan horizontal berupa torsi tak terduga dan torsi berlebih (tipe 1a dan 1b), serta ketidakberaturan vertikal (tipe 1a dan 1b). Hasil analisis statik linier menunjukkan bahwa rasio simpangan maksimum terhadap simpangan rata-rata ($\Delta_{maks}/\Delta_{avg}$) pada seluruh tingkat berada di bawah batas 1,2 dan 1,4. Hal ini menandakan bahwa struktur MTD tidak mengalami ketidakberaturan horizontal.



Gambar 3. Pemodelan Struktur MTD

Simpangan antar tingkat dihitung dengan faktor pembesaran simpangan $C_d = 5,5$ dan faktor redundansi $\rho = 1,3$. Nilai simpangan maksimum dibandingkan dengan batas simpangan izin sebesar 0,77% dari tinggi lantai. Hasil analisis menunjukkan bahwa simpangan antar tingkat pada seluruh lantai, baik arah X maupun Y, berada jauh di bawah batas izin. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur memiliki kekakuan dan stabilitas lateral yang cukup dalam menahan beban gempa rencana.

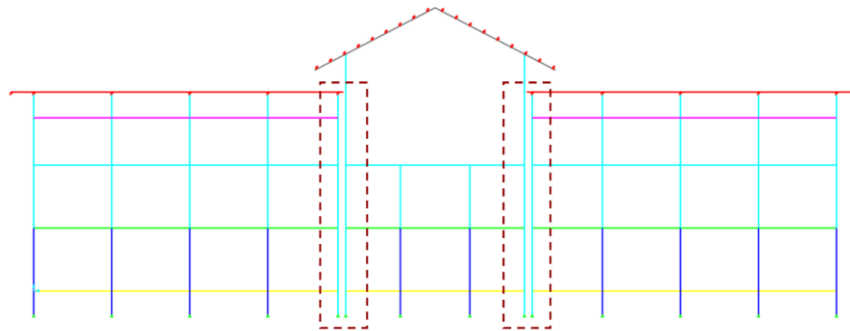
Analisis dinamik respon spektrum menunjukkan bahwa partisipasi massa struktur telah melampaui 90% dengan jumlah ragam getar yang memenuhi ketentuan SNI 1726:2019. Periode fundamental struktur diperoleh sebesar $T_x = 0,531$ detik dan $T_y = 0,519$ detik, berada dalam rentang periode yang diizinkan. Selain itu, gaya geser dasar dinamis yang telah diskalakan setara dengan gaya geser statik, sehingga memenuhi persyaratan desain gempa.

Evaluasi kapasitas elemen struktur menunjukkan bahwa seluruh kolom dan balok memiliki rasio demand/capacity (D/C) kurang dari atau sama dengan satu. Dengan demikian, struktur MTD dinyatakan memiliki kapasitas yang memadai dan memenuhi persyaratan keamanan struktur.

4.2 Analisis Prilaku Model Dengan Dilatasi

Evaluasi Model Dengan Dilatasi (MDD) dilakukan untuk menilai pengaruh pemisahan struktur terhadap kinerja seismik bangunan berdasarkan ketentuan SNI 1726:2019. Pemeriksaan ketidakberaturan struktur mencakup ketidakberaturan horizontal berupa torsi tak terduga dan torsi berlebih (tipe 1a dan 1b), serta ketidakberaturan vertikal (tipe 1a dan 1b). Hasil analisis statik linier menunjukkan bahwa rasio

simpangan maksimum terhadap simpangan rata-rata ($\Delta_{maks}/\Delta_{avg}$) pada seluruh tingkat berada di bawah ambang batas 1,2 dan 1,4. Hal ini menandakan bahwa struktur MDD tidak mengalami ketidakberaturan horizontal.



Gambar 4. Pemodelan Struktur MDD

Evaluasi simpangan antar lantai menunjukkan bahwa Model Dengan Dilatasi (MDD) menghasilkan simpangan yang relatif lebih kecil dibandingkan Model Tanpa Dilatasi (MTD), terutama pada lantai atap. Simpangan maksimum tercatat sebesar 0,47% pada arah X dan 0,52% pada arah Y. Seluruh nilai simpangan berada jauh di bawah batas izin yaitu 0,77%, sehingga kinerja struktur memenuhi kriteria batas layan dan stabilitas lateral. Perbedaan simpangan antara MDD dan MTD tidak berdampak signifikan terhadap tingkat keamanan struktur.

Tabel 1. Simpangan antar lantai arah x dan y model MTD dan MDD

	Lantai	Simpangan		$\Delta a/\rho$	CEK
		MTD	MDD		
Δx (mm)	Atap	0,47%	0,38%	0,77%	OK
	3	0,13%	0,07%		
	2	0,22%	0,13%		
	1	0,07%	0,04%		
Δy (mm)	Atap	0,52%	0,31%	0,77%	OK
	3	0,10%	0,07%		
	2	0,17%	0,12%		
	1	0,05%	0,04%		

Hasil analisis dinamis menunjukkan bahwa partisipasi massa struktur MDD telah melampaui 90% dengan jumlah ragam yang memenuhi ketentuan SNI 1726:2019. Periode fundamental struktur berada dalam rentang periode minimum dan maksimum yang diizinkan, serta gaya geser dasar dinamis telah diskalakan hingga setara dengan gaya geser statik.

Evaluasi kapasitas elemen struktur memperlihatkan bahwa seluruh kolom dan balok pada model MDD memiliki rasio *Demand/Capacity* (D/C) yang jauh di bawah 1,0 untuk kapasitas lentur maupun geser. Kondisi ini menunjukkan bahwa struktur dengan dilatasi memiliki tingkat keamanan yang memadai serta cadangan kekuatan yang cukup terhadap beban gempa rencana.

4.3 Analisis Terhadap Beban Termal

Analisis beban termal dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh perubahan suhu terhadap respons struktur, khususnya potensi timbulnya deformasi dan gaya dalam tambahan pada Model Tanpa Dilatasi (MTD), serta untuk memverifikasi kecukupan celah dilatasi pada Model Dengan Dilatasi (MDD). Perubahan temperatur desain (ΔT) yang digunakan mengacu pada data klimatologi setempat, dengan suhu tertinggi diperoleh nilai 32°C dan suhu terendah diperoleh nilai 25°C sehingga nilai perubahan temperatur sesuai dengan Persamaan (3) yaitu sebesar 4,67°C, dengan koefisien muai panjang beton (α) sebesar $1,0 \times 10^{-5}/^{\circ}\text{C}$. Hasil analisis ditampilkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Simpangan MTD dan MDD Terhadap Beban Termal

	SIMPANGAN	MTD	MDD
Δx (mm)	Atap	0,04	0,04
	3	0,02	0,01
	2	0,19	0,07
	1	0,01	0,00
	Atap	0,18	0,04
Δy (mm)	3	0,11	0,15
	2	0,77	0,77
	1	0,07	0,07

Berdasarkan hasil analisis, model dengan dilatasi (MDD) menunjukkan simpangan akibat beban termal yang sedikit lebih kecil dibandingkan model tanpa dilatasi (MTD). Namun, simpangan pada kedua model masih berada dalam batas izin, sehingga MTD tetap aman terhadap beban termal. Secara teoretis, deformasi termal struktur dengan bentang total $L = 51,45$ m digunakan Persamaan (2) dan diperoleh nilai deformasi teoretis sebesar 2,40 mm tergolong kecil. Pada MDD, celah dilatasi tersedia mampu mengakomodasi pergerakan ini tanpa risiko tumbukan (*pounding*). Sebaliknya, pada MTD deformasi termal tersebut dikekang oleh kekakuan balok dan kolom sehingga menimbulkan gaya dalam tambahan pada elemen struktur.

Secara keseluruhan, hasil analisis beban termal memperlihatkan bahwa baik model dengan maupun tanpa dilatasi memiliki kinerja yang aman terhadap pengaruh perubahan suhu. Perbedaan respons struktural yang terjadi relatif kecil dan tidak mempengaruhi kapasitas elemen secara signifikan. Hal ini menegaskan bahwa keputusan penggunaan atau peniadaan dilatasi harus mempertimbangkan tidak hanya aspek termal, tetapi juga efisiensi konstruksi, fungsi bangunan, serta integrasi dengan sistem struktur secara menyeluruh.

4.4 Analisis Terhadap Beban Susut

Evaluasi dilakukan dengan meninjau kombinasi pembebanan paling kritis yang memperhitungkan pengaruh beban gempa dan beban susut secara bersamaan. Elemen struktur yang dijadikan sampel adalah balok induk memanjang pada lantai dasar, karena area ini mengalami gaya pengekangan terbesar akibat kontinuitas struktur tanpa dilatasi (Tabel 3).

Tabel 3. Luas Tulangan Longitudinal Balok MTD dan MDD

Tipe Balok	MTD	MDD	Selisih
TB2	407	354	15%
B2	321	266	21%
RB2	168	143	17%

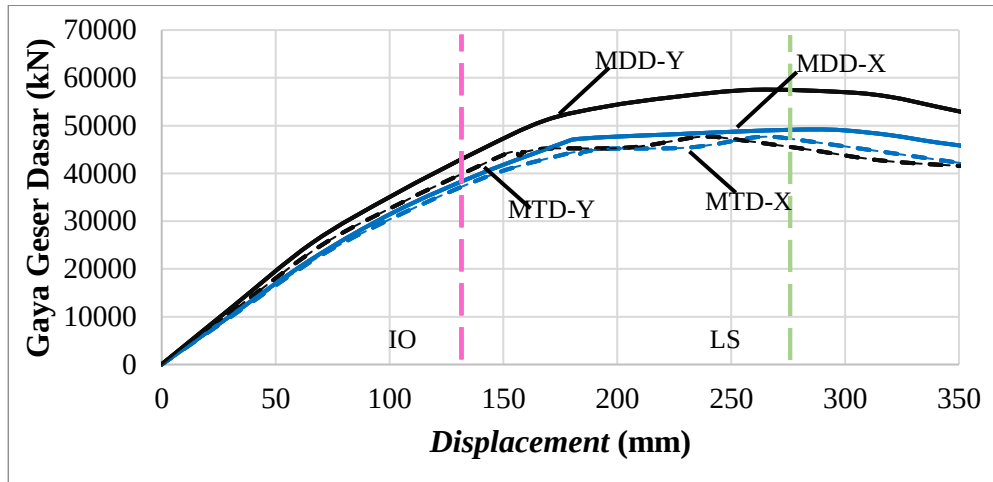
Hasil perbandingan kebutuhan luas tulangan longitudinal menunjukkan bahwa balok pada MTD memerlukan luas tulangan yang lebih besar dibandingkan MDD. Pada tipe balok TB2, kebutuhan tulangan MTD sebesar 407 mm², sedangkan MDD sebesar 354 mm² (selisih 15%). Pada balok B2, kebutuhan tulangan meningkat dari 266 mm² pada MDD menjadi 321 mm² pada MTD (selisih 21%), sementara pada balok RB2 terjadi peningkatan sebesar 17%.

Peningkatan kebutuhan tulangan cenderung lebih signifikan pada lantai yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh berkurangnya kontribusi beban gravitasi pada lantai atas, sehingga pengaruh gaya tarik aksial akibat pengekangan susut menjadi lebih dominan. Selain itu, akumulasi deformasi horizontal yang maksimum pada elevasi atas menyebabkan balok menerima gaya tarik tambahan untuk menjaga kontinuitas struktur MTD.

Meskipun terjadi peningkatan kebutuhan tulangan hingga 21%, jumlah tulangan terpasang pada desain eksisting masih mampu mengakomodasi tambahan tersebut. Dari sisi ekonomi, penambahan tulangan longitudinal pada sistem MTD dinilai lebih efisien dibandingkan penerapan sistem dilatasi yang memerlukan elemen struktur ganda. Dengan demikian, secara teknis dan ekonomis, model tanpa dilatasi masih dapat dipertanggungjawabkan.

4.5 Analisis Kinerja Struktur MTD dan MDD

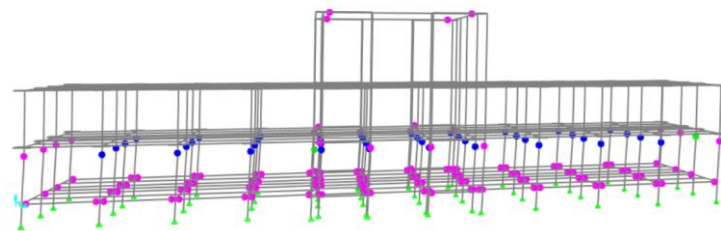
Analisis *pushover* dilakukan untuk mengevaluasi kinerja nonlinier struktur Model Tanpa Dilatasi (MTD) dan Model Dengan Dilatasi (MDD) melalui kurva kapasitas dan parameter performance point. Hasil analisis menunjukkan bahwa kedua model memiliki perilaku global yang relatif serupa, dengan perbedaan kecil pada kekakuan dan kapasitas geser dasar akibat penerapan dilatasi. MDD menunjukkan kapasitas geser yang sedikit (Gambar 5).



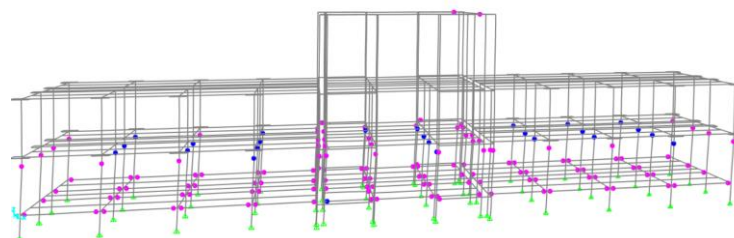
Gambar 5. Grafik Kurva *pushover* MTD dan MDD

Seperti terlihat pada Gambar 5 di atas, kedua model menunjukkan perilaku struktur yang relatif serupa, dengan perbedaan kecil pada kekakuan dan kapasitas maksimum akibat penerapan dilatasi.

Evaluasi mekanisme sendi plastis menunjukkan bahwa pada arah X, baik MTD maupun MDD umumnya memenuhi konsep *Strong Column-Weak Beam* (SCWB), dengan sendi plastis dominan terjadi pada balok. Namun pada arah Y, sendi plastis lebih banyak terjadi pada kolom, meskipun kemunculannya baru terjadi pada tingkat gempa yang jauh melebihi gempa rencana/Step-3 (Gambar 6).



Gambar 6. Mekanisme sendi plastis MTD arah X (Step 3)



Gambar 7. Mekanisme sendi plastis MDD arah X (Step 3)

Berdasarkan kriteria ATC-40, seluruh kondisi struktur berada pada level kinerja *Immediate Occupancy* (IO), yang menandakan struktur tetap aman, stabil, dan dapat segera difungsikan pascagempa tanpa perbaikan struktural signifikan.

4.6 Perbandingan Volume Beton Bertulang MTD dan MDD

Analisis efisiensi material dilakukan dengan membandingkan volume beton bertulang antara Model Tanpa Dilatasi (MTD) dan Model Dengan Dilatasi (MDD) sebagaimana disajikan pada Tabel 4. Hasil analisis menunjukkan bahwa MTD memiliki volume beton sebesar 378,61 m³, lebih kecil dibandingkan MDD sebesar 407,83 m³, dengan selisih sekitar 8%. Peningkatan volume pada MDD disebabkan oleh penggunaan elemen struktur ganda berupa kolom dan balok pada garis dilatasi. Mengingat MTD telah memenuhi seluruh kriteria kinerja seismik pada tingkat *Immediate Occupancy* serta simpangan izin, sementara panjang bangunan masih di bawah batas kritis kebutuhan dilatasi termal, maka penerapan dilatasi dinilai kurang efisien. Desain tanpa dilatasi dinyatakan lebih optimal dan ekonomis.

Tabel 4. Volume beton bertulang model MTD dan MDD

	MTD (m ³)	MDD (m ³)	Selisih
Volume beton	407,8345	378,6105	8%

4.7 Evaluasi Kebutuhan dan Lebar Celah Dilatasi

Evaluasi kebutuhan dilatasi Gedung Lapas Perempuan Tabanan dilakukan berdasarkan kinerja struktur dan potensi *pounding effect*. Hasil analisis menunjukkan bahwa Model Tanpa Dilatasi (MTD) memiliki kinerja yang sangat memadai, dengan simpangan antar lantai jauh di bawah batas izin 0,77% dan tingkat kinerja *Immediate Occupancy* (IO). Hal ini mengindikasikan bahwa struktur dapat berperilaku monolit tanpa memerlukan dilatasi. Pada Model Dengan Dilatasi (MDD), perpindahan lateral maksimum pada *performance point* mencapai 74,91 mm, melebihi lebar celah eksisting sebesar 50 mm. Kondisi ini menunjukkan risiko tumbukan antar-segmen bangunan, sehingga penerapan dilatasi eksisting dinilai tidak efektif. Oleh karena itu, desain tanpa dilatasi direkomendasikan sebagai solusi yang lebih aman dan efisien.

5 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi kinerja struktur Gedung Lapas Perempuan Tabanan, penerapan sistem struktur monolit atau Tanpa Dilatasi (MTD) pada bangunan dengan panjang 51,45 meter terbukti aman dan memenuhi persyaratan teknis. Simpangan antar lantai maksimum pada MTD tercatat sebesar 0,52%, masih di bawah batas izin 0,77% sesuai SNI 1726:2019. Ditinjau dari aspek ketahanan gempa (ATC-40), baik model MTD maupun model eksisting (MDD) sama-sama mencapai level kinerja *Immediate Occupancy* (IO), yang mengindikasikan struktur aman dan dapat segera difungsikan pasca gempa rencana. Meskipun penghilangan dilatasi memicu gaya tarik internal akibat beban susut—yang meningkatkan kebutuhan tulangan balok hingga 21%—kapasitas penampang terpasang masih memadai untuk mengakomodasinya. Sebaliknya, desain eksisting dengan dilatasi dinilai berisiko karena celah 50 mm tidak cukup menampung deformasi inelastis sebesar 74,9 mm (risiko *pounding*), serta kurang efisien karena membutuhkan volume beton 8% lebih banyak.

DAFTAR PUSTAKA

- Aboumoussa, W., & Iskander, M. (2003). Thermal movements in concrete: Case study of multistory underground car park. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 15(6), 587–595. American Society of Civil Engineers.
- ACI Committee 224. (2001). *Control of Cracking in Concrete Structures (ACI 224R-01)*. American Concrete Institute, Farmington Hills.
- ATC. (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings Volume 1 (ATC-40)*. Applied Technology Council, California.
- BSN. (2019). *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa Untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726:2019)*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN. (2019). *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2019)*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- BSN. (2020). *Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727:2020)*. Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Bureau of Indian Standards. (2000). IS 456:2000 – *Plain and reinforced concrete: Code of practice*. New Delhi: Bureau of Indian Standards.
- CSI. (2016). *CSI Analysis Reference Manual for SAP2000, ETABS, SAFE, and CSiBridge*. Berkeley, California, USA

- Dewobroto, W. (2005). Evaluasi Kinerja Struktur Baja Tahan Gempa dengan Analisa Pushover. Civil Engineering National Conference Sustainability Construction & Structural Engineering Based on Professionalism, Unika Soegijapranata, Semarang, 17-18 Juni 2005, 1–28
- Durachman, A., Hasyim, W. 2022. Analisis Jarak Dilatasi Struktur Bangunan Menggunakan Sistem Dilatasi Dua Kolom. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur* Vol. 8, No. 1
- Handayani, E. Y., Priyono, P., & Manggala, A. S. (2023). Studi Redesain Struktur Atas dengan Dilatasi dan Tanpa Dilatasi terhadap Denah Gedung Tidak Beraturan Bentuk U (Studi Kasus: Gedung Asrama SMAN 2 Taruna Bhayangkara, Genteng, Banyuwangi). *Jurnal Smart Teknologi*, 4(3), 338-348
- Mahendrayu, B., & Kartini, W. (2012). Sistem Rangka Pemikul Momen Khusus (SRPMK) Struktur Beton Bertulang pada Gedung Graha Siantar Top Surabaya. *Jurnal Teknik Sipil KERN*, 2(2), 121–130.
- Mamesah, H. Y., Wallah, S. E., & Windah, R. S. (2014). Analisis Pushover pada Bangunan dengan Soft First Story. *Jurnal Sipil Statik*, 2(4), 214–224.
- Martin, I. and Acosta, J. (1970). Effect of Thermal Variations on Roofing. *Journal of the American Concrete Institute*, Vol. 67, pp. 627-633.
- Wight, J.K. and MacGregor, J.G. (2012). *Reinforced Concrete: Mechanics and Design*. 6th Edition. Pearson, New Jersey.