



ANALISIS MOMEN-LENDUTAN PADA BALOK INDUK DENGAN VARIASI PENEMPATAN BALOK ANAK BETON BERTULANG

Indriyani¹, Nindyawati² dan Sulton, Mohammad³

¹Universitas Negeri Malang, email: indriyani.1905236@students.um.ac.id

² Universitas Negeri Malang email: nindyawati.ft@um.ac.id

³ Universitas Negeri Malang, email: mohammad.sulton.ft@um.ac.id

Abstrak

Elemen struktur yang sangat penting pada bangunan adalah balok. Dalam perencanaan balok beton bertulang didesain untuk kuat menahan gaya sesuai dengan pembebanan. Balok anak berfungsi untuk mendistribusikan beban pelat ke balok induk. Bangunan yang memiliki pelat lantai yang cukup besar penting untuk menggunakan balok anak untuk meminimalisir lendutan pada pelat. Luasan pelat yang besar memengaruhi besarnya lendutan yang dihasilkan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh konfigurasi penempatan balok anak beserta ukurannya terhadap momen lentur dan lendutan balok induk, serta lendutan maksimum yang terjadi pada pelat lantai. Terdapat enam Tipe pemodelan, yaitu Struktur Tipe Kontrol A1, Tipe A2, Tipe A3, Tipe Kontrol B1, Tipe B2, dan Tipe B3. Struktur Tipe Kontrol A1 memiliki luasan 7,2 m x 5 m tanpa menggunakan balok anak. Struktur Tipe A2 memiliki luasan 7,2 m x 5 m dengan balok anak perletakan silang, Tipe A3 memiliki luasan 7,2 m x 5 m dengan perletakan balok anak sejajar. Tipe Kontrol B1 memiliki luasan 6 m x 6 m tanpa menggunakan balok anak, Tipe B2 memiliki luasan 6 m x 6 m dengan perletakan balok anak silang, Tipe B3 memiliki luasan 6 m x 6 m dengan perletakan balok sejajar. Analisis pada penelitian ini menggunakan program berbasis elemen hingga. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan adalah variasi konfigurasi dengan penambahan balok anak berpengaruh pada lendutan pelat lantai. Penambahan balok anak pada struktur dapat mereduksi lendutan pada pelat lantai hingga 98,32%.

Kata kunci: Balok Induk, Konfigurasi Penempatan Balok Anak, Profil Beton Bertulang, Momen Lentur, Lendutan

1. PENDAHULUAN

Pada bangunan yang menggunakan beton dan tulangan baja sebagai material penyusun memiliki keunggulan masing-masing dalam memikul beban yang ada. Beton bertulang merupakan material yang kuat terhadap beban tekan maupun beban tarik (Sumajouw dan Windah, 2015). Beban tekan yang dialami oleh beton bertulang dapat ditahan oleh beton dan beban tarik yang dialami oleh beton bertulang ditahan oleh tulangan baja (Sumajouw dan Windah, 2015). Kombinasi antara beton dengan baja tulangan dapat menghasilkan kualitas bangunan beton bertulang yang baik.

Struktur yang sangat penting pada elemen di suatu bangunan adalah balok. Dalam perencanaan balok beton bertulang didesain untuk kuat menahan gaya yang akan terjadi sesuai dengan pembebanan. Balok anak menghubungkan dua balok induk dan membantu mendistribusikan beban pelat ke balok induk (Setiawan, Mungok dan Budi, 2015). Pada bangunan yang memiliki pelat lantai yang cukup besar sangat penting untuk menggunakan balok anak (Nadyaputri dan Purwanto, 2019). Luasan pelat yang besar memengaruhi besarnya

lendutan yang dihasilkan (Renaldy dan Alisjahbana, 2018). Balok anak penting untuk digunakan untuk meminimalisir lendutan yang dihasilkan.

Menyusun balok anak memerlukan konfigurasi yang sesuai karena dapat memengaruhi nilai lendutan yang dihasilkan. Menurut penelitian yang telah dilakukan oleh Renaldy & Alisjahbana (2018), pelat lantai tanpa balok anak memiliki lendutan sebesar $4,167 \times 10^{-4}$ m, sedangkan pelat lantai dengan balok anak memiliki lendutan $2,087 \times 10^{-5}$ m. Hal tersebut menunjukkan penurunan nilai lendutan pada pelat lantai yang menggunakan balok anak.

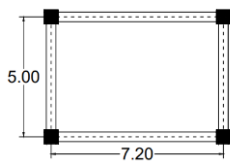
Penelitian variasi konfigurasi penggunaan balok anak dilakukan karena balok anak memiliki kelebihan dalam mereduksi lendutan dan dapat mengurangi biaya daripada penambahan ketebalan pada pelat lantai. Selain penelitian variasi penempatan balok anak, pada penelitian ini juga meneliti variasi ukuran pada pelat lantai. Variasi penelitian ukuran pelat dilakukan untuk menganalisis apakah variasi ukuran pelat persegi panjang dengan variasi persegi menghasilkan lendutan yang berbeda.

Berdasarkan pentingnya penggunaan balok anak, maka pada penelitian ini dilakukan variasi penempatan balok anak untuk melakukan analisa pada momen lentur dan lendutan yang terjadi. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis struktur 3 dimensi (3D) dengan menggunakan aplikasi SAP2000. Melalui penelitian ini, hasil yang diharapkan adalah memperoleh nilai momen lentur pada balok induk, nilai lendutan maksimum balok induk, dan nilai lendutan maksimum pada pelat lantai.

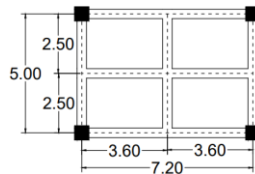
2. METODE

2.1. Rancangan Penelitian

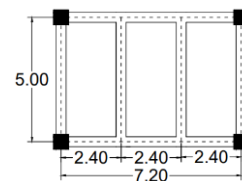
Penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan program berbasis elemen hingga untuk perhitungan statik gedung, program yang digunakan adalah SAP2000. Terdapat enam pemodelan struktur, yaitu Tipe Kontrol A1, Tipe A2, Tipe A3, Tipe Kontrol B1, Tipe B2, Tipe B3. Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh konfigurasi penempatan balok anak beserta ukurannya terhadap momen lentur dan lendutan balok induk, serta lendutan maksimum yang terjadi pada pelat lantai. Standar yang digunakan sebagai acuan pada penelitian adalah SNI 2847:2019 untuk menghitung kuat rencana pada balok dan syarat izin lendutan pada pelat lantai dan ASCE 7 untuk menghitung syarat lendutan izin pada balok.



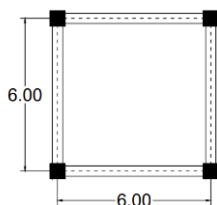
Gambar 1. 1 Struktur Tipe Kontrol A1



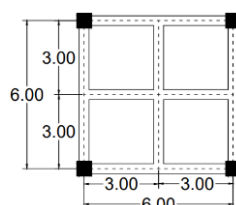
Gambar 1. 2 Struktur Tipe A2



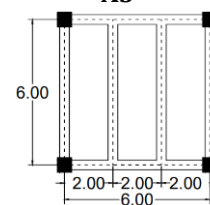
Gambar 1. 3 Struktur Tipe A3



Gambar 1. 4 Struktur Tipe Kontrol B1

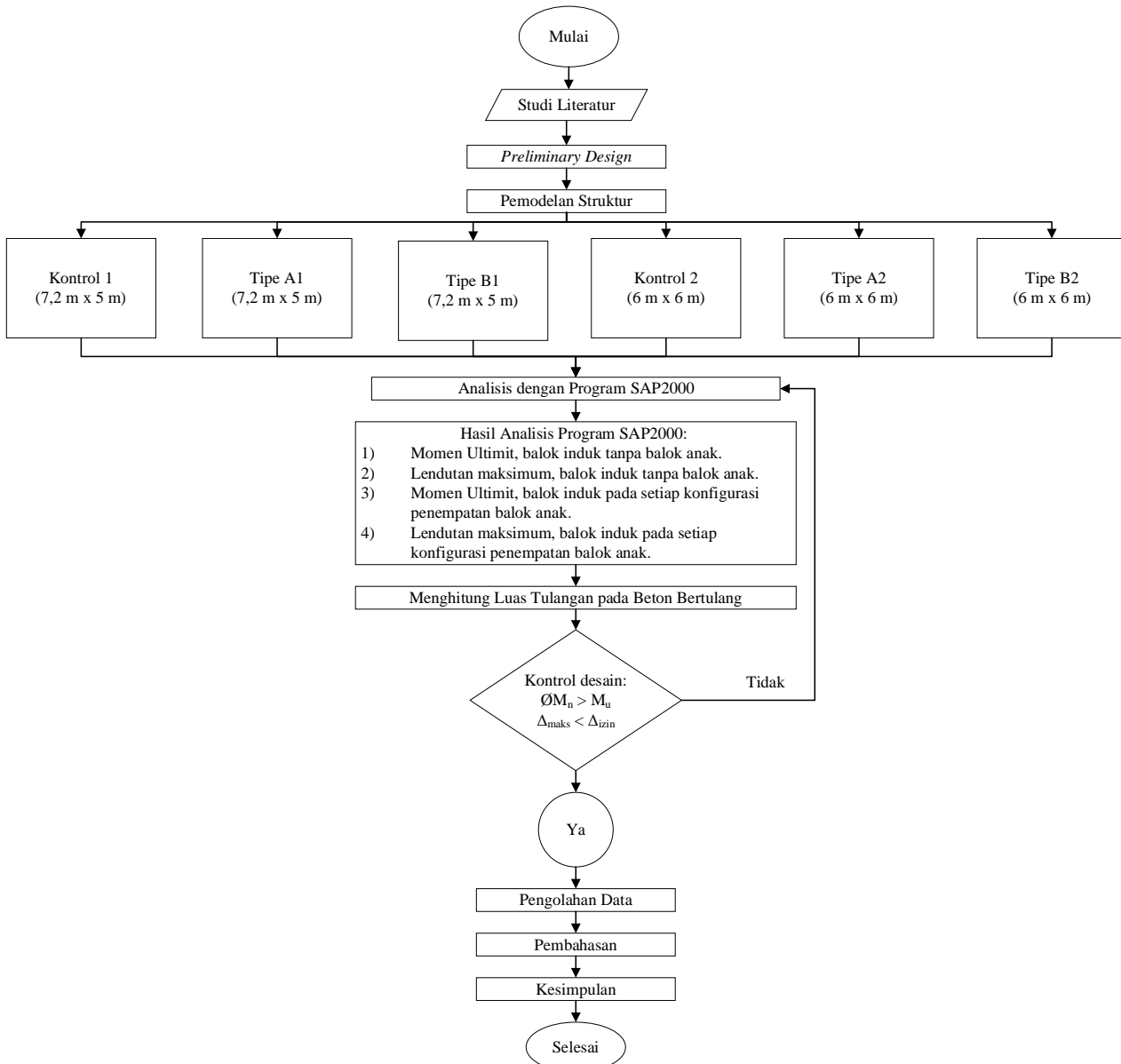


Gambar 1. 5 Struktur Tipe B2



Gambar 1. 6 Struktur Tipe B3

2.2. Diagram alir penelitian



Gambar 1. 7 Rancangan Penelitian

Data untuk elemen pada struktur penelitian berdasarkan pada pemodelan dari analisis pemodelan program SAP2000 serta perhitungan kontrol berdasarkan standar yang telah ditetapkan. Kombinasi pembebanan yang digunakan sebagai tinjauan penelitian adalah 1,2D+1,6L. Data elemen struktur kontrol disajikan pada Tabel 1 untuk struktur Tipe Kontrol A1 dan Tabel 2 untuk Tipe A2, Tipe A3, Tipe B2, Tipe B3.

Tabel 1. Data Material dan Dimensi Elemen Struktur Kontrol A1 dan B1

Elemen Struktur	Mutu Beton, f'_c	Dimensi
Kolom	25 MPa	600 mm x 600 mm
Balok Induk Lantai	25 MPa	400 mm x 550 mm
Balok Induk Atap	25 MPa	350 mm x 450 mm
Pelat Lantai	25 MPa	140 mm
Pelat Atap	25 MPa	120 mm

Tabel 2. Data Material dan Dimensi Elemen Struktur Tipe A2, Tipe A3, Tipe B2, Tipe B3

Elemen Struktur	Mutu Beton, f'_c	Dimensi
Kolom	25 MPa	600 mm x 600 mm
Balok Anak	25 MPa	300 mm x 400 mm
Balok Induk Lantai	25 MPa	400 mm x 550 mm
Balok Induk Atap	25 MPa	350 mm x 450 mm
Pelat Lantai	25 MPa	140 mm
Pelat Atap	25 MPa	120 mm

3. HASIL

3.1. Dimensi dan Momen lentur Balok Beton Bertulang

Balok induk pada penelitian ini menggunakan ukuran 400 mm x 550 mm dan untuk balok anak digunakan dimensi 300 mm x 400 mm. Kedua dimensi tersebut digunakan karena telah dinyatakan aman pada program dan telah memenuhi syarat kuat rencana ($\phi M_n \geq M_u$). Pada perhitungan kuat rencana dilakukan perhitungan pada gaya tekan beton, gaya tekan baja tulangan tekan, gaya tarik baja tulangan, kesetimbangan gaya, regangan beton, regangan baja tulangan tarik, regangan baja tulangan tekan, dan menentukan kapasitas dari kuat rencana. Hasil analisis balok induk disajikan pada Tabel 3 dan hasil analisis balok anak disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Analisis Dimensi Balok Induk terhadap Syarat Kuat Rencana

No	Struktur	Dimensi Balok Induk (mm)	Momen Ultimit, M_u (N.mm)	Kuat Rencana, ϕM_n (N.mm)	Ket
1	Kontrol A1	400 mm x 550 mm	140.195.227,00	301.361.576,60	Aman
2	Tipe A2	400 mm x 550 mm	149.804.090,00	340.666.094,80	Aman
3	Tipe A3	400 mm x 550 mm	169.207.207,00	379.572.477,88	Aman
4	Kontrol B1	400 mm x 550 mm	115.203.614,00	221.875.531,28	Aman
5	Tipe B2	400 mm x 550 mm	197.323.754,00	340.666.094,80	Aman
6	Tipe B3	400 mm x 550 mm	224.044.263,00	379.572.477,88	Aman

Kuat rencana pada tabel di atas pada perhitungannya telah dikali dengan faktor reduksi ($\phi = 0,9$). Kuat rencana pada penelitian ini telah melebihi besarnya momen ultimit, M_u pada balok induk sehingga profil dinyatakan aman berdasarkan pada syarat tahanan momen nominal. Momen lentur terbesar terjadi pada struktur Tipe B3 dengan nilai 224.044.263,00 N.mm, diikuti dengan struktur Tipe B2 197.323.754,00 N.mm, kemudian Tipe A3 169.207.207,00 N.mm, kemudian Tipe A2 149.804.090,00 N.mm, Tipe Kontrol A1 140.195.227,00 N.mm, dan Tipe Kontrol B1 115.203.614,00 N.mm.

Tabel 4. Hasil Analisis Dimensi Balok Anak terhadap Syarat Kuat Rencana

No	Struktur	Dimensi Balok anak (mm)	Momen Ultimit, M_u (N.mm)	Kuat Rencana, ϕM_n (N.mm)	Ket
1	Tipe A2	350 mm x 450 mm	31.644.407,00	92.250.731,37	Aman
2	Tipe A3	350 mm x 450 mm	34.901.292,00	92.250.731,37	Aman
3	Tipe B2	350 mm x 450 mm	45.512.494,00	116.429.677,15	Aman
4	Tipe B3	350 mm x 450 mm	61.290.421,00	141.284.974,55	Aman

Tahap selanjutnya setelah dilakukan pemeriksaan kuat rencana pada balok anak pada Tabel 4. Kuat rencana pada setiap tipe ditentukan dari luas tulangan yang digunakan pada masing-masing Tipe A2, Tipe A3, Tipe B2, dan Tipe B3. Nilai Kuat rencana balok anak tersebut telah memenuhi syarat tahanan momen nominal.

3.2. Lendutan Balok Induk

Analisis pada lendutan balok induk dilakukan agar elemen struktur terhindar dari kegagalan struktur akibat beban yang diberikan. Perhitungan lendutan izin didasarkan pada ASCE 7. Berikut adalah lendutan maksimum balok induk hasil dari analisis program SAP2000:

Tabel 5. Hasil Analisis Lendutan pada Balok Induk

No	Struktur	Lendutan Izin, Δ_{izin} (mm)	Lendutan Maks, Δ_{maks} (mm)	Ket
1	Kontrol A1	20	5,296	Aman
2	Tipe A2	20	6,355	Aman
3	Tipe A3	20	6,638	Aman
4	Kontrol B1	16,67	3,092	Aman
5	Tipe B2	16,67	6,281	Aman
6	Tipe B3	16,67	6,460	Aman

Tabel 5 disajikan hasil dari lendutan maksimum pada balok induk yang terjadi pada struktur yang dilakukan penelitian. Lendutan yang paling besar terjadi pada struktur Tipe A3 dengan nilai 6,638 mm, diikuti Tipe B3 dengan nilai 6,460 mm, kemudian Tipe A2 dengan nilai 6,355 mm, kemudian Tipe B2 dengan nilai 6,281 mm, lendutan pada Tipe Kontrol Tipe A1 dengan nilai 5,296 mm, dan lendutan Kontrol Tipe B1 dengan nilai 3,092 mm.

3.3. Lendutan Pelat Lantai

Lendutan pelat lantai menjadi elemen yang perlu diperhatikan agar elemen terhindar dari kegagalan suatu struktur. Lendutan izin pelat lantai ditentukan berdasarkan SNI 2847:2019. Tabel 6 adalah hasil dari perhitungan lendutan pada pelat lantai.

Tabel 6. Hasil Analisis Lendutan Pelat Lantai

No	Struktur	Lendutan Izin, Δ_{izin} (mm)	Lendutan Maks, Δ_{maks} (mm)	Ket
1	Kontrol A1	30	21,23	Aman
2	Tipe A2	15	0,36	Aman
3	Tipe A3	10	2,49	Aman
4	Kontrol B1	25	7,32	Aman
5	Tipe B2	12,5	0,13	Aman
6	Tipe B3	8,33	7,29	Aman

Tabel 6 merupakan hasil analisis yang telah dilakukan dari perhitungan lendutan maksimum pada pelat lantai pada setiap tipe struktur. Lendutan terbesar terjadi pada Struktur Kontrol A1 sebesar 21,23 mm, diikuti dengan Tipe Kontrol B1 dengan nilai lendutan 7,32 mm, kemudian Tipe B3 dengan lendutan pelat lantai 7,29 mm, kemudian Tipe A3 dengan nilai lendutan maksimum pada pelat lantai sebesar 2,49 mm, kemudian Tipe A2 dengan nilai lendutan sebesar 0,36 mm, dan Tipe B2 dengan lendutan pelat lantai 0,13 mm.

3.4. Luas Tulangan Balok Beton Bertulang

Hasil penelitian luas tulangan balok beton bertulang pada balok induk dari SAP2000 yang telah direncanakan dengan dimensi tulangan 19 mm dilampirkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Luas Tulangan Balok Induk Beton Bertulang

Keterangan	Luasan (mm ²)	Jumlah (n)	Digunakan
Tipe Kontrol A1	Tumpuan Atas	1885	7D19
	Tumpuan Bawah	1149	5D19
	Lapangan Atas	603	5D19
	Lapangan Bawah	1149	7D19
Tipe A2	Tumpuan Atas	2175	8D19

	Tumpuan Bawah	1149	4,054	5D19
	Lapangan Atas	691	2,438	5D19
	Lapangan Bawah	1244	4,389	8D19
Tipe A3	Tumpuan Atas	2342	8,264	9D19
	Tumpuan Bawah	1149	4,054	5D19
	Lapangan Atas	741	2,614	5D19
	Lapangan Bawah	1149	4,054	9D19
Tipe Kontrol B1	Tumpuan Atas	1242	4,382	5D19
	Tumpuan Bawah	813	2,868	3D19
	Lapangan Atas	403	1,422	3D19
	Lapangan Bawah	813	2,868	5D19
Tipe B2	Tumpuan Atas	2044	7,212	8D19
	Tumpuan Bawah	1149	4,054	5D19
	Lapangan Atas	651	2,297	5D19
	Lapangan Bawah	1494	5,271	8D19
Tipe B3	Tumpuan Atas	2240	7,904	9D19
	Tumpuan Bawah	1149	4,054	5D19
	Lapangan Atas	710	2,505	5D19
	Lapangan Bawah	1149	4,054	9D19

Tabel 7 merupakan hasil luas tulangan pada balok induk setiap tipe struktur yang didapatkan dari SAP2000. Tulangan yang digunakan pada balok induk adalah 19 mm. Tulangan yang paling banyak digunakan adalah pada Tipe B3 dan Tipe A3 yaitu pada tumpuan atas dan lapangan bawah menggunakan 9D19 serta tumpuan bawah dan lapangan atas menggunakan 5D19. Diikuti dengan struktur Tipe A2 dan B2 yaitu pada tumpuan atas dan lapangan bawah menggunakan 8D19 dan tumpuan bawah dan lapangan atas menggunakan 5D19. Kemudian pada Tipe Kontrol A1 pada tumpuan atas dan lapangan bawah menggunakan 7D19 serta tumpuan bawah dan lapangan atas menggunakan 5D19. Tipe Kontrol B1 pada tumpuan atas dan lapangan bawah menggunakan 5D19 serta tumpuan bawah dan lapangan atas menggunakan 3D19.

Tabel 8. Hasil Luas Tulangan Balok Anak Beton Bertulang

	Keterangan	Luasan (mm²)	Jumlah (n)	Digunakan
Tipe A2	Tumpuan Atas	603	2,127	3D13
	Tumpuan Bawah	393	1,386	2D13
	Lapangan Atas	252	0,889	2D13
	Lapangan Bawah	443	1,563	3D13
Tipe A3	Tumpuan Atas	637	2,247	3D13
	Tumpuan Bawah	417	1,471	2D13
	Lapangan Atas	295	1,041	2D13
	Lapangan Bawah	432	1,524	3D13
Tipe B2	Tumpuan Atas	618	2,180	4D13
	Tumpuan Bawah	405	1,429	2D13
	Lapangan Atas	201	0,709	2D13
	Lapangan Bawah	286	1,009	4D13
Tipe B3	Tumpuan Atas	816	2,879	5D13
	Tumpuan Bawah	531	1,873	2D13
	Lapangan Atas	263	0,928	2D13
	Lapangan Bawah	533	1,880	5D13

Tabel 8 merupakan hasil luas tulangan pada balok anak setiap tipe struktur yang didapatkan dari SAP2000. Tulangan yang digunakan pada balok induk adalah 13 mm. Tulangan yang paling banyak digunakan adalah pada Tipe B3 yaitu pada tumpuan atas dan lapangan bawah menggunakan 5D13 serta tumpuan bawah dan lapangan atas menggunakan 2D13. Diikuti dengan Tipe B2 yaitu pada tumpuan atas dan lapangan bawah

menggunakan 4D13 serta tumpuan bawah dan lapangan atas menggunakan 2D13. Kemudian Tipe A2 dan A3 yaitu pada tumpuan atas dan lapangan bawah menggunakan 3D13 serta tumpuan bawah dan lapangan atas menggunakan 2D13.

4. PEMBAHASAN

4.1. Momen Lentur Balok Induk

Konfigurasi penempatan balok anak dan perbedaan panjang dimensi balok pada setiap struktur berpengaruh terhadap momen lentur yang dihasilkan pada balok induk. Momen lentur pada balok induk dapat dilihat pada Tabel 3, Balok induk pada Tipe A2 mengalami momen lentur 6,85% lebih besar dibandingkan dengan balok induk Tipe Kontrol. Balok induk pada struktur Tipe A3 mengalami momen lentur 20,69% lebih besar dibandingkan dengan balok induk Tipe Kontrol. Balok induk Tipe B2 mengalami momen lentur 71,28% lebih besar dibandingkan dengan balok induk Tipe Kontrol.

Balok induk pada struktur Tipe B3 mengalami momen lentur 94,48% lebih besar dibandingkan dengan balok induk Tipe Kontrol. Balok anak yang menumpu pada balok induk menyebabkan momen lentur yang lebih besar daripada struktur Tipe Kontrol karena bertambahnya beban yang diterima oleh balok induk. Hal ini relevan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fatanto (2020), menyatakan bahwa balok induk yang dibebani dengan balok anak memiliki peningkatan pada momen lenturnya. Berdasarkan aspek momen lentur, konfigurasi perletakan balok anak Tipe A2 lebih menguntungkan diaplikasikan pada perencanaan struktur gedung karena momen lentur yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan Tipe A3, B2, dan B3.

4.2. Lentutan Balok Induk

Lentutan merupakan perubahan bentuk balok pada arah Y akibat terjadi pembebanan yang diberikan secara vertikal. Dalam perencanaan pembangunan lentutan diberikan batas maksimum lentutan, karena lentutan yang besar mengakibatkan retak hingga kegagalan struktur (Mahardika, Nasution dan Ariga, 2020). Lentutan pada balok induk memiliki persyaratan yaitu lentutan maksimum (Δ_{maks}) memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan lentutan izin (Δ_{izin}) agar balok tersebut memiliki keamanan dan kenyamanan yang baik terhadap pengguna. Perhitungan terhadap lentutan izin (Δ_{izin}) balok induk pada setiap tipe struktur menggunakan rumus $L/360$.

Berdasarkan Tabel 5 hasil analisis lentutan pada balok induk diketahui bahwa lentutan maksimum pada balok induk tidak melebihi batas dari lentutan izinnnya ($\Delta_{izin} > \Delta_{maks}$) sehingga balok induk aman dari kegagalan akibat lentutan. Balok induk Tipe A2 mengalami lentutan 20,00% lebih besar dibandingkan balok induk Tipe kontrol. Balok induk Tipe A3 mengalami lentutan 25,34% lebih besar dibandingkan dengan Tipe Kontrol. Balok induk Tipe B2 mengalami lentutan 103,13% lebih besar dibandingkan balok induk Tipe Kontrol. Balok induk Tipe B3 mengalami lentutan 108,94% lebih besar dibandingkan dengan Tipe Kontrol. Balok anak memberikan tambahan beban kepada balok induk berupa beban terpusat. Hal ini menunjukkan konfigurasi penempatan balok anak berpengaruh terhadap besarnya lentutan pada balok induk. Beban yang semakin besar pada balok induk akan meningkatkan lentutan pada balok induk tersebut (Andi, Putra dan Farid, 2016). Meninjau dari aspek lentutan balok induk, konfigurasi penempatan balok anak Tipe A2 lebih menguntungkan apabila diaplikasikan pada perencanaan struktur gedung karena lentutan yang terjadi lebih kecil jika dibandingkan dengan Tipe A3, Tipe B2, dan Tipe B3.

4.3. Lentutan Pelat Lantai

Lentutan pada pelat lantai memiliki persyaratan yaitu lentutan maksimum (Δ_{maks}) memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan lentutan izin (Δ_{izin}) agar balok tersebut memiliki keamanan dan kenyamanan yang baik terhadap pengguna. Perhitungan terhadap lentutan izin (Δ_{izin}) balok induk pada setiap tipe struktur menggunakan rumus $L/240$. Berdasarkan Tabel 6 nilai yang dihasilkan pelat Tipe A2 mampu mereduksi lentutan pelat 98,32%. Konfigurasi penempatan balok anak Tipe A3 mampu mereduksi lentutan pelat lantai hingga 88,29%.

Konfigurasi penempatan balok anak Tipe B2 mampu mereduksi lentutan pelat lantai hingga 98,22%. Konfigurasi penempatan balok anak Tipe B3 mampu mereduksi lentutan pelat lantai hingga 0,33%. Hasil analisis sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Renaldy & Alisjahbana (2018) menyatakan bahwa pelat lantai dengan balok anak menghasilkan nilai lentutan maksimum yang lebih kecil dibandingkan dengan pelat lantai yang tidak menggunakan balok anak. Hasil penelitian terkait dengan lentutan pelat lantai menunjukkan bahwa struktur Tipe A2 menghasilkan persentase nilai lentutan pelat lantai yang lebih kecil dibandingkan dengan Tipe A3, Tipe B2 dan Tipe B3. Meninjau dari besarnya lentutan pelat lantai yang terjadi, konfigurasi penempatan balok anak Tipe A2 lebih menguntungkan diaplikasikan pada perencanaan struktur karena lentutan yang terjadi lebih kecil dibandingkan dengan tipe lainnya.

4.4. Luas Tulangan pada Balok

Tabel 7 merupakan luas tulangan dari balok induk pada Tipe Kontrol A1, Tipe A2, Tipe A3, Tipe Kontrol B1, Tipe B2, dan Tipe B3. Luas tulangan yang paling besar terjadi pada Tipe A3 yaitu dengan tipe bangunan 7,2 m x 5 m dengan perletakan balok anak sejajar memiliki luasan 2342 mm². Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh tipe struktur dengan nilai luas tulangan kecil adalah Tipe B2 yaitu tipe bangunan 6 m x 6 m dengan perletakan balok anak silang. Tipe B2 menghasilkan luas tulangan 2044 mm² pada tumpuan atas menggunakan 8D19, pada tumpuan bawah dengan luasan 1149 mm² menggunakan 5D19, pada lapangan atas dengan luasan 651 mm² menggunakan 5D19, pada lapangan bawah dengan luasan 1494 mm² menggunakan 8D19.

Tabel 8 merupakan luas tulangan dari balok anak pada Tipe A2, Tipe A3, Tipe B2, dan Tipe B3. Luas tulangan yang paling besar terjadi pada Tipe B3 yaitu dengan tipe bangunan 6 m x 6 m dengan perletakan balok anak sejajar dengan nilai luasan pada tumpuan atas 816 mm². Berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh tipe struktur dengan nilai luas tulangan kecil adalah Tipe A2 yaitu tipe bangunan 7,2 m x 5 m dengan perletakan balok anak silang. Tipe A2 menghasilkan luas tulangan 603 mm² pada tumpuan atas, pada tumpuan bawah dengan luasan 393 mm², pada lapangan atas dengan luasan 252 mm², pada lapangan bawah dengan luasan 443 mm².

Dari hasil analisis yang didapatkan untuk Tipe A2 dan Tipe B2 pada tulangan balok induk digunakan jumlah tulangan yang sama yaitu untuk tumpuan atas 8D19, tumpuan bawah 5D19, lapangan atas 5D19, dan lapangan bawah 8D19. Tipe A3 dan Tipe B3 pada tulangan balok induk digunakan jumlah tulangan yang sama yaitu tumpuan atas 9D19, tumpuan bawah 5D19, lapangan atas 5D19, dan lapangan bawah 9D19. Perbedaan pada penggunaan jumlah tulangan terjadi pada balok anak yang digunakan, jumlah tulangan pada balok anak Tipe A2 untuk tumpuan atas 3D13, tumpuan bawah 2D13, lapangan atas 2D13, dan lapangan bawah 3D13. Hal tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Octavia (2016) yaitu luas tulangan memiliki hubungannya dengan panjang bentang, semakin panjang bentang balok maka semakin besar luas tulangan yang dibutuhkan. Berdasarkan tinjauan dari luas tulangan pada balok induk dan balok anak Tipe A2 lebih

menguntungkan untuk diaplikasikan pada perencanaan struktur karena luas tulangan yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan tipe lainnya.

5. KESIMPULAN

Konfigurasi penempatan balok anak yang berbeda-beda pada setiap tipe struktur memiliki pengaruh terhadap momen lentur dan lendutan pada balok induk. Balok induk yang menggunakan balok anak pada struktur akan memberikan tambahan beban terpusat pada balok induk, sehingga balok induk dengan tambahan balok anak memiliki momen lentur yang lebih besar. Penambahan balok anak juga berpengaruh pada lendutan yang meningkat. Selain berpengaruh terhadap besarnya momen lentur dan lendutan pada balok induk, variasi konfigurasi dengan penambahan balok anak berpengaruh pada lendutan pelat lantai. Penambahan balok anak pada struktur dapat mereduksi lendutan pada pelat lantai hingga 98,32%.

DAFTAR RUJUKAN

- Andi, K., Putra, T.D. dan Farid, A. (2016) "Pengaruh Jumlah Plat Besi Terhadap Defleksi Pembebanan Pada Pengujian Superposisi," *Jurnal Ilmiah Widya Teknika*, 24(2), hal. 1-5.
- ASCE (2006) *Minimum Design Loads for Building and Other Structures*. United State of America: American Society of Civil Engineering.
- Badan Standardisasi Nasional (2019) *SNI 2847-2019 : Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung*. Jakarta, Jakarta: Badan Standardisasi Nasional (BSN).
- Fatanto, A.Y. (2020) "Analisis Momen Lentur Balok Induk dengan Variasi Konfigurasi Penempatan Balok Anak Profil Wide Flange (WF)."
- Mahardika, G., Nasution, A. dan Ariga, A. (2020) "Pemodelan Pembebanan Balok Profil Baja dan Simulasi Displacement dan Tegangan pada Balok."
- Nadyaputri, A. dan Purwanto, E. (2019) "Analisis Pengaruh Dimensi Balok Anak Terhadap Momen Lentur pada Pelat dengan Metode Amplop Dan Metode Elemen Hingga," 7(1), hal. 2303-2314.
- Octavia, N. (2016) "Analisa Luas Tulangan Balok Akibat Perubahan Panjang Bentang," hal. 1-23.
- Renaldy, D.K. dan Alisjahbana, S. (2018) "Analisis Kenyamanan Pelat Lantai Terhadap Beban Mesin Bergetar," *Jurnal Muara Sains, Teknologi, Kedokteran, dan Ilmu Kesehatan*, 2(1), hal. 87-95.
- Setiawan, E., Mungok, C. dan Budi, G.S. (2015) "Studi Penggunaan Balok Anak Pada Struktur Pelat Beton Bertulang," *Jurnal Teknik Sipil*, 7, hal. 1.
- Sumajouw, M. dan Windah, R. (2015) "Pengaruh kuat tekan terhadap kuat lentur balok beton bertulang," 3(5), hal. 341-350.