

TINJAUAN KEKUATAN BATAS LELEH LOKAL PADA BADAN BALOK BAJA WF

Y D Setiyarto¹⁾, K N Abduloh²⁾

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Komputer Indonesia

Jl. Dipatiukur No. 112-116, Bandung, 40132, Indonesia

E-mail: y.djoko.setiyarto@email.unikom.ac.id¹⁾, keisya.13022010@mahasiswa.unikom.ac.id²⁾

ABSTRAK

Menurut AISC, kekuatan batas leleh lokal badan pada balok WF yang diakibatkan beban terpusat, dipengaruhi oleh panjang tumpu N dari pelat landasan, bukan lebar B . Beban terpusat tersebut didistribusikan ke badan balok dengan asumsi kemiringan sebesar 1: 2.5. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau kemungkinan lebar pelat landasan B berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan leleh lokal badan, serta asumsi kemiringan distribusi beban 1: 2.5 dapat dioptimalkan lebih lanjut. Metode penelitian dilakukan secara simulasi numerik dengan menggunakan software analisis elemen hingga (FEA), yang memodelkan baja WF di bawah pelat landasan sebagai elemen solid. Hasil FEA menunjukkan bahwa lebar B berpengaruh terhadap kekuatan leleh lokal badan, tetapi tidak signifikan. Distribusi beban juga dapat diusulkan dengan kemiringan 1:3.

Kata kunci: balok, beban terpusat, distribusi, leleh

1. Pendahuluan

Dalam perencanaan struktur baja, terkadang kala dijumpai desain kolom yang tidak terletak dalam satu garis vertikal, sehingga kolom tersebut ditopang langsung oleh balok dan menjadi beban terpusat. Sistem struktur demikian memerlukan balok baja dengan ukuran tinggi yang cukup, seperti halnya perencanaan balok tinggi (*deep beam*) pada balok beton bertulang. Umumnya, profil baja yang digunakan untuk komponen struktur balok berbentuk huruf I (profil WF), yang memiliki bagian sayap (*flange*) dan bagian badan (*web*). Karena kolom menjadi beban terpusat pada balok, maka diperlukan pelat landasan di pertemuan antara kolom dan balok baja untuk mendistribusikan gaya dari kolom (beban terpusat) ke bagian badan baja WF. Menurut AISC, selain kekuatan lentur dan kekuatan geser pada balok WF, perlu dilakukan pula peninjauan kekuatan batas leleh lokal badan (*web yielding*) dan lipat lokal badan (*web crippling*).

Latar belakang penelitian ini merujuk pada persamaan kekuatan leleh lokal badan yang dipengaruhi oleh panjang tumpu pelat landasan N (panjang arah longitudinal) saja, sedangkan lebar tumpu pelat landasan B (panjang arah transversal) tidak diperhitungkan. Mengingat terdapat dugaan

bahwa beban terpusat dari kolom dapat terdistribusi secara longitudinal dan transversal ke balok penopang, maka penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh lebar pelat landasan dapat berkontribusi menentukan kondisi batas leleh badan. Selain itu, asumsi distribusi beban sebesar 1 : 2.5 yang menyebabkan leleh lokal pada badan balok juga akan ditinjau secara numerik dalam penelitian ini, untuk kemungkinannya dikembangkan lagi menjadi lebih ekonomis.

2. Tinjauan Pustaka

Leleh lokal badan merupakan kelelahan tekan atau tarik yang terjadi pada badan balok WF akibat adanya beban terpusat pada sayap atas atau bawah [1]. Beban tersebut dapat berupa reaksi ujung peletakan balok WF itu sendiri, atau berupa beban yang ditransfer dari kolom atau balok anak. Kelelahan akan terjadi ketika kondisi batas leleh lokal badan terlampaui. Saat beban dipindahkan melalui pelat landasan, leleh lokal badan diasumsikan terjadi di penampang selebar t_w . Pada baja giling panas, penampang yang mengalami leleh lokal badan ini akan berlokasi di kaki *fillet* ("toe of fillet") yang berjarak "k" dari sisi permukaan terluar sayap balok WF.

Menurut AISC 360-05 [2] jika beban terpusat berlokasi dari ujung balok dengan jarak lebih besar dari tinggi balok, maka diasumsikan beban akan didistribusi ke badan balok dengan kemiringan 1:2.5 [3], [4]. Ilustrasi kemiringan distribusi beban dapat dilihat pada Gambar 1. Pada daerah bawah pelat landasan, luas kritis yang mengalami kelelahan diperhitungkan dengan Persamaan 1 berikut:

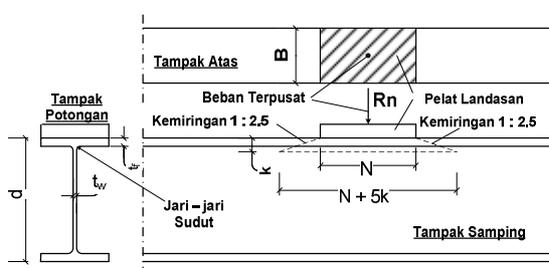
$$\{(N + 2(2.5k))t_w, (N + 5k)t_w\} \quad (\text{pers.1})$$

Luas kritis tersebut akan menghasilkan kekuatan leleh lokal badan bila dikalikan dengan tegangan leleh F_{yw} . Dengan demikian, beban terpusat yang dapat menyebabkan leleh lokal badan dapat dinyatakan sebagai kekuatan nominal (R_n), dengan Persamaan 2 berikut:

$$R_n = (5k + N)F_{yw}t_w \quad (\text{pers.2})$$

Keterangan :

- R_n = kekuatan leleh lokal badan
- k = jarak dari muka terluar sayap ke kaki badan
- N = panjang tumpuan
- F_{yw} = tegangan leleh badan balok baja
- t_w = tebal badan balok baja



Gambar 1. Model Pelat Landasan Pada Baja WF

Dahulu, kemiringan distribusi beban untuk leleh lokal badan diasumsikan sebesar 45° , yang memberikan panjang penyebaran $N + 2k$. Namun kemiringan tersebut dipandang kurang aman, sehingga beberapa eksperimental yang diawali oleh Lyse dan Godfrey [5], mengusulkan bahwa distribusi beban dapat meluas hingga rentang jarak antara $N + 5k$ dan $N + 7k$, atau dengan kemiringan sebesar 1:2.5 hingga 1:3.5. Saat ini, dalam standar perencanaan AISC 360-16 maupun SNI 1729-2020 pun [6], [7] masih mengadopsi asumsi kemiringan 1:2.5. Persamaan yang digunakan juga mirip, hanya berbeda notasi panjang tumpuan yaitu:

$$R_n = (5k + l_b)F_{yw}t_w \quad (\text{pers.3})$$

Keterangan :

- l_b = panjang tumpuan (di AISC 360-05 adalah N)

Jika meninjau Persamaan 2 dan 3, maka leleh lokal badan lebih banyak dipengaruhi oleh panjang N , bukan lebar B dari pelat landasan. Perubahan nilai N akan berpengaruh terhadap nilai R_n , sedangkan nilai B tidak termasuk faktor penentu nilai R_n . Kenyataannya, perlu ditinjau pengaruhnya terhadap kekuatan leleh lokal badan, bila lebar B yang didesain masih lebih kecil daripada lebar sayap balok.

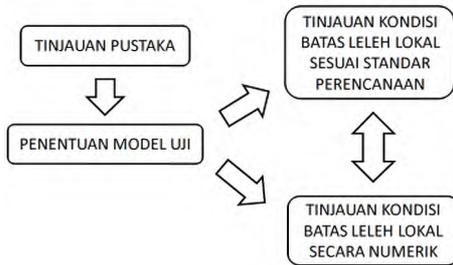
ADINA 8.3.1 adalah *software finite element analysis* (FEA) yang digunakan untuk penelitian numerik ini. Selama proses analisis, setiap model uji diuji dengan beban yang lebih besar hingga model tersebut mengalami keruntuhan atau kelelahan. Kondisi keruntuhan model didasarkan pada regangan plastik efektif maksimum (ADINA R&D, 2001). Pada kurva tegangan-regangan bilinear, kehancuran regangan plastik bergantung pada regangan plastik efektif maksimum.

Jika terdapat regangan plastik dari suatu elemen, yang nilainya melebihi regangan plastik efektif maksimum, maka kekakuan pada model tidak terjadi akibat elemen tersebut. Sehingga ketika beban ditambahkan pada *time step* berikutnya, model akan memiliki batas kekakuan tertentu. Kriteria regangan plastik efektif ini serupa dengan penelitian kondisi batas regangan terdahulu [8]. Setelah pada batas tersebut model tidak dapat menerima beban lagi karena terbatasnya kekakuan atau karena kejadian konvergensi pada iterasi yang tidak tercapai. Penelitian numerik ini memilih *option iterasi Full Newton* [9].

3. Metode

Penelitian yang menggunakan metode simulasi numerik ini diawali dengan tinjauan pustaka yang terkait dengan kelelahan lokal pada badan balok WF. Selanjutnya dilakukan penentuan model uji untuk memastikan bahwa kekuatan balok WF lebih dominan ditentukan oleh keruntuhan geser sehingga kondisi batas leleh lokal badan akibat beban terpusat dapat ditinjau. Model uji yang telah ditentukan tersebut ditinjau kondisi batas leleh lokal badan-nya berdasarkan standar perencanaan seperti yang tercantum pada Persamaan 2 dan

divalidasi secara numerik menggunakan *software* FEA.



Gambar 2. Alur Penelitian

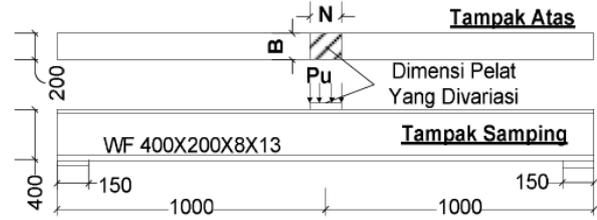
3.1 Penentuan Model Uji Balok WF

Model uji balok baja WF menggunakan profil WF 400.200.8.13 sepanjang 2 m, dengan kedua ujung yang bertumpu pada pelat baja berdimensi 150.200.15 mm³. Pada tengah bentang diaplikasikan beban awal (*prescribed*) berupa *pressure* q_u , yang diasumsikan terdistribusi merata seluruhnya pada pelat landasan dengan panjang N dan lebar B , dengan ketebalan konstan sebesar 15 mm. Variasi nilai N dan B akan dipelajari pengaruhnya terhadap perubahan kekuatan leleh lokal badan balok. Pada Tabel 1 dapat dilihat variasi dimensi pelat landasan yang dibahas dalam penelitian ini. Lebar B dipilih tidak melebihi lebar sayap balok yaitu kurang atau sama dengan 200 mm.

Tabel 1. Variabel N dan B dari Pelat Landasan

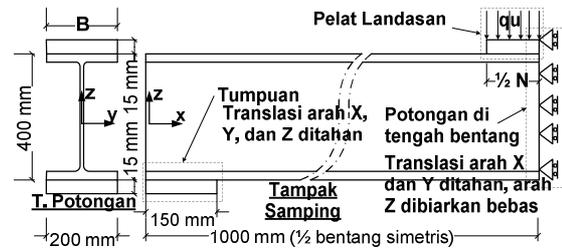
No	N (mm)	B (mm)
1	65	200
2	100	200
3	150	200
4	65	65
5	65	100
6	65	150
7	150	65
8	150	100
9	150	150

Model uji menggunakan balok dengan bentang pendek (2 m) agar keruntuhan geser lebih menentukan. Menurut AISC 360-05 maupun SNI 1729-2020 [2], [7], model uji seperti Gambar 3 memiliki kekuatan lentur ultimit sebesar 617.3 kN dan kekuatan geser ultimit sebesar 592.84 kN.



Gambar 3. Model Uji Balok WF Kondisi Utuh

Agar proses *running* saat analisis elemen hingga tidak terlalu lama, maka model uji pada Gambar 3 dibagi dua dengan menggunakan prinsip simetris [10]. Derajat kebebasan di tumpuan, untuk arah translasi XYZ ditahan. Sedangkan derajat kebebasan di sumbu simetri, arah translasi XY ditahan. Model uji balok untuk tinjauan kondisi batas leleh lokal badan secara numerik dapat dilihat pada Gambar 4.



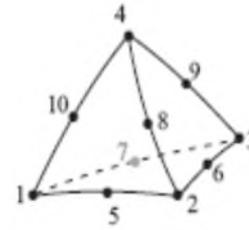
Gambar 4. Model Uji FEA Kondisi ½ Bentang

3.2 Tinjauan Kondisi Batas Leleh Lokal Pada Badan WF Sesuai AISC 360-05

Hasil tinjauan kondisi batas leleh badan dengan menggunakan Persamaan 2 dapat dilihat pada Tabel 2, 3, dan 4. Pada Tabel 2 menggunakan nilai N yang bervariasi, akan menghasilkan kekuatan leleh lokal badan R_n yang semakin membesar bila nilai N juga membesar. Penambahan panjang tumpu N dari pelat landasan akan menyebabkan kekuatan leleh lokal badan balok akan meningkat dan keruntuhan balok berubah menjadi ditentukan oleh kekuatan lentur. Nilai q_u pada Tabel 2, 3, dan 4 merupakan beban *pressure* di permukaan pelat landasan yang akan divalidasi menggunakan FEA. Semakin luas pelat landasan maka semakin kecil nilai q_u . Tabel 3 dan Tabel 4 memperlihatkan kekuatan leleh lokal badan R_n yang tidak dipengaruhi oleh nilai B , karena dalam Persamaan 2 memang tidak mengandung variabel lebar pelat landasan B .

Tabel 2. Kekuatan Leleh Lokal Badan dengan nilai N Bervariasi dan B = 200 mm (AISC 360-05)

No	5k+N (mm)	B (mm)	N/d	R _n (N)	q _u (MPa)
1	65	200	0.163	403200	31.0
2	100	200	0.250	470400	23.5
3	150	200	0.375	566400	18.9



Gambar 5. Elemen Tetrahedron 10 Nodal

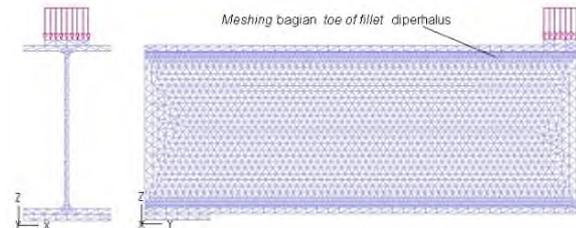
Tabel 3. Kekuatan Leleh Lokal Badan dengan Nilai N = 65 mm dan B Bervariasi (AISC 360-05)

No	N (mm)	B (mm)	N/d	R _n (N)	q _u (MPa)
4	65	65	0.163	403200	95.4
5	65	100	0.163	403200	62.0
6	65	150	0.163	403200	41.4

Tabel 4. Kekuatan Leleh Lokal Badan dengan Nilai N = 150 mm dan B Bervariasi (AISC 360-05)

No	N (mm)	B (mm)	N/d	R _n (N)	q _u (MPa)
7	150	65	0.375	566400	58.1
8	150	100	0.375	566400	37.8
9	150	150	0.375	566400	25.2

Setiap model uji menggunakan tebal pelat sebesar 15 mm. untuk ujung tumpuan dan landasan kolom. Dimensi pelat untuk ujung tumpuan berukuran yaitu 15 cm x 20 cm. Pelat pada ujung tumpuan bukan bagian pembahasan penelitian ini. Gambar 8 menunjukkan penerapan elemen solid 3D pada model uji FEA.

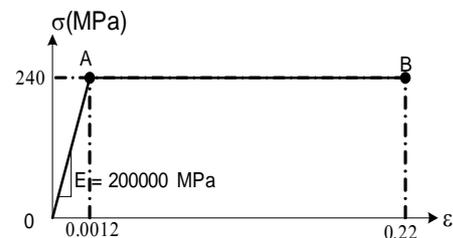


Gambar 6. Meshing pada toe of fillet

3.3 Tinjauan Kondisi Batas Leleh Lokal Pada Badan WF Secara Numerik

FEA dilakukan secara 3D dengan memilih jenis elemen solid berbentuk tetrahedron yang memiliki 10 nodal seperti pada Gambar 6 [11]. Mesh density diatur dengan metode 'use length'. Panjang sisi elemen terdapat 2 macam, yaitu 25 mm untuk bagian body dan 8 mm untuk bagian toe of fillet. Penentuan meshing pada model terlihat seperti Gambar 6. Total jumlah elemen untuk setiap model berkisar 32000 hingga 39000 buah.

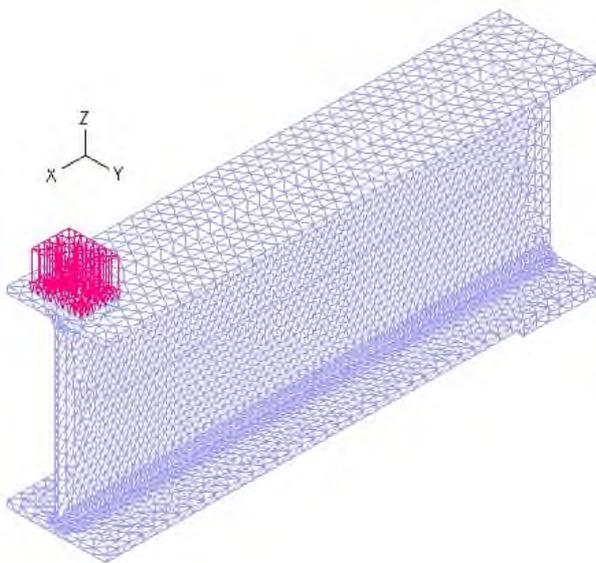
Pada Gambar 7 terlihat kurva bilinear yang menunjukkan hubungan tegangan-regangan material baja untuk model uji. Dengan modulus elastisitas E = 200000 MPa dan rasio Poisson sebesar 0,3, tegangan leleh uniaksial tarik diperkirakan 240 MPa, dan pembatasan regangan plastik efektif sebesar 22% diberikan. Baja dibatasi mengalami regangan putus sebesar 185 ε_y [12]. Efek strain hardening tidak diteliti dalam penelitian ini.



Gambar 7. Model Material Bilinear

Kondisi batas leleh lokal badan dilakukan dengan memberikan beban (q_u) di permukaan pelat landasan. Karena menggunakan prinsip simetri, maka ukuran pelat landasan menjadi 0.5N x B. Nilai q_u ditingkatkan secara bertahap untuk setiap tahap pembebanan. Pada titik tertentu, besarnya q_u adalah kekuatan batas beban yang dapat diberikan pada model uji. Untuk mempercepat konvergen dalam iterasi nonlinier, option Automatic Time-Stepping (ATS) digunakan untuk menemukan beban maksimum. Badan balok akan mengalami kelelahan saat beban maksimum tercapai, terutama di bawah

pelat landasan. Nilai tegangan efektif akan menentukan tingkat kelelahan ini.



Gambar 8. Model Uji dalam Software FEA dengan Prinsip Simetri

tercantum pada Tabel 3 dan 4. Dalam hal ini, variasi lebar B dapat menentukan kekuatan leleh lokal badan namun pengaruhnya relatif kecil. Hasil FEA dan AISC 360-05 memberikan perbedaan kurang dari 20%.

Perubahan nilai N atau B akan memberikan pengaruh terhadap perubahan kekuatan leleh lokal badan. Pada Gambar 6, 7 dan 8 (kotak putus-putus) memperlihatkan bahwa dalam kondisi elastis, semakin besar nilai N atau B akan menyebabkan peralihan z (lendutan) mengecil. Misal dengan $R_n = 200000$ Newton, jika N atau B yang membesar akan mengurangi peralihan z.

Tabel 6. Kekuatan Leleh Lokal Badan Hasil Numerik dengan N Konstan 65 mm dan B Bervariasi

No	N (mm)	B (mm)	q_{u1} (MPa)	R_n (N)	Beda (%)
4	65	65	108.80	459680	-14.01
5	65	100	71.60	465400	-15.43
6	65	150	48.40	471900	-17.04

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Hasil dan Pembahasan Kondisi Batas Leleh Lokal Badan Balok WF

Tabel 5 merupakan hasil FEA yang menyatakan semakin besar nilai N, maka semakin meningkat kekuatan leleh lokal badan. Hasil ini serupa dengan metode AISC 360-05 (Tabel 2). Pada Tabel 5 tersebut terlihat pula semakin panjang N maka semakin mengecil nilai q_u . Nilai q_u diperoleh dengan menggunakan opsi ATS pada FEA. Selanjutnya q_u dikalikan dengan luas pelat akan diperoleh R_n . Hasil FEA dan AISC 360-05 memberikan perbedaan kurang dari 20%.

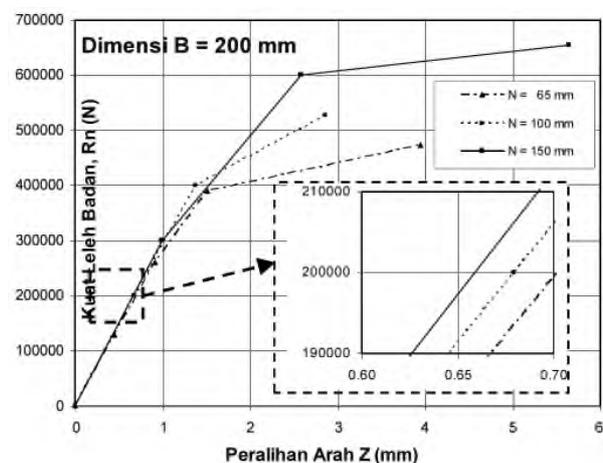
Tabel 5. Kekuatan Leleh Lokal Badan Hasil Numerik dengan N Bervariasi dan B Konstan 200 mm

No	N (mm)	B (mm)	q_u (MPa)	R_n (N)	Beda (%)
1	65	200	37.00	473200	-19.30
2	100	200	26.40	528000	-12.24
3	150	200	21.80	654000	-15.47

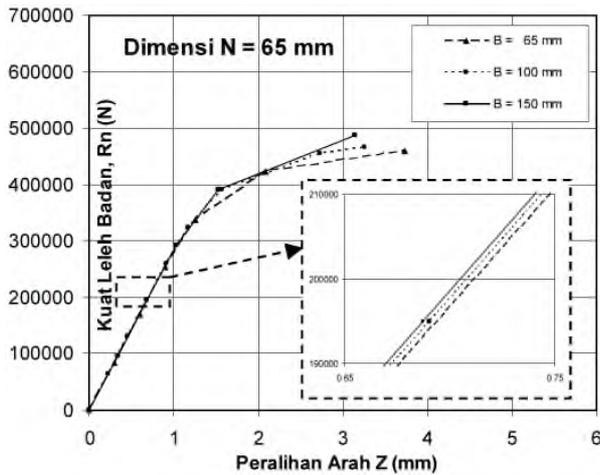
Sedangkan Tabel 6 dan 7 merupakan hasil FEA yang menyatakan semakin besar nilai B, maka semakin meningkat kekuatan leleh lokal badan. Hasil ini berbeda metode AISC 360-05 yang

Tabel 7. Kekuatan Leleh Lokal Badan Hasil Numerik dengan N Konstan 150 mm dan B Bervariasi

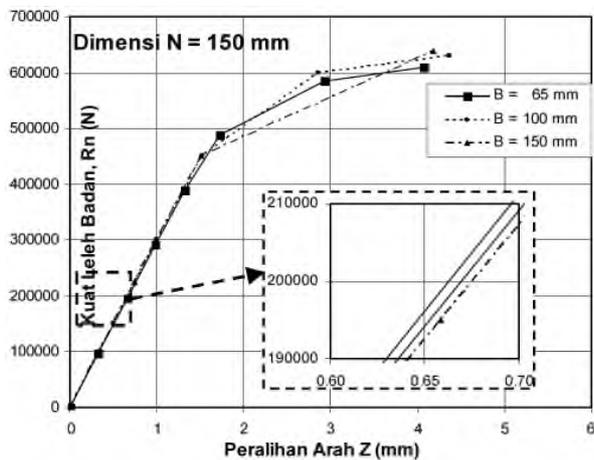
No	N (mm)	B (mm)	q_{u1} (MPa)	R_n (N)	Beda (%)
7	150	65	64.40	627900	-10.86
8	150	100	42.00	630000	-11.23
9	150	150	28.40	639000	-12.82



Gambar 9. Kurva Kuat Leleh Lokal Badan untuk B Konstan 200 mm dengan Variasi N



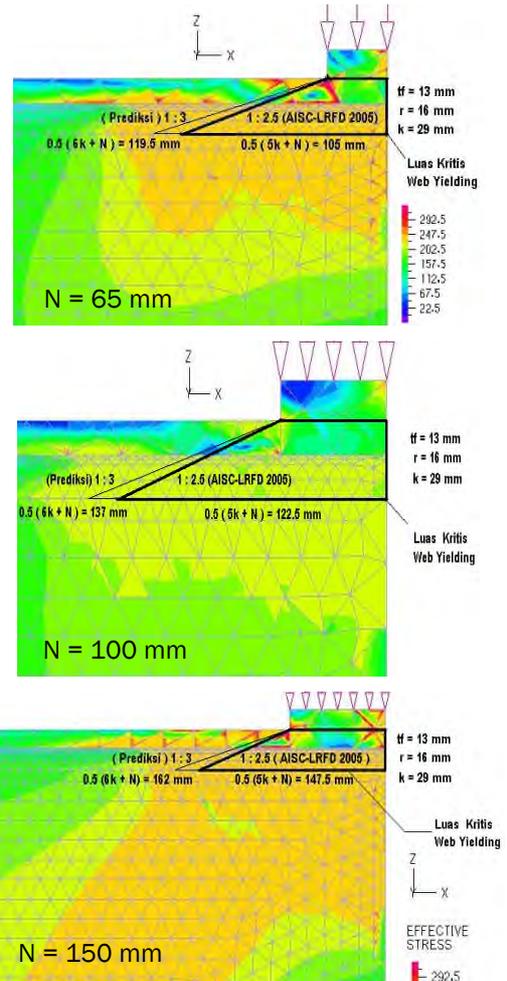
Gambar 10. Kurva Kuat Leleh Lokal Badan dengan N Konstan 65 mm dengan Variasi B



Gambar 11. Kurva Kuat Leleh Lokal Badan untuk N Konstan 150 mm dengan Variasi B

4.2 Hasil dan Pembahasan Distribusi Tegangan

Gambar 12, 13 dan 14 menunjukkan pola kelelahan yang ditemukan pada model uji berbeda dengan pola kelelahan yang diasumsikan dalam AISC 360-05. Penampang badan selebar t_w dari model uji mengalami kelelahan dengan kedua sisi pelat badan memberikan nilai tegangan efektif yang sama. Jika AISC 360-05 mengasumsikan pola kelelahan dengan bentuk trapesium yang memiliki sisi dengan kemiringan 1 : 2,5, maka pola kelelahan yang dihasilkan FEA untuk seluruh model uji adalah tidak teratur dan luasan kritisnya lebih besar. Gambar 12, 13 dan 14 menunjukkan bahwa luas kritis asumsi leleh lokal badan (berbentuk trapesium) dari AISC-360-05 selalu lebih kecil atau berada di daerah tegangan efektif yang dihasilkan FEA. Sehingga untuk keperluan praktis, metode desain AISC 360-05 relatif aman.

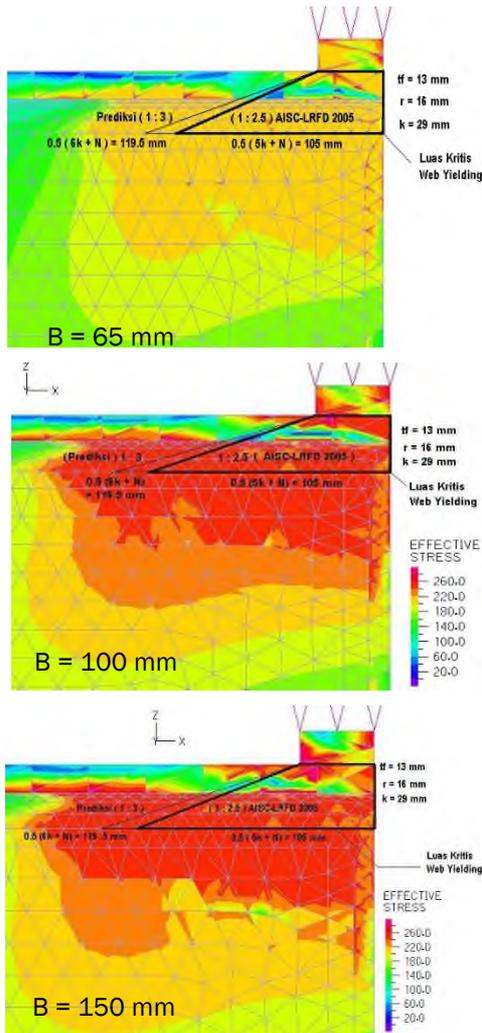


Gambar 12. Distribusi Tegangan Efektif untuk B Konstan 200 mm dengan N Bervariasi

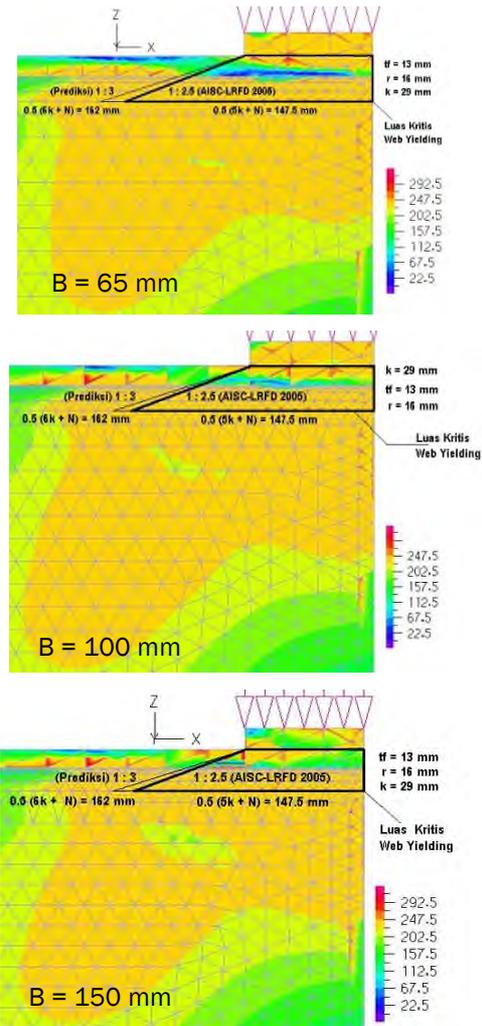
Karena luas leleh lokal badan hasil FEA selalu lebih besar daripada asumsi AISC 360-05, maka akan dicoba analisis kekuatan nominal leleh lokal badan dengan menggunakan kemiringan penyebaran sebesar 1:3. Sehingga luas kritis menjadi $6k+N$, yang hasil tinjauannya pada Tabel 8.

Tabel 8. Leleh Lokal Badan dengan Asumsi Kemiringan Sebesar 1 : 3

N mm	B mm	6k+N mm	N/d	Rn (N)		Beda (%)
				Prediksi 1:3	Hasil FEA	
65	200	239	0.163	458880	481000	-4.82
100	200	274	0.250	526080	528000	-0.36
150	200	324	0.375	622080	654000	-5.13
65	65	239	0.163	458880	459680	-0.17
65	100	239	0.163	458880	465400	-1.42
65	150	239	0.163	458880	471900	-2.84
150	65	324	0.375	622080	627900	-0.94
150	100	324	0.375	622080	630000	-1.27
150	150	324	0.375	622080	639000	-2.72



Gambar 13. Distribusi Tegangan Efektif untuk N Konstan 65 mm dengan B Bervariasi



Gambar 14. Distribusi Tegangan Efektif untuk N Konstan 150 mm dengan B Bervariasi

Terlihat pada Tabel 8, nilai kekuatan leleh lokal badan yang dihasilkan oleh prediksi kemiringan distribusi beban sebesar 1:3 ternyata masih lebih rendah daripada hasil FEA. Luas daerah kritis trapesiumnya juga masih lebih kecil atau berada dalam distribusi tegangan yang dihasilkan FEA. Sehingga asumsi kemiringan distribusi beban sebesar 1:3 masih dapat dikatakan aman.

Pola kelelahan yang dinyatakan oleh distribusi tegangan efektif hasil FEA untuk setiap model uji menunjukkan keunikan tersendiri. Jika perubahan nilai N memberikan perbedaan kekuatan leleh lokal badan yang signifikan, maka pola kelelahan yang dihasilkan pun berbeda secara signifikan. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 12 dimana terlihat pola kelelahan yang sangat berbeda untuk nilai N = 65, 100 dan 150 mm (nilai B konstan 200 mm diambil sama untuk ketiga model uji).

Sedangkan akibat variasi lebar B, terlihat pola kelelahan pada Gambar 13 yang mirip, (nilai N konstan 65 mm). Pada Gambar 14, pola kelelahan juga terlihat serupa untuk nilai B = 65, 100 dan 150 mm (nilai N konstan 150 mm). Hal ini sesuai dengan tinjauan kekuatan leleh lokal badan yang nilai kekuatannya tidak dipengaruhi secara signifikan oleh perubahan nilai B.

Hasil FEA di atas dapat menjelaskan bahwa lebar pelat landasan bukan merupakan faktor yang mempengaruhi kuat leleh lokal badan sesuai dengan metode AISC.

5. Kesimpulan

Beberapa hal yang dapat disimpulkan dari tinjauan kondisi batas leleh di atas adalah sebagai berikut:

1. Berdasar FEA, perubahan lebar pelat landasan B akan mempengaruhi kondisi batas leleh badan pada Balok WF, namun nilai kekuatan batas yang dihasilkan tidak signifikan. Besarnya lendutan dan perubahan pola distribusi tegangan efektif akibat variasi perubahan lebar pelat landasan B juga tidak signifikan. Hasil ini cukup menjelaskan alasan AISC maupun SNI mengabaikan nilai B dalam persamaan kondisi batas leleh lokal badan.
 2. Nilai kekuatan nominal leleh lokal badan yang dihasilkan *software* selalu lebih besar dibandingkan metode AISC 360-05. Selisih perbedaan nilai untuk 9 model uji dalam kisaran kurang dari 20%.
 3. Kemiringan distribusi beban sebesar 1:3, dianalogikan dengan metode AISC 360 – 05 menghasilkan luas kritis leleh lokal badan sebesar $6k+N$. Nilai kekuatan nominal yang menggunakan $(6k+N).t_w$ tersebut hanya memberikan perbedaan sebesar kurang dari 6% terhadap hasil FEA. Asumsi ini dapat diusulkan untuk memperoleh desain yang lebih ekonomis.
- [8] Y. Setiyarto, “Studi Numerik: Tinjauan Kondisi Batas Regangan Maksimum Pada Pelat Tarik Baja Berlubang,” *Majalah Ilmiah Unikom*, vol. 8, 2012.
 - [9] K. Bathe, *Finite Element Procedures*. New Jersey: Prentice Hall, 1996.
 - [10] R. Cook, D. Malkus, M. Plesha, and R. Witt, *Concept and Applications of Finite Element Analysis*, Fourth. New York: John Wiley & Sons, 2002.
 - [11] M. A. Bhatti, *Advanced Topics in Finite Element Analysis of Structures: With Mathematica and MATLAB Computations*. New York: John Wiley & Sons, 2006.
 - [12] R. L. . Brockenbrough and F. S. . Merritt, *Structural Steel Designer’s Handbook, 4th Edition*, 4th ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

Daftar Pustaka

- [1] W. T. Segui, *Steel Design*, 6th ed. Cengage, 2017.
- [2] AISC, *ANSI/AISC 360-05: Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago: American Institute of Steel Construction, 2005.
- [3] S. Prochnow, Y. Ye, R. Dexter, J. Hajjar, and S. Cotton, “Local Flange Bending and Local Web Yielding Limit States in Steel Moment-Resisting Connections,” Minnesota, Minneapolis, 2000.
- [4] J. Hajjar, R. Dexter, S. Ojard, Y. Ye, and S. Cotton, “Continuity Plate Detailing for Steel Moment-Resisting Connections,” *Engineering Journal*, pp. 189–211, 2003.
- [5] C. G. Salmon and J. E. Johnson, *Steel Structures: Design and Behavior, Fourth Edition, Emphasizing Load and Resistance Factor Design*, Fourth. New York: Harper Collins, 1996.
- [6] AISC, *ANSI/AISC 360-16: Specification for Structural Steel Buildings Supersedes the Specification for Structural Steel Buildings dated and all previous versions Approved by the Committee on Specifications*. 2016.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, *SNI 1729-2020: Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural*. Jakarta, 2020.