

Analisis *Angle Bar* sebagai Penunjang Stabilitas dan Tumpuan *Metal Deck* pada Pelaksanaan Struktur *Suspended Slab*

Gibran Rismansah^{1*}, Arief Firmanto²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Swadaya Gunung Jati, Jl. Pemuda No. 32, Cirebon, Jawa Barat, Indonesia.

[*gibranrismansah21@gmail.com](mailto:gibranrismansah21@gmail.com)

Abstrak

Pada sistem pelat gantung (*suspended slab*) dengan *metal deck* komposit, balok penumpu harus memenuhi panjang tumpuan (*bearing length*) minimum agar *deck* tidak bergeser saat pengecoran. Pengamatan lapangan pada Proyek Pabrik *Central Plant 3* (CP3) PT Pesta Pora Abadi di Majalengka menemukan panjang tumpuan *metal deck* aktual hanya 25 mm—mengikuti tebal selimut beton ($d = 25 \text{ mm}$)—atau 50% di bawah ketentuan minimum pabrika sebesar 50 mm. Untuk mengatasinya tanpa membongkar struktur, dipasang profil baja siku (*angle bar*) L 50×50×5 yang dilas pada sengkang balok (tulangan polos BJTP 280) menggunakan elektroda AWS E70XX. Penelitian ini bertujuan memverifikasi kapasitas lentur profil siku dan sambungan lasnya pada tahap konstruksi dan tahap operasional berdasarkan SNI 1727:2020, SNI 1729:2020, dan SNI 1726:2019. Analisis dilakukan pada dua sampel pelat, yaitu sampel *Center* (tebal 150 mm, beban hidup $4,905 \text{ kN/m}^2$) dan sampel *Side* (tebal 200 mm, beban hidup $19,62 \text{ kN/m}^2$ dari beban mesin), yang masing-masing ditinjau pada tahap konstruksi dan operasional serta dimodelkan dengan *Tekla Structures*. Hasil analisis menunjukkan pemasangan profil siku meningkatkan panjang tumpuan efektif menjadi 50 mm sehingga memenuhi persyaratan minimum. Rasio kapasitas lentur maksimum 0,88 dan rasio kapasitas geser las 0,40 keduanya terjadi pada sampel *Side* tahap operasional dan masih memenuhi kriteria aman (rasio $< 1,0$). Disimpulkan bahwa profil siku berperan sebagai pemikul beban utama pada tahap konstruksi dan sebagai elemen penstabil tepi yang tertanam pada tahap operasional saat pelat komposit telah bekerja sebagai sistem struktur utama.

Kata Kunci: *metal deck, panjang tumpuan, profil siku, sambungan las, suspended slab*

1. Pendahuluan

Sistem pelat lantai gantung (*suspended slab*) dengan *composite metal decking* umumnya merupakan solusi konstruksi yang hemat waktu dan efektif serta mengurangi kebutuhan penyangga untuk bangunan industri yang tidak memerlukan *scaffolding*/perancah [1]. Setelah beton mengeras, fungsinya menjadi bekisting permanen dan tulangan tarik positif.

Persyaratan teknis utama dari pemasangan *metal deck* ini adalah menyediakan panjang tumpuan (*bearing length*) balok penyangga minimal 50 mm [2] untuk mencegah pergeseran *metal deck* selama pengecoran beton.

Pada pengamatan panjang tumpuan efektif penyangga *metal deck* terhadap balok beton, penelitian dilakukan secara langsung ke lapangan di Proyek Pabrik *Central Plant 3* (CP3) milik PT. Pesta Pora Abadi yang berlokasi di KIEM Industrial Estate, Kertajati, Majalengka. Nilainya adalah 50% di bawah nilai minimum yang disyaratkan oleh pabrikan. Untuk mengatasi keterbatasan ini tanpa membongkar struktur, profil baja siku L 50x50x5 dipasang pada posisi penyangga tambahan di titik-titik yang akan dilas pada sengkang balok.

Di area pabrik, tulangan polos BJTP 280 digunakan sebagai sengkang agar pengelasan aman dari sudut pandang metalurgi karena jenis tulangan ini memiliki kemampuan las yang baik. Penelitian ini bertujuan memverifikasi kapasitas lentur profil baja siku beserta sambungan lasnya pada elemen struktur tersebut, baik pada tahap konstruksi maupun tahap operasional. Dalam kajian ini profil siku difungsikan sebagai perkuatan tumpuan tambahan, yaitu sebagai pemikul beban utama pada tahap konstruksi dan sebagai elemen penstabil tepi pada tahap operasional, bukan sebagai pengganti sistem pelat komposit sebagai struktur utama. Kapasitas tersebut dihitung dengan metode Desain Faktor Beban dan Ketahanan (DFBK) sesuai SNI 1729:2020 [3], sedangkan pembebanan dan kombinasi beban terfaktornya ditetapkan berdasarkan SNI 1727:2020 [4] dengan komponen beban gempa vertikal mengikuti SNI 1726:2019 [5]. Penelitian ini juga memeriksa pemenuhan persyaratan panjang tumpuan setelah pemasangan, mengingat panjang tumpuan awal di lapangan mengikuti tebal selimut beton balok yang mengacu pada SNI 2847:2019 [6].

Versi sebelumnya dari studi ini dapat dilihat pada beberapa studi terkait yang menunjukkan bahwa kegagalan bondek lebih sering terjadi karena penyangga yang tidak mampu menahan geser [7]. Panjang penyangga merupakan faktor penting untuk mencegah slip pada pelat *floordeck* komposit [8]. Penambahan profil siku baja juga merupakan strategi yang efektif [9]. Untuk meningkatkan kapasitas momen dan kekakuan yang diambil dari perspektif internasional, memperhatikan bahwa konektor sudut tipe L memiliki tegangan kritis yang terjadi di area pengelasan [10]. Diamati pula, bahwa kegagalan penyangga ujung adalah penyebab utama ketidakstabilan kritis pada pelat komposit [11]. Kajian numerik nonlinier terhadap pelat komposit berpelat baja (*steel decking*) menunjukkan bahwa interaksi lekatan antara *deck* dan beton sangat menentukan kapasitas dan pola keruntuhan pelat [12].

Profil baja siku yang dianalisis adalah L 50x50x5 grade B_j P 41 ($f_y = 240$ MPa dan $f_u = 370$ MPa) mengikuti SNI 07-2054-2006 [13]. Ketentuan SNI 2052:2017 mengenai persyaratan kemampuan las tulangan, pada tulangan polos BJTP 280 merupakan jenis material yang dapat dilakukan pengelasan tanpa perlakuan khusus [14]. Pada AWS D1, persyaratan pengelasan tulangan bahkan lebih ketat, yaitu mensyaratkan penggunaan *Welding Procedure Specification* (WPS) serta juru las yang terqualifikasi, dan memberikan perlakuan khusus apabila tulangan telah tertanam dalam beton agar muai termal akibat panas las tidak merusak daya rekat beton [15].

2. Metode

Penelitian ini merupakan studi kasus menggunakan metode kuantitatif deskriptif di area proyek Pembangunan Gedung Pabrik *Central Plant 3* (CP3), khususnya untuk pelat gantung. Data primer, dalam penelitian kami, dicatat menggunakan observasi yang dilakukan dengan mengukur panjang tumpuan penyangga serta mendokumentasikan dan mencatat dokumen data melalui diskusi dengan pihak-pihak yang melaksanakannya. Data sekunder diambil dari gambar *As Built Drawing* PT Trimulia Bangun Persada, laporan perhitungan struktural dari konsultan PT Fajar Nusa Consultant [16] dan surat persetujuan bahan MAR. Data ini diperoleh dari dua segmen pelat (lihat Tabel 1).

Tabel 1. Parameter Kedua Sampel Segmen Pelat

Parameter	Sampel Center	Sampel Side
Tebal pelat (t_c)	150 mm	200 mm
Balok dominan	B7 (250x500)	B10 (250x650)
Beban hidup operasional (L)	4,905 kN/m ²	19,62 kN/m ²
Bentang <i>metal deck</i> (L_x)	2,50 m	2,50 m
Mutu sengkang	BJTP 280	BJTP 280

Sumber: Analisis Pribadi (2026)

Dua segmen pelat dipilih untuk mewakili kondisi pembebanan yang paling menentukan pada area pabrik. Sampel *Center* merupakan segmen pelat lantai pada zona beban umum, dengan tebal pelat 150 mm, ditumpu balok B7 (250x500 mm), dan memikul beban hidup operasional 4,905 kN/m² (setara 500 kg/m²). Sampel *Side* merupakan segmen pelat pada zona *cold storage*, dengan tebal pelat 200 mm, ditumpu balok B10 (250x650 mm), dan memikul beban hidup operasional 19,62 kN/m² (setara 2.000 kg/m²). Kedua sampel dipilih karena mewakili kombinasi tebal pelat, dimensi balok, dan intensitas beban terbesar (*governing*) sehingga hasil analisisnya mewakili kondisi kritis pelat gantung secara keseluruhan. Setiap sampel selanjutnya ditinjau pada dua tahap pembebanan, yaitu tahap konstruksi dan tahap operasional, sehingga secara keseluruhan diperoleh empat kondisi pembebanan yang dianalisis.

Beban hidup operasional pada sampel *Side* sebesar 19,62 kN/m² bersumber dari beban peralatan/mesin (*equipment load*) sebesar 2.000 kg/m² yang ditetapkan pada laporan perhitungan struktur [16]. Beban tersebut dimodelkan sebagai beban merata area (*uniformly distributed load*) pada permukaan pelat. Untuk analisis reaksi tumpuan, beban area dikonversi menjadi beban garis merata pada tumpuan *metal deck* berdasarkan lebar tributari, yaitu setengah bentang deck pada tiap sisi, sehingga reaksi pada profil siku dihitung dengan $R_u = 0,5 \cdot Q_u \cdot L_x$ (Persamaan 5). Pada tahap operasional, pembebanan penuh terhadap profil siku ini merupakan asumsi konservatif, karena secara fisik beban area disalurkan langsung oleh aksi pelat komposit ke balok utama, sementara profil siku hanya berfungsi sebagai penstabil tepi.

Persamaan berikut digunakan untuk analisis. Persamaan tersebut mencakup; beban mati pelat (D), beban gempa vertikal (E_v), beban terfaktor untuk tahap konstruksi (Q_{u1}) dan tahap fungsional (Q_{u2}), reaksi tumpuan pada profil siku (R_u), serta kontrol kapasitas lentur (M_n), dan kapasitas sambungan las (R_{nw}).

$$D = (t_c \times w_{\text{deck}}) + w_{\text{deck}} \quad (1)$$

$$E_v = 0,2 \times S_{DS} \times D \quad (2)$$

$$Q_{u1} = 1,2 D + 1,6 L_r \quad (3)$$

$$Q_{u2} = 1,2 D + 1,6 L_r + 1,0 E_v \quad (4)$$

$$R_u = 0,5 \times Q_u + L_x \quad (5)$$

$$M_n = f_y \times Z; Z = (b \times t^2)/4; \phi M_n = 0,90 M_n \quad (6)$$

$$R_{nw} = 0,6 F_{EXX} t_e; \phi R_n = 0,75 R_{nw} L_w \quad (7)$$

Jika kekuatan rencana lebih besar atau sama dengan yang diperlukan ($\phi R_n \geq R_u$), maka Keselamatan dapat disimpulkan. Di *Tekla Structures*, pemodelan dalam 3D dilakukan dan geometri konfigurasi serta reaksi penopangnya diverifikasi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisis Pembebanan Berdasarkan SNI 1727:2020

Tabel 2 merangkum bahan-bahan yang digunakan. Sesuai dengan MAR No. 02/MAR-TBP-CP3-STR/IX/2024, BJTS 420B disetujui untuk tulangan ulir dan tulangan polos BJTP 280 merupakan dua jenis baja yang diintegrasikan ke dalam proyek. Senggang balok area pabrik ini (tulangan polos BJTP 280) telah diverifikasi di lapangan, sehingga memungkinkan untuk melanjutkan pengelasan profil siku tanpa mengurangi kekuatan akibat pengelasan.

Tabel 2. Data Material Penelitian

Komponen	Spesifikasi	Sumber
Profil baja siku	L 50x50x5, Bj P 41 (fy 240 MPa)	SNI 07-2054-2006
Beton pelat	fc' = 30 MPa	Laporan Struktur (2024)
Tulangan sengkang	Ø10 polos BJTP 280 (fy 280 MPa)	MAR (2024)
Metal deck	Bondek t = 1,0 mm	As-Built Drawing (ST-39)
Elektroda las	AWS E70XX (490 MPa)	MAR (2024)

Sumber: Analisis Pribadi (2026)



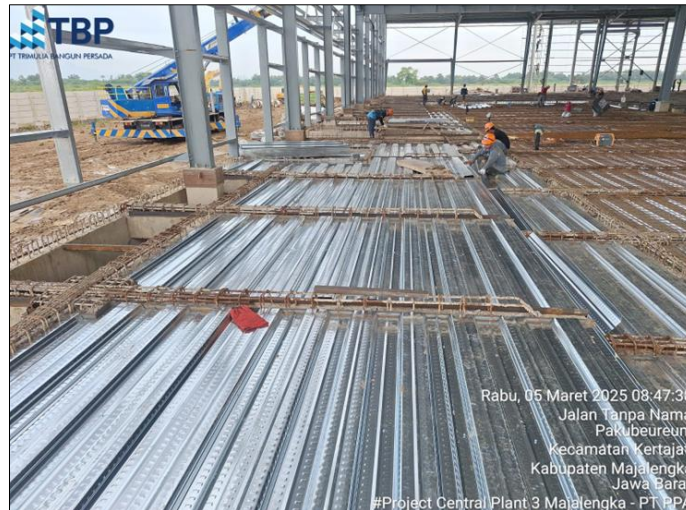
Sumber: Dokumentasi Pribadi (2025)

Gambar 3.1 Kondisi Panjang Tumpuan Metal Deck Aktual (±25 mm)



Sumber: Dokumentasi Pribadi (2025)

Gambar 3.2 Pengelasan Angle Bar pada Senggang Balok sebagai Tumpuan Metal Deck



Sumber: Dokumentasi Pribadi (2025)

Gambar 3.3 Pemasangan *Metal Deck* dengan Perkuatan *Angle Bar*

3.2. Analisis Pembebanan dan Reaksi Tumpuan

Hasil ringkasan perhitungan beban menurut Persamaan (1)–(5) untuk kedua sampel ditunjukkan pada Tabel 3. Sebagai contoh, untuk sampel *Side* (tebal pelat 200 mm) pada tahap operasional:

$$D = (0,20 \times 24) + 0,10 = 4,90 \text{ kN/m}^2$$

$$E_v = 0,20 \times 0,667 \times 4,90 = 0,65 \text{ kN/m}^2$$

Oleh karena itu

$$Q_{u2} = 1,20(4,90) + 1,60(19,62) + 1,00(E_v) = 37,92 \text{ kN/m}^2, \text{ dan}$$

$$R_u = (0,5)(37,92)(25) = 47,40 \text{ kN/m}$$

Tabel 3. Rekapitulasi Pembebanan dan Reaksi Tumpuan Kedua Sampel

Parameter	Sampel Center	Sampel Side
Beban mati D (kN/m ²)	3,70	4,90
Qu konstruksi (kN/m ²)	6,04	7,48
Qu operasional (kN/m ²)	12,78	37,92
Ru konstruksi (kN/m)	7,55	9,35
Ru operasional (kN/m)	15,98	47,40

Sumber: Analisis Pribadi (2026)

3.3. Kontrol Kapasitas Lentur dan Sambungan Las

Sayap horizontal profil siku ditinjau sebagai batang persegi per lebar 1.000 mm [3], maka Modulus plastis (Z) :

$$Z = (1.000 \times 5^2)/4 = 6.250 \text{ mm}^3, \text{ sehingga } M_n = 240 \times 6.250 = 1,50 \text{ kNm}$$

$$\phi M_n = 0,90 \times 1,50 = 1,35 \text{ kNm/m}$$

Momen terfaktor dihitung dengan eksentrisitas $e = 25$ mm; untuk sampel *Side* pada tahap operasional

$$M_u = 47,40 \times 0,025 = 1,185 \text{ kNm/m}$$

Kapasitas las titik (kaki 5 mm, $t_e = 3,5$ mm, $L_w = 30$ mm), menghasilkan

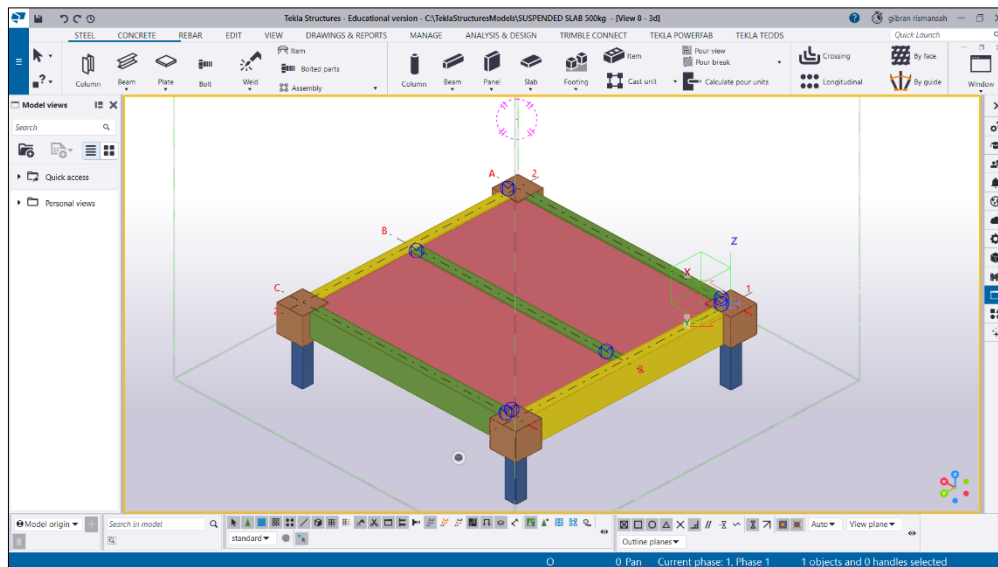
$$\phi R_n = 0,75 \times (0,6 \times 490 \times 3,5) \times 30 = 23,15 \text{ kN/titik.}$$

Hasil kontrol dirangkum pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Rangkuman Kontrol Kapasitas

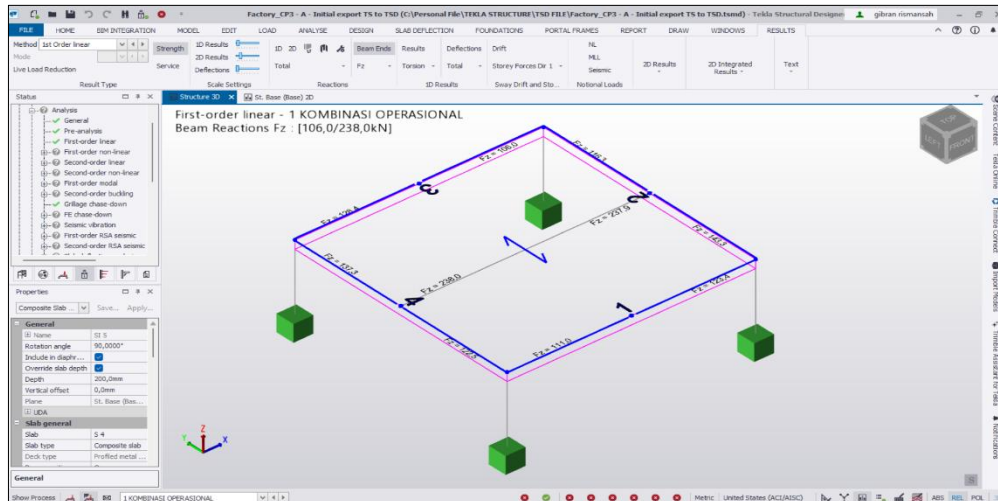
Parameter	$\mu_u / \phi M_n$	$V_u / \phi R_n$	Rasio maks	Status
Center — Konstruksi	0,189/1,35	1,51/23,15	0,14	Aman
Center — Operasional	0,399/1,35	3,20/23,15	0,30	Aman
Side — Konstruksi	0,234/1,35	1,87/23,15	0,17	Aman
Side — Operasional	1,185/1,35	9,48/23,15	0,88	Aman

Sumber: Analisis Pribadi (2026)



Sumber: Analisis Pribadi (2026)

Gambar 3.4 3D Konfigurasi *Angle Bar* dan *Metal Deck* pada Aplikasi *Tekla Structure*



Sumber: Analisis Pribadi (2026)

Gambar 3.5 Validasi Reaksi Beban Balok Menggunakan Aplikasi *Tekla Structures Designer*

3.4 Peranan *Angle Bar* pada Fase Konstruksi dan Operasional

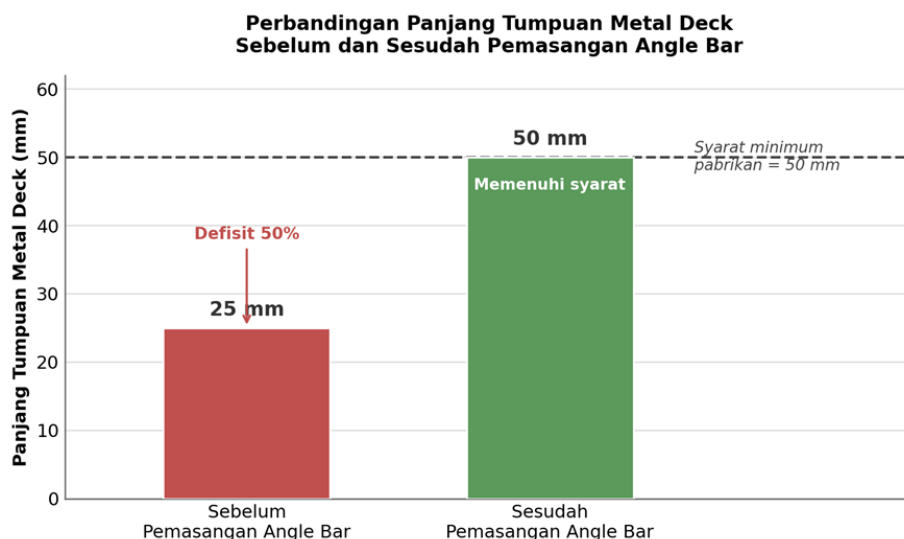
Saat *metal deck* sedang dipasang, beton basah belum mengeras untuk membentuk aksi komposit; sehingga pada tahap konstruksi tersebut, profil siku berperan sebagai penahan

beban utama. Karena tidak ada perancah yang dipasang selama konstruksi, pelat ini diselidiki sebagai bentang sederhana di antara profil siku pada *metal deck*. Perbandingan kapasitasnya sangat rendah untuk modulus kegagalan lentur dan kegagalan sambungan las (masing-masing 0,14–0,17 dan 0,07–0,08), yang menunjukkan adanya margin yang cukup antara beban yang bekerja dan kapasitas ketahanan.

Ketika digunakan dalam kondisi beton telah mengeras, *metal deck* dan beton bekerja sebagai pelat komposit yang merupakan struktur utama. Pelat komposit menyalurkan seluruh beban operasional, khususnya beban mesin sebesar 2000 kg/m^2 secara langsung ke balok utama; profil siku tertanam di dalamnya dan berperan sebagai komponen penstabil tepi. Dua asumsi konservatif dibuat dalam analisis pembebanan untuk menilai keselamatannya. Profil siku untuk pembebanan operasional penuh hanya diterapkan, dengan asumsi bahwa profil siku belum kehilangan kapasitas menahannya akibat satu kali beban. Dengan asumsi ini, rasio kapasitas lentur yang diperoleh pada sampel Side adalah 0,88 dan rasio kapasitas geser sambungan lasnya 0,40—keduanya masih aman. Dengan nilai rasio lentur yang mendekati 1,0, dikonfirmasi bahwa profil siku tidak pernah dimaksudkan untuk menanggung sepenuhnya beban layanan maupun beban mandiri secara keseluruhan [3]. Dengan demikian, pelat komposit merupakan jalur utama pemindahan beban baik dalam arah memanjang maupun melintang, sementara profil siku yang tertanam hanya berfungsi sebagai elemen penopang tepi struktural dengan cadangan kapasitas yang memadai. Terakhir, setelah pemasangan profil siku, panjang tumpuan meningkat dari 25 mm menjadi 50 mm, sehingga nilai ini sekarang lebih dari dua kali nilai minimum yang disediakan oleh pabrikan.

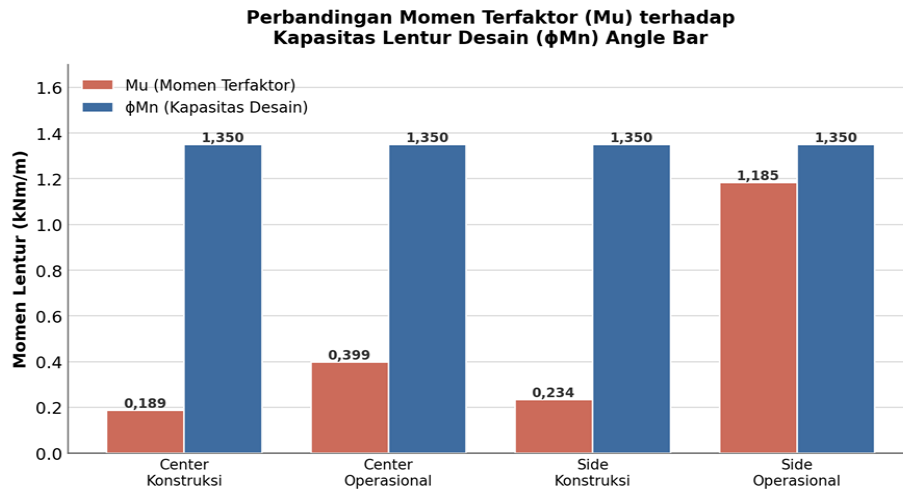
3.5 Rekapitulasi Grafik Hasil Analisis

Karena penelitian yang disajikan memuat analisis yang sangat rinci, untuk seluruh hasil perbandingan, sebuah grafik batang sekaligus membandingkan *angle bar* dengan *metal deck* ditampilkan antara panjang tumpuan, kapasitas lentur, kapasitas sambungan las, dan rasio kapasitas dengan setiap kondisi pembebanan dalam bentuk tabel.



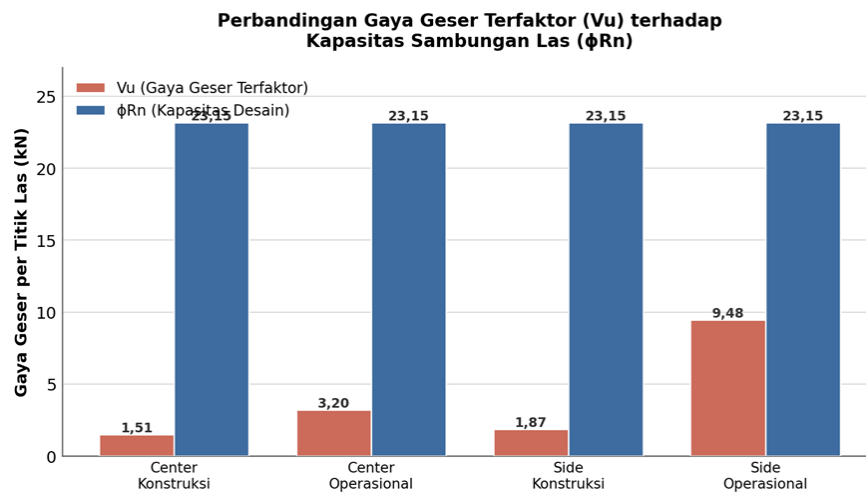
Sumber: Analisis Pribadi (2026)

Gambar 3.6 Perbandingan Panjang Tumpuan *Metal Deck*



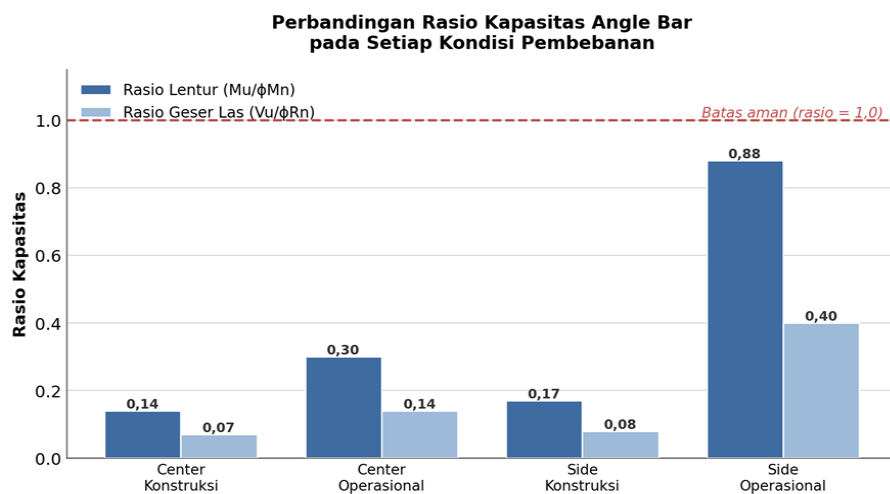
Sumber: Analisis Pribadi (2026)

Gambar 3.7 Perbandingan Momen Terfaktor terhadap Kapasitas Lentur Desain



Sumber: Analisis Pribadi (2026)

Gambar 3.8 Perbandingan Gaya Geser Terfaktor terhadap Kapasitas Sambungan Las



Sumber: Analisis Pribadi (2026)

Gambar 3.9 Rasio Kapasitas Angle Bar pada Setiap Kondisi Pembebanan

Berdasarkan keempat grafik tersebut, panjang tumpuan yang diperlukan dengan kapasitas yang memadai secara langsung diverifikasi berdasarkan penggunaan *angle bar* L 50×50×5 karena memberikan rasio kapasitas terbesar (0,88), terutama pada sampel *Side* selama tahap operasional di seluruh kondisi pembebanan pada tahap konstruksi maupun tahap operasional.

4. Kesimpulan

Panjang tumpuan *metal deck* aktual di lapangan hanya 25 mm, yaitu 50% di bawah persyaratan minimum pabrikan sebesar 50 mm [2], [17]. Pemasangan profil baja siku (*angle bar*) L 50×50×5 yang dilas pada sengkang balok terbukti memenuhi persyaratan tersebut karena meningkatkan panjang tumpuan efektif menjadi 50 mm, atau dua kali nilai minimum. Hasil analisis menunjukkan kapasitas profil siku dan sambungan lasnya masih aman pada seluruh kondisi pembebanan: rasio kapasitas lentur maksimum 0,88 dengan kapasitas momen desain $\phi M_n = 1,35$ kNm/m, dan rasio kapasitas geser las maksimum 0,40 dengan kapasitas geser per titik las $\phi R_{nw} = 23,15$ kN, keduanya terjadi pada sampel *Side* tahap operasional. Profil siku berperan sebagai elemen pemikul beban utama pada tahap konstruksi, sedangkan pada tahap operasional berperan sebagai elemen penstabil tepi yang tertanam saat pelat komposit telah bekerja sebagai sistem struktur utama pemindah beban. Dengan demikian, penggunaan profil siku tervalidasi secara teknis sebagai sistem perkuatan tumpuan tambahan untuk mengakomodasi *metal deck* pada struktur pelat gantung dengan panjang tumpuan yang kurang.

Daftar Pustaka

- [1] Paryanto and L. Hendarti, "Analisis Perbandingan Biaya Pelaksanaan Pelat Beton dengan Metode Bondex dan Konvensional," *Surakarta Civ. Eng. Rev.*, vol. 10, pp. 25–32, 2021.
- [2] Lysaght (BlueScope Steel), "BONDEK® Structural Steel Decking: Design and Construction Guide for Building Professionals," Australia, 2023.
- [3] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1729:2020 Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural," Jakarta, 2020.
- [4] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1727:2020 Beban Desain Minimum dan Kriteria Terkait Untuk Bangunan Gedung dan Struktur Lain," Jakarta, 2019.
- [5] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 1726:2019 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung," Jakarta, 2019.
- [6] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung," Jakarta, 2019.
- [7] S. U. Dewi and W. Kusmila, "Analisis Struktur Pelat Lantai Beton Konvensional dan Pelat Lantai Bondek (Gedung Kuliah Fakultas Tarbiyah dan Keguruan UIN Raden Intan Lampung)," *Teknol. Apl. Konstr.*, vol. 8, no. 1, pp. 120–129, 2018.
- [8] M. F. Fatharani and Yulianto P. Krisologus, "Kinerja Pelat Beton Komposit Floor Deck Terhadap Lentur," *Potensi J. Sipil Politek.*, vol. 22, no. 2, pp. 179–187, 2020.
- [9] M. Iman and N. A. Prasetya, "Metode Perkuatan Struktur Tangga," *Borneo Eng. J. Tek. Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 167–182, 2021.
- [10] F. Tahmasbi, S. Maleki, M. Shariati, N. H. Ramli Sulong, and M. M. Tahir, "Shear Capacity of C-Shaped and L-Shaped Angle Shear Connectors," *PLoS One*, vol. 11, no. 8, pp. 1–19, 2016.

- [11] K. W. Dahham, S. Baharom, W. H. W. Badaruzzaman, N. Muhammad, and A. W. Al-Zand, "Static Structural Performance of Continuous Composite Slab Strengthened by CFRP Laminate in the Hogging Moment Region," *J. Eng. Sci. Technol.*, vol. 13, no. 6, pp. 1489–1499, 2018.
- [12] A. R. SILVA and P. B. SILVA, "Nonlinear Numerical Analysis Of Composite Slabs With Steel Decking," *Rev. IBRACON Estruturas e Mater.*, vol. 12, no. 5, pp. 972–997, 2019.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 07-2054-2006 Baja Profil Siku Sama Kaki Proses Canai Panas," Jakarta, 2006.
- [14] Badan Standardisasi Nasional, "SNI 2052:2017 Baja Tulangan Beton," Jakarta, 2017.
- [15] American Welding Society, "AWS D1.4/D1.4M: 2018 Structural Welding Code—Steel Reinforcing Bars," United States of America, 2018.
- [16] PT Fajar Nusa Consultan, "Laporan Perhitungan Struktur Factory Central Plant 3," Jakarta, 2024.
- [17] A. Surono and R. Rosyati, "Faktor-Faktor yang Menyebabkan Kegagalan Bekisting pada Proyek Gedung Sekolah St. Yohanes PIK2," *Struct. J. Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 84–99, 2023.