

Penerapan Sistem *Hybrid* pada Kepala Pilar Jembatan

Prima Sukma Yuana dan Boy Raja Agustinus Sihotang

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

prima.s.yuana@gmail.com, boyraja1996.br@gmail.com

Abstrak

Pemilihan metode konstruksi jembatan yang efektif sangat diperlukan untuk menghindari kemacetan selama proses konstruksi. Salah satu tipe struktur jembatan adalah sistem *hybrid* pada pilar jembatan. Sistem struktur *hybrid* mengkombinasikan material beton bertulang dengan baja. Sistem *hybrid* memiliki kelebihan dibandingkan beton bertulang karena tidak memerlukan pengecoran pada bagian kantilever kepala pilar sehingga proses ereksi menjadi lebih cepat. Pemodelan sistem *hybrid* pada pilar jembatan yaitu dengan merencanakan kepala pilar menggunakan rangka baja sedangkan badan pilar menggunakan beton bertulang. Kepala pilar dimodelkan terpisah dengan badan pilar, dan reaksi dari rangka baja akan disalurkan pada beton menggunakan shear stud. *Shear stud* perlu dipasang karena berfungsi untuk transfer gaya sehingga gaya yang bekerja pada struktur atas dapat tersalurkan sampai dengan pondasi.

Kata kunci: *hybrid*, pilar, jembatan

Abstract

The selection of effective bridge construction method should be conducted to prevent the traffic congestion during the construction. One of the bridge structures is hybrid system on the pier. In this research, a hybrid system combined reinforced concrete material with steel material. The hybrid system did not involve a casting process in the pier head cantilever, therefore, the implementation was faster than conventional concrete pier. The hybrid pier model was arranged separately using a steel frame on the pier head and reinforced concrete on the pier body. A shear stud was installed to transfer forces so that the forces acting on the upper structure can be channeled up to the foundation.

Keywords: hybrid, pier, bridge

1. Pendahuluan

Mayoritas pembangunan infrastruktur di Indonesia dilaksanakan dengan menggunakan konstruksi beton bertulang. Pemilihan tersebut berdasar dari melimpahnya bahan pembentuk beton bertulang di Indonesia. Salah satu proyek infrastruktur yang banyak dibuat saat ini adalah pembangunan jembatan layang yang tentunya memiliki konstruksi berupa *pier* dan girder. Jembatan layang dibuat sebagai salah satu cara untuk mengurai kepadatan lalu lintas. Khusus pembangunan di jalur yang rawan macet, diprediksi pengecoran kantilever beton akan menambah tingkat kemacetan dan juga menyebabkan terjadinya keterlambatan proyek, sehingga untuk mengantisipasi kemacetan yang mungkin terjadi perlu dibuat alternatif lain dalam pemilihan tipe struktur atas dan pilar yang sekarang sudah mulai digunakan yaitu sistem *hybrid*. (Dosen & Harapan, n.d.)

Sistem struktur *hybrid* mengkombinasikan material beton bertulang dengan baja. Sistem ini memiliki kelebihan dibandingkan beton bertulang karena tidak memerlukan pengecoran pada bagian kantilever kepala pilar. Pengecoran kantilever kepala pilar biasanya akan menimbulkan masalah pada lalu lintas di bawahnya, terutama apabila jembatan dibuat sejajar dengan jalan yang dilintasi. Pada pelaksanaannya, kepala pilar yang menggunakan struktur baja akan dipabrikasi secara terpisah, proses perangkaian kepala pilar dilakukan ketika volume lalu lintas relatif rendah, biasanya dini hari. Proses ereksi yang cepat merupakan keunggulan sistem ini karena tidak lagi dilakukan pengecoran pada bagian kantilever kepala pilar.

2. Metode

Studi ini menggunakan data perencanaan Jembatan *Off Ramp* Sukaraja sebagai data sekunder dalam membuat model. Jembatan ini terletak di daerah Ciawi-Jawa Barat. Lokasi studi dapat dilihat pada Gambar 1. Data yang digunakan pada penerapan sistem *hybrid* pada Jembatan *Off Ramp* Sukaraja berupa gambar teknis yang terdiri dari *layout* jembatan, gambar potongan jembatan, dan dimensi eksisting masing-masing pilar. *Layout* jembatan dan

potongan memanjang jembatan disajikan pada Gambar 2 dan 3.

Info Makalah:

Dikirim : 08-16-19;

Revisi 1 : 10-21-19;

Revisi 2 : 02-05-20;

Diterima : 02-05-20.

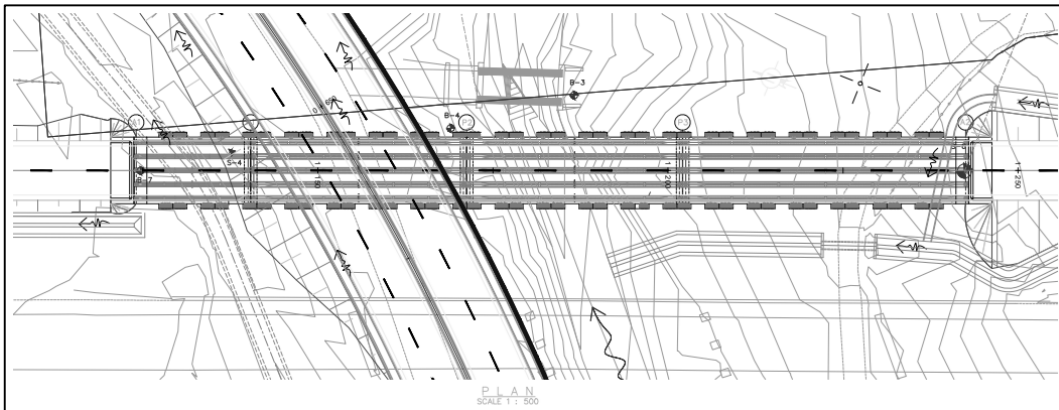
Penulis Korespondensi:

Telp : +62-8535-2337-730

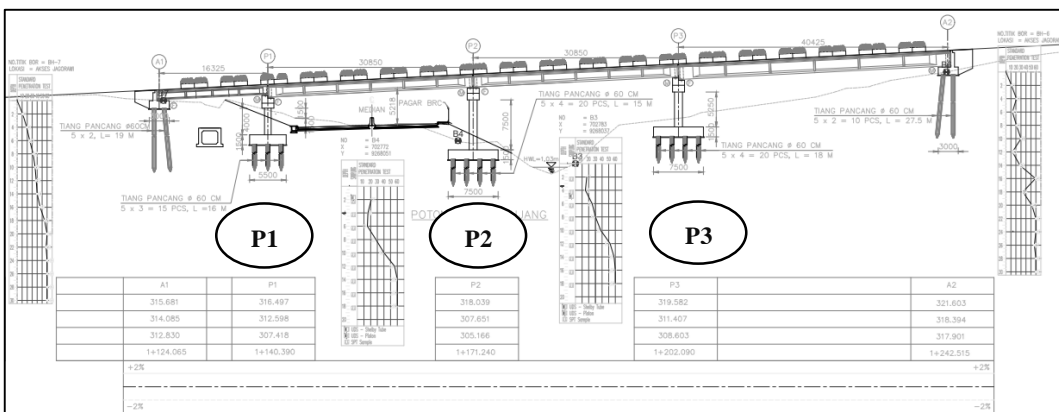
e-mail : prima.s.yuana@gmail.com



Gambar 1. Lokasi Studi Kasus

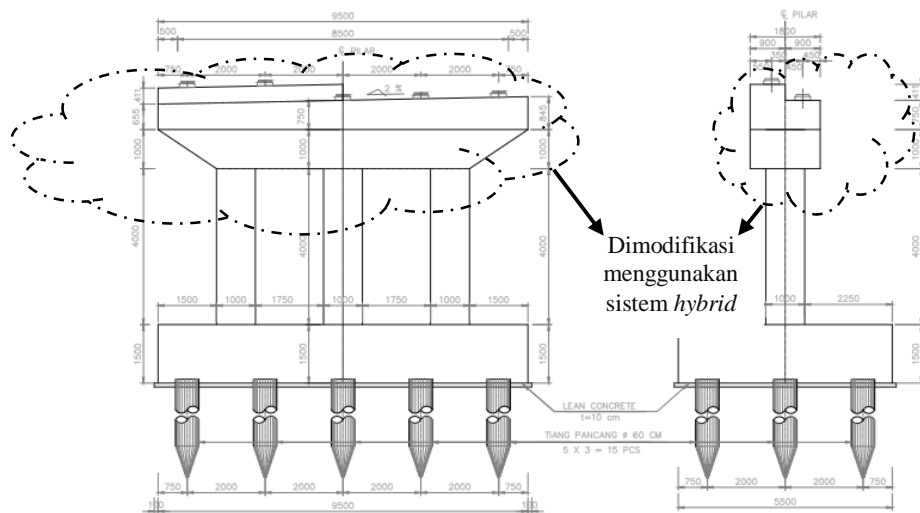


Gambar 2. Layout Jembatan

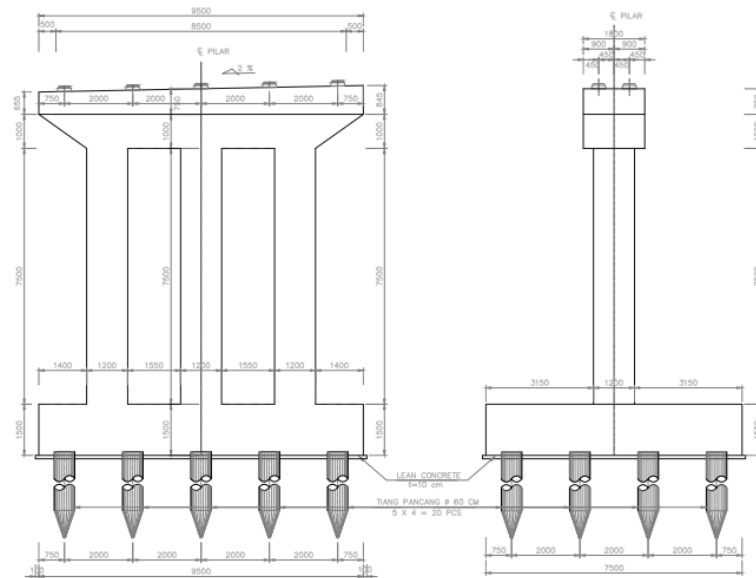


Gambar 3. Potongan Memanjang Jembatan

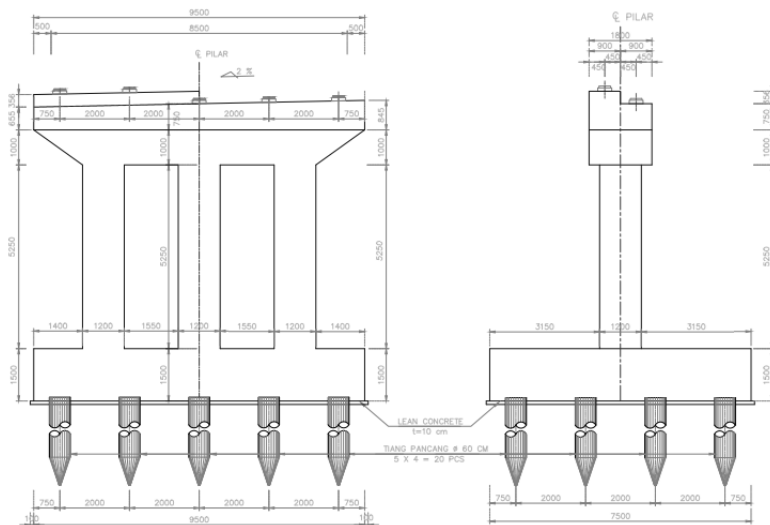
Jembatan *Off Ramp* Sukaraja memiliki tiga pilar terdiri dari empat bentang dengan tiga pilar yaitu P1, P2, dan P3 seperti ditunjukkan pada gambar 3. Ketiga kepala pilar tersebut akan dimodifikasi menggunakan sistem *hybrid*. Dimensi awal ketiga pilar dapat dilihat pada Gambar 4 sampai dengan 6.



Gambar 4. Dimensi Awal Pilar P1



Gambar 5. Dimensi Awal Pilar P2



Gambar 6. Dimensi Awal Pilar P3

Dalam permodelan pilar jembatan yang menggunakan sistem *hybrid*, rangka baja sebagai kepala pilar dimodelkan terpisah dengan badan pilar yang menggunakan konstruksi beton bertulang. Reaksi dari rangka baja disalurkan pada beton menggunakan *shear-stud*. Selain itu, *shear-stud* juga berguna untuk memberikan kekangan lateral pada struktur. Kuat geser nominal *shear-stud* tunggal, Q_n yang tertanam pada pelat beton solid atau pelat beton komposit dengan pelat baja, dapat dihitung menggunakan persamaan (1).

$$Q_n = 0,5A_{sa}\sqrt{f'_c E_c} \leq R_g R_p A_{sa} F_u \tag{1}$$

Catatan: Diameter dari suatu angkur *steel headed stud* tidak boleh lebih besar dari 2,5 kali ketebalan logam dasar yang digunakan untuk yang dilas, kecuali jika dilas pada bagian sayap balok secara langsung melalui badan.

Ketentuan untuk nilai R_g dan R_p ditabulasikan sebagai berikut pada Tabel 1.

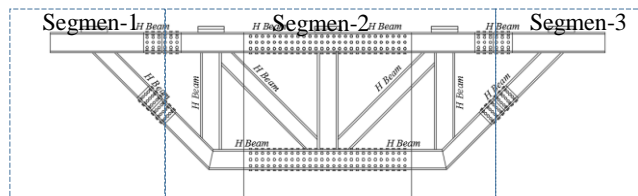
Tabel 1. Bantuan Praktis Menentukan R_g dan R_p

Kondisi	R_g	R_p
Tanpa pelat baja	1,0	0,75
Memakai pelat baja yang rusuknya paralel dengan arah profil balok		
– $W_r/h_r \geq 1,5$	1,0	0,75
– $W_r/h_r < 1,5$	0,8**	0,75
Memakai pelat baja yang rusuknya tegak lurus profil balok. Jumlah <i>shear stud</i> pada setiap rusuknya		
– 1 (satu)	1,0	0,6*
– 2 (dua)	0,85	0,6*
– 3 (tiga)	0,7	0,6*

Setelah memperoleh kuat geser nominal *shear-stud* tunggal maka jumlah *shear-stud* yang dipasang pada penampang baja kepala pilar dapat dihitung berdasarkan persamaan (2).

$$n = \frac{T_u}{Q_n} \tag{2}$$

Pada pelaksanaannya, konstruksi kepala pilar yang menggunakan rangka baja akan dibagi menjadi tiga segmen. Sistem sambungan yang digunakan terdiri dari sambungan las dan sambungan baut mutu tinggi (A325) dengan mekanisme slip-kritis, yang dirancang sekuat profil baja yang disambungkannya. Skema pemodelan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Sambungan pada Kepala Pier.

Kuat tumpu rencana beton, $\phi_c P_n$ dengan $\phi_c = 0.65$, kuat tumpu beton dapat ditingkatkan karena adanya pengaruh kekangan (*confinement*) yang dapat dihitung berdasarkan persamaan (3) dan persamaan (4).

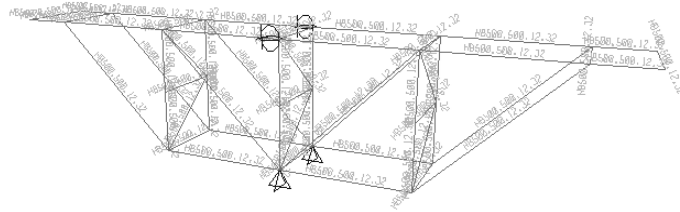
$$P_n = 0,85f'_c A_1 \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \leq 1,7 f'_c A_1 \tag{3}$$

$$R = \frac{P_u}{\phi_c P_n} \leq 1 \tag{4}$$

3. Hasil dan Pembahasan

Permodelan Kepala Pilar

Pemodelan kepala pilar dibuat terpisah menggunakan rangka baja. Tumpuan pada rangka baja yang kenyataannya adalah *shear stud* berfungsi sebagai penyalur beban dari baja ke beton. *Shear-stud* tersebut dimodelkan sebagai tumpuan sendi dan rol seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Permodelan Kepala *Pier*.

Reaksi tumpuan sendi-rol pada kepala pilar akibat beban dari struktur atas tersebut kemudian akan digunakan untuk memperoleh kekuatan *shear-stud* tunggal dan menghitung jumlah *shear-stud* yang akan digunakan pada rancangan kepala pilar. Reaksi tumpuan akibat beban yang diterima kepala pilar juga akan digunakan sebagai beban pada badan pilar, yang nantinya reaksi tersebut dibutuhkan untuk memperoleh jumlah kebutuhan tulangan yang akan digunakan pada badan pilar sehingga dapat diatur konfigurasinya terhadap kepala pilar.

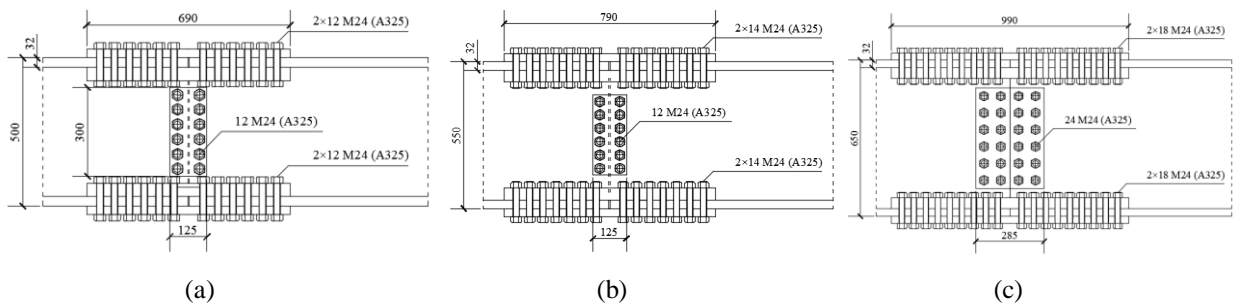
Sambungan Baut pada Kepala Pilar

Perancangan sambungan baut pada profil H-Beam dengan mutu baja $F_y = 250$ MPa dan $F_u = 410$ MPa direncanakan akan dipasang pada bagian kantilever kepala pilar. Berdasarkan analisis diperoleh profil seperti ditabulasikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Profil Baja pada Rancang Kepala Pilar

Jenis Struktur	Profil Rencana
Pilar P1	H-Beam 500.500.12.32
Pilar P2	H-Beam 550.550.12.32
Pilar P3	H-Beam 650.650.12.32

Berdasarkan perhitungan, jumlah baut untuk pelat sayap dan pelat badan dapat ditentukan. Pelat sambungan untuk sayap dan badan dipilih agar luas pelat sama atau lebih besar dari komponen yang disambung, sekaligus mengantisipasi pengaruh adanya reduksi luas akibat adanya lubang baut. Berikut detail sambungan pada pilar P1, P2, dan P3 yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Detail Sambungan Baut: (a) Pilar P1 (b) Pilar P2 dan (c) Pilar P3

Sambungan Las

Sambungan las digunakan untuk menyambung ketiga segmen pada kepala pilar yang dipabrikasi terpisah dengan lokasi konstruksi jembatan, sambungan las yang digunakan adalah tipe las tumpul (*butt weld*) pada kondisi *full penetration*. Mutu las yang digunakan pada rancang $F_{EXX} = 430$ MPa dengan $F_{nw} = 258$ MPa. Dengan panjang las perlu yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Panjang Las Perlu pada Profil

Jenis Struktur	Panjang Las Perlu (mm)
Pilar P1	2976
Pilar P2	3276
Pilar P3	3876

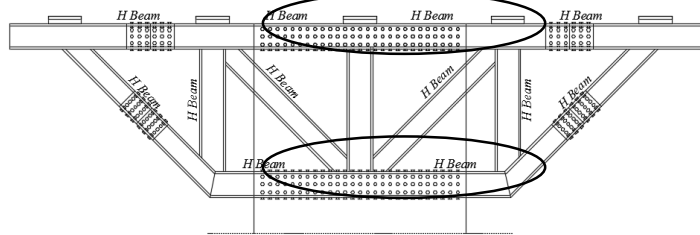
Kebutuhan Shear Connector

Shear connector atau *shear-stud* digunakan untuk mentransfer gaya lateral (horizontal) dari elemen baja ke beton. Pada perancangan ini digunakan *shear-stud* dengan diameter 16 mm dan kuat tarik $F_u = 450$ MPa. Berdasarkan analisis diperoleh jumlah *shear-stud* yang diperlukan pada masing-masing pilar yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Jumlah *Shear-Stud* yang Dibutuhkan Profil

Jenis Struktur	Jumlah <i>Shear-stud</i>
Pilar P1	138
Pilar P2	156
Pilar P3	180

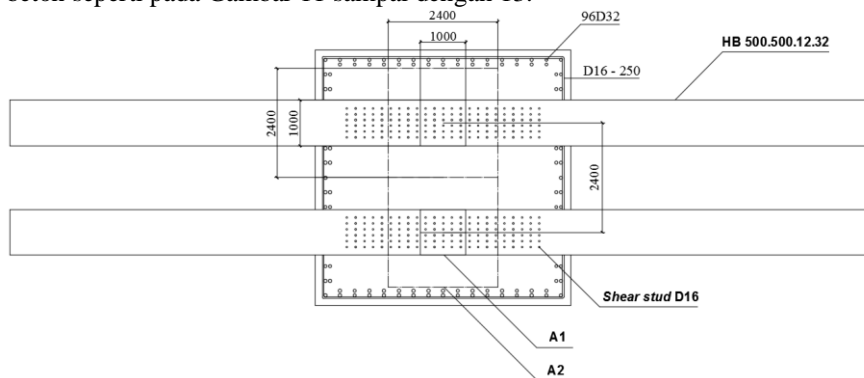
Shear-stud direncanakan dipasang pada segmen kedua kepala pilar yang ditunjukkan pada Gambar 10.



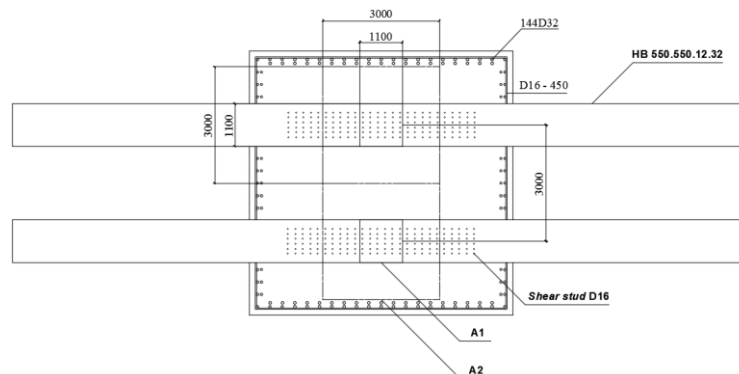
Gambar 10. Letak Pemasangan *Shear-Stud* pada Kepala Pilar

Tumpuan Struktur Baja pada Beton

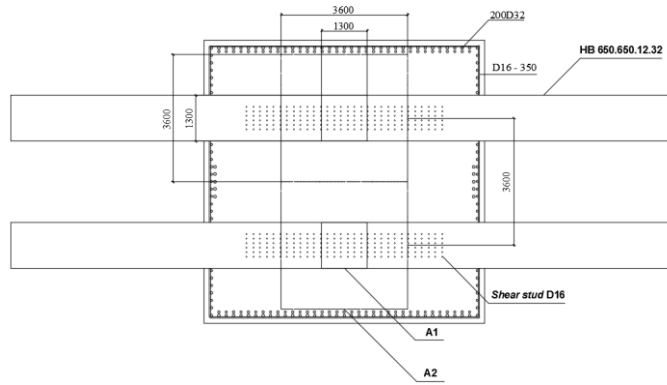
Transfer gaya dari struktur baja ke beton dianggap terjadi pada bidang permukaan beton seluas (A_2) di bawah permukaan bidang tumpu baja (A_1). Permukaan itu terjadi akibat distribusi gaya tumpu, yaitu sebagai luasan bawah piramida terpancung (A_2), dan bagian atasnya berupa bidang tumpu (A_1). Sisi miring yang menghubungkannya mempunyai rasio horizontal:vertikal sebesar 2:1. Denah dan potongan luasan A_1 dan A_2 untuk perhitungan mekanisme transfer gaya baja ke beton seperti pada Gambar 11 sampai dengan 13.



Gambar 11. Bidang Tumpu Baja (A_1) dan Bidang Evaluasi Tumpu Beton (A_2) Pilar P1



Gambar 12. Bidang Tumpu Baja (A_1) dan Bidang Evaluasi Tumpu Beton (A_2) Pilar P2



Gambar 13. Bidang Tumpu Baja (A₁) dan Bidang Evaluasi Tumpu Beton (A₂) Pilar P3

Kebutuhan Tulangan Badan Pilar

Setelah dilakukan analisis terhadap badan pilar, diperoleh nilai gaya dalam yang terjadi pada pilar akibat beban yang didistribusikan pada kepala pilar dan berat kepala pilar itu sendiri. Berikut kebutuhan tulangan badan pilar yang ditunjukkan pada Tabel 5 sampai dengan 7.

Tabel 5. Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Pilar P1

Bagian Pilar	Tulangan Longitudinal	Tulangan Geser
Kolom	96D32	D16 – 250
Pile Cap	29D25	D32 – 150

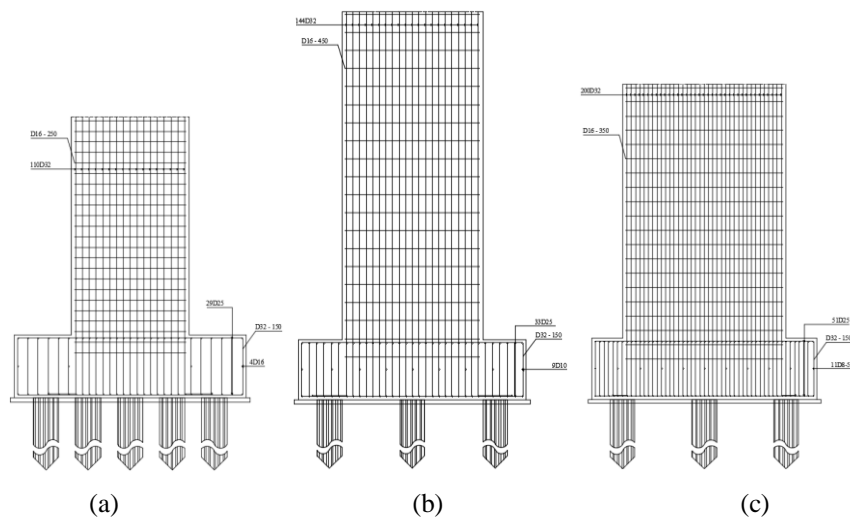
Tabel 6. Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Pilar P2

Bagian Pilar	Tulangan Longitudinal	Tulangan Geser
Kolom	144D32	D16 – 450
Pile Cap	33D25	D32 – 150

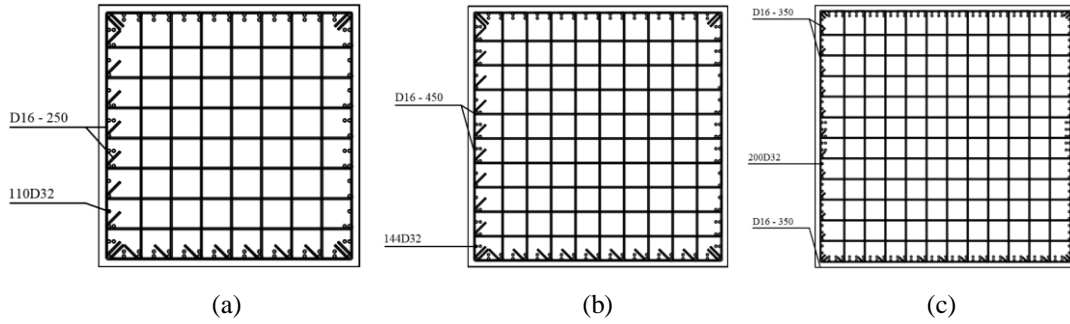
Tabel 7. Rekapitulasi Kebutuhan Tulangan Pilar P3

Bagian Pilar	Tulangan Longitudinal	Tulangan Geser
Kolom	200D32	D16 – 350
Pile Cap	51D25	D32 – 150

Skema penulangan badan pilar dan kolom pilar dapat dilihat pada Gambar 14 dan Gambar 15.



Gambar 14. Skema Penulangan Badan Pilar: (a) Pilar P1 (b) Pilar P2 dan (c) Pilar P3



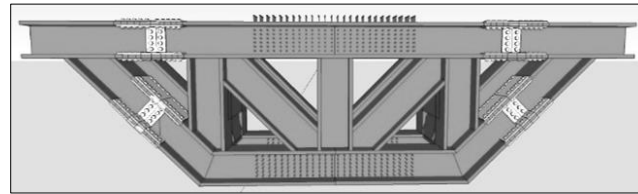
Gambar 15. Skema Penulangan Kolom Pilar: (a) Pilar P1 (b) Pilar P2 dan (c) Pilar P3

Metode Pelaksanaan Konstruksi

Metode pelaksanaan konstruksi pilar dengan metode *hybrid* adalah sebagai berikut:

1. Pabrikasi Struktur Baja Kepala Pilar

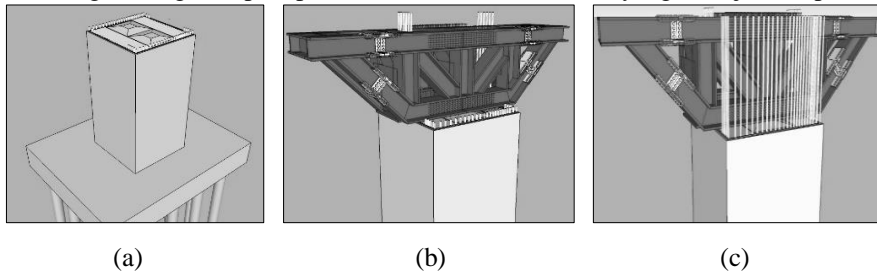
Pada tahap awal bagian tengah kepala pilar disambung terlebih dahulu kemudian dilakukan pengelasan semua bagian kepala pilar. Setelah dilakukan pengelasan sesuai rencana, kemudian kepala pilar dibagi menjadi tiga segmen sekaligus dipasang sambungan baut mutu tinggi sesuai rencana. Berikut rancang kepala pilar yang sudah dipabrikasi yang ditampilkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Rancang Kepala Pilar Setelah Dipabrikasi.

2. Pengecoran Kepala Pilar Terhadap Kolom

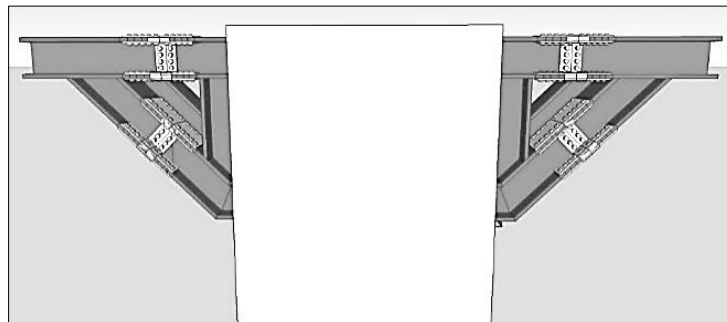
Berikut gambaran tahap konstruksi tumpuan pilar hingga kepala pilar terpasang dan diatur konfigurasi tulangan sebelum bagian tengah kepala pilar dicor secara keseluruhan yang ditunjukkan pada Gambar 17.



Gambar 17. Pengecoran Kepala Pilar: (a) Tumpuan (b) Pemasangan dan (c) Konfigurasi Tulangan

3. Pemasangan Segmen Kantilever Rangka Baja

Berikut gambaran tahap akhir dimana kepala pilar sudah terpasang sesuai rencana terhadap badan pilar yang ditunjukkan pada Gambar 18.



Gambar 18. Lengan Kantilever Baja yang Sudah Tersambung Sesuai Rencana

Kesimpulan

Sistem struktur *hybrid* mengkombinasikan material beton bertulang dengan baja. Sistem *hybrid* memiliki kelebihan dibandingkan beton bertulang karena tidak memerlukan pengecoran pada bagian kantilever kepala pilar sehingga proses ereksi menjadi lebih cepat. Hal ini efektif untuk mencegah timbulnya kemacetan terutama apabila jembatan dibuat sejajar dengan jalan yang dilintasi.

Struktur kepala pilar dibagi menjadi tiga segmen. Segmen kedua atau bagian tengah kepala pilar ditanam bersama kolom beton. Oleh karena itu untuk mekanisme transfer gaya perlu dipasang *shear-stud* sehingga gaya yang bekerja dapat tersalurkan sampai dengan pondasi.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan dari berbagai pihak yang terlibat dalam proses studi ini, baik berupa bantuan dalam pengumpulan data, maupun atas diskusinya yang bermanfaat.

Daftar Notasi

A_{sa}	= Luas Penampang <i>Shear Stud</i> [mm ²]
E_c	= Modulus Elastisitas Beton [MPa]
F_u	= Kuat Tarik Minimum <i>Shear Stud</i> [MPa]
T_u	= Kuat Tarik Maksimum Baja [kN]
Q_n	= Kuat Geser Nominal <i>Shear-Stud</i> Tunggal [kN]
f'_c	= Mutu Beton [MPa]
$\phi_c P_n$	= Kuat Tumpu Rencana Beton [kN]
A_1	= Luas Tumpu Baja [mm ²]
A_2	= Luas Tumpu Kritis Beton [mm ²]
P_u	= Reaksi Tumpuan Kepala Pilar Rangka Baja [kN]
R	= Rasio Kuat Tumpu Rencana Beton

Daftar Pustaka

- Dosen, W. D., & Harapan, U. P. (n.d.). *Desain & Konstruksi Hybrid Pier Proyek LRT Palembang*. 1–11.
- Dewobroto, W. (2016). *Struktur Baja – Perilaku, Analisis & Rancang – AISC 2010, Edisi ke-2*, Penerbit Jurusan Teknik Sipil UPH, Tangerang.
- AISC. (2010). *Specification for Structural Buildings*, American Institute of Steel Construction Inc., Chicago(IL).
- ACI. (2011). *Building Code Requirements for Reinforcement Concrete and Commentary –ACI 318-11/ACI 318R-11*, American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich.
- Badan Standarisasi Nasional. (2005). SNI 1725:2016 Tentang Pembebanan Untuk Jembatan. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2013). SNI 2847:2013 Tentang Perencanaan Struktur Beton. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). SNI 1729:2016 Tentang Perencanaan Struktur Baja. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). SNI 2833:2016 Tentang Perencanaan Jembatan Terhadap Beban Gempa. Bandung: Badan Standarisasi Nasional.

(Halaman Ini Sengaja Dibiarkan Kosong)