

KAJIAN LITERATUR SISTEM SAMBUNGAN BALOK SLOOF PRACETAK KONSTRUKSI RUMAH SEDERHANA TAHAN GEMPA

Israel Padang¹, Rudy Djameluddin², Herman Parung³, dan
Arwin Amiruddin⁴

¹Mahasiswa Program Doktor Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Telp 0811422111, E mail: civilrael1107@gmail.com

²Dosen Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa Telp 0811466610, E mai ; rudy0011@gmail.com

³Dosen Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Telp. 087840023116, E mail: parungherman@gmail.com

⁴Dosen Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Jalan Poros Malino, Km-6 Gowa, Telp. 082190423578, E mail: a.arwinamiruddin@yahoo.com.

ABSTRAK

Gempa bumi adalah salah satu bencana alam yang paling merusak, terutama di Indonesia yang terletak di Cincin Api Pasifik dan memiliki curah hujan tinggi, sehingga sering mengalami gempa, letusan gunung berapi, banjir, dan tsunami. Inovasi dalam teknologi konstruksi tahan gempa sangat penting untuk pemulihan pasca-bencana, terutama dalam pembangunan kembali rumah-rumah yang rusak dengan cepat dan efisien. Beton pracetak adalah solusi yang populer karena kualitasnya yang lebih baik dan waktu konstruksi yang lebih singkat, namun desain dan implementasi sistem sambungan yang efektif adalah tantangan utama. Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi teknik dan metode sistem sambungan balok pracetak untuk pondasi rumah sederhana tahan gempa melalui studi literatur. Studi ini mengidentifikasi jenis-jenis sambungan seperti sambungan basah, kering, dan semi-kering, serta menganalisis kinerja sambungan dalam berbagai pengujian laboratorium. Hasil studi literatur ini ditemukan bahwa sambungan yang dirancang dengan baik mampu mentransfer beban secara aman dan efektif, serta memastikan integritas struktural selama gempa. Makalah ini diharapkan dapat memberikan wawasan tentang desain dan konstruksi sambungan balok pracetak yang dapat mendukung percepatan pembangunan rumah tahan gempa di Indonesia.

Kata kunci: gempa bumi, beton pracetak, sambungan balok, konstruksi, rumah tahan gempa

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan salah satu bencana alam yang paling merusak, yang dapat menyebabkan kerugian besar baik dalam hal nyawa maupun properti. Indonesia, sebagai bagian dari Cincin Api Pasifik, selain itu Indonesia memiliki curah hujan yang sangat tinggi menyebabkan Indonesia termasuk negara rawan dilanda bencana seperti seperti gempa bumi, letusan gunung berapi, banjir hingga tsunami. (Indonesiabaik.id). Statistik Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) mencatat jumlah kejadian bencana di Indonesia termasuk dalam kategori sangat tinggi. Tercatat dalam 5 tahun terakhir bencana di atas angka rata-rata 3000 kejadian setiap tahunnya. Bahkan terbesar di tahun 2020 mencapai 5003 kejadian bencana. BNPB mencatat lebih dari 42.000 rumah warga rusak akibat bencana alam sepanjang tahun 2020. Kejadian bencana dari tahun ke tahun menjadi catatan sekaligus data betapa bencana sangat merugikan bagi kelangsungan hidup manusia sebagai sebuah histori. Terdapat kecenderungan peningkatan kejadian bencana setiap tahun, dimana total kejadian bencana di tahun 1815 berjumlah 1 meningkat menjadi 3.885 kejadian pada tahun 2019 (Yulianto et al., 2021). Oleh karena itu, inovasi dalam teknologi konstruksi tahan gempa sangat penting. Salah satu tantangan utama dalam pemulihan pasca-bencana adalah membangun kembali rumah-rumah yang rusak atau hancur dengan cepat dan efisien. Pemulihan ini merupakan tahap penting dalam mengembalikan kehidupan normal bagi warga yang terkena dampak. Namun, pembangunan rumah dengan cara konstruksi yang konvensional memerlukan waktu yang lama dan sumber daya yang besar, yang dapat menunda pemulihan dan meningkatkan penderitaan korban bencana. Sistem struktur beton pracetak merupakan salah satu alternatif teknologi dalam perkembangan konstruksi di Indonesia yang bisa dilakukan dengan lebih terkontrol, lebih ekonomis, serta mendukung efisiensi waktu, efisiensi energi, dan mendukung pelestarian lingkungan (Sianturi, 2012). Hal ini sejalan dengan kebutuhan percepatan pembangunan rumah sederhana korban yang terkena dampak bencana pada saat terjadi bencana alam yang tahan terhadap gempa.

Beton pracetak memiliki keunggulan dalam kualitas dan konstruksi yang lebih pendek waktu. Sambungan struktur beton pracetak penting untuk keberhasilan konstruksi (Djameluddin et al., n.d.). Sistem sambungan yang digunakan untuk menghubungkan elemen-elemen pracetak, harus direncanakan agar dapat berperilaku dengan baik, dalam mentransfer beban gravitasi maupun beban lateral. Di samping itu, sistem sambungan tersebut haruslah dapat mempercepat pelaksanaan konstruksi dan mudah untuk dilaksanakan. Penggunaan balok pracetak dalam konstruksi telah menjadi solusi yang semakin populer karena berbagai keunggulannya, termasuk kecepatan pembangunan, kontrol kualitas yang lebih baik, dan efisiensi biaya. Namun, salah satu tantangan utama dalam penggunaan balok pracetak adalah desain dan implementasi sistem sambungan yang efektif dan efisien. Sistem sambungan yang baik harus mampu mentransfer beban dengan aman dan efektif, serta memastikan integritas struktural selama dan setelah

terjadinya gempa. Artikel ini bertujuan untuk mengeksplorasi berbagai teknik dan metode sistem sambungan balok pracetak yang telah terbukti efektif dalam konteks pondasi rumah sederhana tahan gempa.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur. Metode studi literatur adalah serangkaian kegiatan yang berkenaan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat, serta mengelolah bahan penelitian (Zed, 2008:3), sebagai langkah awal dalam perencanaan penelitian dengan memanfaatkan kepustakaan untuk memperoleh data lapangan dan membentuk kerangka berpikir pada penelitian yang akan dilakukan. Studi literatur melibatkan pengumpulan informasi dari berbagai sumber yang relevan dengan topik yang dibahas. Sumber-sumber yang digunakan termasuk jurnal ilmiah, buku, laporan penelitian, artikel konferensi, dan standar konstruksi. Pencarian literatur dilakukan melalui database online seperti Google Scholar, ScienceDirect, IEEE Xplore, dan database akademik lainnya. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian literatur meliputi "precast beam connection", "earthquake-resistant foundation", "seismic performance of precast structures", dan "efficient construction methods". Literatur yang ditemukan kemudian dianalisis untuk mengidentifikasi teknik dan metode sambungan balok pracetak yang telah terbukti efektif dalam uji laboratorium maupun aplikasi lapangan.

3. PEMBAHASAN

Jenis Sambungan Balok Pracetak

Berbagai jenis sambungan balok pracetak telah dikembangkan dan diuji untuk memastikan kinerjanya dalam kondisi gempa. Beberapa jenis sambungan yang umum digunakan antara lain:

1. *Wet Connection* (Sambungan Basah)

Sambungan ini merupakan sambungan dengan cara grouting atau penyaluran tulangan menggunakan tulangan biasa sebagai penyambung/penghubung antar elemen beton baik antar pracetak ataupun antara pracetak dengan cor ditempat. Elemen pracetak yang sudah berada di tempatnya akan dicor bagian ujungnya untuk menyambungkan elemen satu dengan yang lain agar menjadi satu kesatuan yang monolit. Sambungan jenis ini sering diterapkan dalam pelaksanaan konstruksi, karena tergolong mudah dalam pelaksanaannya. Selain itu sambungan ini dapat membuat bangunan menjadi lebih kaku dibanding menggunakan sambungan jenis lain. Menurut sudut pandang praktisi, sambungan basah dapat menghemat biaya dan cara pemasangannya yang lebih mudah dibandingkan dengan sambungan kering akan tetapi, memerlukan setting time yang cukup lama (Taher, 2007).

2. *Dry Connection* (Sambungan Kering)

Sambungan jenis ini menggunakan penghubung mekanis seperti baut, sambungan plat baja, atau sistem interlock. Sambungan kering lebih cepat dalam pemasangan dan tidak memerlukan waktu pengeringan, namun harus dirancang dengan presisi untuk memastikan keselarasan dan kekuatan yang cukup. Kekurangan dari sambungan jenis ini yaitu pelaksanaannya yang tidak mudah sehingga membutuhkan tenaga ahli dan biaya pengerjaannya lebih mahal dibandingkan sambungan basah. Retak yang tersembunyi pada bagian plat baja yang tertanam di dalam beton juga menjadi salah satu faktor dari kekurangan sambungan ini.

3. *Semi-Dry Connection* (Sambungan Semi-Kering)

Kombinasi antara sambungan basah dan kering, menggunakan perekat atau grouting untuk memperkuat penghubung mekanis. Sambungan ini menawarkan keseimbangan antara kekuatan dan efisiensi waktu, namun memerlukan teknologi perekat yang tepat untuk mengoptimalkan hasilnya.

Kinerja Sambungan dalam Beberapa Pengujian

Penelitian tentang sambungan beton pracetak sudah cukup banyak dilakukan. Berbagai inovasi ditemukan untuk mendapatkan model dan sistem sambungan yang efektif dan efisien pada kebutuhan konstruksi dewasa ini. Penelitian (Zheng et al., 2023). Hasil dari penelitian ini adalah bahwa perilaku lentur dari balok segmen beton pracetak UHPC dengan kawat tarik tak terikat dipengaruhi oleh jenis sambungan dan jumlah sambungan. Meskipun kekuatan lentur dari komponen pracetak lebih rendah daripada balok monolitik, namun menunjukkan perilaku yang lebih lentur. Gagalnya balok segmen umumnya terjadi pada bagian lentur, dan distribusi regangan sepanjang ketinggian balok bersifat linear. Selain itu, bentuk sambungan juga mempengaruhi kapasitas dukung lentur. Hasil simulasi FE menunjukkan kesesuaian yang baik dengan data uji, meskipun terdapat perbedaan yang disebabkan oleh konsentrasi tegangan dan kerusakan material. Penelitian ini memberikan wawasan berharga untuk desain dan konstruksi jembatan segmen beton pracetak UHPC.

Penelitian (Ro et al., 2021). Sebuah studi eksperimental tentang perilaku lentur sistem balok modular beton pracetak menggunakan pelat baja yang disisipkan. Hasil dari penelitian ini memperlihatkan retakan awal terjadi di tengah-tengah semua spesimen uji. Pada sistem balok modular PC yang diusulkan, PCM-A dan PCM-B, retakan berlanjut sepanjang bentuk sambungan ke zona kompresi seiring dengan peningkatan beban setelah terjadi retakan lentur awal. PCM-B dengan panjang sambungan 700 mm (dua kali lipat dari spesimen PCM-A) lebih rapuh. Namun, penyambungan antara modul PC dipastikan karena sambungan antara modul PC tidak lepas sampai pengujian dihentikan. Beban maksimum dari PCM-A dan PCM-B masing-masing adalah 81% dan 78% dari beban maksimum spesimen monolitik. Kapasitas tahan beban anggota modular PC biasanya sekitar 70–85% dibandingkan dengan balok RC standar.

Penelitian (Nguyen et al., 2023). Penelitian Nguyen dan kawan-kawan menggunakan loop untuk menghubungkan elemen beton pracetak. Variabelnya adalah panjang tumpang tindih, diameter lentur, dan jarak antara batang loop dalam satu pasang. Temuan menunjukkan bahwa mengurangi panjang tumpang tindih dan diameter lentur mengurangi kekuatan lentur sambungan loop. Selanjutnya, jarak antara batang loop memiliki efek yang tidak berarti pada kapasitas dukung tetapi berdampak signifikan pada kinerja lentur. Analisis elemen hingga tiga dimensi dilakukan untuk memprediksi perilaku mekanik sambungan loop. Simulasi numerik menguatkan hasil eksperimen dalam hal perilaku beban-defleksi dan regangan batang penguat. Akhirnya, persamaan empiris diusulkan untuk memprediksi kekuatan lentur dari beberapa sambungan loop vertikal.

Penelitian (Djamaluddin et al., n.d.) 2015. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan lembaran CFRP pada sambungan balok-kolom sistem portal beton pracetak memiliki kapasitas lentur sekitar 85% dari spesimen monolit. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa sistem sambungan menggunakan lembaran CFRP dengan kunci geser dapat menjadi alternatif dalam sistem sambungan, terutama untuk sistem portal yang utamanya menahan beban vertikal. Namun, sistem sambungan pracetak masih memiliki keuletan yang lebih rendah dibandingkan dengan spesimen monolit. Selain itu, ditemukan bahwa sabuk pada lembaran CFRP longitudinal dapat menyebabkan pemutusan dini serat terluar, yang mengurangi kapasitas lentur. Studi ini memberikan wawasan berharga untuk desain dan konstruksi struktur beton pracetak menggunakan lembaran CFRP.

Penelitian (Lu et al., 2021) meneliti perilaku lentur balok beton pracetak dengan lengan ganda yang diisi beton di atas pengujian tiga titik dan empat titik. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa lengan baja pada balok berperilaku memuaskan, dan ulir membantu meningkatkan kekakuan awalnya. Beban retak pertama dari semua balok pra-cetak lebih rendah daripada balok referensi karena efek antarmuka. Dengan peningkatan diameter batang transisi bawah, kapasitas beban yield dan ultimate dari spesimen pracetak di bawah lenturan tiga titik meningkat sebesar 9,0% dan 21,0%, masing-masing. Balok dengan lengan ganda yang diisi beton menunjukkan kekentalan yang lebih baik dengan lebar retakan maksimum yang 41,2% dan 28,6% lebih besar dari balok referensi di bawah lenturan tiga titik dan empat titik, masing-masing.

Penelitian (Kummara and Senthil Kumar, 2023). Penelitian ini membandingkan kinerja sambungan balok-balok yang terbuat dari balok monolitik dan pracetak di bawah beban lentur. Dua jenis sambungan balok-balok pracetak yang berbeda dan balok monolitik dikenai uji beban lentur. Sambungan balok-balok pracetak disatukan dengan sambungan pipa baja yang dilas dan sambungan pipa Poly Vinyl Chloride. Beban lentur diterapkan pada panjang 1/3 dan 1/4 dari tumpuan. Uji lentur yang dilakukan pada balok pracetak dan balok monolitik menggunakan mesin uji universal memberikan evaluasi terhadap kekuatan lentur, mekanisme kegagalan, dan parameter deformasi dari balok monolitik dan balok pracetak yang tersambung. Hasil investigasi ini menunjukkan bahwa balok dengan sambungan pipa baja yang dilas memiliki kekuatan lentur yang setara dan defleksi 10,3% lebih rendah daripada balok monolitik. Kesimpulannya, balok yang tersambung dengan pipa baja yang dilas lebih unggul daripada balok beton bertulang monolitik dan dapat digunakan untuk menyambungkan komponen balok beton pracetak.

Penelitian (Peng & Yan, 2022) bereksperimen untuk meneliti kinerja sambungan basah pada jembatan beton ultra-tinggi yang diprefabrikasi (UHPC). Mode kegagalan spesimen, kapasitas lentur ultimate, distribusi regangan, dan kurva beban-defleksi diselidiki. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kapasitas lentur dari balok sambungan lebih rendah daripada balok lengkap. Di antara lima spesimen dengan sambungan basah, sambungan romboid yang dilas dengan strip atas dan bawah memiliki kekakuan terbesar, kapasitas resistensi retakan tertinggi, dan kinerja lentur terbaik. Dari yang terbaik hingga yang terburuk, sisa spesimen sambungan basah mengikuti urutan berikut: sambungan romboid tanpa pengelasan dengan strip, sambungan vertikal dengan strip, sambungan romboid, dan sambungan vertikal. Sesuai dengan hasil pengujian dan analisis teoritis terkait, hasil penelitian ini mengusulkan rumus untuk menghitung kapasitas lentur dari balok dengan sambungan UHPC.

Penelitian (Li et al., 2022) Dalam penelitian ini, respons dinamis satu sambungan beton bertulang monolitik (RC) dan tiga sambungan PC dengan konfigurasi sambungan basah yang berbeda diselidiki dengan menggunakan sistem uji dampak. Perilaku dampak dari sambungan RC monolitik dan PC diperiksa dan dibandingkan dalam hal mode kegagalan, respons dinamis, dan disipasi energi. Efek dari berbagai konfigurasi sambungan basah terhadap respons dinamis sambungan PC yang dianalisis ditemukan bahwa kerusakan antarmuka antara balok PC dan sambungan mengakibatkan integritas sambungan PC yang berkurang. Selain itu, model numerik dari sambungan balok-kolom dikembangkan dengan menggunakan perangkat lunak LS-DYNA dan dikalibrasi dengan data uji. Model numerik yang dikalibrasi digunakan untuk menyelidiki pengaruh berbagai konfigurasi sambungan basah terhadap kinerjanya yang terkena dampak di lokasi yang berbeda. Hasil numerik menunjukkan bahwa kunci geser dan tulangan antarmuka yang digunakan untuk sambungan basah bermanfaat untuk menahan kerusakan yang dipimpin oleh geser tetapi kurang efektif dalam menahan kerusakan yang dipimpin oleh lentur yang diinduksi oleh beban dampak. Oleh karena itu, sambungan basah harus dirancang dengan baik untuk sambungan PC agar dapat menahan skenario pembebanan dampak yang ditentukan.

Penelitian (Zhou et al., 2022) menggunakan jenis sambungan balok pracetak yang dirakit di dalam jangka dengan sambungan baut-pelat baja (PBSPB), di mana pelat baja berbentuk U menutupi web dan zona tarik balok beton. Pelat baja dan baut digunakan untuk menghubungkan dua balok pendek yang dirakit untuk menahan lentur dan geser akibat efek eksternal. Untuk menyelidiki efek ketebalan pelat baja dan rasio jangka-dalam pada perilaku lentur balok, uji perilaku statis dilakukan pada enam PBSPB dan satu balok tempa-in-situ. Semua PBSPB menunjukkan kinerja yang sangat baik dengan retakan terbatas di bawah kondisi yang sama; hanya kerusakan kecil yang diamati, yang terdiri dari jumlah kecil beton yang terkelupas dan pergeseran pinggir pelat baja. Model analisis elemen hingga (ABAQUS)

dari PBSPB yang diusulkan dikembangkan untuk memverifikasi beban ultimat dan situasi kerusakan dari setiap spesimen, rumus perhitungan kapasitas lentur yang disederhanakan untuk PBSPB dikembangkan, dan hasil teoritis konsisten dengan hasil eksperimental. Hasil menunjukkan bahwa balok beton pracetak baru memiliki kapasitas lentur yang baik. Balok dengan pelat baja yang lebih tebal di jangka memiliki kekuatan yang lebih tinggi karena kekakuan yang lebih tinggi. Meningkatkan rasio jangka-dalam meningkatkan beban ultimat dan hampir tidak memengaruhi mekanisme kegagalan.

Penelitian (Tumengkol et al., 2022) Penelitian ini menemukan bahwa sambungan balok-kolom pracetak dengan pen dowel memiliki kinerja yang baik dalam menanggung beban gempa bumi di bawah kondisi seismik sedang dan kuat. Penggunaan pen dalam sambungan meningkatkan kapasitas beban, kekakuan, dan disipasi energi. Nilai daktilitas dari sambungan pracetak dengan pen sedikit lebih rendah daripada sambungan monolitik, namun masih memenuhi persyaratan. Studi merekomendasikan penggunaan sambungan pracetak dengan pen untuk aplikasi praktis. Banyak referensi disediakan untuk bacaan lebih lanjut. Kapasitas beban dan daktilitas sambungan balok-kolom pracetak dengan pen lebih besar daripada sambungan monolitik. Sambungan pracetak dengan 4 pen memiliki kapasitas beban dan daktilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang memiliki 2 pen. Keberadaan pengecoran di area sambungan balok meningkatkan kekakuan dan kapasitas beban sambungan pracetak. Nilai daktilitas untuk spesimen dikategorikan sebagai sedang sesuai dengan ASCE 41-17. Daktilitas lengkungan untuk sambungan balok-kolom pracetak menggunakan pen juga lebih tinggi daripada sambungan monolitik. Perilaku sambungan balok-kolom pracetak dengan pen lebih kuat dalam menahan beban siklik. Artikel ini juga memberikan detail metode pengujian dan hasil untuk berbagai jenis sambungan balok-kolom.

Penelitian (Kataoka et al., 2012). Melakukan penelitian sambungan balok kolom pracetak dengan sambungan pelat baja, luas baja yang digunakan pada penutup beton pelat inti berongga sama, dengan variasi jumlah batang yang melewati kolom dan yang ditempatkan berdampingan dengan kolom. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sambungan dengan batang yang berdampingan dengan kolom menunjukkan peningkatan kekakuan dan kontrol retakan yang lebih baik. Menurut klasifikasi, kedua sambungan yang diuji dapat dianggap sebagai semi-rigid.

Penelitian (Esmaeili and Ahooghalandary, 2020). Menurut Esmaeili meskipun prosedur pemasangan yang mudah, sebagian besar sambungan kering tidak menunjukkan kinerja yang dapat diterima dalam hal keuletan dan disipasi energi. Di sisi lain, sambungan semi-monolitik memerlukan waktu penundaan yang lama untuk pengecoran dan perancah di lokasi konstruksi dan mengakibatkan kepadatan tulangan di sambungan balok-kolom. Selain itu, sebagian besar balok pracetak dalam kedua pendekatan tersebut tidak memiliki permukaan dukungan yang sesuai untuk menciptakan kondisi sambungan balok ke pelat yang diinginkan. Kemudian Esmaeili melakukan inovasi pada penelitian ini dengan sambungan balok-kolom beton pracetak yang mudah dipasang yang diperkuat dengan kotak baja dan pelat perifer. Hasilnya, Hasil uji menunjukkan bahwa PBC yang diusulkan memiliki kapasitas pemikul beban, disipasi energi, dan keuletan yang lebih tinggi daripada IBC yang setara dan memenuhi semua persyaratan gempa dari kriteria ACI374.1-05 untuk sambungan tahan momen. Terakhir, sambungan tersebut disimulasikan dengan metode elemen hingga (FEM) dalam perangkat lunak ATENA untuk mengembangkan hasil uji. Pada tahap ini, prediksi analisis elemen hingga untuk kapasitas pemikul beban, pola retakan, dan nilai regangan menunjukkan kesesuaian yang baik dengan hasil uji.

Penelitian (8_NIKEN, n.d.) melakukan penelitian untuk mengetahui perilaku lentur pada sambungan model takik balok pracetak. Dari pengamatan pasca pengujian, analisa hasil pengujian, hasil perhitungan dengan anggapan balok monolit dan pengamatan keretakan dapat diperoleh kesimpulan bahwa sistem sambungan ini mempunyai perilaku lentur seperti struktur monolit namun disarankan dilakukan peninjauan terhadap mekanisme geser. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi SNI (Standar Nasional Indonesia) yang paling ketat dapat tercapai dengan perpindahan 4,66 mm dan pembebanan 17,326 tf pada kondisi balok elastis. Retak pertama muncul pada pembebanan 6,64 tf yang setara dengan 86,8% dari perhitungan pembebanan statik. Beban maksimum adalah 23,99 tf atau 62% dari perhitungan pembebanan statik, hal ini sesuai dengan teori kelelahan bahwa pembebanan berulang mengurangi 40-55% dari pembebanan statik. Retak pertama adalah retak lentur dan kemudian retak tersebut berkembang menjadi tipe diagonal.

Penelitian (V A Noorhidana (2006) - Analisis Perilaku Balok Beton Pracetak Dengan Wet-Joint Yang Menerima Lenturan, n.d.) Hasil penelitiannya memperlihatkan bahwa balok beton pracetak dengan sambungan basah (*wet joint*) dengan sambungan tulangan yang ujungnya dibengkokkan (BP1) dengan sambungan tulangan yang dilas satu sama lain (BP2), mempunyai perilaku yang hampir sama dengan balok beton monolit (BM), dilihat dari hubungan beban lendutan, ketahanan lentur (*toughness*) dan pola retak. Sehingga disimpulkan bahwa tipe sambungan basah dengan tulangan lewatan yang dilas maupun tulangan lewatan yang ujungnya dibengkokkan dapat diterapkan dalam konstruksi bangunan.

Penelitian (Palembangan et al., 2020). Untuk menentukan dan menganalisis perilaku lentur dari sambungan balok-kolom luar ganda yang lurus karena beban lateral siklik. Terdapat 3 (tiga) spesimen uji skala, monolitik BK, tipe SBK 1, dan tipe SBK 2. Model sambungan pada balok adalah sambungan alur ganda lurus dan menggunakan metode sambungan mekanis dan pengecoran. Pemuatan dengan beban lateral bergantian diasumsikan sebagai beban siklik. Hasilnya menunjukkan bahwa stabilitas spesimen tipe SBK 1 dan tipe 2 dalam hal karakteristik kurva loop histeresis memiliki kurva yang mirip dengan monolitik BK. Perpindahan terbesar dalam kondisi tekan terjadi pada tipe SBK 2 sementara kondisi tarik terjadi pada monolitik BK. Dari hasil studi, juga diketahui bahwa beban lateral berbanding lurus dengan perpindahan, di mana semakin tinggi beban lateral yang ditanggung maka semakin besar perpindahan yang dialami dan sebaliknya.

Menurut (Zheng et al., 2023), kekuatan lentur komponen prefabrikasi 9~15% lebih rendah daripada balok monolit,

sementara itu, bentuk sambungan juga memengaruhi kapasitas dukung lentur. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh (Maryoto, 2017), di mana penyambung antara segmen balok beton pracetak memegang peranan yang sangat penting. Panjang sambungan berpengaruh terhadap kuat lentur balok beton segemental. Namun kapasitas lentur balok beton segmental masih dibawah kapasitas lentur balok beton tanpa sambungan. Penelitian sistem sambungan pada balok pracetak menggunakan pelat baja dilakukan oleh (Ro et al., 2021), memperlihatkan hasil sistem balok modular PC yang diusulkan mencapai sekitar 80% dari kinerja struktural dibandingkan dengan spesimen monolitik, dengan keuletan sekitar 1,3 kali lipat lebih besar. Penelitian sambungan balok ke balok pracetak digabungkan dengan sambungan pipa las baja dan sambungan pipa Polivinil Klorida yang dilakukan oleh (Kummara & Senthil Kumar, 2023) menunjukkan bahwa balok terhubung dengan konektor pipa las baja memiliki kekuatan lentur yang setara dan defleksi 10,3% lebih rendah daripada balok monolitik. Peneliti ini menyimpulkan bahwa balok terhubung dengan pipa las baja lebih unggul daripada balok beton bertulang monolitik dan dapat digunakan untuk menghubungkan anggota balok beton pracetak. Penelitian yang dilakukan oleh (Peng & Yan, 2022) juga menunjukkan bahwa jenis sambungan menentukan kapasitas lentur balok sambungan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kapasitas lentur balok sambungan lebih rendah daripada balok monolit.

Dari beberapa penelitian ini sejalan dengan penelitian yang akan dilakukan, yaitu menemukan model sambungan balok pracetak yang memiliki kinerja efektif, waktu dan biaya pelaksanaan yang efisien dalam pengembangan inovasi sambungan beton pracetak dalam dunia konstruksi. Menurut sudut pandang praktisi, selain memiliki kinerja kekuatan struktural yang lebih baik dan kapasitas deformasi yang lebih tinggi, sambungan basah dapat menghemat biaya dan cara pemasangannya yang lebih mudah dibandingkan dengan jenis sambungan lainnya. Akan tetapi, memerlukan setting time yang cukup lama.

Efisiensi Biaya dan Waktu

Efisiensi biaya dan waktu merupakan faktor penting dalam pemilihan sistem sambungan balok pracetak. Sambungan kering cenderung lebih murah dan cepat karena tidak memerlukan waktu pengeringan, namun mungkin memerlukan material tambahan untuk memastikan kekuatan seismik yang memadai. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa meskipun sambungan kering lebih cepat, biaya tambahan untuk elemen penghubung dan peredam getaran dapat meningkatkan biaya total konstruksi. Sambungan basah, meskipun lebih mahal dan memakan waktu lebih lama, menawarkan kekuatan struktural yang lebih baik dan kapasitas deformasi yang lebih tinggi. Penggunaan beton cast-in-place dalam sambungan basah memastikan transfer beban yang efektif dan kontinuitas struktural yang baik. Sambungan semi-kering dapat menjadi pilihan optimal jika teknologi perekat yang digunakan dapat diandalkan dan efisien. Studi menunjukkan bahwa sambungan semi-kering dengan penggunaan perekat atau grouting dapat mengurangi waktu konstruksi sambil mempertahankan kinerja seismik yang baik. Selain itu, sambungan semi-kering menawarkan fleksibilitas dalam desain dan konstruksi, memungkinkan adaptasi terhadap berbagai kondisi proyek dan persyaratan desain.

4. KESIMPULAN

Dari tinjauan ini menunjukkan bahwa inovasi model sambungan beton pracetak merupakan penelitian yang luas dan sangat menarik. Kinerja sambungan balok pracetak dalam menghadapi gempa bumi sangat bergantung pada desain dan implementasi sambungan tersebut. Beberapa studi menunjukkan bahwa sambungan basah memiliki kinerja seismik yang baik karena mampu mendistribusikan beban gempa secara merata dan memiliki kapasitas deformasi yang tinggi. Namun, sambungan basah memerlukan waktu pengeringan yang lama dan kontrol kualitas yang ketat selama pemasangan. Sambungan kering, di sisi lain, lebih cepat dan efisien dalam konstruksi, tetapi sering kali memerlukan elemen tambahan seperti peredam getaran atau penghubung fleksibel untuk meningkatkan kinerja seismiknya. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan peredam getaran dapat secara signifikan meningkatkan kinerja seismik sambungan kering dengan mengurangi perpindahan relatif antar elemen pracetak. Sambungan semi-kering menawarkan fleksibilitas dan kinerja yang baik, dengan kombinasi kekuatan dari sambungan basah dan efisiensi waktu dari sambungan kering. Penggunaan perekat atau grouting dalam sambungan semi-kering dapat meningkatkan kapasitas beban dan deformasi sambungan, asalkan teknologi perekat yang digunakan dapat diandalkan dan diaplikasikan dengan tepat.

DAFTAR PUSTAKA

8 NIKEN. (n.d.).

Djamiluddin, R., Rante, H., & Irmawati, R. (n.d.). *FLEXURAL CAPACITY OF THE PRECAST RC BEAM-COLUMN CONNECTION USING CFRP SHEET*.

Esmaili, J., & Ahooghalandary, N. (2020). Introducing an easy-install precast concrete beam-to-column connection strengthened by steel box and peripheral plates. *Engineering Structures*, 205. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2019.110006>

Kataoka, M. N., Ferreira, M. A., & El Debs, A. L. H. C. (2012). *A study on the behavior of beam-column connections in precast concrete structures: experimental analysis Estudo do comportamento de ligações viga-pilar em estruturas pré-moldadas de concreto: análise experimental* (Vol. 5, Issue 5).

Kummara, S. P., & Senthil Kumar, N. (2023). Flexural capacity of the new precast beam-to-beam connection. *Sādhanā*, 48(4), 255. <https://doi.org/10.1007/s12046-023-02266-1>

Li, H., Chen, W., Huang, Z., Hao, H., Ngo, T. T., Pham, T. M., & Yeoh, K. J. (2022). Dynamic response of monolithic and precast concrete joint with wet connections under impact loads. *Engineering Structures*, 250. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113434>

Lu, Z., Wu, B., Yang, S., Hou, J., Ji, Z., Li, Y., Huang, J., & Zhang, M. (2021). Experimental study on flexural behaviour of prefabricated concrete beams with double-grouted sleeves. *Engineering Structures*, 248, 113237. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113237>

Maryoto, A.-. (2017). Pengaruh Panjang Sambungan Pada Beton Prategang Segmental Bertulangan Limbah. *Jurnal Teknik Sipil Dan Perencanaan; Vol 19, No 1 (2017): Jurnal Teknik Sipil & Perencanaan; 65-70 ; 2503-1899 ; 1411-1772 ; 10.15294/Jtsp.V19i1*. <https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/jtsp/article/view/9500>

Nguyen, Q.-T., Maki, T., Mutsuyoshi, H., & Ishihara, Y. (2023). Flexural Behavior of Precast Concrete Slab Connections using Loop Steel Bars and Mortar. *Journal of Advanced Concrete Technology*, 21(6), 436–449. <https://doi.org/10.3151/jact.21.436>

Palembangan, M. T., Parung, H., Amiruddin, A. A., & Simbolon, R. (2020). Flexural behavior of double straight notch joint beam column exterior due to lateral cyclic load. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 473(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/473/1/012144>

Peng, K., & Yan, B. (2022). Experimental study of the flexural behaviour of ultra-high-performance concrete beam with wet joint. *Magazine of Concrete Research*, 74(2), 70–80. <https://doi.org/10.1680/jmacr.20.00078>

Ro, K. M., Kim, M. S., Cho, C. G., & Lee, Y. H. (2021). An experimental study on the flexural behavior of precast concrete modular beam systems using inserted steel plates. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/app11093931>

Sianturi, N. M. (2012). TINJAUAN PENGGUNAAN BALOK PRACETAK PADA PEMBANGUNAN GEDUNG. In *Jurnal Rancang Sipil* (Vol. 1, Issue 1).

Tumengkol, H. A., Irmawaty, R., Parung, H., & Amiruddin, A. (2022). Precast concrete column beam connection using dowels due to cyclic load. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, 35(1). <https://doi.org/10.5829/ije.2022.35.01a.09>

V A Noorhidana (2006) - *Analisis perilaku balok beton pracetak dengan wet-joint yang menerima lenturan*. (n.d.).

Yulianto, S., Apriyadi, R. K., Apriyanto, A., Winugroho, T., Ponangsera, I. S., & Wilopo, W. (2021). Histori Bencana dan Penanggulangannya di Indonesia Ditinjau Dari Perspektif Keamanan Nasional. *PENDIPA Journal of Science Education*, 5(2), 180–187. <https://doi.org/10.33369/pendipa.5.2.180-187>

Zed, Mestika 2003. *Metode Penelitian Kepustakaan*. Jakarta : Yayasan Obor Indonesia

Zheng, H., Chen, D., Ou, M., Liang, X., & Luo, Y. (2023). Flexural Behavior of Precast UHPC Segmental Beams with Unbonded Tendons and Epoxy Resin Joints. *Buildings*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/buildings13071643>

Zhou, W., Xu, Z., & Ma, C. (2022). Flexural behavior of precast concrete beams in-span assembled with bolt-steel

plate joints. *Structures*, 43. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2022.07.067>