

## 2. LANDASAN TEORI

Dalam konstruksi beton, dikenal dua cara metode konstruksi, yaitu cara konvensional atau *cast in-situ*, dimana beton dicor langsung pada tempatnya, dan cara pracetak, dimana beton dibuat di tempat lain dan setelah mengeras serta memenuhi syarat ketentuannya, dipasang pada struktur. Beton dengan metode konvensional membutuhkan pekerja dengan jumlah yang cukup di lapangan. Sedangkan beton dengan metode pracetak, yang dibuat di luar daerah pengecoran dengan standar fabrikasi dan kemudian dirakit di lokasi, memberikan keuntungan dengan mempercepat pengerjaan di lapangan serta menghemat biaya konstruksi (Nilson, 2003).

Perkembangan standarisasi komponen beton pracetak seperti layaknya pada industri baja. Standarisasi baik pada struktur maupun arsitektur akan mempercepat desain fabrikasi sehingga dapat diterapkan pada rancang bangun yang menggunakan beton pracetak secara total (Tribasuki, 1997).

Tingkat sosial masyarakat yang makin tinggi menyebabkan kebutuhan akan sarana harus memadai. Di lain pihak energi alami yang ada di bumi semakin menurun. Oleh sebab itu perlu dikembangkan suatu sistem yang lebih efisien dengan kontrol kualitas yang tinggi. Pada saat yang sama, pekerjaan konstruksi di lapangan akan tidak layak lagi dalam segi ekonomis. Sistem fabrikasi beton pracetak pada bangunan gedung akan diarahkan pada penggunaan energi yang minimal, pemasangan struktur permanen dengan penggunaan peralatan *hoist* listrik. Arsitektural pada masa yang akan datang ditantang untuk menggunakan struktur yang besar dengan konstruksi yang efisien. Hal penting yang diperlukan adalah penggunaan beton pracetak dengan segala keuntungannya. (Tribasuki, 1997).

### 2.1. Sejarah Perkembangan Beton Pracetak

Sejarah perkembangan beton pracetak tidak terlepas dari sejarah penemuan beton sebagai bahan bangunan. Beton sudah digunakan di Mesir pada jaman dahulu, ditunjukkan dengan gambar mural di Thebes, yang memperlihatkan

pekerja mengisi gentong dengan air yang kemudian diaduk dengan kapur, dan dipakai sebagai mortar untuk pasangan batu (Nugraha, 1989).

Apabila dilihat dari sejarahnya, sistem pracetak sudah ada sejak jaman dahulu. Bangunan yang merupakan keajaiban dunia seperti piramida di Mesir dan Candi Borobudur di Indonesia dibangun dengan metode konstruksi pracetak, dimana batu-batu yang digunakan dibentuk terlebih dahulu baru kemudian dipasang. Bangunan-bangunan tersebut telah terbukti bertahan terhadap ganasnya cuaca, gemuruh angin, dan guncangan gempa dalam kurun waktu berabad-abad. Jika dilihat dari sejarah tersebut, beton pracetak semestinya bukan merupakan hal yang baru lagi bagi dunia konstruksi (Suprobo, 2003).

Ide menggunakan beton pracetak sendiri dimulai ketika Joseph Monier mengembangkan beton bertulang pada tahun 1850 dan menggunakan material baru tersebut untuk mencetak pot-pot kebun, bak penampungan air, tangki-tangki, dan patung. Sedangkan penggunaan beton pracetak pertama kali dalam bangunan yaitu ketika Joseph Paxton menggunakannya untuk bangunan berbentang lebar di Crystal Palace, London (Testa, 1972).

Perkembangan beton pracetak dimulai dari negara Eropa daratan, kemudian berkembang ke Selandia Baru, Amerika, Jepang, dan negara-negara lainnya, termasuk Indonesia. Di Selandia Baru, sistem beton pracetak berkembang sejak tahun 1960-an dan mengalami pertumbuhan pesat dalam tahun 1980-an, yang terkenal dengan sistem pracetak rangka perimetral-nya. Sebelum tahun 1980-an, sistem perencanaan pracetak di Amerika dan Jepang dilakukan dengan sangat konservatif, yang sistem sambungannya direncanakan setegar dan sekaku mungkin, sehingga menghasilkan perencanaan dengan dimensi besar yang tentu saja mahal. Kemudian, kedua negara tersebut melakukan kerja sama penelitian intensif sejak tahun 1991 dengan program PRESS-nya (*Precast Seismic Structural System*). Program tersebut diharapkan dapat memberikan masukan tentang tata cara perencanaan sistem pracetak di daerah gempa kuat, termasuk rekomendasi teknik sambungan yang teruji ketegarannya (Suprobo, 2003).

Perkembangan sistem pracetak di Indonesia dimulai dengan pembuatan komponen-komponen beton pracetak, dan kemudian baru dikembangkan untuk sistem pracetak bangunan penuh. Sejak tahun 1980-an, sudah banyak perusahaan

pembuat beton pracetak, antara lain: tiang pancang beton, tiang listrik beton, bantalan kereta api, balok jembatan, *corrugated sheet pile*, dan lain-lainnya. Kemudian industri konstruksi pracetak mulai merambah ke sistem struktur skala gedung, antara lain sistem pelat lantai *Hollow Core*, sistem rumah susun *Waffle Crete*, sistem rumah susun *Bearing Wall* (Suprobo, 2003). Kemudian sistem pracetak semakin berkembang, yang ditandai dengan munculnya berbagai inovasi seperti sistem *Column Slab* (1998), sistem Citra Ratu (1997), sistem *Beam Column Slab* (1998), sistem Jasubakim (1999), sistem Bresphaka (1999), maupun sistem T-Cap (2000) (Nurjaman, 2002).

Tidak hanya terbatas pada bangunan gedung saja, tetapi beton pracetak telah digunakan pada bangunan sipil lainnya. Pelabuhan mempunyai komponen pracetak mulai dari tiang pancang, balok, dan pelat. Di beberapa daerah yang tidak mempunyai bahan alam material beton atau mutu materialnya kurang bagus, misalnya Kalimantan, bangunan pintu air dibuat dengan metode konstruksi beton pracetak. Konstruksi *Under Water Sill* milik PT. Semen Gresik di Tuban juga dibuat dengan beton pracetak. Jembatan-jembatan beton yang dibangun di lokasi padat dibuat dengan sistem pracetak. Untuk mempercepat waktu konstruksi, Hotel Mercure di Surabaya dibangun dengan metode konstruksi pracetak. Bangunan dan menara Masjid Al-Akbar di Surabaya pun sebagian komponennya dibuat dengan menggunakan beton pracetak untuk mempermudah pelaksanaannya. Dan masih banyak lagi contoh bangunan sipil lainnya yang dibangun dengan sistem beton pracetak (Suprobo, 2003).

## **2.2. Jenis-jenis Beton Pracetak**

Sejumlah tipe beton pracetak umum digunakan. Meskipun, kebanyakan tidak distandarisasikan secara formal, tipe-tipe tersebut tersedia secara luas. Pada saat yang sama, proses pracetak cukup dapat disesuaikan untuk bentuk-bentuk khusus yang dikembangkan untuk proyek-proyek istimewa, yang diproduksi untuk menghemat biaya, dengan catatan bahwa produksi tersebut berulang dalam jumlah yang cukup besar (Nilson, 2003).

Pada umumnya teknologi beton pracetak dapat digunakan pada hampir semua bagian struktur (gambar komponen-komponen pracetak dapat dilihat pada

lampiran 1). Pembuatannya dapat dilakukan di pabrik atau pun di lapangan. Perkembangan penggunaannya sangat didukung oleh sifatnya yang hemat waktu dan bermutu tinggi. Tabel 2.1. menunjukkan elemen-elemen yang dapat dibuat dengan metode pracetak.

Tabel 2.1. Klasifikasi Elemen Beton Pracetak Pada Bangunan (Vambersky, 1994)

Bangunan		Elemen
Bawah		Tiang Pondasi Balok pondasi
Atas	Struktural	Kolom Dinding Balok Lantai Tangga
	Non-struktural	Partisi <i>Sprandels</i> <i>Facades</i> Aksesoris bangunan Dekorasi

Beton pracetak untuk elemen struktural dapat dibagi menjadi dua macam berdasarkan sistem penahan tariknya, yaitu beton bertulang biasa dan beton pratekan. Dalam proses fabrikasi beton pracetak pratekan, beton diberi tekanan dahulu, sehingga pada saat dibebani akan terjadi pengurangan tekanan namun tidak menyebabkan beton mengalami tarik. Karena seluruh bagian beton menahan beban, elemen yang didesain untuk bentang dan beban yang sama akan lebih ringan dan mempunyai dimensi yang lebih kecil dari beton bertulang biasa. Beton pratekan ini dibagi menjadi dua macam, yaitu *pre-tension* dan *post-tension* (Lin and Burns, 1982).

### 2.3. Keuntungan dan Kendala-kendala yang Dihadapi Pada Sistem Beton Pracetak

Keuntungan penggunaan sistem beton pracetak:

#### 1. Kontrol Kualitas

Dengan didukung prasarana produksi berteknologi tinggi, seperti pemakaian mesin, cetakan baja dan pemakaian beton mutu tinggi, akan diperoleh hasil

produksi yang lebih baik. Biasanya komponen beton pracetak diproduksi di pabrik dengan kontrol kualitas yang lebih baik daripada cor setempat, sehingga diperoleh hasil produksi dengan presisi dimensi tinggi (ketepatan ukuran dan tercapainya ketepatan jadwal produksi) (Suprobo, 2003).

## 2. Hemat Lahan

Lahan yang sempit merupakan hal yang umum dihadapi pada pembangunan gedung-gedung di perkotaan. Jika dipaksakan menggunakan sistem konvensional, maka pelaksanaan pekerjaan menjadi tidak lancar dan pada akhirnya menyebabkan waktu pelaksanaan menjadi lebih panjang, mutu pekerjaan tidak dapat dipertanggungjawabkan dan biaya pelaksanaan menjadi tinggi (Tribasuki, 1997).

## 3. Tidak Bergantung Pada Cuaca dan Iklim

Seperti yang kita ketahui, pada metode pengecoran beton konvensional sangat bergantung pada kondisi cuaca pada saat dilaksanakan. Sedangkan pada sistem beton pracetak tidak bergantung pada cuaca, karena pembuatan komponen-komponen pracetak telah dibuat di pabrik (Nilson, 2003).

## 4. Mempermudah dan Mempercepat Waktu Pelaksanaan

Untuk bangunan yang dibuat secara massal atau bangunan yang komponen strukturnya tipikal, maka pelaksanaannya akan lebih mudah dan cepat apabila dibangun dengan metode konstruksi pracetak. Lebih jauh lagi, untuk bentuk-bentuk komponen struktur yang lebih rumit, pelaksanaannya akan lebih mudah dengan sistem pracetak daripada dengan cor setempat, baru dipasang sesuai dengan posisinya. Dalam dunia industri konstruksi, percepatan waktu konstruksi dapat berarti penghematan biaya konstruksi. Penggunaan beton pracetak dapat mempercepat waktu konstruksi. Sebagai contoh, Dermaga Antar Pulau dan Dermaga Antar Samudera milik PT. Pelindo III Surabaya dapat diselesaikan 3 bulan lebih cepat dari waktu yang direncanakan (Suprobo, 2003).

## 5. Keuntungan Ekonomis

Penggunaan beton pracetak diduga kuat dapat memberikan peluang penghematan biaya konstruksi. Gedung Ala Manoa, di Honolulu Hawaii, dengan ketinggian 33 lapis/tingkat yang dibangun pada tahun 1966 dengan

sistem struktur pracetak secara umum dapat menghemat 55% kebutuhan beton dan 40% kebutuhan tulangan baja. Selain itu, dengan sistem beton pracetak, tidak dibutuhkan penggunaan bekisting saat pemasangan di lapangan (Suprobo, 2003).

#### 6. Ramah Lingkungan

Komponen beton pracetak yang diproduksi massal biasanya dibuat di pabrik dengan menggunakan cetakan atau *fiberglass*, sehingga penggunaan cetakan kayu dapat dihindari. Selain daripada itu, penggunaan beton pracetak dapat mengurangi polusi yang timbul pada masa konstruksi karena pada umumnya beton pracetak dibuat di pabrik yang berlokasi di luar kota. Kebisingan, debu, polusi udara, dan gangguan lainnya yang biasanya timbul pada saat konstruksi dapat dikurangi (Suprobo, 2003).

Menurut Tribasuki (1997), kendala-kendala yang sering ditemukan pada aplikasi sistem pracetak untuk bangunan gedung adalah sebagai berikut:

##### 1. Belum Adanya Standarisasi Produk Pracetak Bagi Gedung di Indonesia

Sampai sejauh ini belum adanya standar produk pracetak bagi bangunan gedung baik dalam masalah dimensi maupun sambungan struktural. Sehingga komponen pracetak bagi proyek satu dengan yang lainnya tidak sama yang menyebabkan penambahan biaya dan waktu untuk pembuatan cetakan baru.

##### 2. Bentuk dan Dimensi

Harus dipertimbangkan terhadap faktor-faktor berikut:

- Kemampuan pabrikan untuk membuat cetakan yang efisien, baik/presisi
- Kemampuan alat angkat di pabrik
- Kemampuan alat transportasi
- Kondisi jalan dari pabrik ke lokasi dengan segala urusan perijinan
- Kemampuan alat angkat di lapangan

##### 3. Koordinasi Antara Produsen dan Kontraktor

Untuk efisiensi alat produksi berupa cetakan komponen pracetak maka perlu koordinasi antara produsen dan kontraktor. Di sini terdapat perbedaan kebutuhan, dimana produsen untuk efisiensi cetakan lebih menyukai tahapan per produk, tetapi kontraktor lebih menyukai apabila pekerjaan itu dilakukan per lantai. Ini semua menentukan waktu pengiriman produk.

4. *Technical skill* Produsen dan Kontraktor Pelaksana.
5. Ada atau tidaknya material bantu yang diperlukan untuk sistem koneksi antar komponen yang dapat menjamin untuk kerja *joint* tersebut.

#### **2.4. Sambungan Pada Beton Pracetak**

Menurut PCI (1992), desain sambungan adalah salah satu hal yang paling penting dalam perencanaan struktur beton pracetak yang harus diperhatikan dengan teliti dari segi desain dan pelaksanaan. Sambungan juga harus sesederhana mungkin untuk menghemat biaya dan memungkinkan pemasangan yang cepat (Libby, 1990). Sambungan sendiri berfungsi untuk mentransfer beban-beban yang bekerja dan menyatukan masing-masing komponen beton pracetak menjadi satu kontinuitas yang monolit sehingga dapat mengupayakan stabilitas struktur bangunannya (Wijanto, 2005).

Beton dengan metode konvensional, dengan sendirinya memiliki sifat monolitik dan menerus. Sambungan, dalam arti menyambung dua bagian yang terpisah, sangat jarang dijumpai pada tipe konstruksi ini. Sebaliknya, pada metode beton pracetak, menyerupai pada konstruksi baja, dimana strukturnya terdiri atas elemen-elemen *prefabricated* dalam jumlah yang besar, yang disambung di lapangan untuk membentuk struktur akhir (Nilson, 2003).

Dalam pemilihan jenis sambungan antara beton pracetak, ada beberapa kriteria yang harus dipertimbangkan (PCI, 2004):

- Kekuatan (*strength*)
- Daktilitas (*ductility*)
- Perubahan Volume (*volume change accommodation*)
- Ketahanan (*durability*)
- Tahan kebakaran (*fire resistance*)
- Mudah dilaksanakan

Terdapat dua jenis sambungan untuk beton pracetak, yaitu sambungan kering (*dry connection*) dan sambungan basah (*wet connection*). Sambungan kering (*dry connection*) menggunakan bantuan pelat besi sebagai penghubung antar komponen beton pracetak dan hubungan antara pelat dilakukan dengan baut atau dilas. Sambungan basah (*wet connection*) terdiri dari keluarnya besi tulangan

dari bagian ujung komponen beton pracetak yang dihubungkan dengan bantuan *mechanically coupled* atau memenuhi standar panjang penyaluran, kemudian pada bagian sambungan akan dilakukan pengecoran beton setempat.

## **2.5. Pengangkatan dan Pemasangan Beton Pracetak**

Menurut Nilson (2003), dalam mendesain beton pracetak harus pula diperhatikan dalam proses pengangkatan dan pemasangan beton pracetak di lapangan. Selain itu, kontrol terhadap keretakan sangatlah penting pada komponen beton pracetak.

Beban kerja pada saat pengangkatan beton pracetak, seharusnya berdasarkan pada faktor keamanan besarnya minimum 3, konsultan perencana seharusnya menspesifikkan atau menyetujui lokasi dan tipe komponen pracetak yang akan digunakan. Banyak dari komponen pracetak yang ditujukan untuk menerima beban yang lebih besar, dan kadang-kadang menerima beban yang berbeda, pada saat pengangkatan dari pada yang seharusnya diterima apabila komponen tersebut sudah terpasang pada bangunan, dan fakta ini seharusnya turut dipertimbangkan dalam desain struktur beton pracetak (Waddell and Dobrowolski, 1993).

Tepat tidaknya penggunaan beton pracetak juga ditentukan dari tersedianya alat pengangkat dan *feasibility*-nya (Libby, 1990). Ini akan mempengaruhi biaya dari proyek tersebut. Pemilihan alat pengangkat dipengaruhi dari berbagai faktor, antara lain berat dari komponen pracetak, tinggi bangunan, dan kondisi lapangan. Alat berat yang dapat dipakai untuk mengangkat elemen pracetak adalah *mobile crane*, *derrick crane*, dan *hydraulic crane*.

## **2.6. Metode-metode Beton Pracetak**

Pada awal penggunaan sistem pracetak, praktisi Indonesia masih menggunakan sistem *Brecast* dari Inggris. Kemudian era tahun 1980-an hingga pertengahan tahun 1990, penggunaan sistem pracetak masih mengadaptasi sistem dari luar negeri, yaitu sistem Cortina dari Meksiko. Mulai tahun 1996 sampai 2006 dikembangkan sistem pracetak yang sesuai dengan kondisi Indonesia (IAPPI, 2007).

Perkembangan sistem pracetak di tanah air cukup signifikan, terbukti dengan adanya berbagai paten untuk beton pracetak. Hingga saat ini terdapat  $\pm$  15 metode pracetak, dan masih akan bertambah lagi, yang telah dikembangkan oleh para ahli dari Indonesia.

Tabel 2.2. Daftar Pemegang Paten/Lisensi Sistem Pracetak (IAPPI, 2007)

No.	Nama Produk	Tahun	Pemegang Paten	Pemegang Lisensi
1.	<i>Brecast</i>	1979	UK	Tidak Aktif
2.	<i>Cortina</i>	1981	Meksiko	Tidak Aktif
3.	<i>Waffle Crete System</i>	1995	<i>Waffle Crete International (USA)</i>	PT. Nusacipta Etikapura
4.	<i>Citra Ratu Bearing Wall</i>	1997	Australia	PT. Citra Ratu Mulia
5.	<i>Column Slab System</i>	1997	J.H. Simanjuntak	PT. JHS Precast Concrete Industri
6.	<i>Beam Column Slab System</i>	1998	PT. Adhi Karya	PT. Adhimix Precast Indonesia
7.	<i>All Load Bearing Wall System</i>	1998	PT. Adhi Karya	PT. Adhimix Precast Indonesia
8.	Sistem Jasubakim	1999	Binsar Harlandja & Sjafei Amri	PT. Istika Karya
9.	Sistem Bresphaka	1999	Binsar Harlandja & Sjafei Amri	PT. Utama Karya
10.	<i>T-Cap System</i>	2000	Lutfi Faisal, Arief Sabarudin, Binsar Harlandja, & Sjafei Amri	PT. Pembangunan Perumahan
11.	<i>Less Moment Connection System</i>	2002	Binsar Harlandja, Sjafei Amri, Samsu Trihadi, Moresende, Jendri	PT. Paesa Pasindo Engineering
12.	Sistem Wasppico	2003	PT. Pacific Prestressed Indonesia	PT. Waskita Karya
13.	Sistem WR	2003	PT. WIKA Realty	PT. WIKA Realty
14.	<i>Spircon System</i>	2004	Lutfi Faisal	PT. Nindya Karya
15.	Sistem PSA	2004	Prijasambada, Andi K. Manik	PT. Limadjabat Jaya
16.	Sistem PSA-PABSA	2005	Prijasambada	PT. Paesa Pasindo Engineering
17.	Sistem Kolom Multi-Lantai	2005	Edenta Sinuraya	PT. Ultradjasa Persada Prima
18.	Sistem Priska	2005	Prijasambada	PT. Istika Karya
19.	<i>C-Plus System</i>	2006	Sutadji Yuwasdiki	Puslitbangkim

Berbagai penelitian dilakukan untuk menghasilkan metode yang paling baik, dengan pelaksanaan yang mudah dan hemat. Diantaranya, yaitu sistem *Beam Column Slab*, sistem *Column Slab*, sistem Priska, sistem PSA, sistem Jasubakim, dll. Beberapa metode akan kami bahas secara umum sebagai pengenalan.

#### 2.6.1. Sistem *Waffle Crete*

Sistem *Waffle Crete* merupakan sistem yang menggunakan dinding sebagai pemikul beban. Komponen-komponen pracetaknya terdiri dari panel lantai dan panel dinding pracetak. Dinding pracetaknya merupakan dinding struktur. Jadi tidak digunakan kolom sebagai pemikul. Panel dinding dan panel lantai untuk sistem *Waffle Crete* merupakan beton *expose*, sehingga tidak diperlukan pekerjaan acian di lapangan. Selain itu tidak ada pekerjaan pengecoran di tempat pada sistem ini. Untuk pekerjaan penyambungan, digunakan baut baja.

Tetapi sistem ini memiliki kelemahan, yaitu kurang fleksibel dalam penataan ruang. Dikarenakan dinding yang ada tidak boleh dihancurkan sembarangan dan dimensi-dimensi panel sulit dimodifikasi. Meskipun demikian sistem ini merupakan sistem yang paling banyak digunakan dalam pembangunan rumah susun di Indonesia, dengan kapasitas produksi 2000 unit/tahun (IAPPI, 2007).



Gambar 2.1. Panel Dinding Struktur Pracetak Untuk Sistem *Waffle Crete*

### 2.6.2. Sistem *Column Slab*

Sistem *Column Slab* merupakan sistem struktur rangka terbuka, dengan komponen-komponen pracetak berupa panel lantai dan kolom pracetak. Selain itu terdapat panel *side beam*, yang dipasang pada bagian-bagian paling luar. Antar panel lantai tidak diperlukan *side beam*. Kolom dipasang terlebih dahulu. Pemasangan panel lantai langsung menumpu pada kolom, kemudian baru *side beam* dipasang pada bagian paling luar (PT. JHS, 2007)

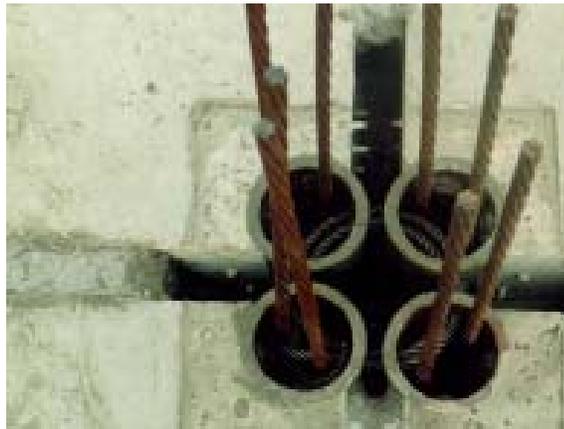


Gambar 2.2. Pemasangan Pelat Langsung Menumpu Pada Kolom

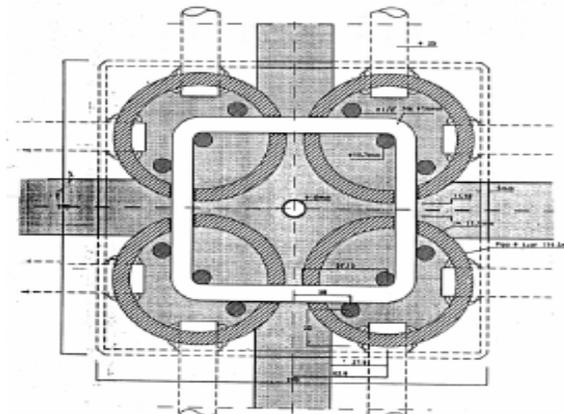


Gambar 2.3. *Side Beam* Dipasang Setelah Pelat Terpasang

Sistem *Column Slab* menggunakan sambungan pipa quarter baja, angker vertikal dan horizontal baja prategang. Pada sistem ini penataan ruang cukup fleksibel, karena merupakan struktur rangka terbuka, sehingga peletakan panel dinding dapat lebih fleksibel. Tetapi dimensi panel lantai masih belum fleksibel, karena jika terlalu besar dimensi panel lantai akan menjadi terlalu tebal dan tidak efektif (gambar detail untuk sistem *Column Slab* dapat dilihat pada lampiran 2).



Gambar 2.4. Sambungan Pipa *Quarter* Baja, Angker Vertikal, dan Horizontal Baja Prategang



Gambar 2.5. Detail Sambungan Sistem *Column Slab*

Sistem ini merupakan sistem dengan kecepatan pengerjaan yang paling cepat. Selain itu juga merupakan sistem pracetak penuh yang paling banyak digunakan di Indonesia, yaitu sebanyak 3000 unit/tahun (IAPPI, 2007).

### 2.6.3. Sistem Bresphaka

Bresphaka merupakan suatu rekayasa konstruksi gedung dengan sistem struktur rangka terbuka yang terdiri dari elemen pracetak kolom, balok, pelat, dinding, tangga, dan elemen lainnya, dengan penggunaan bahan beton ringan atau beton normal, atau kombinasi keduanya. Sambungan yang digunakan dengan cara *grouting*. Karena menggunakan beton ringan, berat sendiri panel pada sistem ini menjadi lebih ringan, sehingga gaya gempa yang diterima lebih kecil dan pondasinya dapat lebih kecil pula (IAPPI, 2007)



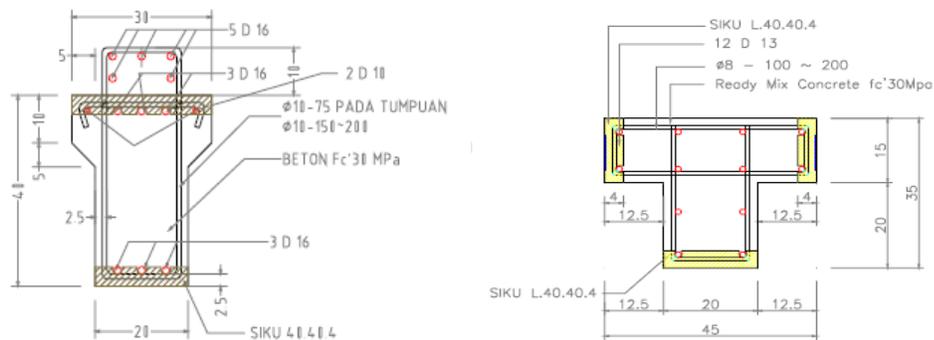
Gambar 2.6. Pelaksanaan Sistem Bresphaka

Untuk sistem ini, jumlah pengecoran di tempat sedikit. Fleksibel dalam penataan ruang karena merupakan sistem struktur rangka terbuka. Meskipun begitu masih terdapat beberapa kelemahan pada sistem yang mengandalkan bahan beton ringan ini. Hingga saat ini penerapan teknologi beton ringan di lapangan masih belum dapat dilakukan, sehingga efisiensi strukturnya belum dapat direalisasikan. Selain itu komponen panel pracetaknya juga cukup banyak, sehingga kecepatan pelaksanaannya sedang saja (IAPPI, 2007).

#### 2.6.4. Sistem *T-Cap*

Sistem *T-Cap* merupakan sistem struktur rangka terbuka, dengan komponen pracetak berupa kolom T, balok T, dan *Half Slab*. Sistem ini menggunakan sambungan dengan *grouting*. Sistem ini memiliki beberapa kelebihan. Karena merupakan sistem struktur rangka terbuka, peletakan dinding juga jadi lebih fleksibel. Selain itu, dimensi panelnya mudah untuk dimodifikasi, serta bentuk kolom T dapat dengan mudah disembunyikan dalam dinding, sehingga merupakan favorit perencana arsitektur.

Tetapi sistem ini juga mempunyai beberapa kekurangan, yaitu jumlah pengecoran di tempatnya masih signifikan, jumlah komponen pracetaknya cukup banyak, dan detail sambungannya masih kurang praktis untuk dilaksanakan di lapangan, sehingga kecepatan pelaksanaannya di lapangan sedang saja. Sistem sambungan untuk sistem ini masih perlu disempurnakan lagi untuk mempermudah dan mempercepat pelaksanaan di lapangan (IAPPI, 2007).



Gambar 2.7. Detail Balok T (Kiri) dan Detail Kolom T (Kanan)

#### 2.6.5. Sistem *Beam Column Slab*

Sistem *Beam Column Slab* merupakan sistem struktur rangka terbuka yang terdiri dari komponen-komponen balok, kolom, dan pelat pracetak. Diberi nama sistem *Beam Column Slab* (BCS) karena komponen yang di-*precast* adalah kolom, balok, dan pelat. Sistem BCS ini mengadopsi konsep pracetak yang dikembangkan oleh Bapak Iswandi Imron, salah seorang staf ahli PT. Ahimix

Precast Indonesia. Sistem ini dipatenkan pada tahun 1998 dan baru diterapkan pertama kali pada tahun 2000 pada proyek Ruko Sentul, Jawa Barat.



Gambar 2.8. Bangunan Menggunakan Sistem BCS

Kolom pracetak sebagai salah satu elemen struktural memiliki fungsi untuk menahan gaya lintang dan gaya lateral (gaya gempa). Balok pracetak memiliki fungsi untuk meneruskan gaya ke kolom. Dan Pelat pracetaknya berfungsi sebagai diafragma untuk pengaku. Pelat pracetak ini terbagi menjadi dua macam, *half slab* dan *preslab* (beton *prestrees*). Sistem *Beam Column Slab* ini dapat diaplikasikan dalam pembangunan perumahan, ruko, gudang, bangunan bertingkat rendah hingga sedang, dan rusunawa.

Keuntungan menggunakan sistem BCS, antara lain:

- Diduga kuat harganya bisa lebih murah, dikarenakan volume *grouting* lebih sedikit.
- Sambungannya menggunakan las, sehingga panjang penyaluran untuk sambungan dapat lebih pendek dibandingkan dengan penyambungan dengan *grouting* saja.
- Karena komponen pelat pracetaknya hanya setengah dari tebal rencana (sisanya dicor dilapangan), transportasi dan pengangkatan komponennya lebih ringan.

- Perencanaan sambungan pada sistem BCS sudah memperhitungkan beban gempa, menggunakan sambungan khusus (*wet connection* dan *dry connection*) sehingga lebih monolit.
- Sistem ini lebih fleksibel dalam mengikuti desain arsitektur konvensional yang direncanakan, karena merupakan sistem struktur rangka terbuka.

Sistem ini juga mempunyai kelemahan sebagai berikut:

- Waktu untuk pelaksanaan relatif lebih lama, dikarenakan *setting leveling* untuk kolom sebelum di las perlu perhatian lebih.
- Masih membutuhkan pengecoran di lapangan, untuk pelat *half slab*-nya.

Menurut data dari IAPPI (2007), sistem ini juga merupakan sistem kedua yang paling banyak digunakan di Indonesia setelah sistem *Column Slab*, dengan produksi sebesar 3000 unit/tahun.