



KEPUTUSAN KEPALA BADAN STANDARDISASI NASIONAL  
NOMOR 391/KEP/BSN/9/2021  
TENTANG  
PENETAPAN STANDAR NASIONAL INDONESIA  
8978:2021 PANDUAN DESAIN UNTUK KOMPONEN PENYAMBUNG  
SISTEM PRACETAK

KEPALA BADAN STANDARDISASI NASIONAL,

- Menimbang :
- a. bahwa untuk memenuhi kepentingan perlindungan terhadap konsumen, pelaku usaha, tenaga kerja, masyarakat lainnya, mengembangkan tumbuhnya persaingan yang sehat, keselamatan, keamanan, kesehatan, dan kelestarian fungsi lingkungan hidup, Rancangan Akhir Standar Nasional Indonesia yang disusun oleh Komite Teknis perlu ditetapkan menjadi Standar Nasional Indonesia;
  - b. bahwa Rancangan Akhir Standar Nasional Indonesia sebagaimana dimaksud dalam huruf a, telah dikonsensuskan dan dinyatakan memenuhi persyaratan untuk ditetapkan menjadi Standar Nasional Indonesia;
  - c. bahwa berdasarkan pertimbangan sebagaimana dimaksud dalam huruf a dan huruf b, perlu menetapkan Keputusan Kepala Badan Standardisasi Nasional tentang Penetapan Standar Nasional Indonesia 8978:2021 Panduan desain untuk komponen penyambung sistem pracetak;

- Mengingat :
1. Undang-Undang Nomor 20 Tahun 2014 tentang Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2014 Nomor 216, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 5584);
  2. Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2018 tentang Sistem Standardisasi dan Penilaian Kesesuaian Nasional (Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2018 Nomor 110, Tambahan Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 6225);
  3. Peraturan Presiden Nomor 4 Tahun 2018 tentang Badan Standardisasi Nasional (Lembaran Negara Republik Indonesia Nomor 10);
  4. Peraturan Badan Standardisasi Nasional Nomor 3 Tahun 2018 tentang Pedoman Pengembangan Standar Nasional Indonesia (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2018 Nomor 578);
  5. Peraturan Badan Standardisasi Nasional Nomor 12 Tahun 2018 tentang Perubahan atas Peraturan Badan Standardisasi Nasional Nomor 1 Tahun 2018 tentang Pedoman Tata Cara Penomoran Standar Nasional Indonesia (Berita Negara Republik Indonesia Tahun 2018 Nomor 1762);
- Memperhatikan :
- Surat Direktur Bina Teknik Permukiman dan Perumahan, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Nomor UM 0102-Ct/400A tanggal 1 November 2020 Hal Pelaporan Hasil Konsensus 9 Judul RSNI3 Lingkup SKT 91-01-S4 Tahun 2019;

- 3 -

MEMUTUSKAN:

Menetapkan : KEPUTUSAN KEPALA BADAN STANDARDISASI NASIONAL TENTANG PENETAPAN STANDAR NASIONAL INDONESIA 8978:2021 PANDUAN DESAIN UNTUK KOMPONEN PENYAMBUNG SISTEM PRACETAK.

KESATU : Menetapkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 8978:2021 Panduan desain untuk komponen penyambung sistem pracetak.

KEDUA : SNI 8978:2021 Panduan desain untuk komponen penyambung sistem pracetak sebagaimana dimaksud dalam Diktum KESATU merupakan adopsi identik melalui metode terjemahan satu bahasa dari standar ACI 550.2R-13 *Design Guide for Connections in Precast Jointed Systems*, yang ditetapkan oleh BSN tahun 2021.

KETIGA : Keputusan Kepala Badan ini mulai berlaku pada tanggal ditetapkan.

Ditetapkan di Jakarta

pada tanggal 3 September 2021

KEPALA BADAN STANDARDISASI NASIONAL,



KUKUH S. ACHMAD

**Panduan desain untuk komponen penyambung  
sistem pracetak  
(ACI 550.2R-13, IDT)**

© ACI 2013 – All rights reserved

© BSN 2021 untuk kepentingan adopsi standar © ACI menjadi SNI – Semua hak dilindungi

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis BSN

**BSN**

Email: [dokinfo@bsn.go.id](mailto:dokinfo@bsn.go.id)

[www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)

Diterbitkan di Jakarta

## Daftar isi

Daftar isi .....	i
Daftar gambar .....	ii
Prakata .....	iii
Pendahuluan .....	iv
1    Pendahuluan dan ruang lingkup .....	1
1.1    Pendahuluan .....	1
1.2    Ruang lingkup .....	2
2    Notasi dan definisi .....	2
2.1    Notasi .....	2
2.2    Definisi .....	2
3    Tata cara desain .....	3
3.1    Kelas sambungan .....	3
3.2    Prinsip desain sambungan .....	4
3.3    Pengangkur terhadap beton .....	7
3.4    Pengelasan .....	7
3.5 <i>Debonding</i> .....	9
4    Sistem lantai beton pracetak .....	9
4.1    Sistem pracetak .....	9
4.2    Diafragma lantai pracetak .....	10
5    Sistem pemikul beban lateral .....	10
5.1    Dinding struktural .....	10
5.2    Dinding struktural dengan bukaan besar .....	12
5.3    Rangka momen .....	12
6    Sambungan .....	14
6.1    Kekuatan .....	14
6.2    Daktilitas .....	14
6.3    Akomodasi perubahan volume .....	15
6.4    Durabilitas .....	16
6.5    Ketahanan terhadap api .....	16
6.6    Konstruktibilitas .....	16
6.7    Estetika .....	17
6.8    Persyaratan seismik .....	17
6.9    Toleransi .....	17
6.10   Sambungan vertikal .....	17
7    Pertimbangan proses ereksi .....	18
8    Pertimbangan pengelasan .....	19
8.1    Rakitan baja .....	19
8.2    Baja galvanis .....	19
8.3    Baja stainless .....	20

**SNI 8978:2021**

8.4	Penulangan .....	21
8.5	Praktik pengelasan untuk material berlapis epoksi .....	22
9	Graut .....	22
10	Referensi.....	23

**Daftar gambar**

Gambar 1.1.2 - Sambungan panel dinding ke fondasi.....	2
Gambar 3.1.1- Rangka Momen Pracetak dengan sambungan kolom yang jauh dari joint balok-kolom.....	4
Gambar 3.1.3 – Sambungan balok dengan angkur (PCI 2008).....	5
Gambar 3.2.4a – Sambungan dengan las (PCI 2008).....	8
Gambar 3.2.4b – Sambungan modifikasi untuk menambah daktilitas .....	8
Gambar 4.1.1 – Joint dikerjakan dengan tangan.....	10
Gambar 5.1a – Sambungan angkur panel dinding ke perletakan .....	11
Gambar 5.1b – Struktur uji PRESSS dengan sambungan panel dinding.....	12
Gambar 5.3 – kombinasi balok dan kolom membentuk Rangka momen .....	12
Gambar 5.3.1 – Contoh Rangka momen pracetak .....	13
Gambar 6.3 – Sambungan dengan baut .....	15
Gambar 6.3 [lanjutan] – Sambungan dengan baut.....	16
Gambar 6.10 – Sambungan Berdeformasi dalam riset PRESSS. Update doformasi saat sambungan menerima beban .....	18

## Prakata

SNI 8978:2021, *Panduan desain untuk komponen penyambung sistem pracetak*, merupakan standar yang disusun dengan adopsi identik dari ACI 550.2R-13 *Design Guide for Connections in Precast Jointed Systems*, dengan metode terjemahan satu Bahasa dan ditetapkan oleh BSN Tahun 2021. Standar ini semula diusulkan dalam Program Nasional Perumusan SNI (PNPS) Tahun 2019 dengan judul *Tata cara perancangan untuk komponen penyambung pada sistem pracetak*. Standar ini menjabarkan sistem pracetak dengan sambungan tipikal, performa dan karakteristik, serta mencakup rekomendasi untuk desain dan konstruksi.

Terdapat beberapa gambar berwarna yaitu gambar dan foto dokumentasi yang sifatnya hanya untuk memperjelas isi bagian Standar ini.

Standar Nasional Indonesia (SNI) ini dipersiapkan oleh Komite Teknis 91-01 Bahan dan Konstruksi Bangunan dan Rekayasa Sipil melalui Gugus Kerja Struktur Bangunan pada Subkomite Teknis 91-01-S4 Bahan, Sains, Struktur dan Konstruksi Bangunan. Selanjutnya, Sub Komite Teknis ini mengalami perubahan menjadi Komite Teknis 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung sesuai dengan Pedoman Pengelolaan Komite Teknis Perumusan Standar Nasional Indonesia. Standar ini telah dibahas dan disepakati dalam Rapat Konsensus pada tanggal 9 Desember 2019 di Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman yang dihadiri oleh para pemangku kepentingan (*stakeholders*) terkait yaitu perwakilan dari pemerintah, pelaku usaha, konsumen dan pakar. Standar ini telah melalui tahap jajak pendapat pada tanggal 29 Maret 2021 sampai dengan tanggal 17 April 2021 dengan hasil akhir disetujui menjadi SNI.

Terdapat Standar Internasional yang diacu di acuan normative dalam Standar ini telah diadopsi menjadi Standar Nasional Indonesia (SNI), yaitu:

- ACI 318, *Building code requirements for structural concrete and commentary* telah diadopsi menjadi SNI 2847, *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung dan penjelasan*.
- ACI 374.1-05, *Acceptance criteria for moment frames based on structural testing and commentary* telah diadopsi menjadi SNI 7834:2012, *Metode uji dan kriteria penerimaan sistem struktur rangka pemikul momen beton bertulang pracetak untuk bangunan gedung*.
- ACI T1.2/T1/2R-03, *Special hybrid moment frames composed of discretely jointed precast and post-tensioned concrete members* telah diadopsi menjadi SNI 8367:2017, *Spesifikasi perancangan rangka pemikul momen khusus beton pracetak pascatarik tanpa lekatan*.
- ASCE/SEI 7, *Minimum design loads for buildings and other structures* telah diadopsi menjadi SNI 1726, *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan nongedung* (modifikasi) dan SNI 1727, *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain*.
- ASTM A615/A615M-12, *Standard specification for deformed and plain carbon-steel bars for concrete reinforcement* telah diadopsi menjadi SNI 2052:2017, *Baja tulangan beton* (modifikasi).

Untuk menghindari kesalahan dalam penggunaan dokumen dimaksud, disarankan bagi pengguna standar untuk menggunakan dokumen SNI yang dicetak dengan tinta berwarna.

Apabila pengguna menemukan keraguan dalam Standar ini, maka disarankan untuk melihat standar aslinya yaitu ACI 550.2R-13 dan/atau dokumen terkait lain yang menyertainya.

Perlu diperhatikan bahwa kemungkinan beberapa unsur dari dokumen standar ini dapat berupa hak paten. Badan Standardisasi Nasional tidak bertanggung jawab untuk pengidentifikasian salah satu atau seluruh hak paten yang ada.

## Pendahuluan

Untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas kegiatan pembangunan gedung dengan sistem beton pracetak, diperlukan tata cara desain dan pelaksanaan yang menjadi acuan dasar yang berlaku secara nasional. Pembangunan sistem beton pracetak yang secara praktis dimulai tahun 1978 di Indonesia dan secara masif dilakukan sejak diluncurkannya program seribu tower oleh pemerintah tahun 2004, Indonesia belum memiliki standar nasional dalam desain dan pembangunan sistem beton pracetak.

Kebutuhan nasional yang vital akan tata cara desain dan pelaksanaan pembangunan sistem beton pracetak telah dijawab dengan dibentuknya tim penyusun SNI Tata cara desain beton pracetak dan prategang untuk bangunan gedung oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Tim tersebut dikelola oleh Ikatan Ahli Pracetak dan Prategang Indonesia (IAPPI), didukung oleh instansi perguruan tinggi dan ahli pracetak dan prategang nasional.

Pada tahun 2012 telah dikeluarkan SNI 7833:2012 *Tata cara desain beton pracetak dan prategang untuk bangunan gedung* yang disusun berdasarkan ACI 318-08 dengan menggunakan pasal-pasal yang berkaitan dengan beton pracetak, prategang, dan beton komposit beserta penjelasannya. Hal ini dilakukan mengingat pada waktu itu SNI 2847:2002 *Tata cara perhitungan struktur beton untuk bangunan gedung* masih mengacu ke *Uniform Building Code* (UBC) 1998 yang masih sedikit membahas mengenai beton pracetak dan prategang.

Dengan telah diterbitkannya SNI 2847:2019 yang mengacu penuh pada ACI 318-14 beserta penjelasannya, maka di mana hal-hal prinsip terkait beton pracetak dan prategang sudah diatur, sehingga Standar ini dimaksudkan guna melengkapi SNI 7833:2012 dengan merangkum hal-hal komplementer yang terkait dengan desain dan pelaksanaan yang aktual dibutuhkan dalam pelaksanaan konstruksi di Indonesia.

## Panduan desain untuk komponen penyambung sistem pracetak

### 1 Pendahuluan dan ruang lingkup

#### 1.1 Pendahuluan

Sistem struktur beton pracetak terdiri atas komponen-komponen fabrikasi individual. Karena sifat segmental konstruksi beton pracetak, sambungan antara komponen-komponen individual diperlukan untuk memikul beban-beban desain. Sambungan juga diperlukan untuk mengakomodasi deformasi, termasuk rotasi dan regangan.

**1.1.1 Metode sambungan** – Komponen-komponen pracetak disambungkan dengan salah satu dari dua metode. Metode pertama penyambungan komponen dengan tulangan yang menonjol dari setiap ujung komponen, displais menggunakan perangkat khusus atau dengan splais yang dilengkapi dengan beton cor di tempat untuk menyempurnakan sambungan. Metode ini dinamakan sambungan emulasi atau sambungan basah karena menggunakan beton cor di tempat di lapangan dan menyerupai perilaku dari struktur monolitik yang menggunakan cor di tempat. Metode kedua, yang lebih umum, metode sambungan kering dan menyambung komponen-komponen dengan las, baut, pascatarik atau dowel tanpa beton cor di lapangan. Dikarenakan sambungan kering secara tipikal kurang kaku dibandingkan dengan kekakuan komponen yang disambungkan, deformasi cenderung terpusat pada sambungan.

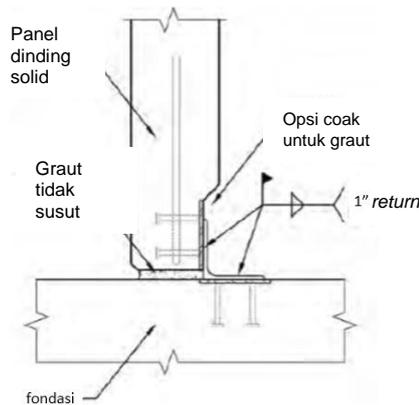
Sambungan harus mudah dan ekonomis dalam proses pengecoran dan perakitan komponen, fabrikasi, gap ereksi dan toleransi ereksi. Sambungan juga harus mentolerir antisipasi deformasi tanpa kehilangan kekuatan yang signifikan.

**1.1.2 Kelompok sambungan** – Sambungan dikategori atas lima kelompok:

- 1) Transfer beban gravitasi – Hanya beban-beban gravitasi seperti komponen *hollow core* yang ditempatkan pada dudukan balok.
- 2) Transfer geser – Baik geser vertikal atau horizontal, atau keduanya, seperti sambungan *flens ke flens* balok T ganda.
- 3) Transfer momen – Gaya tarik dan tekan akibat momen, seperti sambungan antara rangka momen pracetak dan fondasinya.
- 4) Integritas struktur – Gaya-gaya yang ditentukan peraturan untuk menjaga integritas struktur, secara tipikal sambungan yang dapat mengakomodasi kombinasi.
- 5) Sambungan kombinasi – Kombinasi beban-beban seperti momen dan geser.

Dalam semua kasus, lintasan beban dan beban luar diakomodasi oleh semua elemen-elemen sambungan (Gambar 1.1.2).

Penggabungan semua elemen pracetak pada setiap elemen-elemen yang berdampingan adalah penting untuk integritas struktur seperti disyaratkan pada Pasal 16 ACI 318-11. Namun, sambungan tersebut tidak perlu terlalu kaku yang dapat mencegah rotasi elemen atau regangan akibat volume apabila diperlukan.



Gambar 1.1.2 - Sambungan panel dinding ke fondasi

## 1.2 Ruang lingkup

Panduan ini menyajikan informasi mengenai karakteristik dan desain sambungan antara komponen-komponen beton pracetak dan antara komponen pracetak dan konstruksi cor di tempat. Pendetailan yang baik dan desain sambungan beton pracetak adalah penting untuk kinerja dari struktur beton pracetak.

Panduan ini menjabarkan sistem penggabungan pracetak yang tipikal dan jenis-jenis sambungannya, kinerjanya dan karakteristiknya, dan memberikan rekomendasi untuk desain dan konstruksi. Tiga kelas sambungan diidentifikasi dan karakteristiknya dan desain kuncinya dijabarkan. Juga termasuk tata cara desain sambungan dan pengangkurannya, deskripsi sistem pracetak, sistem pemikul beban lateral, konsiderasi desain kunci dan persyaratan ereksi termasuk konsiderasi pengelasan khusus.

## 2 Notasi dan definisi

### 2.1 Notasi

$C_d$  : Faktor pengali defleksi  
 $f_c'$  : Kuat tekan karakteristik beton, MPa (psi)  
 $R$  : Faktor modifikasi respons  
 $\phi$  : Faktor reduksi kekuatan

### 2.2 Definisi

Standar ini memberikan daftar komprehensif definisi melalui sumber online, "ACI Concrete Terminology", <http://terminology.concrete.org>. Definisi dalam Panduan ini merupakan pelengkap sumber tersebut.

**sambungan terdeformasi** – suatu kelas sambungan antara elemen-elemen pracetak yang didesain agar dapat mempunyai fleksibilitas yang signifikan atau dapat leleh, tanpa kehilangan kekuatan ketika mengalami deformasi yang direncanakan.

**sambungan daktail** – suatu kelas sambungan antara elemen-elemen pracetak yang didesain untuk meleleh dan dapat mengalami histeresis gaya-deformasi yang stabil ketika memikul deformasi siklis bolak-balik.

**joint** – lokasi dalam sistem struktur pracetak yang merupakan pertemuan dari elemen-elemen pracetak.

**elemen penahan gravitasi (*Gravity-only member*)** – elemen sistem rangka yang mayoritas memikul beban gravitasi yang tidak merupakan bagian dari sistem pemikul beban lateral.

**sistem pretopped (*Pretopped system*)** – sistem lantai pracetak yang memiliki *flens* atas yang dipertebal dari elemen-elemen pracetak (umumnya T dobel) yang dibuat sebagai pengganti bagian atas yang dicor di tempat.

**sambungan kuat** – suatu kelas sambungan antara elemen-elemen pracetak yang tetap elastis meskipun elemen-elemen yang disambungkan telah leleh akibat deformasi.

### 3 Tata cara desain

#### 3.1 Kelas sambungan

Pemilihan tipe sambungan antara komponen-komponen pracetak merupakan hal yang sangat penting dalam desain beton pracetak. Tipe-tipe sambungan harus ditetapkan di awal dalam proses desain berdasarkan peran sambungan tersebut dalam sistem struktur. Melelehnya tulangan merupakan hal yang umum dalam struktur beton bertulang yang terkena gaya-gaya yang besar seperti beban gempa. Perencana harus menentukan lokasi deformasi inelastis dalam komponen serta merencanakannya untuk mengakomodasi deformasi tanpa kehilangan kekuatan layan. Daerah joint dalam untuk komponen-komponen menyatu merupakan lokasi yang paling mungkin untuk terjadinya leleh. Dalam mengemulasi konstruksi beton, sambungan dibuat daktail dengan mengikuti persyaratan dalam *International Building Code* (IBC 2006). Tiga kelas sambungan dikenal dengan sebutan kuat, daktail dan mampu berdeformasi.

**3.1.1 Kuat** – Sambungan kuat menggunakan pendekatan desain hierarkis untuk menjamin pelepasan dan pengerasan regangan (*strain hardening*) di lokasi yang jauh dari sambungan. Sambungan kuat tidak perlu menunjukkan respons yang daktail. Kekuatan absolut kurang penting dibandingkan terhadap rasio antara kapasitas terhadap keperluan. Salah satu contoh adalah balok tunggal dan komponen pracetak kolom yang disambungkan di tengah bentang balok. Karena momen seismik pada tengah bentang lebih kecil dari pada momen ujung, leleh terjadi dalam balok pracetak di muka kolom. Pendekatan ini tidak digunakan sesering solusi lainnya. Konsep membuat joint kuat yang mendorong terjadinya leleh pada komponen pracetak yang terjadi jauh dari sambungan, sekalipun mungkin, secara tipikal digunakan pada joint yang ditempatkan pada titik balik rangka (*frame inflection points*) (Gambar 1.3.1.1).

**3.1.2 Daktail** – Sambungan daktail yang memiliki kapasitas deformasi yang signifikan, didetailkan pada daerah dengan konsentrasi deformasi inelastik untuk membentuk bagian sistem pemikul beban seismik. Sambungan daktail memperlihatkan selubung *hysteresis* (*loop hysteresis*) yang stabil ketika memikul beban siklik bolak balik. Perencanaannya mengikuti hierarki kekuatan untuk menjamin leleh dan pengerasan regangan siklik yang terjadi hanya pada sambungan. Sambungan yang demikian dapat dilas; tetapi, kekuatan pengelasan dan pelat yang tertanam harus lebih besar dari pada pelat yang disambungkan. Sambungan daktail juga dapat dibuat dengan melewati batang tulangan splais dengan lewatan atau menggunakan selubung splais yang merupakan produk terpatenkan. Sambungan harus memiliki kapasitas regangan yang cukup untuk menahan sesuai dengan perpindahan yang diperlukan.



**Gambar 3.1.1- Rangka Momen Pracetak dengan sambungan kolom yang jauh dari joint balok-kolom**

**3.1.3 Mampu berdeformasi** – Sambungan berdeformasi mengalami deformasi seiring perpindahan struktur. Sebagai contoh suatu balok pracetak yang ditumpu di atas alas karet pada korbel mengizinkan terjadinya rotasi dengan perlawanan longitudinal yang kecil. Sekalipun terjadi rotasi, kekuatan dalam memikul beban vertikal tidak terpengaruh. Elemen-elemen yang hanya menahan gravitasi dan sambungan dalam kebanyakan struktur pemikul seismik-pracetak atau lainnya harus berperilaku seperti ini. Dalam gempa Northridge tahun 1994, banyak sambungan kehilangan integritas karena sambungan tersebut hanya bergantung pada gravitasi untuk tidak berpindah tempat (Iverson dan Hawkins 1994). Ketika terkena beban horizontal, terlepasnya sambungan mampu berdeformasi dari kedudukan harus dicegah dengan demikian untuk pergerakan yang mungkin terjadi diperlukan tindakan pengekangan. Catatan diperlihatkan pada Gambar 3.1.3, kedudukan sambungan vertikal tetap terjaga tetapi perpindahan lateral dibatasi oleh batang ulir di dalam selubung.

### 3.2 Prinsip desain sambungan

Detail sambungan yang tepat dapat didesain setelah fungsinya terdefinisi. Penggunaan dari tiga kelas sambungan memungkinkan perencanaan untuk mendesain perilaku struktur, dibandingkan penggunaan ketegaran (*toughness*) yang terdistribusi dalam struktur untuk mencakup seluruh perilaku yang potensial, seperti kebanyakan dilakukan dalam konstruksi cor di tempat.

Untuk mencapai maksud tersebut, tujuh prinsip desain (3.2.1 hingga 3.2.6) direkomendasikan dalam Panduan ini

- 1) Kaitkan sambungan dengan sistem
- 2) Buat lintasan beban keseluruhan dalam sistem
- 3) Hindarkan eksentrisitas pada lintasan beban bila mungkin
- 4) Gunakan desain kapasitas untuk mengontrol perilaku sambungan (PCI Committee on Connection Detail 1995, 1998), yang merupakan metode yang lazim digunakan; tetapi, metode desain *strut and tie* (*strut and tie*) yang juga digunakan dalam praktik desain beton pracetak dengan hasil dan kinerja yang baik.
- 5) Sediakan daktilitas, bila diperlukan
- 6) Perhitungkan disipasi energi, bila diperlukan
- 7) Pertimbangkan kemudahan konstruksi

#### Asumsi desain

$f_c'$	= 35 MPa (5 ksi), beton pracetak
$f_y$	= 400 MPa (60 ksi), tulangan
$F_y$	= 240 MPa (36 ksi), pelat
$F_{cxx}$	= 480 MPa (70 ksi), las
Las	= Elektrode E70
$\lambda$	= 1,0 (beton bobot normal)

Beton tidak retak.

Batang koil: Kekuatan tinggi.

Gaya-gaya tegak lurus terhadap bentang balok tidak ditinjau.

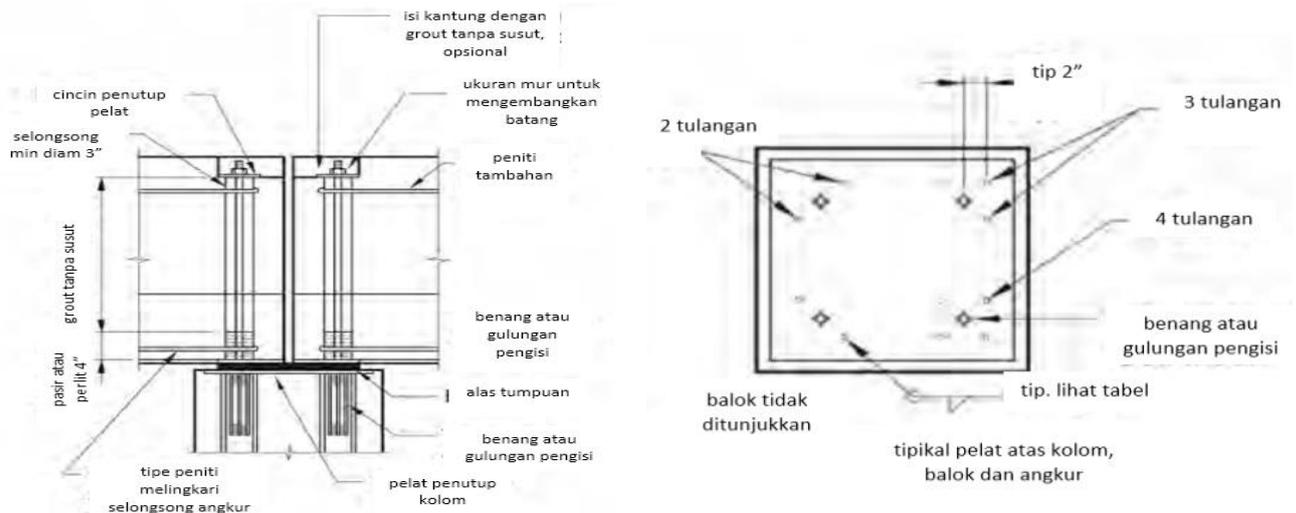
Pengangkuran pelat kepala kolom ditempatkan sedemikian rupa sehingga lenturan dari pelat tidak kritis.

Daftar kapasitas adalah untuk satu batang koil atau satu batang ulir.

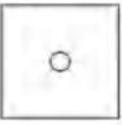
Ujung balok diperkuat secukupnya untuk menahan  $P_n$  dan  $H_n$ .

Pasir atau perlite diperkenankan untuk mengurangi perubahan volume. Kedalaman pasir atau perlite mungkin perlu ditingkatkan untuk diameter batang yang lebih besar.

$V_n$  ditransfer sebagai gaya tarik pada *hairpin* di area selubung.



**Tabel variasi kombinasi komponen**

Pelat Penutup Kolom 	Las-an ke pelat 	Batang 	Pelat penutup 
$\bar{R}$ w/ (8) #4 x 2'-0" LG	$\frac{5}{16}$ "	diam $\frac{3}{4}$ " benang	$\frac{1}{2}$ " x $4\frac{1}{2}$ " x $4\frac{1}{2}$ "
$\bar{R}$ w/ (8) #4 x 2'-0" LG		$\frac{3}{4}$ " $\emptyset$ Coil-B7	
$\bar{R}$ w/ (8) #5 x 3'-0" LG	$\frac{3}{8}$ "	1" $\emptyset$ Coil-B7	$\frac{3}{4}$ " x $4\frac{1}{2}$ " x $4\frac{1}{2}$ "
$\bar{R}$ w/ (8) #6 x 3'-6" LG	$\frac{7}{16}$ "	1 $\frac{1}{4}$ " $\emptyset$ Coil-B7	1" x $4\frac{1}{2}$ " x $4\frac{1}{2}$ "

**Gambar 3.1.3 – Sambungan balok dengan angkur (PCI 2008)**

**3.2.1 Sistem sambungan** – Sambungan mengontrol perilaku struktur sehingga harus konsisten dengan sistem struktur keseluruhan. Sebagai contoh, dalam struktur panel, dua bentuk respons yang mungkin terjadi adalah guling pada dasarnya dan geser pada joint. Perencana harus menetapkan bagaimana struktur harus berperilaku, dibandingkan hanya menghitung gaya-gaya menurut peraturan dan desain sambungan untuk menjamin terjadinya perilaku yang diinginkan dan beban ditransfer ke fondasi. Guling pada dasar atau selanjutnya pada joint panel adalah solusi yang lebih diharapkan dibandingkan perpindahan geser pada joint.

**3.2.2 Lintasan beban** – Suatu lintasan beban yang lengkap harus direncanakan untuk semua gaya-gaya yang ditransmisi dari titik asal ke fondasi dan pada setiap kaitan dalam lintasan harus dinilai cukup kekuatannya. Bagian-bagian tekan dari lintasan biasanya tidak menjadi masalah karena area permukaan yang besar dan ujung-ujung komponen dilengkapi dengan pelat tumpuan. Bagian-bagian tarik dan geser kemungkinan menjadi kritis karena cenderung untuk menimbulkan retak-retak elemen di atau dekat daerah sambungan.

**3.2.3 Eksentrisitas lintasan beban** – *Offset* dalam lintasan beban tarik menimbulkan momen yang cenderung untuk meluruskan elemen atau membengkokkan sambungan, *offset* dalam lintasan beban tekan cenderung untuk membengkokkan elemen. *Offset* yang demikian harus dihindari dengan melakukan pengaturan yang menjamin bahwa momen ditahan oleh komponen lainnya. Contoh yang paling umum untuk kasus *offset* adalah batang tulangan yang dilas sudut pada suatu pelat. Jika rotasi tidak dicegah, detail ini akan berpotensi menimbulkan bahaya karena di bawah beban, tulangan membengkok secara tajam dekat las dengan kemungkinan mengalami kegetasan. Secara pengujian (Stanton dkk. 1986), batang didetailkan dengan cara seperti itu mengalami keruntuhan tanpa pengecilan penampang tulangan (*necking down*).

**3.2.4 Desain kapasitas** – Desain kapasitas adalah suatu desain hierarkis yang pendekatannya memungkinkan perencana untuk mengontrol respons suatu komponen atau suatu struktur secara keseluruhan. Pendekatan ini pertama kali diusulkan oleh Park dan Paulay (1975) untuk menjamin bahwa leleh terjadi pada elemen daktail yang dipilih pada lintasan beban, elemen harus merupakan hubungan yang paling lemah dalam sambungan. Faktor keamanan yang cukup harus digunakan dalam merencanakan elemen-elemen berdekatan yang tidak perlu mempunyai daktilitas untuk melindunginya terhadap leleh. Beberapa faktor kuat lebih disediakan dalam peraturan yang berlaku.

Beberapa cara yang umum dalam menghubungkan batang baja penyambung atau batang tulangan, seperti las atau batang berulir, dapat melemahkan elemen penyambung dan deformasi inelastik terkonsentrasi dalam angkur pada beton. Keruntuhan angkur tidak diinginkan karena sulit diperbaiki dalam mereduksi penampang elemen tersambung secara berlebihan pada lokasi yang jauh dari tautan sebagai salah satu cara untuk menyediakan kapasitas deformasi yang lebih besar. Satu contoh diperlihatkan dalam Gambar 3.2.4a. Suatu pelat splais persegi yang digunakan untuk menghubungkan dua panel yang terkena geser, membuktikan kekuatan yang lebih dari las dan angkur terhadap beton jika tidak ada langkah khusus yang diambil (Stanton dkk. 1986). Keruntuhan bersifat getas dan diinisiasi oleh keruntuhan dari las dan tercabutnya batang tulangan tertanam. Suatu pelat modifikasi yang dilengkapi dengan slot untuk mengurangi penampang dan ujung yang melingkar untuk mencegah konsentrasi tegangan pada ujung slot pada pelat penyambung, seperti terlihat dalam Gambar 3.2.4b, dapat menyediakan daktilitas yang mencukupi. Sambungan gagal karena leleh dan retak pada pelat dan melindungi angkur dan las. Penggantian dari pelat yang rusak setelah gempa relatif sederhana.

**3.2.5 Daktilitas** – Pada bagian struktur yang diekspos pada elemen, regangan yang terjadi karena perubahan temperatur, sambungan daktail (merujuk 3.1.2) harus didesain dan didetailkan untuk menyediakan daktilitas dan kemampuan terhadap leleh tanpa kerusakan di sekitar permukaan beton.

**3.2.6 Konstruktibilitas** – Desain sambungan harus mempertimbangkan hal berikut: Sambungan standar dalam suatu proyek, penggunaan perangkat keras standar, hindarkan produksi nonstandar dan toleransi ereksi, menyediakan kemudahan akses, kemudahan pelaksanaan konstruksi, menyediakan pendekatan lapangan, dan menghindarkan bentuk-bentuk penetrasi.

### 3.3 Pengankuran terhadap beton

Seperti telah disebutkan dalam Pasal 3.2.4, leleh sebaiknya direncanakan terjadi dalam elemen penyambung untuk mengeliminasi retak. Angkur dari baja tertanam dalam beton memerlukan pertimbangan yang hati-hati. Panjang pengankuran perlu dipertimbangkan, karena leleh tulangan menandakan retak dalam beton. Bahkan jika tulangan tidak meleleh, retak masih dapat terjadi karena kompatibilitas regangan dalam kedua material yang menyebabkan beton mengalami retak ketika tegangan baja mencapai sekitar 35 MPa (5 ksi). Hal ini menyatakan bahwa perhitungan ukuran tulangan dan panjang penanaman berdasarkan kekuatan pada level beban terfaktor hampir pasti menimbulkan kerusakan beton. Sebagai contoh, jika baja siku tertanam dalam beton seperti terlihat pada Gambar 3.2.4a dilekatkan terhadap tulangan yang ada dalam beton dan konsep desain kapasitas yang menggunakan faktor 1,5 untuk melindungi angkur, tegangan baja masih sekitar 275 MPa (40 ksi) ketika pelat yang dipasang di lapangan meleleh. Besar tegangan tersebut adalah 80 kali dari 3,5 MPa (500 psi) yang merupakan besar tegangan ketika beton diperkirakan mulai retak. Leleh terjadi ketika sambungan dalam keadaan tarik. Batang-batang harus memiliki panjang penyaluran yang cukup terhadap beton yang menyelimutinya. Beton di dekat tulangan kemungkinan retak jika tegangan baja mengalami deformasi yang menimbulkan retak beton. Metode *strut-and-tie* (ACI 318) memberikan cara yang rasional dalam memilih gaya-gaya dan lintasan gaya sekitar sambungan.

Kinerja terbaik dari sambungan mengurangi retak. Cara yang dimungkinkan untuk mengontrol retak mencakup beton prategang, pembebasan lekatan tulangan dalam panjang tulangan yang cukup di luar daerah *debonded* untuk menjamin penyaluran yang penuh, atau dengan menggunakan angkur mekanis atau kait tulangan untuk menimbulkan tekan di ujung terjauh dari beton dibandingkan dengan tarik. *Debonding* itu meminimalkan tarik pada muka elemen dengan mengizinkan regangan yang seragam pada tulangan di daerah *debonded*. Jika pratarik digunakan, penentuan daerah retak potensial harus memperhitungkan panjang penyaluran untuk baja prategang.

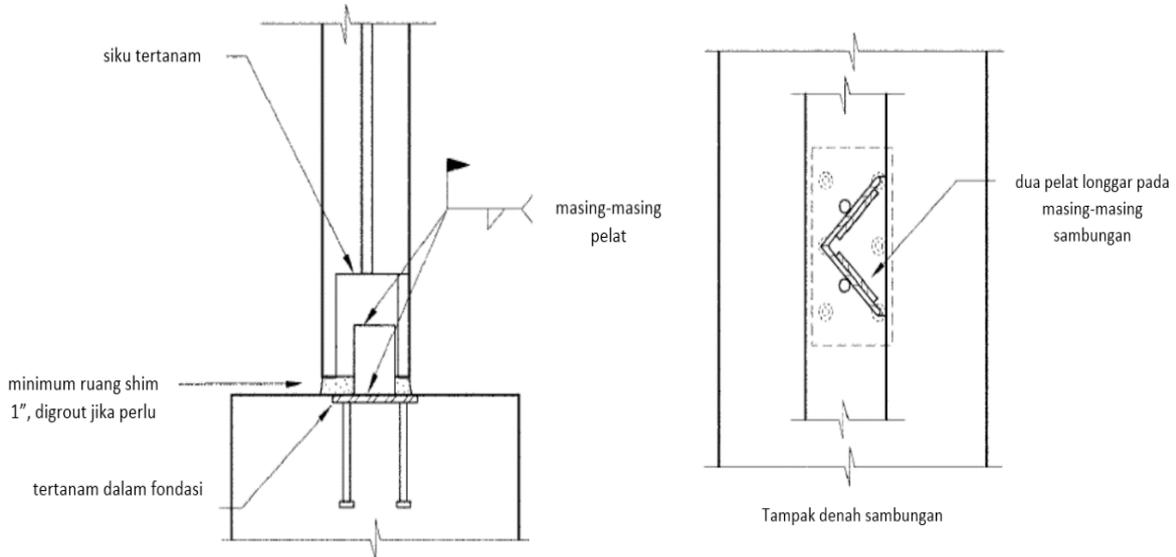
### 3.4 Pengelasan

Pengelasan mengubah sifat-sifat fisik dari baja dan dapat mengakibatkan kegetasan. Sebelum gempa Northridge 1994 (Iverson dan Hawkins 1994), umumnya dipercayai bahwa pengelasan yang didesain dan dikerjakan secara cermat dalam rangka baja struktural dapat memikul leleh akibat siklik. Material dengan karbon ekuivalen yang tinggi rentan terhadap las yang dibuat secara tidak benar, kemungkinan besar akan mengalami masalah (ASTM A615/A615M, Rodriguez dan Rodriguez 2006). Oleh karenanya, struktur sambungan rangka baja yang hancur selama gempa Northridge diubah untuk memberikan transfer beban yang tahapannya banyak.

#### Asumsi desain

$f'_c$	= 35 MPa (5 ksi), beton pracetak
$f_y$	= 400 MPa (60 ksi), tulangan
$F_y$	= 240 MPa (36 ksi), pelat
$F_{cxx}$	= 480 MPa (70 ksi), las
$f'_c$	= 25 MPa (4 ksi), beton fondasi
Las	= Elektrode E70
$\lambda$	= 1.0 (beton bobot normal)

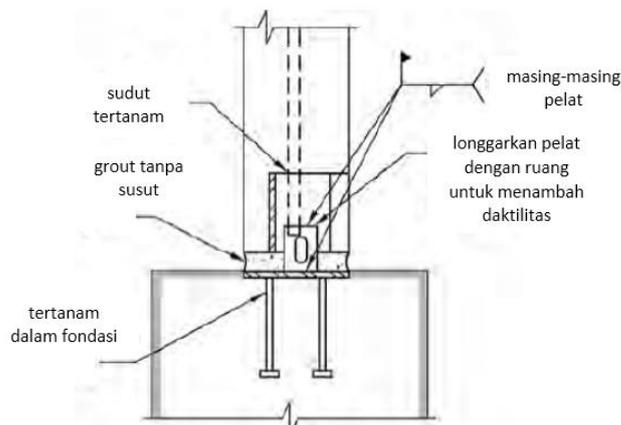
Kapasitas sambungan fondasi untuk gaya geser horizontal dan gaya tarik angkat minimum 40 kN (10 kip) menurut ACI 318-02. Sejarak minimum 12 in dari belakang barisan stud hingga permukaan fondasi.



**Gambar 3.2.4a – Sambungan dengan las (PCI 2008)**

**Variasi Kombinasi Komponen**

Tebal panel	pelat tertanam dalam fondasi	Pelat longgar	las	Siku tertanam
6 in.	$\mathbb{R} \frac{3}{8}'' \times 6'' \times 1'-0''$ w/ (6) $\frac{1}{2}'' \varnothing \times 6''$ HCAs	$\mathbb{R} \frac{1}{2}'' \times 4'' \times 4''$	$\frac{5}{16}''$ las $\times 4''$ pJg	$\triangleleft 6'' \times 6'' \times \frac{3}{8}''$ $\times 6''$ LG w/ (2) #6 $\times 2'-6''$ LG
8 in.	$\mathbb{R} \frac{1}{2}'' \times 8'' \times 1'-2''$ w/ (6) $\frac{5}{8}'' \varnothing \times 6''$ HCAs	$\mathbb{R} \frac{1}{2}'' \times 4'' \times 5''$	$\frac{3}{8}''$ las $\times$ $4''$ pJg	$\triangleleft 8'' \times 8'' \times \frac{1}{2}''$ $\times 6''$ LG w/ (2) #8 $\times 3'-6''$ LG
10 in.	$\mathbb{R} \frac{1}{2}'' \times 10'' \times 1'-2''$ w/ (6) $\frac{5}{8}'' \varnothing \times 6''$ HCAs			



**Gambar 3.2.4b – Sambungan modifikasi untuk menambah daktilitas**

Pengelasan tidak boleh digunakan di dekat daerah berpotensi leleh atau bengkokan tulangan. Karena pengelasan tidak dapat dihindarkan secara keseluruhan, detail penanaman harus menjamin bahwa zona leleh potensial tidak mengenai pengelasan. Pertimbangan pengelasan dibahas secara mendetail dalam Pasal 8.

### 3.5 *Debonding*

Lokal *debonding* yang direncanakan dapat mengurangi konsentrasi regangan lokal dan putus. Batang-batang yang digraut di dalam selongsong tidak didebond seperti yang dicorkan secara langsung di dalam beton, sehingga timbul kemungkinan putus lebih awal. Hal ini diverifikasi dalam pengujian balok-kolom (Cheok dan Stone 1994). Tulangan digraut ke dalam selongsong pada balok dan kolom. Pada simpangan antar lantai yang besar adalah  $\pm 3\%$ , perpanjangan batang dipertimbangkan cukup besar tetapi gaya yang dipaksa terjadi lebih hanya pada panjang *unbonded* yang pendek yang diperkirakan 100 mm (4 in). Regangan lokal adalah sangat tinggi dan tulangan mengalami putus.

Panjang *debonded* harus dipilih dan didesain secara betul sebagai bagian dari sambungan. Dalam panjang *debonded* yang terlalu pendek, tulangan mengalami putus, dan pada *debonded* yang terlalu panjang, tulangan tidak meleleh dan energi tidak terdisipasikan. Panjang *debonding* batang tulangan tipikal adalah 100 hingga 200 mm (4 hingga 8 in) atau 4 hingga 8 kali diameter tulangan. *Debonding* dapat dicapai dengan membungkus seluruh penampang batang tulangan dengan menggunakan *tape*. Pengujian rangka hibrid pracetak (sistem balok-kolom) menunjukkan bahwa panjang *debonded* dapat ditentukan secara meyakinkan (Schoettler dkk. 2008, Priestley dkk. 1999).

## 4 Sistem lantai beton pracetak

### 4.1 Sistem pracetak

Sistem lantai beton pracetak umumnya didesain dengan balok T dobel atau sebagai komponen berlubang dengan *topping* yang dicor di tempat setebal 50 mm hingga 75 mm (2 in hingga 3 in). Rusuk T dobel juga dapat di *topping* awal dengan *flens* dibuat lebih tebal-umumnya 100 mm (4 in), sehingga menjadi *topping* pada *flens* pracetak yang lebih tebal. Komponen dek umumnya ditumpu oleh balok, spandrel atau panel dinding. Dalam penerapan *topping* awal, strip yang dicor di lapangan umumnya disediakan di atas balok untuk menyediakan toleransi penyesuaian di lapangan.

**4.1.1 Sistem dengan *topping*** – Komponen T dobel atau *hollow core* direksi lalu dilakukan *topping* cor di tempat. *Topping* berperan secara komposit dengan komponen lantai. *Topping* dicor dengan tebal minimum 50 mm (2 in) pada bentang tengah, diikuti dengan camber atau dengan memberikan *topping* yang lebih tebal pada ujung-ujung tumpuan. Minimum kekuatan  $f_c'$  direkomendasikan sebesar 24 MPa (3500 psi). Tebal *topping* dan dek juga dapat ditentukan oleh persyaratan tahan kebakaran.

Untuk kontrol retak susut pada struktur parkir, *topping* di atas masing-masing joint komponen pracetak-ke-pracetak (Gambar 4.1.1). Perawatan *topping* yang sempurna adalah esensial saat mengontrol retak susut. Permukaan komponen pracetak dibersihkan dan dikondisikan lembap sebelum dipasang *topping*. Tulangan diafragma dan tulangan suhu serta susut ditempatkan dalam *topping*. Kontrol campuran *topping* beton dan penempatan *topping* dengan pola papan catur berfungsi untuk mencegah pola susut yang panjang dan meminimalkan pengaruh susut *topping*. Tulangan fiber juga telah pernah dipergunakan untuk mengontrol retak susut (ACI 544.1R-96).

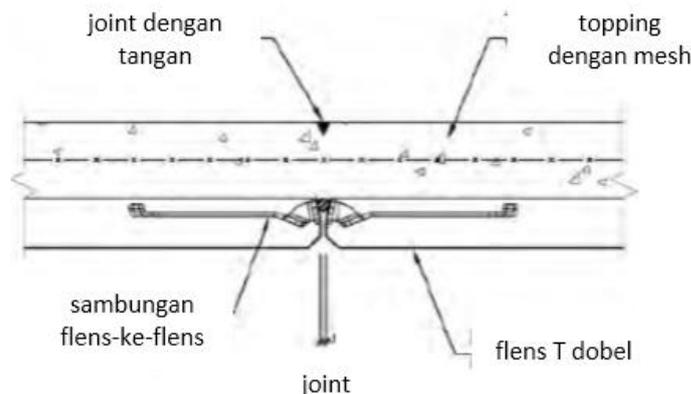
**4.1.2 Sistem pre-topping** – Meminimalkan penggunaan dari pada beton cor di tempat dan untuk memberikan mutu beton yang lebih tinggi pada permukaan aus, flens T dobel dicor dengan tebal 100 mm (4 in) atau lebih dalam pabrik. Sistem ini secara tipikal digunakan untuk struktur parkir di daerah dingin atau lingkungan yang agresif.

*Plank* berlubang juga digunakan tanpa *topping* cor di tempat, namun flens atas tidak dipertebal. Sistem yang demikian umumnya digunakan untuk aplikasi perumahan.

Sistem T dobel pre-*topping* mengandalkan sambungan pengelasan flens ke flens untuk transfer geser dan berperan sebagai diafragma. Tulangan diafragma ditempatkan dalam ujung *strip*. Di tempat di mana persyaratan beban lateral rendah, sambungan las flens ke flens kadang kala digunakan (Schoettler dkk. 2008)

## 4.2 Diafragma lantai pracetak

Diafragma lantai pracetak harus disambungkan kepada elemen-elemen pemikul beban seismik seperti misalnya dinding. Sambungan dapat diperoleh dengan beberapa cara, termasuk pengelasan, baut atau angkur. Angkur yang diteruskan dari elemen pemikul beban seismik dan diangkurkan ke dalam diafragma dengan beton cor di tempat, harus memiliki panjang yang cukup untuk penyaluran pada diafragma.



**Gambar 4.1.1 – Joint dikerjakan dengan tangan**

Tulangan menerus harus digunakan dalam diafragma untuk mentransfer beban-beban seismik kepada elemen pemikul beban seismik. Tulangan *topping* dalam sistem komposit harus memiliki daktilitas yang cukup untuk mengakomodasi simpangan antar lantai.

Tulangan kord keliling secara tipikal digunakan untuk memikul gaya-gaya tarik dan momen seismik, dan hubungan *flens* antara T dobel memikul gaya-gaya geser. Preliminari yang didapatkan dari kinerja desain lantai beton pracetak dimungkinkan digunakan. Riset mencakup skala 1:2, bangunan tiga lantai yang diberi beban seismik di atas meja getar skala penuh (Schoettler dkk. 2008).

## 5 Sistem pemikul beban lateral

### 5.1 Dinding struktural

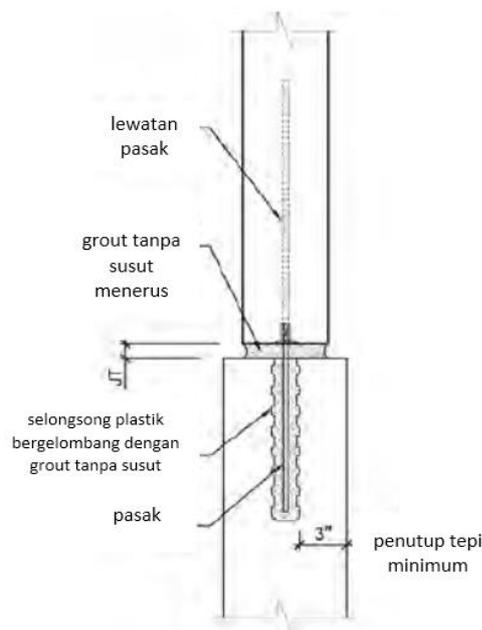
Dinding struktural merupakan sistem yang paling populer digunakan dalam struktur pracetak untuk memikul beban lateral. Kesuksesan sistem ini dalam memikul gempa di seluruh dunia mengindikasikan bahwa itu merupakan solusi yang sudah teruji. Desain tipikal mengambil keuntungan dari dinding pemikul yang ada dalam bentuk *shaft*, dinding *ramp* dek parkir, atau

dinding interior dan eksterior. Dalam beberapa terapan, dinding pracetak disambungkan untuk membentuk dinding yang lebih kaku, seperti boks atau bentuk silang.

Dinding struktural pracetak disambungkan dengan beberapa cara, tergantung kepada tingkat gaya lateral rencana. Baut, pengelasan atau sambungan angkur digunakan untuk tingkat gaya seismik rendah, yang terdapat di Amerika Serikat (Gambar 5.1a, sambungan angkur tipikal) untuk sambungan dinding geser.

Untuk level gaya seismik yang lebih tinggi digunakan mekanisme pascatarik atau lewatan tulangan untuk menyambungkan panel pracetak kepada fondasi atau sesamanya, menurut persyaratan Pasal 21 ACI 318-11). Sambungan kritis dalam sistem dinding umumnya adalah sambungan antara panel pracetak dan fondasi cor di tempat. Di lokasi ini terjadi gaya geser dan momen maksimum akibat beban lateral.

Proyek PRESS di Universitas California di San Diego (Gambar 5.1b) menguji rangka lima tingkat yang terdiri dari sistem dinding struktural pracetak penuh yang disambungkan dengan pascatarik vertikal unbounded dengan hasil yang baik (Priestley dkk. 1999). Dinding lima lantai disambungkan secara vertikal sepanjang sisi panel dengan sambungan pengelasan daktail tinggi yang mengizinkan panel mengayun terhadap dasar dengan kerusakan kecil pada panel. Pascatarik unbounded vertikal meluruskan panel setelah beban lateral seperti dicantumkan dalam ACI ITG-5.1.



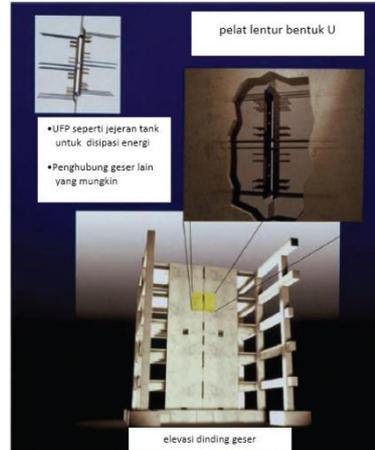
**Gambar 5.1a – Sambungan angkur panel dinding ke perletakan**

Dalam struktur parkir, dinding padat digantikan dengan panel dengan bukaan yang besar untuk meningkatkan visibilitas dan keamanan individual. Panel-panel ini dapat disambungkan sebagaimana telah dibahas di depan.

Sistem dinding struktural dapat dibangun dengan dinding horizontal yang panjang (lebar 20 ft hingga 45 ft [6 m hingga 13,5 m]) atau dinding vertikal yang sempit (lebar 7 ft hingga 12 ft [2 m hingga 3,5 m]). Dalam sistem yang terakhir ini, dinding secara tipikal dengan pratarik.

Joint horizontal dalam sambungan panel ke panel mencakup kombinasi dari graut untuk memikul gaya-gaya tekan melalui joint dan cara yang variatif untuk memikul gaya angkat atau tarik. Di daerah dengan seismik yang rendah, beban angin bisa mengontrol desain, dan

sambungan tarik bisa berupa sambungan pengelasan, baut atau angkur, seperti dalam Gambar 3.2.4b dan Gambar 5.1a. Untuk daerah dengan seismik lebih tinggi, peraturan menyaratkan penggunaan sambungan lewatan Tipe 2 yang daktail. Rakitan lewatan batang tulangan kerap digunakan (ACI 550.1R). Pascatarik juga dapat digunakan sebagai metode sambungan nonemulatif yang tidak meniru performa dari beton cor di tempat.



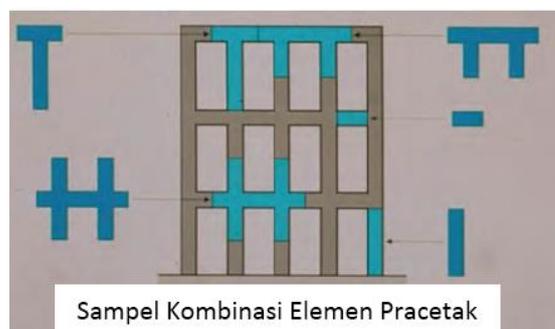
**Gambar 5.1b – Struktur uji PRESSS dengan sambungan panel dinding**

## 5.2 Dinding struktural dengan bukaan besar

Dengan dinding struktural solid tidak diinginkan disebabkan pertimbangan keamanan personal, bukaan besar ditempatkan dalam dinding struktural untuk kebebasan penglihatan. Elemen-elemen balok dan kolom dinding sekitar bukaan relatif berukuran besar dan didesain untuk memikul gaya geser dan momen guling yang bekerja. Pilar dinding yang mirip dengan kolom memiliki rasio aspek panjang-lebar paling tidak sebesar 2,5.

## 5.3 Rangka momen

Rangka momen pracetak menguntungkan karena memiliki faktor modifikasi  $R$  yang lebih besar dibandingkan dengan nilai  $R$  dinding struktural. Rangka momen pracetak juga digunakan untuk struktur yang lebih terbuka untuk mendapatkan parkir yang lebih terbuka. Struktur semacam ini dapat diperoleh dengan mengecor balok terhadap kolom pendukung untuk mendapatkan beberapa bentuk (Gambar 5.3) atau dengan menghubungkan rangka secara vertikal antara satu dengan yang lain, atau dengan menghubungkan balok individual terhadap kolom dengan sambungan di lapangan.



**Gambar 5.3 – kombinasi balok dan kolom membentuk rangka momen**

ACI 318 dan IBC 2006 memberikan tiga kategori rangka momen:

- 1) Biasa,  $R = 3, C_d = 2 - 1/2$
- 2) Sedang,  $R = 5, C_d = 4 - 1/2$
- 3) Khusus,  $R = 8, C_d = 5 - 1/2$

Faktor modifikasi respons, yang secara langsung mempengaruhi geser dasar, secara signifikan berbeda untuk masing-masing tipe rangka. Peningkatan nilai  $R$  membutuhkan detail penulangan yang lebih sempurna untuk mencapai kinerja yang lebih daktail dari rangka yang dinyatakan oleh nilai  $R$  yang lebih tinggi. Nilai  $R$  meningkatkan derajat kesulitan dalam desain dan pendetailan, namun menghasilkan reduksi yang signifikan dalam gaya geser dasar, yang berakibat penghematan dalam sistem pemikul beban seismik secara keseluruhan. Limit simpangan lateral tetap sama untuk semua sistem rangka. Faktor pengali  $C_d$  meningkatkan daktilitas sehingga perpindahan elastik sistem daktail lebih kecil.

ACI 318 memberikan persyaratan desain untuk ketiga tipe rangka yang telah disebutkan di depan. Sesuai yang dipersyaratkan oleh ACI 318, perencana sambungan rangka momen khusus, harus mengemulasi rangka momen cor di tempat dengan rakitan splais batang, salah satu dari Tipe 2 atau pascatarik.

**5.3.1 Rangka biasa** – Rangka biasa didesain untuk desain seismik Kategori A dan B (ASCE/SEI 7-05) dan hanya membutuhkan pemenuhan persyaratan dalam Pasal 1 hingga 18 ACI 318-11. Bentuk rangka momen pracetak yang tipikal ditunjukkan dalam Gambar 5.3, dan rangka momen ditunjukkan dalam Gambar 5.3.1.



**Gambar 5.3.1 – Contoh Rangka momen pracetak**

**5.3.2 Rangka sedang dan khusus** – Rangka di daerah aktivitas seismik yang lebih tinggi umumnya disambungkan dengan menggunakan komponen splais batang tulangan. Pasal 21.6 ACI 318-11 memberikan persyaratan untuk desain rangka momen khusus dengan menggunakan beton pracetak. Rangka momen pracetak yang tidak memenuhi persyaratan ini harus menuruti ACI T1.2/T1.2M dan ACI 374.1. Ini memerlukan pengontrolan instalasi tulangan angkur dalam fondasi cor di tempat, yang dapat dicapai dengan menggunakan templat yang difabrikasi dan dipasang untuk menjaga toleransi yang ketat. Tulangan angkur dipasang dalam komponen pracetak atau dalam elemen cor di tempat. Ketika pengawas proyek diinformasikan bahwa toleransi yang disyaratkan untuk angkur adalah  $\pm 6$  mm ( $\pm 1/4$  in), yang lebih ketat dari pada ACI 117 dan ACI ITG-7, keberhasilan dapat dicapai tulangan angkur. Sebanyak 24 selubung setiap rangka telah digunakan secara sukses. Batang tulangan harus dipegang di tempatnya dengan templat level ganda di atas dan di bawah permukaan beton untuk menjaganya tetap lurus dan berorientasi secara benar. Selongsong yang besar hingga dua ukuran batang dapat dicor dalam fondasi untuk mendapatkan toleransi ekstra. Tulangan yang ditanamkan dengan cor di tempat didetailkan lebih panjang dari disyaratkan dan dipotong hingga panjang yang disyaratkan setelah beton mengeras. Perhatikan bahwa ACI 318 mensyaratkan bahwa tulangan dalam sambungan daktail dibuat menerus dengan

menggunakan splais mekanis Tipe 2 yang mengembangkan gaya tarik atau tekan paling tidak 150 % dari kuat leleh spesifik tulangan.

Rangka momen khusus harus didesain menurut Pasal 21 ACI 318-11. Contoh-contoh persyaratan tulangan khusus adalah kait 135° dan spasi maksimum tulangan transversal sebesar 150 mm (6 in) di atas panjang yang disyaratkan dari masing-masing ujung elemen. Persyaratan khusus lainnya termasuk spasi maksimum tulangan silang, persyaratan khusus untuk panjang penyaluran tulangan, kekuatan geser, dan kekangan tulangan. Secara umum adalah untuk menghasilkan suatu komponen sesuai dengan persyaratan desain menurut ACI 318-11 dengan ketegaran yang cukup untuk respons khusus ini.

## **6 Sambungan**

Kriteria desain untuk sambungan beton pracetak harus dipilih berdasarkan fungsi sambungan yang diinginkan. Karena fungsi ini bervariasi, kriteria yang berbeda akan berlaku untuk tipe sambungan yang berbeda.

### **6.1 Kekuatan**

Sambungan harus didesain mentransfer gaya-gaya kepada yang mungkin terjadi selama umur layan. Gaya-gaya ini mencakup gaya yang ditimbulkan oleh perubahan volume dan yang disyaratkan untuk menjaga stabilitas.

Dalam terminologi lentur, beban aksial, dan torsi, kuat desain suatu sambungan harus diambil sebagai kuat nominal yang dihitung menurut ACI 318, dikalikan dengan faktor reduksi kekuatan  $\phi$ . PCI (2008) memberikan informasi yang mendetail mengenai desain sambungan. Faktor reduksi kekuatan  $\phi$  diberikan dalam Pasal 9.3 ACI 318-11:

- Penampang yang dikontrol tarik..... 0,90  
     Penampang yang dikontrol tekan:
- Komponen dengan tulangan spiral..... 0,70
- Komponen tulangan lainnya..... 0,65
- Geser dan torsi..... 0,75
- Tumpuan pada beton..... 0,65  
     Faktor  $\phi$  untuk konstruksi baja diberikan oleh AISC 325-05:
- Tarik dan geser..... 0,90
- Pengelasan ..... 0,75
- Baut dan ikatan..... 0,75

### **6.2 Daktilitas**

Daktilitas dari suatu sambungan adalah kemampuan mengalami deformasi inelastik yang relatif besar sebelum keruntuhan. Dalam struktur, daktilitas merupakan pengukur dari pada besar deformasi antara leleh pertama hingga keruntuhan. Daktilitas dalam struktur keseluruhan bisa diberikan oleh daktilitas elemen-elemen struktural, sambungan atau oleh keduanya. Dalam struktur beton pracetak, daktilitas sambungan dapat digunakan untuk menyumbang daktilitas struktur keseluruhan. Daktilitas sambungan dicapai dengan menjamin bahwa elemen transfer gaya yang tertanam, seperti tulangan ulir dan angkur stad berkepala, tulangan kawat terlas, dan memasukkan angkur-angkur lainnya di dalam beton dan kemudian pelat penyambung ereksi atau tulangan meleleh. Dalam kondisi tertentu, kedalaman elemen dibatasi, sisipan ditempatkan dekat pada ujung elemen beton, atau dengan lainnya, atau kombinasi di antara, keruntuhan beton dapat mendahului keruntuhan material sisipan. Dalam kondisi yang demikian, pertimbangan harus dilakukan untuk kelayakan dari sisipan sambungan penyerta pada elemen tulangan atau menyediakan tulangan tambahan

pengekang. Keruntuhan sambungan akibat keruntuhan beton umumnya bersifat getas dan karenanya, sebagai aturan umum, harus dihindarkan.

### 6.3 Akomodasi perubahan volume

Pencegahan regangan akibat rangkai, susut, dan perubahan temperatur dapat mengakibatkan tegangan yang besar dalam elemen beton pracetak dan sambungan. Kebanyakan regangan yang dikaitkan dengan rangkai dan susut elemen terjadi sebelum pembuatan sambungan final dari elemen-elemen pracetak. Regangan yang ditimbulkan oleh perubahan temperatur secara khusus sangat merusak dalam struktur yang terekspos, seperti struktur parkir. Pengaruh regangan ini harus ditinjau dalam desain. Sambungan harus memperkenankan terjadinya gerakan untuk membebaskan regangan. Dalam struktur yang secara khusus rawan terhadap pengaruh matahari, seperti spandrel, sambungan baut untuk menumpu kolom telah sangat efektif (Gambar 1.6.3). Sambungan memperkenankan ekspansi dan kontraksi spandrel melalui toleransi dalam selongsong berukuran besar melalui kolom.

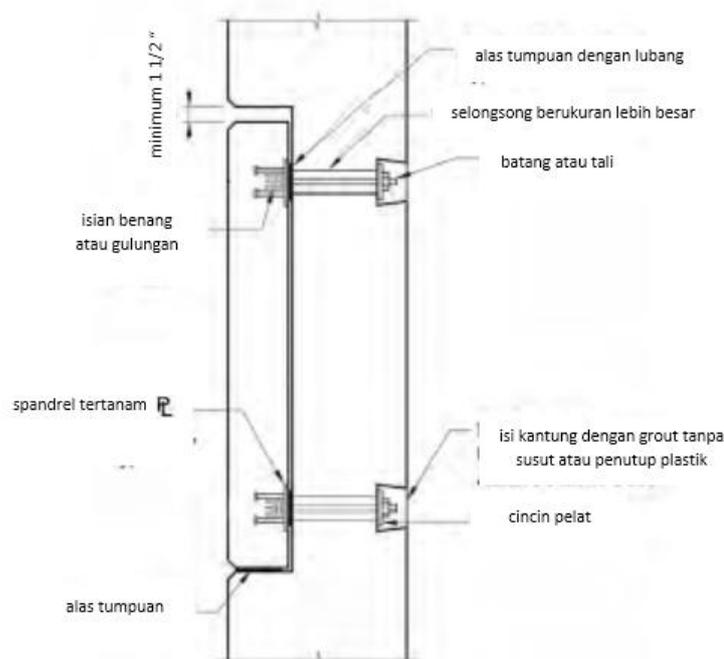
#### Asumsi desain

- $f'_c$  = 5 ksi (beton pracetak)
- $f_y$  = 60 ksi (tulangan)
- $F_y$  = 36 ksi ( $R_L$ )
- $F_u$  = 58 ksi (batang tarik A36)
- $F_u$  = 100 ksi (batang gulungan)
- $\lambda$  = 1,0 (beton bobot normal)

Gaya horizontal luar tidak dikerjakan terhadap rakitan tumpuan.

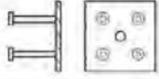
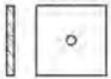
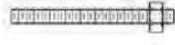
Gaya-gaya lateral tidak diambil oleh sambungan ini.

Tulangan panel harus cukup untuk menyalurkan lentur dan geser ke dalam panel



**Gambar 6.3 – Sambungan dengan baut**

**Variasi Kombinasi Komponen**

pelat spandrel tertanam 	cincin pelat 	batang 
$\square 3/8" \times 6" \times 6" \text{ w/ } (4) 1/2" \text{ } \phi \times 4" \text{ HCAs}$ & $13/16" \text{ } \phi$ lubang dan isian	$\square 1/2" \times 4 1/2" \times 4 1/2" \text{ w/ } 13/16" \text{ } \phi$ lubang	$3/4" \text{ } \phi$ benang
$\square 1/2" \times 6" \times 6" \text{ w/ } (4) 1/2" \text{ } \phi \times 4" \text{ HCAs}$ & $13/16" \text{ } \phi$ lubang dan isian	$\square 5/8" \times 4 1/2" \times 4 1/2" \text{ w/ } 13/16" \text{ } \phi$ lubang	$3/4" \text{ } \phi$ kawat gulung
$\square 5/8" \times 6" \times 6" \text{ w/ } (4) 1/2" \text{ } \phi \times 6" \text{ HCAs}$ & $1 1/16" \text{ } \phi$ lubang dan isian	$\square 3/4" \times 4 1/2" \times 4 1/2" \text{ w/ } 1 1/16" \text{ } \phi$ lubang	$1" \text{ } \phi$ benang
$\square 3/4" \times 6" \times 6" \text{ w/ } (4) 1/2" \text{ } \phi \times 6" \text{ HCAs}$ & $1 1/16" \text{ } \phi$ lubang dan isian	$\square 7/8" \times 4 1/2" \times 4 1/2" \text{ w/ } 1 1/16" \text{ } \phi$ lubang	$1" \text{ } \phi$ kawat gulung

**Gambar 6.3 [lanjutan] – Sambungan dengan baut**

**6.4 Durabilitas**

Pelat yang terekspos pada permukaan unit pracetak, khususnya dalam kasus dek parkir di mana digunakan garam pencegah es, harus dilindungi dengan lapisan seperti epoksi, cat mengandung zink, atau galvanis. Pelat baja stainless juga dapat digunakan dalam lingkungan yang sangat korosif. Satu contoh pelat terekspos adalah sambungan flens ke flens dalam sistem T dobel pra-top. Perhatian harus diambil ketika digunakan rakitan galvanisir terkait dengan tulangan baja lunak. Ketika rakitan di galvanis, mengikuti ASTM A153/A153M secara ketat akan menghindarkan kemungkinan regangan dan penggetasan hidrogen. Beton sekitar penanaman pada elemen-elemen pracetak secara tipikal memiliki keawetan yang sama, kualitas tinggi dari komponen dengan kekuatan minimum yang sama sebesar 35 MPa (5.000 psi) dan rasio bahan air/semen (w/c) sebesar 0,40 atau kurang.

**6.5 Ketahanan terhadap api**

Sambungan yang membahayakan stabilitas struktur yang diperlemah oleh api harus diberi perlindungan dengan tingkat yang sama sesuai persyaratan dari setiap elemen yang disambungkan.

**6.6 Konstruktibilitas**

Pertimbangan desain sambungan mencakup:

- a) standarisasi produk dan sambungan
- b) hindari penumpukan tulangan dan perangkat keras
- c) pemeriksaan material dan ukuran yang tersedia
- d) hindarkan penetrasi bekisting, bila dimungkinkan
- e) kurangi pengikisan pascapekerjaan
- f) perhatikan ukuran material dan batasannya
- g) tinjau ruang bebas dan toleransi
- h) hindarkan produksi dan toleransi ereksi yang nonstandar
- i) gunakan item perangkat standar dengan ukuran yang sesedikit mungkin
- j) gunakan detail yang berulang
- k) rencanakan waktu pengangkatan yang sesingkat mungkin
- l) berikan penyesuaian di lapangan
- m) berikan aksesibilitas

- n) gunakan sambungan yang tidak rawan rusak akibat pengangkatan
- o) hindarkan alas yang keluar dari sambungan pada desain tergantung kepada baji atau alas untuk mentransfer beban
- p) perhitungkan kapasitas alat angkat dan angkut yang tersedia ketika memilih ukuran komponen-komponen dan menentukan lokasi sambungan
- q) lakukan inspeksi untuk menjamin kualitas dan kontrol kualitas
- r) keamanan personel

### 6.7 Estetika

Penampilan akhir harus ditinjau dalam desain. Ketika meninjau praktik produksi dan metode ereksi, sertakan produk final yang secara visual menarik.

### 6.8 Persyaratan seismik

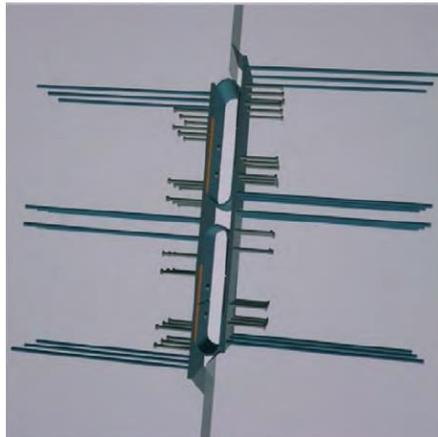
Sambungan yang ditempatkan di daerah yang akan terjadi perpindahan inelastis yang besar selama gempa, diklasifikasikan sebagai sambungan seismik. Prosedur desain seismik mengasumsikan disipasi energi dengan formasi mekanisme plastik. Jika terjadi mekanisme pada joint yang menggunakan sambungan seismik, energi didisipasikan melalui deformasi inelastik sambungan. Desain seismik dari sambungan kemungkinan diperlukan pada daerah intensitas seismik rendah karena massa besar dari struktur beton dikombinasikan dengan tanah lembek, dapat menimbulkan gaya-gaya lateral yang signifikan. Desain yang baik dari sambungan seismik diperlukan untuk menjamin kinerja yang memuaskan dari sistem pemikul beban seismik.

### 6.9 Toleransi

Toleransi adalah untuk memperkenankan deviasi yang dapat diterima dalam desain produk-produk selama fabrikasi dan instalasi dengan mempertimbangkan produksi, ereksi, dan aspek keterkaitan yang ekonomis dan praktis. Perencana harus sadar bahwa fabrikasi, ereksi dan toleransi saling terkait yang memastikan pemasangan yang sempurna di lapangan. Sambungan harus memenuhi integritas struktural yang memuaskan dengan mempertimbangkan toleransi yang disyaratkan.

### 6.10 Sambungan vertikal

Panel-panel dinding vertikal yang sempit berdekatan dapat disambungkan secara kaku dengan merancang dinding tunggal jika disambungkan dengan sambungan daktail. Jika panel dinding dihubungkan dengan sambungan daktail, sambungan harus mampu memikul deformasi ekstrem. Beberapa tipe sambungan telah diuji, pelat pengelasan berbentuk X dan pelat pengelasan bentuk U (Gambar 6.10) telah banyak berhasil. Pelat U digunakan dalam pengujian PRESS (Priestley dkk. 1999) dan mampu menahan simpangan dan deformasi ekstrem yang diakibatkan oleh gaya-gaya yang ekuivalen dengan 1,5 kali gempa kuat (Gambar 5.1b). Angkur tertanam harus berukuran lebih besar, sehingga semua deformasi yang ditimbulkan terjadi pada pelat sambung yang dirancang pada sambungan di antara panel-panel.



**Gambar 6.10 – Sambungan Berdeformasi dalam riset PRESSS. Update deformasi saat sambungan menerima beban**

## 7 Pertimbangan proses ereksi

Prosedur ereksi harus ditinjau berdasarkan konsultasi dengan erektor ketika mendesain sambungan beton pracetak. Jika lebih dari satu detail sambungan memenuhi persyaratan struktural, detail yang dipilih haruslah yang mempertimbangkan produksi dan ereksi. Detail yang paling cocok untuk ereksi boleh jadi menyangkut kompromi antara beberapa pertimbangan produksi. Jika mungkin, metode-metode sambungan dan material yang sama harus digunakan untuk seluruh proyek. Sebagai contoh, jika beberapa spandrel dibaut kepada kolom, semua spandrel harus dibautkan-baik penumpu beban maupun yang bukan penumpu beban-dan dengan ukuran baut yang sama. Perbedaan ukuran perangkat sambungan lapangan, ukuran pelat standar, ukuran las dan ukuran baut harus dibuat sekecil mungkin. Sambungan harus didesain sedemikian hingga suatu komponen dapat dilepaskan dari keran dalam waktu sesingkat mungkin.

Item ereksi berikut harus ditinjau dalam perencanaan sambungan:

- a) perencanaan waktu pengangkatan yang sesingkat mungkin
- b) memberikan penyesuaian di lapangan
- c) memberikan aksesibilitas
- d) menggunakan sambungan yang tidak rawan terhadap kerusakan ketika pengangkatan
- e) identifikasi desain, lokasi, penggunaan dan penahanan baji yang layak
- f) menentukan kapan baji dan kapan membungkus kering
- g) menghindari beban tidak berimbang akibat pembebanan pada satu sisi komponen
- h) menentukan stabilitas pengaku/ereksi temporer
- i) identifikasi lokasi pengelasan
- j) meninjau kapabilitas dan kapasitas alat angkat ketika menentukan lokasi sambungan

Praktik telah menunjukkan bahwa jika pelat dukung komponen dilaskan terhadap tumpuan, tegangan berlebih dapat terjadi akibat susut, rangkai atau beban. Jika ini dapat mempengaruhi stabilitas, perhatian harus diberikan dalam mendetail komponen-komponen pengelasan. Sebagai satu solusi, ujung pergantian dari T alternatif dapat dilas jika ujung-ujung perlu dilaskan kepada tumpuan.

## 8 Pertimbangan pengelasan

### 8.1 Rakitan baja

Sambungan terlas adalah efisien secara struktural dan dapat dengan mudah disesuaikan untuk kondisi lapangan yang bervariasi. Kekuatan suatu sambungan terlas tergantung kepada kemampuan pekerja dan kompatibilitas material pengelasan dengan metal yang akan disambungkan. Seperti dalam semua rakitan, pengelasan dengan temperatur di bawah 0 °C (32°F) memerlukan pemanasan material yang akan disambungkan karena kemungkinan pengelasan mengalami kerusakan. Permukaan yang akan dilas, dan permukaan dekat las, harus seragam dan terbebas dari sirip, robek, retak, sisik yang lepas atau sisik yang tebal, ampas, karat, lemak, cat atau material asing lainnya yang mencegah pengelasan dilakukan dengan baik atau yang menimbulkan asap yang menghambat proses pengelasan.

Jika baja tulangan dilaskan kepada komponen baja struktural, berlaku spesifikasi proyek baja struktural. Jika menghubungkan baja bergradasi yang berbeda, metal pengisi harus dipilih untuk metal dasar berkekuatan rendah.

### 8.2 Baja galvanis

Metal galvanisir adalah material yang menyaratkan perlakuan permukaan yang layak dari pada pelat yang disambungkan sebelum mengelas. Satu dari pada ketiga metode berikut harus digunakan untuk perkerjaan pengelasan.

**8.2.1** *Pengelasan dengan lapisan zink yang dihilangkan* – Jika galvanis pada permukaan yang disambungkan harus dihilangkan, harus digunakan AWS D1.1/D1.1M dan D1.4/D1.4M. Jika mungkin, zink harus dihilangkan paling tidak 50 mm hingga 100 mm (2 in sampai 4 in) dari kedua sisi dari zona pengelasan dan pada kedua sisi dari bagian yang dikerjakan.

Ketika baja galvanis dilas, sebagian zink dengan mudah menguap pada masing-masing sisi dari pengelasan dan ketika lapis tipis dari *alloy zinc-iron* tertinggal, terjadi kehilangan resistensi korosi. Dalam kasus baja yang dicat dengan bahan yang kaya zink, pengelasan menimbulkan dekomposisi dari lapisan cat, yang terbakar sejarak tertentu pada masing-masing sisi pengelasan. Lebar dari pada zona yang rusak tergantung kepada masukan panas dan pemanasan pendahuluan.

Pemindahan zink pada lokasi pengelasan merupakan pendekatan yang paling konservatif dalam pengelasan baja galvanis. Proses pengelasan akan menjadi sama seperti yang untuk baja tanpa lapisan. Zink dapat dipindahkan dengan membakar busur karbon atau dengan semburan asetilena jika digunakan api oksida, dengan ledakan alat yang bisa diangkat, atau dengan menggerinda pada piringan abrasif silikon karbida. Gantilah zink dalam daerah yang dipindahkan dengan lapisan yang kaya zink setelah las diselesaikan.

**8.2.2** *Pengelasan dengan lapisan zink yang masih utuh* – adalah mungkin meninggalkan lapisan galvanisir dan pengelasan dengan menggunakan metal dasar galvanisir dengan lapisan paling tebal yang diantisipasi dan layak dengan pengujian sesuai dengan AWS D1.1/D1.1M atau D1.4/D1.4M. AWS D1.1/D1.1M atau D1.4/D1.4M yang memperkenankan pengelasan pada permukaan dengan lapisan yang sama atau kurang pada cat yang kaya zink. Tersedia cat kaya zink yang khusus dibuat untuk mengeliminasi kebutuhan untuk menghilangkan lapisan dari pada lintasan las sebelum pengelasan. Surat harus diperoleh dari manufaktur lapisan yang menyatakan bahwa pengelasan diperkenankan. Porositas dapat terjadi dalam desain joint las tertentu dalam baja galvanis, tergantung pada tebal lapisan, akibat dari zink yang mudah menguap dalam lapisan dan perangkap gas dalam pengelasan. Tipe joint ini dengan lapisan mempengaruhi porositas karena gas tidak bisa lepas dari pada joint T atau dari pada joint ujung dalam material tebal. Dalam kasus joint ujung atau T,

## SNI 8978:2021

persiapan tepi V atau celah antara pelat-pelat membuat gas keluar dan meminimalkan porositas. Pembentukan pori juga dipengaruhi oleh tebal lapisan galvanis relatif terhadap material dasar.

**8.2.3 Pengelasan baja galvanis** – Umumnya, manual prosedur pengelasan busur metal untuk baja galvanis serupa dengan yang untuk baja tanpa lapisan. Pengelasan baja galvanis menyaratkan bahwa pekerja las mendapatkan latihan khusus. Sebagai tambahan terhadap kualifikasi pekerja las dan prosedur pengelasan itu sendiri, secara tegas direkomendasi penggunaan dari pada lapisan yang tebal.

Area pengelasan harus diberi lapisan kaya zink (95 %) atau cat epoksi segera setelah pengelasan dan pemotongan dari pada ampas untuk menggantikan galvanis yang telah terbangun sebelumnya. Perangkat keras harus dibersihkan sebelum menerapkan proteksi. Catlah semua daerah pengelasan pada alat angkut baja yang terekspos dengan primer pencegah karat. Perhatian harus diberikan ketika mengelas di sekitar alas dukung untuk mencegah kerusakan alas.

Elektrode las EXX10 dan EXX11S harus diterapkan lebih lambat dari pada yang biasa dengan aksi cambuk yang memindahkan elektrode ke depan 3 mm hingga 8 mm (1/8 in hingga 5/16 in) sepanjang lipatan di arah maju dan kembali ke tumpukan leburan. Lapisan galvanis yang cepat menguap harus diselesaikan sebelum terperangkap lebih lanjut. Ini mencegah terperangkapnya zink dalam metal las.

Panjang busur yang pendek direkomendasikan untuk pengelasan di semua posisi yang memberikan kontrol yang lebih baik dari tumpukan leburan las dan mencegah akses penetrasi atau pemotongan.

Celah yang lebih lebar, hingga 2 mm (3/32 in) diperlukan dalam joint *butt* atau sudut 15° pada tepi pelat untuk penetrasi yang sempurna. Celah juga mengizinkan zink dan gas keluar dan menurunkan retak yang ditimbulkan oleh tahanan ketika tebal las bertambah.

Hindarkanlah gelombang dan gerusan leburan las ganda. Masukkan panas ke dalam joint harus dipertahankan minimum untuk menghindari kerusakan dalam lapisan bersebelahan.

Ketika mengelas baja galvanis, retak yang diinduksi hidrogen dari zona yang dipengaruhi panas dapat terjadi pada dasar pelat di dekat pengelasan. Retak dapat dihindarkan dengan menggunakan kehati-hatian seperti meredusir laju pendinginan joint, pemanasan awal, atau menggunakan elektrode berdiameter besar dengan arus tinggi. Unsur hidrogen dari pengelasan dapat ditingkatkan jika disimpan dalam atau kaya zink. Hidrogen ekstra yang bersumber dari proses *pickling* dalam galvanisasi, atau dari produk dekomposisi dari cat dasar. Mungkin perlu untuk menghilangkan cat dasar dari sekitar joint sebelum pengelasan atau menggunakan temperatur pemanasan awal yang lebih tinggi dari pada yang digunakan pada baja tanpa lapisan.

### 8.3 Baja stainless

Prosedur umum untuk pengelasan berkarbon rendah harus diikuti ketika mengelas pelat baja stainless kepada pelat baja stainless lainnya atau kepada baja berkarbon rendah, dengan mengingat perbedaan karakteristik baja stainless, seperti misalnya ekspansi termal yang lebih tinggi dan konduktivitas termal yang lebih rendah. Pengelasan baja stainless pengelasan harus dikerjakan oleh pekerja yang terqualifikasi dan terbiasa dengan persyaratan pengelasan. Baja stainless *Austenitic* merupakan terbaik untuk dilas tanpa pemanasan awal, kecuali untuk meredusir tegangan susut pada penampang tebal di atas 30 mm (1 ¼ in) atau pada joint yang tertahan. Karena pemanasan awal, temperatur di bawah 177 °C (350 °F) atau teknik *stringer-bead* akan menurunkan waktu zona terpengaruh panas dalam kisaran sensitif (427 °C hingga

760 °C [800 °F hingga 1400 °F]), pengurangan jumlah presipitasi karbon dan bengkak (*warpage*). Pemanasan awal diperlukan jika baja karbon dilas atau temperatur dari komponen yang akan dilas kurang dari 0 °C (32 °F).

Pengelasan stainless tidak berpenetrasi sebagaimana dalam baja karbon dan metal las sedikit lebih lembam meninggalkan batang las. Joint dalam pengelasan stainless perlu dibuat lebih terbuka untuk mendapatkan penetrasi dan fusi.

Untuk posisi las vertikal atau di atas kepala, elektrode harus berdiameter 4 mm (5/32 in) atau kurang. Untuk pengelasan vertikal pada pelat tebal 5 mm (3/16 in), membuat pengelasan vertikal ke bawah menggunakan *bead* kecil; pada pelat yang lebih tebal, teknik gelombang segitiga harus digunakan ketika pengelasan berposisi vertikal ke atas.

Dengan koefisien yang relatif tinggi dari ekspansi termal dan konduktivitas termal lebih rendah dari baja *stainless Austenitic*, berikan perhatian untuk menghindari retak dari *bead* pengelasan, minimalkan distorsi baja dan hindarkan letak dari pada beton.

Panduan berikut harus diikuti untuk meminimalkan masalah-masalah ini:

- a) rendahkan arus las konsisten dengan penetrasi yang konsisten untuk meredusir input panas terhadap pekerjaan
- b) gunakan teknik *skip-weld* untuk meminimalkan konsentrasi panas
- c) terapkan teknik pendinginan lainnya untuk disipasi panas
- d) gunakan *tack welding* untuk memegang bagian tetap segaris selama pengelasan
- e) variasikan urutan pengelasan
- f) jaga tepi-tepi terbebas dari pada beton terdekat untuk mengizinkan ekspansi selama pengelasan ketika digunakan pelat sambung baja stainless

#### 8.4 Penulangan

Ketika digunakan pengelasan tulangan dalam sambungan, karakteristik mampu las dari pada tulangan harus secara khusus ditinjau untuk tulangan menurut ASTM A615/A615M (Rodriguez dan Rodriguez 2006). Pemanasan awal minimum dan temperatur interpas untuk pengelasan baja tulangan, jika diperlukan, harus meninjau jumlah ekuivalen karbon yang paling tinggi dari metal dasar. Analisis kimiawi menetapkan mampu las dari pada batang tulangan. Hasil dari pada analisis menentukan prosedur pengelasan yang dapat diterapkan dan persyaratan pemanasan awal dan temperatur interpas. Penghentian busur di luar daerah pengelasan baja tulangan harus dihindarkan. Satu metode praktis pemanasan awal pada tulangan dan pelat isian adalah menggunakan semburan osilasi ketika mengukur pemanasan awal dengan level temperatur atau kapur sensitif panas. Dengan menggunakan semburan, daerah pemanasan awal terlokalisir dapat dicapai. Ini akan menyederhanakan proses pengelasan. Keseluruhan pelat atau batang tulangan tidak memerlukan pemanasan. Kapur sensitif panas didesain untuk mengganti warna atau lelehan ketika temperatur yang diinginkan dicapai (Soudki dkk. 1995).

Jika diperlukan pemanasan awal, panaskan batang tulangan sampai penampang mencapai atau di atas temperatur minimum untuk paling tidak 150 mm (6 in) pada lokasi pengelasan yang diinginkan.

Tipikal untuk semua permukaan pengelasan, permukaan dari pada batang tulangan yang akan dilas dan permukaan sekitar pengelasan harus bebas dari pada sisik yang lepas atau sisik yang tebal, ampas, karat, lembap, lemak, lapisan epoksi atau material asing lainnya yang dapat menghindari pengerasan yang sempurna atau menimbulkan asap penghalang. *Mill scale* yang mampu menahan sikatan kawat, lapisan penghalang karat yang tipis, atau senyawa anti percikan, dapat tertinggal. Bentuklah ujung-ujung batang tulangan dalam joint berbentuk joint *butt* untuk membentuk gerusan pengelasan dengan pemotongan memakai

## SNI 8978:2021

oksigen, pemotongan busur karbon udara, pemotongan atau cara-cara mekanis lainnya. Batang dengan joint *butt* langsung yang memiliki ujung-ujung terbelah harus dipotong ulang di luar daerah yang terbentuk potongan.

Pengelasan batang tulangan galvanisir tanpa penyilangan lapisan sebelumnya harus dilakukan sesuai dengan AWS D1.4/D1.4M. Pengelasan metal galvanisir juga dapat dilakukan setelah semua lapisan dihilangkan dalam 50 mm (2 in) joint las. Hilangkan lapisan galvanis dengan api gas oxyfuel, ledakan abrasif atau cara-cara yang cocok lainnya.

### 8.5 Praktik pengelasan untuk material berlapis epoksi

Ketika mengelas/ pemanasan awal dari pada material dasar terlapis epoksi, hilangkan lapisan epoksi dari permukaan yang akan dipanaskan. Setelah pengelasan, terapkan lapisan proteksi yang cocok dari cat yang kaya zink atau epoksi untuk mengembalikan sifat resistansi korosi dari batang yang dilapisi.

## 9 Graut

Graut yang dilakukan di lapangan digunakan dalam sambungan tarik dan tekan untuk mengisi ruang horizontal dan vertikal sambungan antara elemen, untuk melindungi sambungan, dan menyediakan material transfer beban dalam lengan lewatan tulangan dan angkur. Graut bermerek kerap disyaratkan untuk alat sambungan bermerek. Dalam sambungan tekan tipikal, graut melampaui kekuatan elemen-elemen pendukung sebesar minimum 7 MPa (1.000 psi). Graut harus diuji kontrol kualitas untuk menjamin bahwa kekuatan yang cukup dapat dicapai.

Panel dinding pracetak kerap direksi dengan cara mendudukan pada ganjalan untuk meluruskan dan memosisikan susunan sama tinggi. Pertemuan antar panel kemudian digraut. Lakukan graut antar panel sesegera mungkin setelah proses ereksi panel untuk menjamin tegangan tidak melebihi kapasitas tumpuan di bawah baji akibat pembebanan selanjutnya dan beban tersebut didistribusikan ke joint yang bersangkutan. Kolom pracetak juga direksi dengan dasar joint yang digraut. Selesaikan sambungan antara baut angkur dan baji sebelum graut dilakukan, dan lakukan graut sesegera mungkin karena baut angkur dan baji biasanya tidak sesuai untuk menahan berat sendiri kolom tanpa mengalami keretakan dalam pada bagian dasar yang ditumpu. Proses ereksi maksimum harus dipertimbangkan sebagai bagian dari prosedur ereksi.

Umumnya proses graut dilakukan dengan cara gravitasi. Jika graut dipompakan menggunakan selubung atau lubang masuk, pemompaan graut dimulai dari bawah hingga graut keluar pada bagian selubung atau lubang keluar. Dalam beberapa kasus ketika peningkatan kinerja diinginkan seperti pada rangka hibrida, serat ditambahkan pada graut untuk memperkuat *joint* dan meningkatkan kinerja. Penyusutan graut selama perawatan dapat berakibat buruk terhadap kinerja dari joint. Penyusutan dapat diatasi dengan menggunakan graut tanpa susut yang tersedia secara komersial.

## 10 Referensi

Dokumen-dokumen terkait dan dirujuk dalam Standar ini, diurutkan sesuai nomor dokumen dan tahun publikasi, kemudian diikuti dengan dokumen pengarang yang disusun secara alfabetik.

### *American Concrete Institute*

ACI 117-10 – *Specification for Tolerances for Concrete Construction and Materials and Commentary*

ACI 318-11 – *Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary*

ACI 374.1-05 – *Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary*

ACI 550.1R-09 – *Guide to Emulating Cast-in-Place Detailing for Seismic Design of Precast Concrete Structures*

ACI 544.1R-96 – *Report on Fiber Reinforced Concrete (Reapproved 2009)*

ACI ITG-5.1-07 – *Acceptance Criteria for Special Unbonded Post-Tensioned Precast Structural Walls Based on Validation Testing*

ACI ITG-7-09, *Specification for Tolerances for Precast Concrete*

ACI T1.2/T1.2R-03, *Special Hybrid Moment Frames Composed of Discretely Jointed Precast and Post-Tensioned Concrete Members*

### *American Institute of Steel Construction*

AISC 325-05, *Steel Construction Manual*

### *American Society of Civil Engineers*

ASCE/SEI 7-05, *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*

### *American Welding Society*

D1.1/D1.1M:2010, *Structural Welding Code – Steel*

D1.4/D1.4M:2005, *Structural Welding Code – Reinforcing Steel*

### *ASTM International*

ASTM A153/A153M-09, *Standard Specification for Zinc Coating (Hot-Dip) on Iron and Steel Hardware*

ASTM A615/A615M-12, *Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement*

### *International Code Council*

IBC 2006, *International Building Code*

Cheok, G. S., dan Stone, W. C., 1994, "Performance of 1/3 Scale Model Precast Concrete Beam Column Connection Subjected to Cyclic Inelastic Loads – Report No. 4", Report No. NISTIR 5436, Building and Fire Research Laboratory, NIST, Gaithersburg, MD, hal. 59.

Iverson, J. K., dan Hawkins, N. M., 1994, "Performance of Structures During the Northridge Earthquake," *PCI Journal*, V. 39, No. 2, hal. 38-55.

Park, R., dan Paulay, T., 1975, *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley and Sons, Inc., New York, hal. 792.

PCI, 2008, *Connections Manual MNL-138-08—For Precast and Prestressed Concrete Construction*, Precast/Prestressed Concrete Institute, hal. 449.

PCI Committee on Connection Detail, 1995, addendum to “Design and Typical Details of Connections for Precast/Prestressed Concrete,” *PCI Journal*, Sept.-Oct., hal. 46-57.

PCI Committee on Connection Detail, 1998, “Standard Precast Connections-PCI Committee on Connection Details,” *PCI Journal*, V. 43, No. 3, July-Aug., hal. 42-58.

Priestley, M. J. N.; Sritharan, S.; Conley, J. R.; dan Pampanin, S., 1999, “Preliminary Results and Conclusions from the PRESSS Five-Story Precast Concrete Test Building,” *PCI Journal*, V. 44, No. 6, Nov.-Dec., hal. 42-67.

Rodriguez, M. E., dan Rodriguez, A., 2006, “Welding of Rebars in Reinforced Concrete Structures in Seismic Zones of Mexico Must be Avoided,” *Revista de Ingenieria Sismica, Sociedad Mexicana de Ingenieria Sismica*, V. 75, hal. 69-95.

Schoettler, M. J.; Belleri, A.; Zhang, D.; Restrepo, J. L.; dan Fleischman, R. B., 2008, “Preliminary Results of the Shake-Table Testing for the Development of a Diaphragm Seismic Design Methodology,” *PCI Journal*, Winter, hal. 100-124.

Soudki, K.; Rizkalla, S.; dan LeBlanc, B., 1995, “Horizontal Connections for Precast Concrete Shear Walls Subjected to Cyclic Deformations—Part I; Mild Steel Connections,” *PCI Journal*, V. 40, No. 3, hal. 78-96.

Stanton, J. F.; Anderson, R. G.; Dolan, C. W.; dan McCleary, D. E., 1986, “Moment Resistant Connections and Simple Connections: A Summary of PCISFRAD Projects 1 and 4,” *PCI Journal*, V. 32, No. 2, Mar.-Apr., hal. 62-74.

## Informasi pendukung terkait perumus standar

### [1] Komite Teknis perumus SNI

Komite Teknis 91-06 Pekerjaan Teknik Sipil Dan Bangunan Gedung.

### [2] Susunan keanggotaan Komite Teknis perumus SNI

Ketua : Ir. Ridwan Marpaung, MT  
 Wakil Ketua : Ferri Eka Putra, ST, MDM  
 Sekretaris : Rudi Setiadji Agustiningtyas, ST, M.Sc  
 Anggota : 
 

1. Erwin Lim, ST, MS, Ph.D
2. Prof. Bambang Suryoatmono
3. Prof. Tavio, ST, MT, Ph.D
4. Dr. Ir. Djoni Simanta, M.T.
5. Ir. Grace Indriani Sandika, MT
6. Dr. Ir. Hari Nugraha Nurjaman
7. Ir. Suradjin Sutjipto, MS
8. Dr, Ir. Nathan Madutujuh, M.Sc

Pada saat perumusan SNI, susunan keanggotaan Sub Komite Teknis 91-01-S4 Bahan, Sains, Struktur dan Konstruksi Bangunan. adalah sebagai berikut:

Ketua : Prof. Dr. Ir. Arief Sabaruddin, CES  
 Wakil Ketua : Ir. Lutfi Faizal  
 Sekretaris : Dany Cahyadi, S.T., M.T.  
 Anggota : 
 

1. Ir. RG Eko Djuli Sasongko, M.M.
2. Prof. Dr. Ir. Suprpto, M.Sc., FPE., IPM.
3. Dr. Ir. Johannes Adhijoso Tjondro, M.Eng
4. Ir. Asriwiyanti Desiani, M.T.
5. Ir. Felisia Simarmata
6. Ir. Suradjin Sutjipto, MS
7. Dr. Ir. Hari Nugraha Nurjaman
8. Prof. Bambang Suryoatmono, Ph.D

### [3] Konseptor Penyusun SNI

NO.	NAMA	INSTANSI
1	Ir. Lutfi Faizal	Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Kementerian PUPR
2	Prof. Ir. Binsar Hariandja, M.Eng, Ph.D	Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung (ITB)
3	Dr. Ir. Hari Nugraha Nurjaman, MT	Ikatan Ahli Pracetak dan Prategang Indonesia (IAPPI)
4	Ir. Prijasambada, MM	Universitas Persada Indonesia YAI
5	Ferri Eka Putra, ST, MDM	Balai Litbang Bahan dan Struktur Bangunan, Puslitbang Perumahan & Permukiman
6	Ir. Sutadji Yuwasdiki, Dipl.E.Eng	Balai Litbang Bahan dan Struktur Bangunan, Puslitbang Perumahan & Permukiman
7	Moh.Rusli, ST, MDM	Balai Litbang Bahan dan Struktur Bangunan, Puslitbang Perumahan & Permukiman
8	Ir. Suwito, Ph.D	Universitas Agung Podomoro
9	Ahmad Nur Kholis, S.Kom	Ikatan Ahli Pracetak dan Prategang Indonesia (IAPPI)

NO.	NAMA	INSTANSI
10	Christian Alexander Tjiptohardojo, ST	Ikatan Ahli Pracetak dan Prategang Indonesia (IAPPI)
11	Irana Zahirah, ST	PT. Concedo Efigeas Idea
12	Martinus Nifotufu Fau,ST	PT. Concedo Efigeas Idea

**[4] Sekretariat pengelola Komite Teknis/Subkomite Teknis perumus SNI**

Direktorat Bina Teknik Permukiman dan Perumahan, Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.