

# INFRASTRUKTUR

## ANALISIS TEKNIS PEKERJAAN BALOK-PLAT LANTAI BANGUNAN PASCASARJANA UNTAD DENGAN METODE COMBIDEC-PRESTRESS

### (Technical Analysis Beam and Slab Work of Postgraduate Tadulako University Building Using Combidec-Prestress Methods)

I Ketut Sulendra

Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako dan Peneliti pada PP-BMBA dan P4K -Jalan Soekarno Hatta Km. 8 Palu 94118, Email: ketutsulendra7273@yahoo.com

Burhan Tatong

Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako-Jalan Soekarno Hatta Km. 8 Palu 94118

#### ABSTRACT

*Application of un-bonded post-tensioned slab system in Palu City not general, this system will be effective if applied to typical building and 7-12 m span slab structures. The Postgraduate Tadulako University building was built in 2009 is the first building in Palu City was built with this system. The project will be fast, because the process were cycled, the scaffolding under the icon steel can remove after 7 days, not 28 days commonly. The cyclic process is install formwork, install icon steel, mono strand tendon and support bar, install wire mesh, pouring, curing, stressing and remove formwork. The quality building will be very good, because the materials were used are high quality and the specialist workers not too much. The local worker can be learned this technology from this project. Many jobs like installing icon steel, mono strands tendon, support bar, wire mesh and wedges not needed specialist workers. Only stressing mono strands tendon stage needed a few specialist workers. Maintenance of elements structure is not difficult and expensive because the concrete is not crack and mono strands tendon is guard by polyethelene duck. The slab with post-tensioned un-bonded with combinations icon steel system is strength, lightweight and rigid, the maintenance cost are not expensive, because the concrete structure will not crack and oxidation process. If the material can be arrived on time, the project will be significantly fast then conventional concrete system.*

*Keywords : beam, slab and combidec process*

#### ABSTRAK

Penerapan sistem pelat lantai beton prategang tanpa lekatan masih jarang digunakan di Kota Palu. Sistem ini akan efektif jika digunakan pada bangunan tipikal dan pelat lantai bentang panjang antara 7-12 m. Gedung Pascasarjana Untad yang dibangun tahun 2009 merupakan contoh pertama penerapannya di daerah ini. Metode ini merupakan salah satu metode untuk mempercepat pekerjaan, karena prosesnya berulang, perancah bisa dilepas segera setelah dilakukan pekerjaan stressing pada umur beton 7 hari sehingga tidak perlu menunggu sampai beton berumur 28 hari. Kualitas bangunan yang dihasilkan juga memiliki kualitas yang tinggi, karena bahan-bahan yang digunakan memiliki mutu yang tinggi dari segi homogenitasnya serta tenaga pemasangan icon steel dan post-tensioned strand tidak membutuhkan tenaga ahli yang banyak. Sehingga alih teknologi dari pekerja ahli ke pekerja lokal dapat terjadi. Pekerjaan pemasangan icon steel, strand, support bar, wiremesh dan perlengkapannya tidak memerlukan keahlian khusus. Hanya pekerjaan penarikan strand saja memerlukan keahlian khusus. Perawatan elemen struktur juga lebih murah karena struktur beton yang dihasilkan tidak mengalami retak-retak sehingga proses karat tidak terjadi pada tulangan, apalagi strand sebagai pengganti tulangan sudah dilindungi dalam selubung polyethelene Hasil yang dicapai dari penerapan system pelat lantai prategang tanpa lekatan yaitu sangat memuaskan, struktur pelat yang dihasilkan sangat kuat, ringan dan mudah dalam pemeliharanya. Bahaya karat akibat proses retakan dan oksidasi tidak terjadi. Jikalau ditunjang oleh pengadaan material tepat waktu, pekerjaan bisa lebih cepat secara signifikan dibandingkan pekerjaan system beton konvensional.

Kata Kunci : balok, plat dan combidec process

#### PENDAHULUAN

Pelaksanaan post-tension un-bonded slab pada Gedung Pascasarjana Untad, merupakan aplikasi prestress pada pelat lantai gedung

bertingkat. Pemakaian metode post-tension merupakan solusi untuk bentang panjang dan tinggi antar lantai yang efektif (tinggi antar lantai bisa lebih pendek karena tinggi balok bisa diperkecil).

Sistem prestress pelat beton bertulang umumnya diterapkan pada bentang 7 m sampai 12 m

Dari aspek pelaksanaan akan menunjang kemudahan dan kecepatan pelaksanaan yang berulang dari satu lantai ke lantai berikutnya dengan pemakaian perancah yang optimum, jika dikombinasikan pemakaian *combideck/icon steel*, jarak antar perancah pipa besi (*scaffolding*) bisa sampai 2,4 m.

Pemakaian system post-tension un-bonded slab (system pelat beton pasca tarik tanpa lekatan) terdiri dari individual strand yang diselubungi oleh pipa polyethelene yang sekaligus proteksi terhadap karat. Dengan metode *un-bonded* (tanpa lekatan) berfungsi mencegah adanya lekatan antara strand dengan beton di sekelilingnya. Strand yang sudah dibungkus selanjutnya disebut tendon *monostrand*.

Beton prategang adalah beton yang mengalami tegangan internal dengan besar dengan distribusi sedemikian rupa sehingga dapat mengimbangi tegangan yang terjadi akibat beban eksternal sampai batas tertentu.

Beberapa keuntungan penggunaan struktur beton prategang, antara lain:

- Balok yang lebih ringan, langsing dan kaku.
- Retak kecil dapat mencegah terjadinya korosi pada baja
- Lintasan tendon bisa diatur untuk menahan gaya lintang.
- Penghematan maksimum dapat dicapai pada struktur bentang panjang
- Dapat digunakan untuk struktur pracetak yang dapat memberikan jaminan kualitas yang lebih baik, kemudahan dan kecepatan dalam pelaksanaan konstruksi serta biaya awal yang rendah.

#### a. Konsep Dasar Prategang

Secara umum ada tiga konsep yang dapat dipakai untuk menjelaskan dan menganalisis sifat-sifat dasar dari beton prategang, yang dapat dijelaskan secara singkat sebagai berikut :

#### Sistem Prategang untuk Mengubah Beton menjadi Bahan yang Elastis

Konsep ini memperlakukan beton sebagai bahan yang elastis dan mungkin merupakan pendapat yang umum dari para insiyur. Ini merupakan buah pemikiran *Eugene Freyssinet* yang memvisualisasikan beton prategang pada dasarnya adalah beton yang ditransformasikan dari bahan yang getas menjadi bahan yang elastis dengan memberi tekanan (desakan) terlebih dahulu (pratekan) pada bahan tersebut.

#### Sistem Prategang untuk Kombinasi Baja Mutu-Tinggi dengan Beton

Konsep ini mempertimbangkan beton prategang sebagai kombinasi dari baja dan beton, seperti pada beton bertulang. Dimana baja menahan tarikan dan beton menahan tekanan, dengan demikian kedua bahan membentuk kopel penahan untuk melawan momen eksternal.

#### Sistem Prategang Untuk mencapai Keseimbangan Beban

Konsep ini terutama menggunakan prategang sebagai suatu usaha untuk membuat seimbang gaya-gaya pada sebuah elemen struktur.

#### b. Material Beton Prategang Beton

Beton yang digunakan dalam beton prategang yang diisyaratkan beton normal dan bermutu cukup tinggi (kuat tekan  $\geq 30$  MPa), (*workability*) tinggi, dapat mencapai kekuatan tertentu dalam waktu singkat dan kehilangan prategang (loss of prestressed) kecil.

Tegangan ijin beton untuk komponen struktur lentur pada tahap beban kerja adalah sebagai berikut (SK SNI T-15,1991-03)

- Sesaat sesudah pemindahan gaya prategang (*initial transfer*).
- Pada kondisi beban kerja/beban pelayanan (*service*).

#### Baja bermutu tinggi

Pada dasarnya terdapat 2 jenis baja yang digunakan dalam struktur beton prategang yaitu baja bermutu tinggi yang disebut dengan tulangan aktif yang mengalami gaya prategang dan baja non-prategang sebagai tulangan pasif yang terbuat dari mild steels dan cold-worked steels. Macam-macam baja prategang yang digunakan adalah:

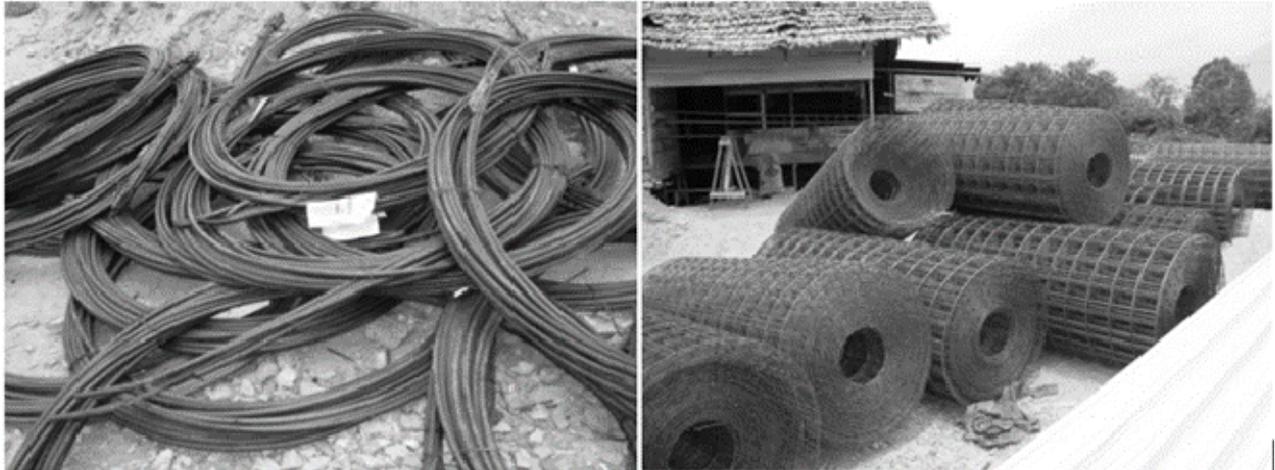
- Wire : kawat baja pejal dalam gulungan
- Bar : kawat baja pejal dalam lonjoran.  
Batang baja (*Bar*) : diameter 20 mm
- Strand : sekelompok kawat digabung dan dipintal pada arah longitudinal.

Strand yang digunakan pada pekerjaan ini adalah tipe DWG (Diwidag Sistem Indonesia), dengan *properties* seperti pada Tabel 1.

Beban maksimum adalah 183,7 kN. Beban tarik pada saat jacking (penarikan *monostrand*) adalah 146,8 kN dan beban tarik pada saat transfer (sesaat setelah penarikan) adalah 135,7 kN serta gaya tarik pada saat anchorage (pengangkuran) adalah 128,6 kN dan beban tarik efektif adalah 119,2 kN.

**Tabel 1.** Karakteristik baja prategang

Strand Size		Ultimate Stress		Yield Stress		Cross Section Area		Ultimate Strength		Prestressing Force*								Nominal Weight	
in	mm	ksi	mPa	ksi	mPa	in <sup>2</sup>	mm <sup>2</sup>	kips	kN	Jacking		Transfer		Anchorage		Effective**		lbs/ft	kg/m
										kips	kN	kips	kN	kips	kN	kips	kN		
0.5	12.7	270	1861	243	1675	0.153	98.71	41.3	183.7	33.0	146.8	30.5	135.7	28.9	128.6	26.8	119.2	0.52	0.775



**Gambar 1.** Tendon *monostrand* dan *wiremesh*

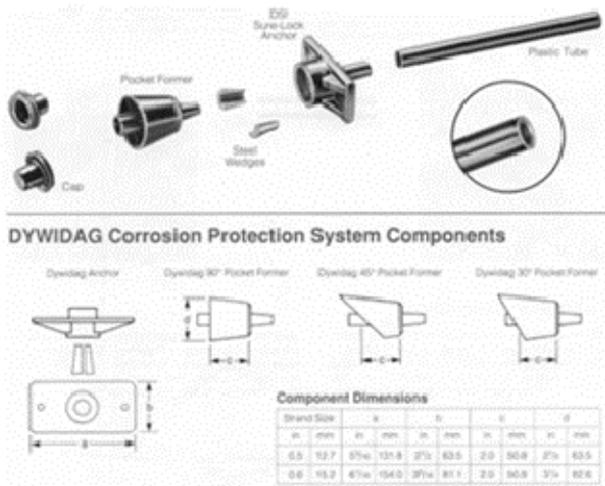
**Selongsong (*duct*) untuk sistem pascatarik**

Menurut SK SNI T-15-1991-03, selongsong untuk tendon yang di-grout atau tanpa lekatan harus kedap air dan tidak reaktif dengan beton, tendon atau bahan pengisinya. Apabila digunakan kawat majemuk, kawat untai atau batang tendon yang di-grout, selongsong harus mempunyai diameter paling sedikit 6 mm lebih besar dari diameter tendon dan mempunyai luas penampang dalam paling sedikit dua kali luas dari tendon.

yang terbuat dari logam baja yang digalvanisasi, selubung plastik berulir atau selubung karet. Sedangkan apabila tendon harus tanpa lekatan, biasanya dipakai plastik atau kertas tebal sebagai pembungkus dan tendon diberi minyak (*grease*) untuk mempermudah penarikan dan mencegah terjadinya karat. Tipe angkur yang digunakan seperti pada Gambar 2

**Bahan untuk grouting**

Bahan pengisi selubung tendon disuntikkan ke selongsong berfungsi antara lain untuk merekatkan tendon ke beton setelah penarikan (untuk keadaan pascatarik) dan untuk mencegah baja berkarat. Bahan untuk grouting biasanya terdiri dari semen portland dan air, sedangkan untuk selubung yang besar sering ditambah pasir



**Gambar 2.** Tipe selongsong dan angkur

Ada dua macam selubung (*conduit/duct*), yaitu sistem prategang dengan lekatan (*bonded*) dan yang untuk tanpa lekatan (*unbonded*). Jika tendon harus diberi lekatan, umumnya digunakan selubung

**c. Sistem Beton Prategang**

Ada beberapa macam sistem beton prategang ditinjau dari berbagai segi, yaitu :

**Ditinjau dari keadaan distribusi tegangan pada beton :**

- *Full prestressing*  
Suatu sistem yang dibuat sedemikian rupa, sehingga tegangan yang terjadi adalah tekanan pada seluruh tampang.
- *Partial prestressing*

Dalam memikul beban, kabel baja prategang bekerjasama dengan tulangan pasif dengan tujuan agar struktur berperilaku lebih daktail.

#### Ditinjau dari cara penarikan:

- *Pratarik (pre-tensioning)*  
Pada metode penegangan pratarik, kabel/tendon prategang diberi gaya dan ditarik lebih dahulu sebelum dilakukan pengecoran beton dalam perangkat cetakan yang telah dipersiapkan. Setelah beton cukup keras, penjangkaran dilepas dan terjadi pelimpahan gaya tarik baja menjadi tegangan tekan pada beton.
- *Pascatarik (post-tensioning)*  
Pada metode ini beton terlebih dahulu dicetak dengan disiapkan lubang atau alur untuk penempatan tendon. Apabila beton sudah mengeras dan cukup kuat, kemudian tendon ditarik, ujung-ujungnya diangkurkan. Selanjutnya lubang di-grouting.

#### Ditinjau dari posisi penempatan kabel

- *Internal prestressing*, kabel prategang diletakkan didalam tampang beton.
- *External prestressing*, kabel prategang diletakkan diluar tampang beton.

#### Ditinjau dari hubungan lekatan kabel dengan beton

- *Bonded tendon*  
Setelah penarikan kabel, dilakukan grouting atau injeksi pasta semen ke dalam selubung kabel.
- *Unbonded tendon*  
Kabel prategang hanya dibungkus agar tidak terjadi lekatan dengan beton.

#### Ditinjau dari bentuk geometri lintasan kabel

- Lengkung, biasanya digunakan pada sistem pascatarik (*post-tensioning*).
- Lurus, banyak dijumpai pada sistem pratarik (*pre-tensioning*).
- Patah, dijumpai pada sistem balok pracetak.

#### d. Tahap-tahap Pembebanan Beton Prategang

Salah satu pertimbangan istimewa pada beton prategang adalah banyaknya tahapan pembebanan dimana sebuah komponen struktur dibebani.

##### Tahap Awal

Batang atau struktur diberi gaya prategang tetapi tidak dibebani oleh beban eksternal. Tahap ini selanjutnya dapat dibagi dalam beberapa tahap, beberapa diantaranya tidak penting oleh karenanya dapat diabaikan pada desain-desain tertentu.

- Sebelum diberi Gaya Prategang

Sebelum beton diberi gaya prategang, beton cukup lemah dalam memikul beban; oleh karena itu harus dicegah agar tidak terjadi kehancuran pada perletakan.

- Pada saat diberi Gaya Prategang  
Merupakan percobaan yang kritis dari kekuatan tendon. Seringkali tegangan maksimum yang mungkin dialami oleh tendon terjadi pada saat penarikan.
- Pada saat Peralihan Gaya Prategang  
Untuk komponen-komponen pratarik, peralihan gaya prategang dilakukan sekaligus dan dalam waktu yang singkat. Untuk komponen-komponen struktur pasca-tarik, peralihan seringkali secara bertahap, gaya prategang pada tendon-tendon dialihkan ke beton satu per satu. Pada kedua keadaan tersebut tidak ada gaya eksternal pada komponen struktur kecuali berat sendirinya.
- *Desentring* dan Penarikan Kembali  
Jika sebuah komponen struktur dicor dan diberi gaya prategang di tempat, maka pada umumnya komponen tersebut akan memikul sendiri selama atau sesudah diberi gaya prategang. Jadi bekisting dapat dibongkar setelah diberi gaya prategang, dan tidak ada pembebanan baru terjadi pada struktur. Beberapa struktur beton mengalami penarikan ulang; ini adalah sistem prategang dalam dua tahap atau lebih. Jadi tegangan-tegangan pada berbagai macam tahap penarikan harus terjadi.

##### Tahap Antara (*intermediate*)

Ini adalah tahapan selama pengangkutan dan penempatan. Hal ini terjadi hanya pada komponen-komponen struktur pracetak bila diangkut ke lapangan dan dipasang pada tempatnya. Hal ini penting sekali untuk menjamin bahwa komponen-komponen struktur tersebut telah ditumpu dan diangkat dengan semestinya.

##### Tahap Akhir

Ini adalah bila beban kerja yang sesungguhnya bekerja pada struktur. Seperti konstruksi-konstruksi lain, pendesain harus mempertimbangkan berbagai macam kombinasi beban hidup pada setiap bagian yang berbeda dari struktur akibat beban-beban lateral seperti angin dan gaya-gaya gempa, dan dengan beban-beban regangan seperti yang dihasilkan oleh penurunan pada tumpuan dan pengaruh temperatur. Untuk struktur beton prategang, terutama untuk jenis-jenis yang tidak umum, seringkali perlu untuk menyelidiki retak-retak dan beban batasnya,

perilakunya akibat beban yang bekerja tetap (*sustained load*) selain akibat beban kerja.

- **Beban yang Bekerja Tetap (*Sustained Load*)**  
Lendutan ke atas atau ke bawah dari komponen struktur prategang akibat beban tetap yang sesungguhnya (sering hanya terdiri dari beban mati) seringkali merupakan faktor penentu dalam desain, karena pengaruh dalam rangkai akibat lentur akan memperbesar nilainya. Sehingga seringkali dikehendaki untuk membatasi besar lendutan akibat beban tetap.
- **Beban Kerja**  
Untuk mendesain akibat beban kerja haruslah ada pemeriksaan terhadap tegangan dan regangan yang berlebihan. Tidak perlu ada suatu jaminan atas kekuatan yang cukup untuk memikul beban yang berlebihan.
- **Beban Retak**  
Retak pada komponen beton prategang berarti perubahan yang mendadak pada tegangan retak dan tegangan geser. Hal ini seringkali merupakan ukuran bagi kekuatan lelah.
- **Beban Batas**  
Struktur yang didesain berdasarkan tegangan kerja mungkin tidak terlalu mempunyai angka keamanan yang cukup untuk kelebihan beban. Karena disyaratkan bahwa sebuah struktur memiliki kapasitas minimum tertentu, maka perlu ditentukan kekuatan batasnya (*ultimate strength*). Secara umum kekuatan batas dari sebuah struktur didefinisikan sebagai beban maksimum yang dapat dipikul secara hancur

**e. Combideck Icon Steel**

*Combideck* adalah pelat metal baja berprofil khusus, jika dikombinasikan dengan beton akan membentuk pelat lantai komposit yang sempurna. Selain itu *combideck* adalah pelat pengganti perancah bagi pelaksanaan pengecoran di tempat (*insitu*). *Combideck* mempunyai karakteristik material teknis yang unik dan bentuk embossment yang lebih dalam, yang mana berfungsi sebagai penahan geser dan menambah daya kapasitas dari profil tersebut. Salah satu fungsi *combideck* adalah sebagai bekisting yang bersifat permanen. Sehingga *combideck* akan menghasilkan lantai kerja yang lebih aman dan lebih baik bagi pekerja dan dapat menahan beban beton basah dan material-material lain.

Jarak penyangga sementara NC-900 harus disangga di titik antara 2 balok utama disaat pengecoran. Apabila plafond gantung diperlukan, maka dapat dipasang secara langsung di bawah

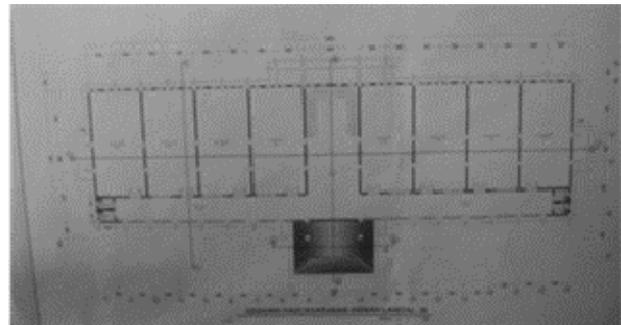
dasar lembah gelombang NC-900, bentang penyangga lebih kecil dianjurkan digunakan.

- Spesifikasi material  
Ketinggian profil : 45 mm  
Lebar efektif : 900 mm
- Ketebalan nominal: 0.75 mm; 0.85 mm; 1.00 mm; 1.20 mm
- Berat satuan : 8.96 kg/m<sup>2</sup>

**METODE PENELITIAN**

**a. Tinjauan Struktur Gedung Pascasarjana UNTAD**

Struktur Bangunan Gedung Pascasarjana Tahap I, adalah bangunan 3 lantai dengan bentuk yang tipikal (bentuk denah lantai 1 sampai lantai 3 mirip), terdiri dari 3 massa bangunan berukuran denah 15 m x 18 m, sehingga panjang total bangunan adalah 3 x 18 m = 54 m, setiap massa bangunan dipisahkan oleh dilitasi, sehingga untuk 3 massa bangunan terdapat 2 dilitasi. Fungsi dilitasi adalah untuk membagi massa bangunan yang besar menjadi bagian-bagian yang lebih kecil, sehingga jika terjadi gempa beban lateral gempa yang merupakan fungsi dari massa bangunan juga lebih kecil.



**Gambar 4.** Denah tipikal bangunan Pascasarjana UNTAD

**b. Flowchart Prosedur Pekerjaan *Post-tension Monostrand Slab***

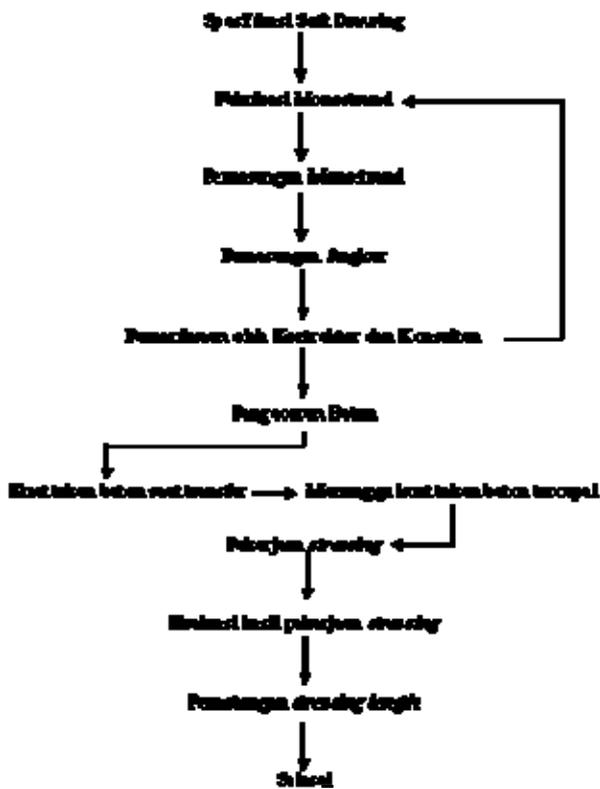
Prosedur pelaksanaan **Pekerjaan *Post-tension Monostrand Slab*** adalah seperti pada Gambar 5.

**c. Siklus Pekerjaan**

Siklus pekerjaan Gedung Pascasarjana Untad adalah sebagai berikut :

- Pekerjaan kolom
- Pekerjaan perancah/penyangga system balok-pelat lantai
- Pekerjaan icon steel, monostrand tendon dan wire mesh
- Pekerjaan pengecoran

- Pekerjaan perawatan beton
- Pekerjaan stressing
- Pekerjaan pemotongan stressing length dan menutup lubang-lubang angkur.
- Pembongkaran perancah/penyangga.



Gambar 5. Prosedur pelaksanaan Pekerjaan Post-tension Monostrand Slab

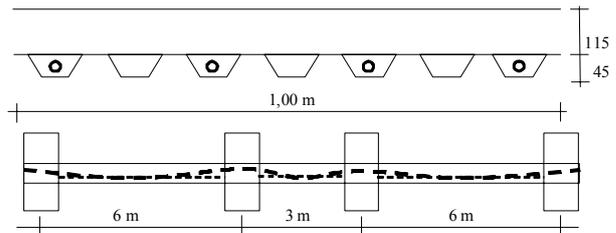
Sistem *substructure* (bangunan bawah) terdiri dari fondasi telapak setempat (*foot plat*) dan balok sloof (*tie beam*) berfungsi untuk memperkaku dan mempersatukan seluruh bagian bawah kolom dalam mendistribusikan beban dari *superstructure* (bangunan atas) ke bagian fondasi.

Kolom-kolom bangunan ini adalah kolom bulat dengan diameter 500 mm, dengan jarak kolom arah memanjang adalah 3 m, sedangkan arah melintang bangunan berjarak 6 m, 3 m dan 6 m. Struktur balok lantai dengan dimensi 300/500, karena menggunakan system post-tension monostrand slab (sistem pelat beton strand tunggal pasca tarik), jumlah balok arah melintang bangunan bisa dikurangi signifikan, karena monostrand juga berfungsi sebagai tulangan balok.

Perencanaan awal bangunan ini menggunakan system beton konvensional, dengan mempertimbangkan waktu pelaksanaan yang pendek sekitar 5 bulan, diubah pelaksanaannya

menggunakan system beton prestress. Perubahan ini bisa menghemat waktu dan volume beton, karena panel pelat 3 m x 3 m dan 3 m x 6 m diubah menjadi 12 m x 18 m. Sesungguhnya kolom-kolom dengan jarak tipikal 3 m juga bisa diubah menjadi 6 m, namun dalam kasus ini kolom lantai 1 sudah dikerjakan, barulah perubahan system pekerjaan beton dilakukan, sehingga perubahan itu tidak dilaksanakan.

Adapun bentuk penampang pelat arah melintang tiap 1 m pias adalah sebagai berikut :



Gambar 6. Penampang 1 m pias pelat dan potongan melintang portal

### Analisis Penampang Pelat akibat Gaya Prategang

Data-data :

- Tebal bruto pelat lantai,  $h = 160 \text{ mm}$
- Lebar pelat,  $b = 1000 \text{ mm} = 1 \text{ m}$
- Diameter strand,  $\varnothing_p = 12,7 \text{ mm}$
- Tegangan leleh strand,  $f_{yp} = 0,85 \times 1860 = 1581 \text{ MPa}$
- Kuat tekan beton,  $f_{cs} = \text{Mpa}$

#### a. Beban mati, $q_{DL}$

- Berat sendiri pelat =  $(0,115 \text{ m} + 0,045 \text{ m}/2) \times 1 \text{ m} \times 24 \text{ kN/m}^3 = 3,3 \text{ kN/m}$
- Icon steel =  $0,1 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m} = 0,1 \text{ kN/m}$
- Berat tegel =  $0,21 \text{ kN/m}^2 \times 5 \times 1 \text{ m} = 1,05 \text{ kN/m}$
- Berat *plafond* =  $0,02 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m} = 0,2 \text{ kN/m}$

#### b. Beban mati, $q_{DL}$

- Beban hidup,  $q_{LL} = 2,5 \text{ kN/m}^2 \times 1 \text{ m} = 2,5 \text{ kN/m}$

#### c. Beban terfaktor, $q_U$

$$\begin{aligned}
 &= 1,2 q_{DL} + 1,6 q_{LL} \\
 &= 1,2 (3,3 + 0,1 + 1,05 + 0,2) + 1,6 (2,5) \\
 &= 9,58 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

d. Momen terfaktor,  $M_U$

$$= 1/10 \times q_u \times L^2$$

$$= 1/10 \times 9,58 \times 6^2$$

$$= 34,488 \text{ kN.m}$$

**Kontrol tegangan ijin beton pada kondisi layan**

Data-data yang dibutuhkan

- Gaya prategang = 135.700 N x 4 = 542.800 N
- Luas penampang =  $115 \times 1000 + [(45 + 90)/2 \times 45 \times 6]$   
= 133.225 mm<sup>2</sup>
- Momen layan,  $M_s$  = 34.488.000 N.mm
- Titik berat atas,  $y_t$  =  $A_1y_1 + A_2y_2 / A_1 + A_2$   
=  $(115 \times 1000) (0,5 \times 115) + [(45 + 90)/2 \times 45 \times 6] (115 + 0,5 \times 45) / 115 \times 1000 + [(45 + 90)/2 \times 45 \times 6]$   
= 9121437,5/133.225  
= 68,466 mm
- Titik berat bawah,  $y_b$  = 160 - 68,466 = 91,534 mm
- Eksentrisitas,  $e$  =  $y_b - 20 = 91,534 - 20 = 71,534$  mm
- Inersia penampang,  $I$  =  $1/12 \times b \times h^3$   
=  $1/12 \times 1000 \times 137,5^3$   
= 216.634.000 mm<sup>4</sup>

**Kontrol Tegangan-tegangan**

- Serat atas

$$\frac{-Ps}{At} + \frac{Ps.e.y_t}{It} - \frac{Ms.y_t}{It} \leq 0,45.f_{cs}$$

$$\frac{-542.800}{133.225} + \frac{542.800 \times 71,534 \times 68,466}{216.634.000} - \frac{34.488.000 \times 68,466}{216.634.000} \leq -0,45 \times 30$$

$$-4,074 - 16,407 + 14,577 \leq -15,15$$

$$-15,904 \leq -15,15 \text{ Mpa}$$

$|-2,705| \text{ MPa} \leq |-13,500| \text{ Mpa (OK)}$

- Serat bawah

$$\frac{-Ps}{At} - \frac{Ps.e.y_b}{It} + \frac{Ms.y_b}{It} \leq 0,50.\sqrt{f_{cs}}$$

$$\frac{-542.800}{133.225} - \frac{542.800 \times 71,534 \times 91,534}{216.634.000} + \frac{34.488.000 \times 91,534}{216.634.000} \leq +0,50.\sqrt{30}$$

$$-4,074 - 16,407 + 14,577 \leq +2,739$$

$$-5,904 \text{ MPa} \leq +2,739 \text{ Mpa(OK)}$$

**d. Pelaksanaan**

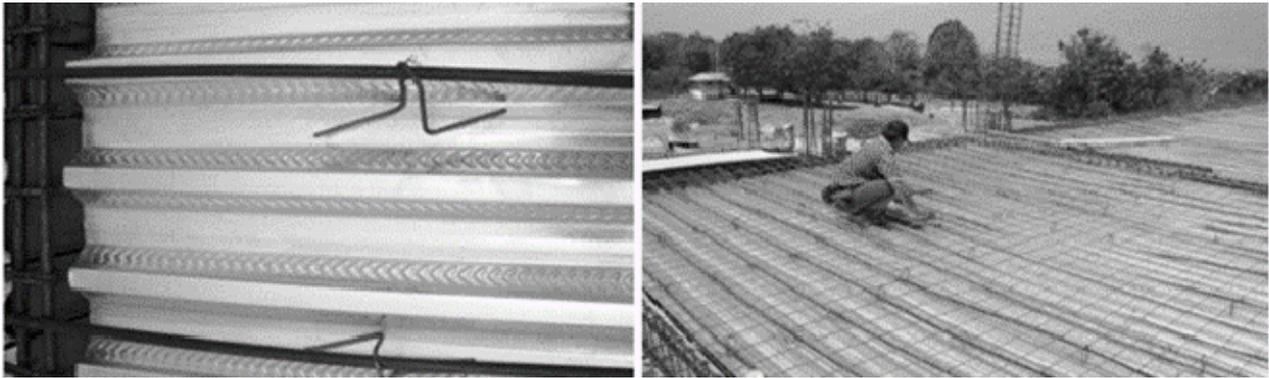
Secara garis besar proses pekerjaan post-tension monostrand slab PT DIWIDAG SYSTEM INDONESIA adalah fabrikasi, instalasi dan stressing.

Tahap pertama adalah fabrikasi monostrand, seluruh proses fabrikasi dilaksanakan di pabrik. Monostrand di kirim ke lapangan dalam bentuk koil dengan berat rata-rata 2.9 ton. Monostrand lalu dipotong berdasarkan panjang layout kabel ditambah stressing length sepanjang 0.5 m. Untuk proses pemotongan dibutuhkan area sepanjang 15 meter berdasarkan monostrand tendon terpanjang, yaitu arah melintang bangunan

Tahap kedua adalah pekerjaan instalasi monostrand. Pekerjaan ini dimulai setelah formwork lantai telah selesai, pada pekerjaan bangunan ini, digunakan combideck/icon steel yang berfungsi sebagai bekisting sekaligus tulangan pelat lantai. Bentuk icon steel yang unik dimana setiap alurnya berjarak 15 cm, sedangkan jarak penempatan monostrand adalah setiap 30 cm, sangat memudahkan dalam pekerjaan instalasi monostrand ini. Wiremesh dihampar setelah pemasangan monostrand, wiremesh berfungsi sebagai tulangan susut dan tulangan tumpuan.



**Gambar 7.** Pekerjaan perancah untuk dudukan *icon steel* dan pemasangan *wiremesh*



**Gambar 8.** Pemasangan *supportbar strand* dan intalasi monostrand



**Gambar 9.** Posisi angkur, pemasangan strand dan pekerjaan pengecoran

Untuk membentuk layout monostrand tendon (lintasan strand), strand ditumpu pada supportbar yang terbuat dari besi diameter 8 mm dan dijaga posisinya sampai pengecoran. Posisi dan ketinggian support bar ditentukan berdasarkan profil ordinat kabel dalam shop drawing dan menggunakan acuan bottom formwork (permukaan icon steel)

Proses terakhir dari pekerjaan instalasi monostrand tendon adalah pemasangan angkur. Setelah seluruh komponen monostrand tendon terpasang dilakukan pemeriksaan bersama kontraktor dan konsultan serta dilanjutkan pekerjaan pengecoran.

#### e. Pekerjaan Stressing

Pekerjaan stressing dilakukan setelah kuat tekan beton mencapai kuat tekan minimum yang disyaratkan oleh perencana yaitu 30 MPa setara dengan K-350 (yaitu  $(30/0,83) \times 9,806 = 354$

kg/cm<sup>2</sup>, 0,83 adalah konversi dari bentuk silinder D150 dan tinggi 300 mm ke bentuk kubus 150 cm x 150 cm, dengan  $1 \text{ kg} = 9,806 \text{ N}$ ).

Presedur selanjutnya adalah pengecekan elongation (perpanjangan) strand dan gaya actual dengan perhitungkan teoritis dan setelah disetujui stressing length dapat dipotong dan lubang-lubang angkur dapat ditutup dengan pasta semen.

Berdasarkan ketentuan dari perencana, maka stressing bisa dilaksanakan setelah uji kuat tekan mencapai kuat tekan 30 MPa (setara dengan K- 350) dari hasil uji kuat tekan kubus, kuat tekan tersebut telah tercapai pada hari ke 7 (tujuh) setelah pengecoran. Kecepatan pekerjaan stressing sangat dipengaruhi oleh keahlian para pekerja, medan/ruang untuk melakukan pekerjaan stressing dan jumlah alat yang tersedia.



**Gambar 10.** Pekerjaan stressing (kiri), pengukuran *elongation strand* (tengah) dan pembacaan beban tarik pada manometer (kanan)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pekerjaan pelat lantai beton bertulang pada Bangunan Gedung Pascasarjana Untad dengan menggunakan metode post-tensioned un-bonded secara teknis dari segi waktu lebih cepat dari pemasangan dan pembongkaran perancahnya. Icon steel yang berupa lembaran dan wire mesh yang berupa gulungan lebih cepat dipasang dibandingkan bekisting dari papan atau tulangan konvensional yang berupa batangan. Sehingga secara keseluruhan dapat mempercepat pekerjaan. Secara kualitas bangunan dihasilkan mutu struktur bangunan lebih baik dari system beton konvensional, karena retak-retak pada struktur pelat lantai bisa dikurangi dan kemungkinan karat pada tulangan pelat beton tidak terjadi, demikian pula combideck icon steel terbuat dari bahan baja anti karat yang kuat dan ringan. Strand sebagai pengganti tulangan juga dilindungi dalam selubung yang terbuat dari pipa polyethelene.

Secara teknis berdasarkan analisis penampang, struktur pelat dengan metode post-tension un-bonded sangat aman. Demikian pula untuk pekerjaan *finishing* dan *duckting* sangat dimudahkan, karena langsung dipasang pada alur icon steel dan penggantung plafond langsung dikaitkan pada icon steel.

Biaya perawatan dan pemeliharaan struktur juga lebih murah, karena kualitas bahan bangunan yang digunakan semuanya adalah mutu tinggi yang mendapat sertifikasi dari SNI dan alih teknologi dari Swedia salah satu Negara maju di Skandinavia

## KESIMPULAN

- a. Post-tension slab belum umum dilakukan di Kota Palu
- b. Pemilihan post-tension slab pada mulanya bertujuan untuk efisiensi waktu pelaksanaan pekerjaan, namun terkendala proses pengiriman bahan post-tension slab tersebut.
- c. Beberapa keuntungan dari system post-tension slab yang dikombinasikan dengan combideck icon steel adalah eksentrisitas strand yang maksimum, perlindungan terhadap karat, instalasi lebih cepat dan mudah, dan friksi yang lebih kecil dengan system unbonded.
- d. Prosedur pelaksanaan metode post-tension monostrand slam yang dikombinasikan dengan combideck icon steel adalah meliputi fabrikasi, instalasi, strsing dan pemotongan stressing length dan penutupan lubang angkur.
- e. Efisiensi penggunaan perancah karena perancah dapat langsung dibongkar segera setelah pelaksanaan stressing selesai.

## DAFTAR PUSTAKA

- Ganz, Han and Rudokf, 2005, Post-tensioning Building in Seismic Region-Experience and New Trends, VSL International Ltd.
- Harianto Sunidja, 1995, Pelaksanaan Beton prategang pada gedung Tingkat Tinggi
- Michael P. Collins & Denis Mitchell, 1991, Prestressed Concrete Structures.
- Post-tensioning Institute, 2006, Post-tensioning Manual, 6<sup>th</sup> Edition
- VSL International Ltd., 1985, Post-tensioned Slab, VSL Report Series
- VSL International., 1992, Post-tensioning in Building, VSL Report Series 4.1