

JURNAL TEKNIK SIPIL

Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil

Inovasi Tandon Air Beton Pracetak: Karakteristik Teknis dan Kelayakan Ekonomi

Setya Winarno

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang Km 15 Yogyakarta, E-mail: winarno@uii.ac.id

Fitri Nugraheni

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Universitas Islam Indonesia, Jl. Kaliurang Km 15 Yogyakarta, E-mail: fitri.nugraheni@uii.ac.id

Ari Rudatin

Program Studi Ilmu Ekonomi, Fakultas Ekonomi
Universitas Islam Indonesia, Condong Catur Yogyakarta, E-mail: ari_rudatin@uii.ac.id

Abstrak

Saat ini, tandon air beton dengan metode "cor di tempat" masih menggunakan teknologi konvensional dan memakan waktu konstruksi yang lama. Pada penelitian ini dilakukan kebaruan melalui inovasi tandon air beton dengan metode "pracetak" sesuai karakteristik teknis SNI dan harga yang mampu untuk menembus pasar. Tahapan penelitian dimulai dengan investigasi ke pabrik pembuatan tandon air beton dan dilanjutkan dengan pengujian karakteristik material penyusun beton dan panel-panel pracetak dengan beberapa variasi diameter besi tulangan sebagai perkuatan. Kekuatan struktur diuji terhadap kuat desak dan kuat lentur. Penentuan diameter besi tulangan dilakukan dengan optimasi agar tandon air ini aman untuk diletakkan di bawah tanah yang berada di bawah garasi mobil keluarga. Kemudian, studi kelayakan ekonomi dilakukan melalui perhitungan harga pokok produksi, yang kemudian dibandingkan dengan harga pasaran melalui survei. Hasil penelitian menunjukkan bahwa panel pracetak sesuai standar SNI memiliki kuat desak beton rata-rata 25,8 MPa dan kuat lentur terendah 157,23 kg.m pada perkuatan dengan besi anyaman 2,6 mm. Tandon ini aman untuk diletakkan di bawah garasi mobil keluarga dengan faktor aman sebesar 187%. Perhitungan harga tandon air beton pracetak volume 1000 liter di Yogyakarta adalah sebesar Rp 1.300.000,00 yang relatif dapat bersaing dengan tandon air beton konvensional seharga Rp 1.350.000,00 dan tandon air stainless steel sebesar Rp 2.125.000,00.

Kata-kata Kunci: Tandon air, Beton pracetak, Kekuatan struktur, dan Kelayakan ekonomi.

Abstract

Currently, concrete water tank with "cast in situ" method has still been using conventional technology and needed long construction schedule. This novel research innovates concrete water tank with "precast" method which corresponds to Indonesian Standard (SNI) and is able to compete in open market price. The stage of the research begun with an investigation to an existing plant of concrete water tank and testing of characteristic analysis of concrete material and precast panels with variety diameter of wiremess steel as reinforcement. Structural strengths of concrete panels were measured by compression and bending moment tests. The diameter of wiremess steel was decided through optimisation in which concrete water tank is significantly safe if burried beneath a family private garage. Then, an economy feasibility study to measure basic production costs was accomplished and this was compared with the normal price of open market. The research found that concrete panels fulfilled SNI with 25,8 MPa in compression strength test, the lowest bending moment was 157,23 kg.m for panels with 2,6 mm diameter of wiremess steel. This concrete water tank was safe when burried beneath a family private garage with safety factor of 187%. The price of 1000 litre of concrete water tank in Yogyakarta was Rp 1.300.000,00 in which it can compete with conventional concrete water tanks by price of Rp 1.350.000,00 and stainless steel water tanks by price of Rp 2.125.000,00.

Keywords: Water tank, Precast concrete, Structural strength, and Economy feasibility.

1. Pendahuluan

Kebutuhan air bersih adalah salah satu komponen pokok dalam kehidupan. Salah satu sumber air bersih adalah air dari Perusahaan Air Minum (PAM). Di daerah perkotaan, kebanyakan penduduk mengandalkan air PAM karena kualitas air tanah yang sudah tidak baik, meskipun ada kenyataan bahwa pasokan air PAM sering tidak lancar dan hanya mengalir pada jam-jam tertentu saja. Untuk mengantisipasi ketidakpastian pasokan air PAM, maka setiap permukiman atau gedung memerlukan tandon air. Pada saat tandon air kosong, maka air PAM akan mengalir melalui katup otomatis dan tandon air akan terisi dengan air untuk digunakan pada saat air PAM tidak mengalir. Apabila air PAM berhenti dalam periode yang lama, misalnya karena adanya perbaikan jaringan PAM, atau karena musim kemarau sehingga air PAM mati, maka pemilik rumah dapat membeli air bersih untuk ditempatkan pada tandon air yang dimilikinya, sehingga kehidupan rumah tangga tetap dapat berlangsung dengan baik. Dengan demikian, kebutuhan tandon air menjadi sangat penting adanya.

Pada umumnya, tandon air beton dibuat dengan metode "cor di tempat" secara konvensional dan diletakkan di bawah tanah. Tandon di bawah tanah dapat disembunyikan di bawah taman, halaman, *carport*, atau garasi, sehingga tidak mengganggu secara visual. Sehubungan dengan adanya keterbatasan lahan yang ada di daerah perkotaan, penggunaan tandon air yang ditanam di dalam tanah (yang kuat, tidak bocor, dan awet) menjadi alternatif penyelesaian yang cukup menjanjikan. Dalam praktiknya, sering pemilik rumah menggunakan 2 buah tandon air, yaitu tandon di bawah tanah dan tandon di atas tanah. Tandon di bawah tanah dapat dibuat dari material beton yang berat, sedangkan tandon di atas tanah menggunakan material yang lebih ringan, misalnya bahan fiber atau stainless steel.

Seiring dengan perkembangan teknologi, tandon air beton mulai dikembangkan dalam bentuk beton pracetak (Toscass. 2011). Beton dicetak dalam bentuk panel per panel kemudian dirangkai menjadi satu kesatuan di lapangan dengan angkur pengikat antar panelnya. Penggunaan tandon air metode "pracetak" menyebabkan proses konstruksi di lapangan menjadi lebih cepat dibandingkan dengan beton cor di tempat, serta lebih kokoh dan awet dibandingkan dengan tandon berbahan fiber.

Seiring dengan pesatnya pertumbuhan properti di Yogyakarta dan sekitarnya yang mencapai 50% per tahun (Fajriyanto, 2010) dan terbatasnya lahan yang tersedia, kecenderungan terhadap kebutuhan tandon air beton di bawah tanah akan semakin besar. Material lokal yang tersedia cukup melimpah merupakan salah

satu pendukung yang signifikan untuk mengembangkan produk tandon air beton ini. Di sisi lain, tuntutan waktu konstruksi yang semakin ketat menyebabkan penggunaan teknologi beton pracetak semakin banyak digemari. Untuk itu, perlu dikembangkan sebuah kebaruan melalui produk tandon air beton pracetak yang menggunakan material lokal di Yogyakarta, dapat diproduksi massal, dan tidak memerlukan investasi yang mahal, terutama dalam rangka pemberdayaan masyarakat lokal. Inovasi tandon air beton pracetak di Yogyakarta ini merupakan sebuah produk baru dengan mengembangkan teknologi konvensional yang saat ini sering digunakan oleh masyarakat.

Makalah ini menguraikan tentang penelitian eksperimental dan bertujuan untuk melakukan inovasi produk baru berupa tandon air beton pracetak melalui pengkajian karakteristik teknis dan kelayakan ekonomi pada usaha produksi tandon air untuk kepentingan rumah tangga di daerah Desa Ngemplak, Kabupaten Sleman, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang menggunakan air PAM sebagai pasokan air bersih setiap harinya.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pertama-tama dengan melakukan investigasi pada pabrik tandon air yang telah beroperasi di Jakarta guna mendapatkan desain (dan aspek strukturnya). Desain ini meliputi dimensi tandon air, dimensi tulangan besi, proporsi bahan penyusun beton, kekuatan desak dan lentur beton, material injeksi untuk penyambungan antar panel pracetak, dan metode penyambungan antar panelnya. Desain tersebut kemudian diuji coba di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi, Universitas Islam Indonesia. Pasir vulkanis Gunung Merapi di Kabupaten Sleman digunakan sebagai agregat beton karena memiliki karakteristik yang baik untuk material beton dan mudah diperoleh secara lokal (Aboe, 2011). Proporsi dan karakteristik bahan susun beton dianalisis dan kemudian dibuat sampel berupa kubus-kubus beton untuk mengukur kuat desak beton; dengan kuat desak beton minimum adalah K225. Setelah kekuatan beton dapat diketahui dan dicapai, kegiatan selanjutnya adalah membuat sampel panel-panel pracetak menggunakan proporsi campuran yang telah dilakukan di atas. Panel-panel pracetak diuji kekuatan lenturnya untuk mengetahui kekuatan momen maksimum pada berbagai dimensi tulangan. Kekuatan lentur ini kemudian dibandingkan dengan beban nyata di lapangan agar tandon air ini aman untuk ditempatkan di bawah garasi mobil pribadi. Pada akhirnya dapat diketahui dimensi tulangan minimum yang diijinkan. Setelah itu, dua buah tandon air 1000 liter dibuat berdasarkan hasil-hasil kajian teknis di atas untuk diuji ketahanan terhadap kebocoran melalui penggenangan

air selama satu minggu. Komposisi optimum pada material injeksi untuk penyambungan antar panel agar tidak bocor ditentukan melalui beberapa variasi bahan penyusunnya. Tahap akhir dari penelitian ini adalah menghitung harga pokok produksi yang kemudian dibandingkan dengan harga tandon air metode “konvensional” dan tandon air dari bahan fiber, yang hasilnya diformulasikan melalui sebuah focus group discussion dengan para praktisi pembangun perumahan.

3. Tandon Air Beton Pracetak

Kebutuhan rumah yang meningkat (Fajriyanto, 2010) merupakan indikasi bahwa kebutuhan tandon air pun juga meningkat. Tandon air dari beton pracetak merupakan salah satu aplikasi dari teknologi pracetak. Untuk ukuran kecil, pada setiap tandon air terdapat 5 buah panel beton dan 1 panel tutupnya. Panel-panel ini dapat dikonfigurasi sedemikian rupa sehingga dapat cocok untuk berbagai ukuran dan kebutuhan. Kekuatan tandon air bawah tanah dari beton pracetak harus cukup mampu untuk menahan gaya samping tanah, beban gravitasi tanah, dan beban mobil keluarga di atasnya apabila diletakkan di bawah garasi. Seperti pada permasalahan beton pada umumnya, tandon air beton juga termasuk material berat. Karena tandon air beton sifatnya berat dan desain panel-panelnya yang cukup tipis (tebal panel 6 cm), maka penanganan, mobilisasi, dan pemasangan di lokasi memerlukan tindakan yang sangat cermat dan hati-hati.

Ukuran tandon pada umumnya mengikuti ukuran volume air yang dapat ditampungnya, misalnya 1.000 liter, 2000 liter, atau 3.000 liter. Cetakan beton dapat dibuat dari kombinasi pelat besi dan papan kayu 12 mm, sehingga dapat digunakan berkali-kali. Pelat besi terutama dipakai pada bagian sambungan yang cukup detail. Selebihnya, cetakan menggunakan bahan papan kayu. Material beton yang digunakan adalah semen, kerikil, pasir kasar, dan pasir halus sebagai *filler*, yang mudah diperoleh secara lokal. Besi anyaman dipakai untuk perkuatan. Alat-alat yang digunakan dalam pembuatan panel beton pracetak adalah sendok semen, pacul, sekop, tang, alat potong besi, pemadat vibrator, dan pengeras semen. Pembuatan panel-panel ini dicetak dalam posisi tidur supaya beton menjadi padat, tidak keropos, dan tidak bocor. Sisi bagian dalam panel pracetak dibuat kasar menggunakan sapu lidi agar memudahkan rekatan dalam pemasangan keramik nantinya. Keramik ini ditujukan untuk memudahkan dalam proses pembersihan dan pengurasan tandon sewaktu-waktu pada saat perawatan.

Setelah panel-panel beton mengeras, maka panel-panel tersebut diangkut ke lokasi. Proses pengangkutan ke atas kendaraan (*loading*) dilakukan secara manual dengan menggunakan rel-rel pembantu. Proses

penurunan dan pemasangan di lokasi juga menggunakan rel-rel pembantu juga dan dibantu dengan portal kayu-kayu pembantu.

Panel-panel tersebut kemudian disambung-sambungkan di lubang galian sehingga membentuk sebuah tandon air. Pengukuran dan pelurusan secara vertikal dan horisontal menggunakan alat *waterpass* harus sangat diperhatikan dalam proses penyambungan ini. Setiap permukaan sambungan antar panel diberi material injeksi untuk membuat tandon menjadi kedap air dan tahan bocor. Pelapisan material injeksi agar tandon tidak bocor merupakan tahapan kritis yang perlu diperhatikan secara cermat. Proses pengerasan injeksi ini memakan waktu sekitar 24 jam agar proses kimianya sempurna. Pekerjaan di hari berikutnya adalah mengisi tandon dengan air pada volume penuh untuk mengecek apakah ada kebocoran atau tidak. Jika keesokan hari tidak ada pengurangan volume air di dalam tandon, maka tandon air dinyatakan tidak bocor dan dapat dilanjutkan dengan proses pemasangan keramik dan kemudian pemasangan tutup tandonnya.

Parameter desain yang ditentukan dalam pembuatan tandon air bawah tanah adalah sebagai berikut (Dvorak and Skipton, 2010; Sarokolay et al, 2009; dan Merkl, 2007).

- a. Pembuatan tandon air beton yang kokoh dan tahan bocor.
- b. Setiap panel memiliki mutu beton minimal K225 untuk menjamin kekuatan, kedap terhadap air.
- c. Penggunaan material lokal berbasis pemberdayaan masyarakat di sekitar Gunung Merapi
- d. Pelaksanaan konstruksi dengan konsep green construction (tanpa penggunaan plastic atau bahan logam, dan tanpa dampak visual yang mengganggu) serta meminimalkan material sisa (*waste material*).
- e. Desain ini harus dapat mengakomodasi sistem plumbing dengan baik, pelubangan, dan pemotongan beton di lapangan dapat dihindari.

4. Tandon Air Beton Pracetak di Jakarta

Hasil investigasi pada tandon air dari beton pracetak di PT Prima Duta Beton, Jl. Puri Kembangan Raya No 58A, di Jakarta Barat menunjukkan bahwa produk tandon yang diproduksi memiliki banyak kekurangan. Kekurangan, upaya perbaikan, dan sasaran yang ingin dicapai di dalam penelitian ini disajikan dalam **Tabel 1**.

5. Pengujian Material Beton Pracetak

Material penyusun beton berupa semen, agregat dan air. Agregat penyusun beton berupa kerikil, pasir kasar, dan pasir halus. Kerikil diperoleh dari stone crusher di Desa

Tabel 1. Hasil investigasi dan upaya-upaya perbaikan dalam penelitian

No	Kekurangan yang dijumpai	Upaya perbaikan yang dilakukan di dalam penelitian	Sasaran
1	Material dengan gradasi yang kurang baik.	Diuji komposisi material kerikil, pasir kasar, dan pasir halus yang menghasilkan gradasi standar yang baik.	Beton menjadi lebih padat, kebutuhan semen lebih sedikit, sehingga biaya dapat ditekan.
2	Panel pracetak tidak presisi, serta pencampuran adukan dan pemadatan beton secara manual.	Digunakan cetakan dari kayu multipleks dan diperkuat dengan kayu keras Bangkirai. Proses pengadukan bahan penyusun beton menggunakan mesin mixer dan dipadatkan dengan meja getar.	Panel pracetak menjadi presisi. Beton memiliki campuran yang homogen, kelecakan beton segar lebih baik, faktor air semen lebih kecil, beton menjadi sangat padat dan pada akhirnya menjamin sifat kedap air dan kekuatan yang tinggi. Selain itu, penggunaan mesin akan mengurangi risiko kecelakaan pekerja dan meningkatkan sifat ergonomis dalam proses produksi.
3	Tandon air dikirim ke lokasi dalam bentuk yang sudah dirangkai (sudah disambung di pabrik).	Pengiriman ke lokasi dilakukan dalam bentuk panel-panel pracetak secara terpisah. Panel-panel tersebut kemudian dirangkai di lokasi.	Penggunaan material dengan gradasi yang baik dan pemadatan dengan meja getar akan menghasilkan berat volume beton relatif besar, sehingga menjadi lebih berat. Pengiriman tandon pracetak dalam panel-panel secara terpisah akan memudahkan dan meringankan, yang pada akhirnya akan memudahkan tenaga kerja dalam pengangkatan, pengangkutannya, dan penyambungannya.
4	Digunakan bahan kimia "Damdex" yang relatif mahal dipakai untuk mempercepat dan membuat kedap air.	Dicoba-coba dengan bahan kimia yang bervariasi agar diperoleh bahan kimia yang handal dan lebih murah.	Bahan kimia bantu dapat ditentukan yang paling optimal untuk menekan biaya total.

Ngemplak dengan diameter maksimum 3 cm. Pasir kasar diperoleh dari material vulkanis Merapi yang berasal dari dua sungai besar, yaitu Sungai Boyong dan Sungai Kuning. Pasir kasar yang baik dipilih berdasarkan Berat Jenis (BJ) dan Berat Isi (BI) nya yang lebih besar.

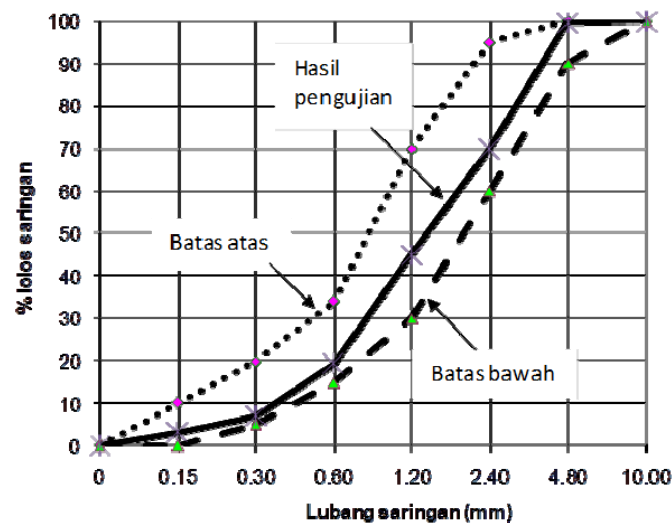
Hasil pengujian BJ pasir di Sungai Boyong di bagian hulu, tengah, dan hilir adalah adalah 2,60; 2,61, dan 2,57, yang memberikan nilai rata-rata sebesar 2,59. Sedangkan BI adalah sebesar 1,45 gr/cm³, 1,62 gr/cm³, dan 1,45 gr/cm³, dengan nilai rata-rata sebesar 1,51 gr/cm³. Hasil pengujian BJ pasir di Sungai Kuning di bagian hulu, tengah, dan hilir adalah adalah 2,64; 2,57; dan 2,45, atau nilai rata-rata sebesar 2,55. Sedangkan BI adalah sebesar 1,60 gr/cm³, 1,48 gr/cm³, dan 1,37 gr/cm³, yang memberikan nilai rata-rata sebesar 1,48 gr/cm³.

Berdasarkan rata-rata BJ dan BI antara Kali Boyong dan Kali Kuning, dipilih pasir dengan BJ dan BI yang tinggi, yaitu pasir Sungai

Boyong. Pasir ini termasuk pasir kasar sebagai mana hasil uji gradasi seperti disajikan dalam **Gambar 1**. Seluruh hasil pengujian ini disajikan dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Hasil pengujian pasir kasar yang terpilih, pasir dari Sungai Boyong

No	Pemeriksaan	Nilai	Kesesuaian dengan SNI T-15-03-1990
1	Berat Jenis (BJ)	2,59	Termasuk pasir normal (BJ 2,5-2,7)
2	Berat Isi (BI)	1,51 gr/cm ³	Termasuk pasir normal
3	Daerah gradasi pasir	I	Termasuk pasir kasar



Gambar 1. Gradasi pasir Sungai Boyong yang termasuk dalam Pasir Kasar (Gradasi I)

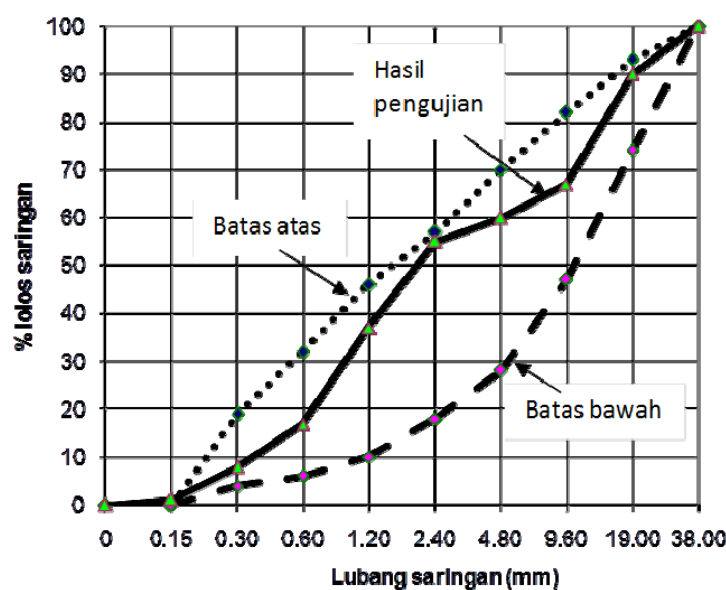
Agregat berikutnya adalah pasir halus (sebagai filler), yang diambil dari limbah penggergajian batu andesit material vulkanis Gunung Merapi. Pasir halus ini memiliki permukaan yang tajam dan runcing. Syukron (2012) membuktikan bahwa penggunaan filler agregat halus telah mampu mengisi celah-celah gradasi agregat kerikil dan pasir kasar, yang pada akhirnya kekuatan beton menjadi lebih baik 16,5%. Berdasarkan penelitian Syukron (2012) tersebut, pasir halus ini dipakai sebagai filler. Hasil pengujian pasir halus adalah disajikan dalam Tabel 3.

Melalui beberapa uji coba, bahan-bahan agregat tersebut kemudian dicampur dengan perbandingan berat agar memenuhi gradasi standar sesuai dengan SNI T-15-03-1990: Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal. Hasil uji coba tersebut menghasilkan perbandingan sebagai berikut: 2 kerikil, 2 pasir kasar,

dan 1 pasir halus. Hasil campuran tersebut kemudian hasilnya diplot di dalam gradasi campuran standar, seperti disajikan dalam Gambar 2.

Tabel 3. Hasil pengujian pasir halus sebagai filler

No	Pemeriksaan	Pasir halus - filler	Keterangan
1	Berat Jenis (BJ)	2,1	Termasuk pasir ringan (BJ < 2,5)
2	Berat Isi (BI)	1,34 gr/cm ³	Termasuk pasir normal
3	Gradasi pasir	Lebih halus dari Gradasi IV	Termasuk pasir sangat halus



Gambar 2. Gradasi campuran agregat maksimum 30 mm yang memenuhi gradasi standar (SNI T-15-03-1990)

Bahan penyusun beton dicampur menggunakan mixer beton dan dicetak dalam 5 buah sampel dalam bentuk kubus beton menggunakan meja getar. Sehubungan digunakannya meja getar, maka dipakai beton segar yang kental, dengan nilai slump sekitar 6 cm. Nilai faktor air semen digunakan sebesar 0,45, artinya perbandingan berat air : berat semen adalah 0,45 : 1. Setelah berumur 28 hari, kelima sampel kubus beton tersebut diuji desak. Hasil uji desak adalah rerata kuat desak sebesar 25,31 MPa atau setara dengan K250 (lihat **Tabel 4**). Nilai ini sudah memenuhi kebutuhan K225 yang direncanakan.

6. Inovasi Tandon Air Pracetak di Yogyakarta

Inovasi pembuatan tandon air dilakukan di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi, Kampus Universitas Islam Indonesia. Semua kekurangan yang dijumpai di dalam investigasi di Jakarta diperbaiki di dalam pembuatan tandon air ini sesuai uraian di **Tabel 1**.

6.1 Pembuatan panel pracetak

Dengan komposisi campuran yang telah dianalisis sebelumnya, panel beton pracetak dibuat dengan berbagai variasi dimensi besi tulangan. Tulangan yang dipakai adalah besi anyaman baja galvanis diameter 2,6 mm; 3,6 mm; dan 4,6 mm dengan jarak 4 cm. Tulangan anyaman ini dipilih karena tersedia dengan mudah di toko-toko besi di sekitar Yogyakarta. Terdapat 6 buah sampel yang terdiri dari 2 buah sampel untuk masing-masing dimensi besi anyaman. Ukuran panel pracetak adalah panjang 110 cm, lebar 100 cm, dan tebal 6 cm. Tulangan besi diletakkan di tengah-tengah panel, dan adukan beton segar dituang ke dalam cetakan yang sudah disiapkan kemudian digetar di atas meja getar. Sistem pemadatan dengan penggetaran seperti ini hanya memerlukan slump beton yang kecil (beton kental) dan akan menghasilkan beton yang sangat padat.

6.2 Optimasi kekuatan tandon air pracetak

Panel-panel ini kemudian dilakukan pengujian kuat lenturnya (Tjaronge, 2009). Pengujian lentur ini untuk mengukur beban lentur maksimum, yang hasilnya disajikan dalam **Tabel 5**.

Tabel 4. Hasil uji desak lima sampel kubus beton

No	Umur sampel hari	Luas cm ²	Beban maksimum kN	Kuat desak MPa
1	28	225	584	25.96
2	28	225	543	24.13
3	28	225	587	26.09
4	28	225	601	26.71
5	28	225	532	23.64
Rata-rata				25.31

Tabel 5. Kekuatan lentur maksimum pada berbagai variasi diameter besi anyaman

No	Diameter besi anyaman, mm	Berat, kg	Beban maks, kg	Kekuatan momen lentur maks, kg.m
1	4,6	142	1278	206,28
2	4,6	141	1284	207,18
3	3,6	143	1250	202,08
4	3,6	134	1135	184,83
5	2,6	139	1004	165,18
6	2,6	142	951	157,23

Tandon air akan ditanam sedalam 0,5 m di bawah tanah dan di atasnya terdapat mobil keluarga. Dengan mengasumsikan berat maksimum mobil keluarga adalah 3200 kg yang ditumpu oleh 4 roda, setiap roda akan memikul beban maksimum 800 kg. Berat volume tanah di sekitar Desa Ngemplak adalah sebesar 1410 kg/m³ dan sudut geser tanah 32° (Lab. Mekanika Tanah UII, 2011). **Gambar 3** menyajikan analisis beban tekanan tanah aktif yang terjadi pada panel vertikal-tegak.

Sudut geser = 32°, sehingga Koefisien Tanah Aktif = $(1 - \sin 32^\circ) / (1 + \sin 32^\circ) = 0,307$

Berat volume tanah = 1410 kg/m³

q_1 dan q_2 = tekanan tanah aktif

$$q_1 = 0,5 \times 0,307 \times 1410 \times 1 \times 1 = 216,4 \text{ kg/m}$$

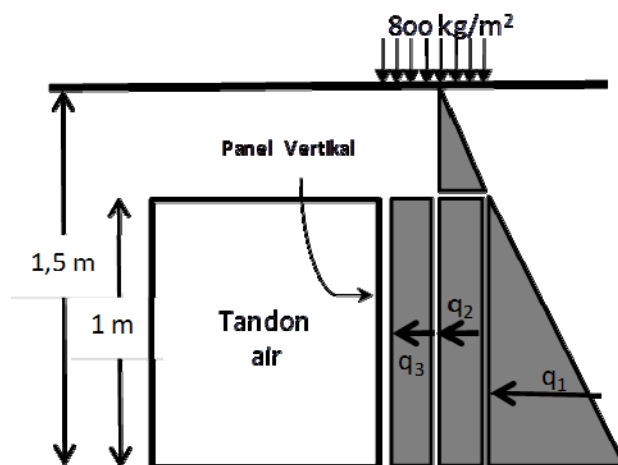
$$q_2 = 0,307 \times 1410 \times 0,5 \times 1 = 216,4 \text{ kg/m}$$

q_3 = tekanan tanah aktif karena beban mobil 800 kg/m²

$$q_3 = 800 \times 0,307 \times 1 = 245,6 \text{ kg/m}$$

Untuk memberikan tingkat keamanan yang lebih tinggi, maka beban q_1 diasumsikan sebagai beban merata, sehingga $q_{\text{total}} = 216,4 + 216,4 + 245,6 = 678,4 \text{ kg/m}$

Sesuai dengan SNI T-15-03-1993 dan ACI 371R-1998, momen lentur maksimum pada pelat tegak-vertikal dapat dihitung dengan **Persamaan 1**.



Gambar 3. Beban tekanan tanah aktif pada panel vertikal-tegak

$$\begin{aligned}
 M_{\text{maks}} &= 0,001 \times q \times Lx^2 \times 68 \\
 &= 0,001 \times 678,4 \times 1^2 \times 68 \\
 &= 46,13 \text{ kg.m}
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

Perhitungan beban pada panel horizontal (tutup tandon) disajikan dalam **Gambar 4**.

Berat volume tanah = 1410 kg/m^3

q_1 = berat tanah

$$q_1 = 0,5 \times 1410 = 705 \text{ kg/m}$$

q_2 = berat mobil

$$q_2 = 800 \times 1 = 800 \text{ kg/m}$$

Berat volume beton = 2400 kg/m^3

q_3 = berat pelat horizontal

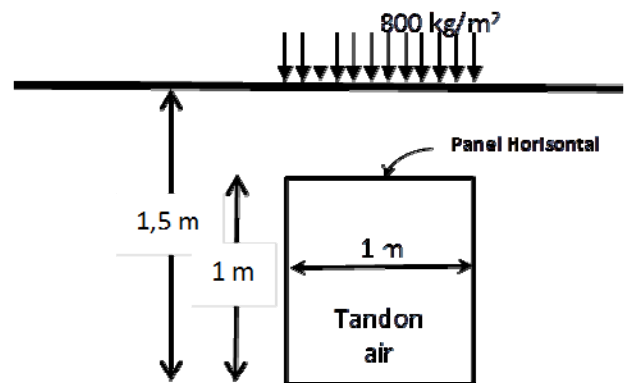
$$q_3 = 0,06 \times 2400 = 144 \text{ kg/m}$$

$$q_{\text{total}} = 705 + 800 + 144 = 1649 \text{ kg/m}$$

Sesuai dengan SNI T-15-03-1993, momen lentur maksimum pada pelat tegak-vertikal dapat dihitung dengan **Persamaan 2**.

$$\begin{aligned}
 M_{\text{maks}} &= 0,001 \times q \times Lx^2 \times 51 \\
 &= 0,001 \times 1649 \times 1^2 \times 51 \\
 &= 84,1 \text{ kg.m}
 \end{aligned}
 \quad (2)$$

Berdasarkan hitungan momen lentur, kondisi kritis terjadi pada panel horizontal dimana beban roda kendaraan persis di atas pelat tersebut dengan momen lentur nyata maksimum adalah sebesar 84,1 kg.m. Sesuai dengan **Tabel 3**, panel pracetak dengan perkuatan besi anyaman 2,6 mm dapat mendukung momen lentur terendah sebesar 157,23 kg.m, sehingga terdapat angka aman sebesar $=157,23/84,1 = 187\%$. Dalam bidang teknik sipil, angka aman yang lazim dipakai adalah sebesar 150%, sehingga angka aman nyata sebesar 187% untuk besi anyaman diameter 2,6 mm sudah sangat memadai dan aman untuk dipakai sebagai tulangan pada panel-panel pracetak tandon air di bawah tanah. **Gambar 5** menyajikan kurva beban lentur maksimum dan kekuatan momen lentur pada berbagai variasi diameter besi anyaman.



Gambar 4. Beban tekanan pada panel horizontal

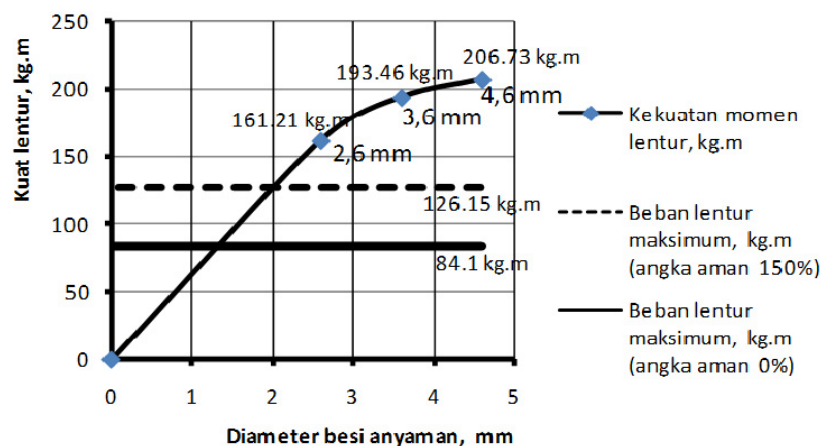
6.3 Pengujian kebocoran

Penelitian selanjutnya adalah membuat panel-panel pracetak dengan besi anyaman 2,6 mm untuk kemudian dirangkai menjadi 2 buah sampel tandon air. Panel-panel pracetak disambung dengan cara diinjeksi menggunakan bahan kimia tambahan untuk mencegah kebocoran. Komposisi bahan injeksi yang optimal adalah 1 PC : 1 Pasir Halus : 0,5 Air : 0,05 Bahan Kimia “Damdex”. Tandon air yang sudah diinjeksi kemudian dilakukan pengujian kebocoran esok harinya. Metode pengujian dilakukan dengan sederhana yaitu dengan mengisi tandon dengan air secara penuh. Pengamatan di titik-titik sambungan dilakukan 4 kali setiap hari, selama 30 hari. Sampai dengan 30 hari, pengujian ini menunjukkan bahwa sambungan antar panel-panel pracetak tidak ada kebocoran sama sekali.

7. Kelayakan Ekonomi

Sehubungan dengan prospek bisnis dalam usaha tandon air, bagian ini menyajikan perhitungan Harga Pokok Produksi (HPP) tandon air untuk acuan kelayakan ekonomi usaha ini. Asumsi yang digunakan adalah

- Kemampuan produksi dalam 1 hari adalah 1 buah tandon air 1000 liter, dengan perincian: untuk



Gambar 5. Beban lentur maksimum dan kekuatan momen lentur pada berbagai diameter besi anyaman

- membuat tandon adalah setengah hari dan memasang tandon juga setengah hari.
- Harga-harga menggunakan harga pasar di Yogyakarta pada bulan Februari 2014
 - Harga-harga yang tidak ada acuannya ditetapkan dengan wawancara dengan praktisi lapangan
 - Upah sudah termasuk pemasangan di lokasi, dan pemilik bangunan harus sudah menggali lubang sebagai tempat tandon air yang akan dipasang.
 - Lokasi pemasangan ada di sekitar Pusat Inovasi UII, sehingga waktu pengangkutan relatif singkat.
 - Jam kerja normal adalah 8 jam per hari.

Komponen hitungan HPP meliputi material, upah pekerja, kendaraan, cetakan, makan minum, tempat sewa, peralatan, alat bantu, dan operasional manajemen, seperti disajikan dalam **Gambar 6**.

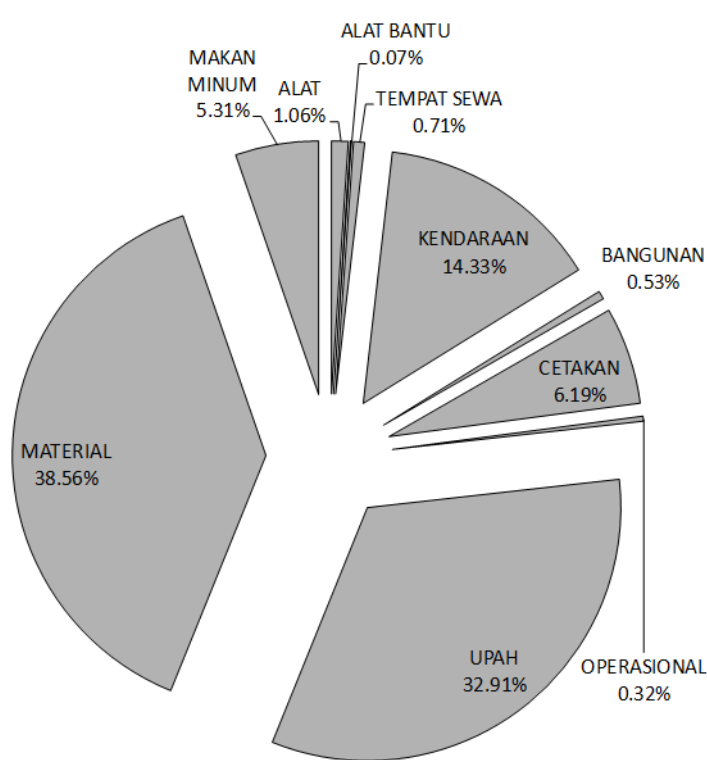
Komponen biaya terbesar adalah material yang mencapai 38,56% dan disusul upah sebesar 32,91%. Harga tandon air beserta tutupnya adalah sebesar Rp 1.300.000,00 untuk bulan Februari 2014 sudah termasuk laba sebesar 15%. Pada saat yang sama, dilaksanakan sebuah survey tentang harga tandon air di empat toko sekitar Yogyakarta. Harga tandon 1000 liter dari bahan fiber-plastik adalah rerata adalah Rp 1.075.000,00; sedangkan tandon dari bahan stainless steel adalah sebesar Rp 2.125.000,00. Karena adanya perbedaan karakteristik antara tandon beton dan tandon fiber atau stainless, harga tandon air beton pracetak

tidak bisa dibandingkan dengan tandon yang lain. Langkah berikutnya adalah melakukan focus group discussion dengan lima pelaku konstruksi di Yogyakarta tentang inovasi tandon air beton pracetak beserta harganya. Empat dari lima responden menjawab bahwa tandon air pracetak relatif belum ada di Yogyakarta. Para pemilik bangunan masih menggunakan metode cor di tempat dari pada pracetak untuk tandon air di bawah tanah, dan perkiraan biayanya mencapai Rp. 1.350.000,00. Adapun harga tandon sebesar Rp 1.300.000,00 yang sudah termasuk biaya pasang di lokasi merupakan harga yang relatif bersaing. Keuntungan lainnya adalah bahwa pembuatan dan pemasangan tandon pracetak jauh lebih singkat dibandingkan dengan metode pracetak.

8. Kesimpulan

Penelitian eksperimental ini telah memberikan kebaruan melalui inovasi tandon air beton pracetak dengan kekuatan sesuai SNI dan harga prospektif di Yogyakarta, serta dengan kriteria sebagai berikut.

- Bahan susun beton menggunakan semen, kerikil, pasir kasar, dan pasir halus dengan perbandingan 1:2:2:1 yang dapat menghasilkan kuat desak beton sebesar 25,31 MPa.
- Panel pracetak setebal 6 cm yang diperkuat dengan besi anyaman diameter 2,6 mm memiliki angka aman 187% yang sudah cukup memadai sesuai standar angka aman dalam bidang teknik sipil.



Gambar 6. Proporsi masing-masing komponen biaya

3. Pencegahan kebocoran pada sambungan antar panel pracetak dapat diatasi dengan mudah menggunakan bahan kimia tambahan yang banyak tersedia di lapangan, dengan komposisi 1 semen : 1 pasir halus : 0,5 air : 0,05 bahan kimia "Damdex".
4. Harga sebuah tandon air beton metode "pracetak" 1000 liter di Yogyakarta adalah sebesar Rp. 1.300.000,00 yang sudah cukup mampu bersaing dengan tandon air konvensional metode "cor di tempat" sebesar Rp. 1.350.000,00. Selain itu, metode pracetak memiliki keunggulan dalam waktu konstruksi yang sangat singkat.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih pada Ditlitabmas Dikti, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, serta Direktorat Penelitian dan Pengabdian Masyarakat UII atas bantuan dana penelitian yang telah diberikan. Terucap terima kasih pula pada Pimpinan dan Teknisi di Pusat Inovasi Material Vulkanis Merapi, Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik, dan Laboratorium Struktur UII.

Daftar Pustaka

- Aboe, A.K., 2011, Pemanfaatan Pasir Vulkanis Merapi di Sungai Boyong untuk Bahan Penyusun Beton, *Prosiding Seminar Nasional: Pengembangan Masyarakat Madani dan Lestari*, Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- American Concrete Institute-ACI 371R-1998, *Guide for the Analysis, Design, and Construction of Concrete-Pedestal Water Towers*.
- Dvorak, B.I. and Skipton, S.O., 2010, *Drinking Water Treatment: Reverse Osmosis, Water Management-Drinking Water*, Institute of Agriculture and Natural Resources, University of Nebraska, October.
- Fajriyanto, 2010, Pembangunan Perumahan Ditinjau dari Aspek Spekulasi: Studi Kasus pada Perumahan di Yogyakarta. *Jurnal Logika*, ISSN: 1410-2315, Volume 4, Nomor 5.
- Lab. Mekanika Tanah UII, 2011, *Laporan Pengujian Tanah di Desa Ngemplak*, Kecamatan Cangkringan, Kabupaten Sleman.
- Merkel, G., 2007, *Drinking Water Reservoir - with Controlled Permeability Formwork(CPF) Liners: Analysis of the Water Tanks after 15 Years of Operation*. Technical University Munich Publication.
- Sarokolayi, L.K., Navayineya, B., Hosainlibegi, M., and Amiri, J.V., 2009, Dynamic Analysis of Water Tanks with Interaction Between Fluid and Structure, *Proceedings of The 14th World Conference on Earthquake Engineering* October 12-17, China: Beijing.
- SNI T-15-03-1993, *Tata Cara Penghitungan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung*
- SNI T-15-03-1990, *Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Beton Normal*
- Syukron, A., 2012, *Pembuatan Paving Blok dengan Penambahan Filler dari Limbah Penggajian Batu Andesit*, Tugas Akhir tidak dipublikasikan, Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.
- Tjaronge, M.W., 2009, Kuat Tekan dan Kuar Lentur Beton Beragregat Ringan, *Jurnal Penelitian Enjiniring*, Vol 9 No 3, pp 373-378.
- Toscass, 2011, *Designing with Precast/Prestressed Concrete*. Precast/Prestressed Concrete Institute (PCI).

