

PERCOBAAN TARIK-LANGSUNG PADA BETON KONVENSIONAL

Han Aylie ¹, Moga Narayudha ¹ dan Parang Sabdono ¹

ABSTRACT

Although the tensile strength of concrete does not plays a predominant role in the analysis and design of concrete structures, the knowledge of concrete behavior under tension is of value when estimating the load level under which cracking will occur. The relation between compression and tensile strength is developed based on experimental results and is represented as a formula highly depending on the tensile testing method in the laboratories. The Splitting Tensile Test and Flexural Strength Method are well know, while the Direct Tensile Test is relatively young, and its acknowledgement by ASTM under process. The experimental research conducted at the Concrete and Structural Laboratory, Diponegoro University, Semarang tries to give a better view to the Direct Tensile Test for concrete. This paper presents in brief, the indirect and direct testing methods, and evaluates the data obtained.

Kata kunci : Kuat tarik beton f_{tr} , direct Tensile test, indirect test, kuat tekan beton f'_c

PENDAHULUAN

Kemampuan tarik beton f_{tr} sangat erat hubungannya dengan perilaku bahan beton yang getas (*brittle*). Sifat getas ini disebabkan oleh regangan hancur beton ϵ_c yang hanya mencapai nilai antara 0.001 sampai 0.005. Kemampuan tarik bahan produk-produk hidrasi semen sejenis ini jauh lebih rendah bila dibandingkan dengan kemampuan tarik bahan homogen yang ditentukan berdasarkan kohesi molekulernya.

Kemampuan tarik beton penting pada konstruksi seperti *jalan raya* (www.pavement.com), *perkerasan lapangan terbang, perencanaan geser, analisa retak*, dan terlebih lagi pada perencanaan beton *prategang* (www.pci.org; www.cpci.ca) dimana seluruh analisa didasarkan pada penampang utuh.

HUBUNGAN KUAT TARIK TERHADAP KUAT TEKAN

Selanjutnya hubungan antara kemampuan tekan f'_c dengan kemampuan tarik f_{tr} beton merupakan fungsi yang non-linear. Faktor yang mempengaruhi hubungan tekan-tarik ini terutama adalah pengaruh agregat kasar terhadap kuat tekan beton, dan gradasi agregat. Hubungan f'_c dan f_{tr} juga tergantung usia beton, karena f_{tr} memiliki peningkatan kekuatan yang relatif lebih lambat bila dibandingkan f'_c . Dengan demikian rasio f_{tr} / f'_c *menurun* sebagai fungsi dari waktu.

Kekuatan tarik beton pun lebih sensitif terhadap metoda perawatan beton, ini terutama disebabkan adanya susut yang tidak merata sangat menurunkan kuat tarik. Beton yang dirawat diudara terbuka akan mempunyai f_{tr} / f'_c yang lebih rendah bila dibandingkan dengan beton yang direndam dalam air dan diuji selagi masih lembab.

¹ Staf Pengajar UNDIP

Kekuatan tarik beton dapat ditentukan dengan beberapa metoda pengujian yang berbeda yaitu, *pengujian lentur, belah dan tarik langsung*. Nilai kuat tarik yang diperoleh berbeda, tergantung dari metoda pengujiannya, sehingga rasio f_{tr} / f_c pun bervariasi.

Berdasarkan data-data hasil pengujian di laboratorium dapat digenarasikan rumus empiris yang menggambarkan *hubungan kuat tekan dan tarik beton*. Rumus dasar yang paling mendekati populasi data adalah formulasi sebagai berikut:

$$f_{tr} = k(f_c)^n \text{ (Mpa)} \dots\dots\dots (1)$$

dimana: k dan n adalah koefisien yang tergantung dari metoda percobaan tarik yang digunakan (Neville, 2003). Nilai n umumnya ditentukan antara $\frac{1}{2}$ sampai $\frac{3}{4}$. Angka $\frac{1}{2}$ digunakan antara lain oleh *American Concrete Institute (ACI)*, *Canadian Standard Association (CSA)* dan *SNI T-15-1991-03*, yang terakhir tertuang dalam pasal 3.2.5. *British Code of Practice (BS)* menggunakan nilai 0.7.

Tabel berikut menunjukkan hubungan kuat tekan dan tarik beton berdasarkan beberapa sumber. Notasi f_{st} menunjukkan kuat tarik hasil uji belah, f_c adalah kuat tekan beton dan $M.R$ adalah *modulus of rupture* dari hasil uji lentur

Formula	Sumber/Pustaka
$M.R = 2.3(f_c)^{2/3}$ $f_{st} = 1.7(f_c)^{2/3}$ (psi)	Raphael, J.M. (1984)
$M.R = 7.5\sqrt{f_c}$ $f_{st} = 6.7\sqrt{f_c}$ (psi)	American Concrete Institute (ACI)
$f_{st} = 0.72 M.R$ (psi)	Centre for Transportation Research
$f_{st} = 5 / 8 M.R$ (psi untuk batu kali) $f_{st} = 2 / 3 M.R$ (psi untuk batu pecah)	Grieb and Werner (1962)
$f_{st} = 0.12(f_c)^{0.7}$ (Mpa)	British Code BS:8007; BS EN 206 part 1 dan BS 8500:2003
$M.R = 0.7\sqrt{f_c}$ (Mpa)	SNI T-15-1991-03
$M.R = 0.6\sqrt{f_c}$ $f_{st} = 0.5\sqrt{f_c}$ (Mpa)	Thadani (1982), Canadian Standard Association (CSA)

INDIRECT TENSILE TEST

Metoda pengujian untuk menentukan kuat tarik beton secara tidak langsung adalah: *Metoda Lentur* dan *Metoda Belah Silinder*. Nilai kuat tarik beton yang diperoleh dari kedua metoda pengujian tersebut, ternyata berbeda (Thadani, 1982; Mindess et.al,

2003). Metoda lentur dan belah silinder memberikan nilai kuat tarik beton yang cenderung *lebih tinggi* dari kuat tarik beton yang sesungguhnya.

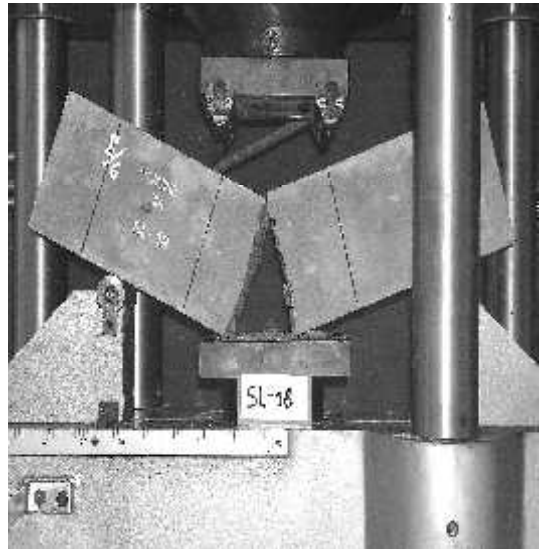
Metoda lentur terstandarisasi oleh ASTM-C78, British Standard BS 1881; Part 118:1983 dan AASHTO Test Method T-97.

Pada pengujian lentur di gunakan balok prismatic berukuran panjang 600 mm dengan penampang 150 x 150 mm²

Pengujian ini menggunakan sistem pembebanan dua titik berjarak 150 mm satu sama lain (Gambar 1 dan 2).



Gambar 1. Percobaan Lentur
(www.mts.com)



Gambar 2 Benda Uji setelah Flexural Rupture
(Lado. et. al, 2004)

Besarnya kekuatan tarik lentur atau *modulus of rupture* $M.R$ dapat ditentukan dengan persamaan:

$$M.R = \frac{Pl}{bd^2} \text{ bila bidang retak terletak di}$$

dalam bidang selebar 150 mm ditengah dan,

$$M.R = \frac{3Pa}{bd^2} \text{ bila bidang retak terletak di}$$

luar bidang 150 mm ditengah

dimana:

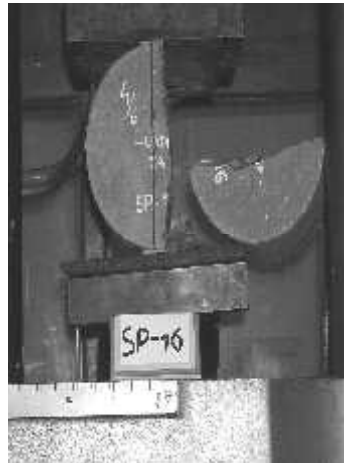
- P = beban maksimum yang terbaca dari dial UTM dalam kN
 l = bentang diantara perletakan dalam cm

- b = lebar balok rata-rata dalam cm
 d = tebal balok rata-rata dalam cm
 a = jarak rata-rata bidang retak dan tumpuan terdekat pada bidang tertarik, dalam cm

Metoda belah silinder berdasarkan ASTM Standard C496-90 dan British Standard BS 1881:117:1983 menggunakan benda uji silinder berdasarkan standard ASTM C42 dengan rasio tinggi-diameter *lebih besar* dari satu. Pada penyelidikan yang dilakukan Laboratorium Bahan dan Konstruksi Undip, digunakan silinder berdiameter 150 mm dengan tinggi 300 mm. Beban garis diterapkan pada sisi panjang silinder yang menyebabkan tegangan τ pada saat silinder terbelah (Gambar 3 dan 4).



Gambar 3. Pengujian Split Silinder (Lado et.al, 2004)



Gambar 4. Silinder setelah terbelah

Besarnya tahanan τ dapat dihitung dari formula:

$$\tau = \frac{2P}{\mu l D} \dots\dots\dots(2)$$

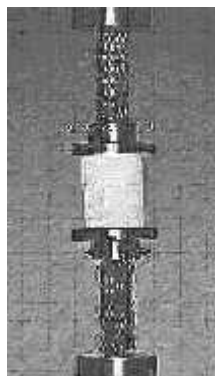
dengan:

- τ = kekuatan tarik belah dalam kPa
- P = beban maksimum yang terbaca dari dial UTM dalam kN
- l = panjang silinder dalam m
- D = diameter silinder dalam m

DIRECT TENSILE TEST

Percobaan tarik langsung selama ini dihadapkan dengan beberapa kendala, terutama metoda untuk mengetrapkan gaya tarik murni *langsung* pada benda uji.

Salah satu metoda yang disajikan oleh produsen *MTS* (<http://www.mts.com>) berupa alat yang mampu memberikan gaya tarik langsung pada beton melalui cengkaman dan penggunaan lem epoxy pada ujung benda uji (Gambar 5).

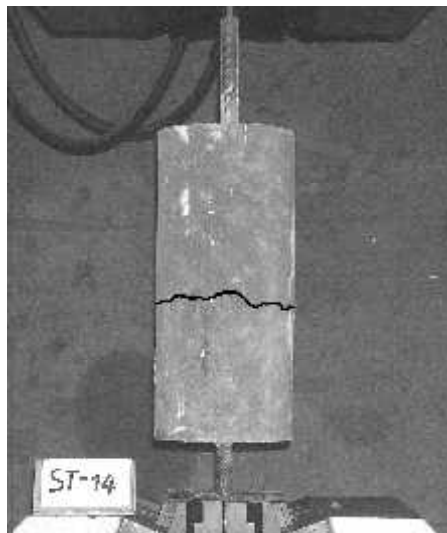


Gambar 5

Alat ini memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- Dikembangkan berdasarkan acuan ASTM (CRD-C 164-92)
- Terdiri dari pelat penjepit atas dan bawah dan perangkat rantai untuk mencegah tekuk kearah lateral.
- Dudukkan berbentuk *spherical* (konus) untuk mengurangi kemungkinan terjadi gaya ekstentris
- Menggunakan lem epoxy (sejenis polyepoxy resin) untuk melekatkan ujung benda uji pada alat tarik

Metoda tarik langsung yang memanfaatkan batang tulangan yang tertanam kedalam beton diulas oleh Kett, (2000). Walaupun demikian tak ada acuan terstandar untuk menentukan kuat tarik beton dengan metoda ini (Neville, 2001, Kett, 2000). Pada metoda tarik langsung ini benda uji berupa silinder standard berdiameter 150 mm dengan panjang 300 mm diperlengkapi batang tulangan yang tertanam kedalam beton. (Gambar 6).



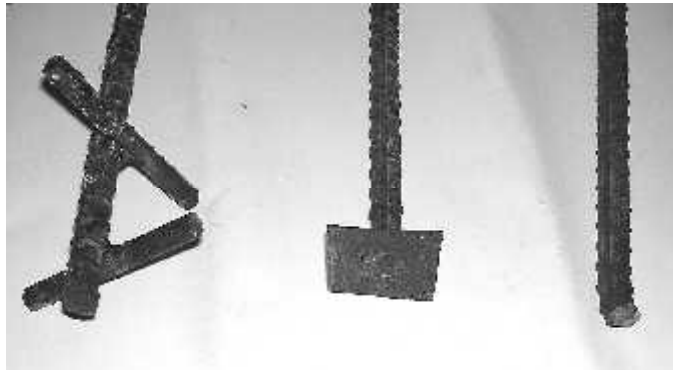
Gambar 6. Skematis Benda Uji

Secara umum terdapat beberapa alternatif pola kegagalan (*mode of failure*) benda uji ini;

- Tercapainya *plateau leleh* pada tulangan yang *tidak* tertanam kedalam beton sebelum beton mencapai tegangan tarik hancur
- Terjadi kegagalan karena nilai *bond-strength* terlampaui sebelum beton mencapai tegangan tarik hancur
- Terjadi proses *radial splitting* pada beton disekitar tulangan sebelum beton mencapai tegangan tarik hancur

Dalam perencanaan benda uji, pola kegagalan *harus* direncanakan sedemikian rupa sehingga kegagalan terjadi karena retak pada penampang normal benda uji. Untuk mengantisipasi hal ini selama percobaan digunakan baja tulangan dengan diameter yang cukup besar dan tegangan leleh f_y yang cukup tinggi.

Juga bond antara tulangan dan beton ditingkatkan dengan menggunakan besi ulir, menambahkan sirip, atau cakram (Gambar 7)



Gambar 7. Usaha Peningkatan Bond Strength

Kuat tarik beton dengan pengujian ini dapat dihitung dari rumus:

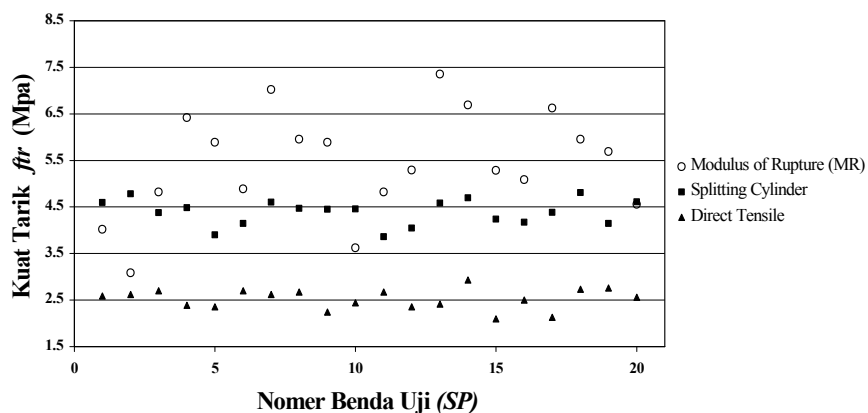
$$\tau = \frac{4P}{\mu D} \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

- τ = kekuatan tarik belah dalam kPa
- P = beban maksimum yang terbaca dari dial UTM dalam kN
- D = diameter silinder dalam m

HASIL PENGUJIAN

Pengujian yang dilaksanakan di Laboratorium Bahan Bangunan dan Struktur, Undip meliputi pengujian *tekan* dengan menggunakan silinder sebanyak 20 buah untuk menentukan kuat tekan f_c yang kemudian di konversikan menjadi kuat tekan karakteristik f'_c dengan menggunakan koefisien 0.8.



Gambar 8 Sebaran hasil penelitian di Undip (Lado et.al, 2004)

Kuat tarik beton ditentukan dengan tiga metoda, masing-masing *uji lentur* sebanyak 20 benda uji, *uji belah silinder* sebanyak 20 benda uji dan *uji tarik langsung* sebanyak 20 benda uji. Gambar 8 menunjukkan sebaran data dan *trend* dari hasil percobaan tarik sebagai fungsi populasi benda uji.

DATA ANALISIS

Pengamatan dari hasil pengujian di laboratorium memberikan gambaran bahwa *uji lentur* memberikan hasil kuat tarik beton yang *paling tinggi*. *Modulus of Rupture* ini cenderung *meng-over-estimasi* kuat tarik beton yang sesungguhnya. Ini disebabkan karena beberapa hal;

1. Uji tarik langsung sangat rawan terhadap gaya eksentris, kondisi demikian akan mengakibatkan nilai kuat tarik f_{tr} yang didapat dari uji tarik langsung, menurun akibat tambahan momen yang terjadi.
2. Pengaruh perlemahan penampang pada percobaan tarik langsung jauh lebih sensitif daripada perlemahan pada uji lentur, karena pada uji tarik seluruh penampang memikul tegangan merata yang serentak dan sama besar.
3. Pola retak penampang lentur terpengaruh oleh adanya penampang beton yang tertekan, sehingga retak rambut yang terjadi ketika tegangan tarik terlampaui tidak langsung berakibat runtuhnya balok.
4. Pada uji tarik langsung konsentrasi tegangan yang tinggi disekitar batang tulangan yang tertanam akan mengakibatkan retak-retak rambut yang menyebabkan menurunnya nilai adhesi antar partikel dan pasta semen paska keruntuhan.

Uji split silinder juga memberikan hasil yang lebih tinggi karena sebenarnya tegangan yang ditimbulkan pada benda uji merupakan tegangan tekan, dan bukan tegangan tarik langsung pada beton. Tegangan ini juga sangat terkonsentrasi hanya pada bidang irisan tengah silinder. Ini yang antara lain menyebabkan nilai kuat tarik yang diperoleh cenderung lebih rendah dari pada *modulus of rupture*.

Dari hasil pengolahan statistik terhadap data-data tersebut diatas maka diperoleh rumus umum yang menggambarkan hubungan kuat tarik beton sebagai fungsi metoda pengujian dan kuat tekan karakteristik beton usia 28 hari. Formulasi tersebut distandardisasikan berdasarkan acuan SNI T-15-1991-03 dalam bentuk

$$f_{tr} = k(f'_c)^n \dots\dots\dots (4)$$

dimana:

k = koefisien tergantung dari metoda pengujian tarik

k = 0.93 untuk uji lentur (*flexural strength method*)

k = 0.76 untuk uji belah (*splitting tensile test*)

k = 0.43 untuk uji tarik langsung (*direct tensile test*)

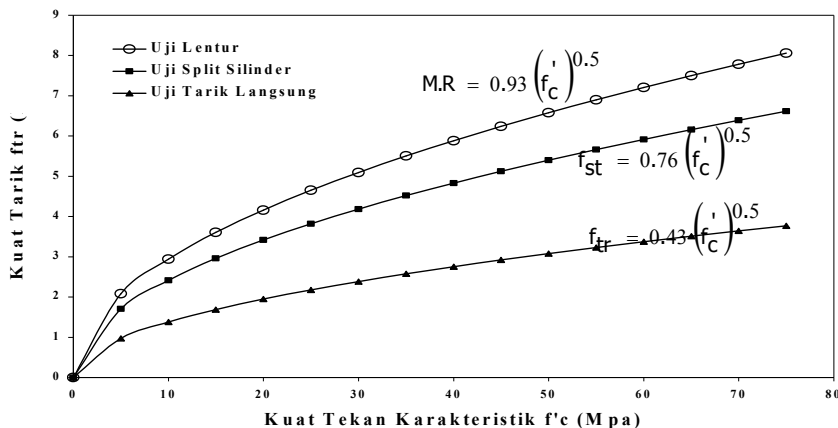
n = koefisien korelasi fungsi data = 0.5 menggambarkan hubungan perilaku kuat tarik terhadap kuat tekan beton pada umumnya

f_{tr} = kuat tarik hancur beton (Mpa)

f'_c = kuat tekan karakteristik beton usia 28 hari diperoleh dari pengujian silinder terstandarisasi (Mpa)

Apabila fungsi-fungsi tersebut digambarkan sebagai diagram dengan kuat tekan beton f'_c sebagai variabel maka didapat diagram sebagai berikut (Gambar 9)

Percobaan Tarik-Langsung Pada Beton Konvensional



Gambar 9. Kuat Tarik Beton sebagai fungsi metoda pengujian dan kuat tekan karakteristik

KESIMPULAN DAN SARAN

Ketiga metoda pengujian tarik yang disajikan semuanya menandakan secara ilmiah penelitian-penelitian yang terdahulu.

Metoda pengujian tarik dengan menggunakan batang tulangan perlu dikembangkan karena akan memberikan gambaran yang lebih akurat tentang kekuatan beton terhadap tarik

Salah satu kendala adalah penempatan batang tarik. Perlu di kembangkan perangkat sedemikian rupa sehingga gaya tarik yang ditransfer sentries sempurna.

Adanya eksentrisitas akan menambah momen luar, dan secara otomatis menurunkan nilai kuat tarik yang didapat pada saat pengujian

SNI yang dipakai di Indonesia cenderung konvensional, sehingga sebenarnya perlu diadakan penelitian yang lebih lanjut, dan koefisien yang diberikan perlu lebih di perinci. Dalam hal ini perlu dibedakan antara lain, *jenis agregat* yang dipakai,

kondisi dan cara perawatan serta jenis beton yang digunakan.

Perlu adanya spesifikasi agar pengujian tarik yang tepat, digunakan pada pemanfaatan beton yang sesuai dengan fungsinya sebagai elemen konstruksi. Sebagai contoh, untuk perkerasan jalan atau landasan terbang tentu lebih tepat digunakan pengujian lentur karena akan mendekati kondisi pembebanan di lapangan. Apabila akan digunakan untuk beton prategang dimana kuat tarik merupakan unsur yang sangat dominant, uji tarik langsung merupakan pendekatan yang sesuai.

Perlu adanya inovasi-inovasi baru tentang metoda mutakhir untuk menentukan kuat tarik beton, yang dapat dikembangkan oleh laboratorium-laboratorium bahan.

Terima kasih kepada Lado Riannevo Chandra dan Lily Setyaningsih yang telah ikut berpartisipasi aktif dalam penelitian ini

PUSTAKA

American Concrete Institute;
www.concrete.org

ASTM, 2002, "Annual Book of ASTM Standards". Section Four, Volume 04.02, ASTM International, Pennsylvania, USA

Canadian Prestressed Concrete Institute;
www.cpci.ca

Canadian Standard Association; CAN/CSA-A.23; www.csa.ca; www.csa-intl.org

Centre for Transportation Research;
www.pavement.com

British Code of Practice BS 8007:1987; BS EN 206 part 1 dan BS 8500:2003
www.cementindustry.co.uk;
www.concrete.org.uk

Grieb, W.E., and Werner, G., 1962, "Comparison of the Splitting Tensile Strength of Concrete with Flexural and Compressive Strengths", Public Roads, V. 32, No. 5, Dec. 1962, pp. 97-106

Grieb. W.E. and G. Werner, 1962, "Comparison of Splitting Tensile Strength of Concrete with Flexural and Compressive Strength," American Society for Testing and Materials, Proceedings, Vol 62, pp 972-995

Kett, I., 2000, "Engineering Concrete, Mix Design and Test Methods", First edition, CRC Press, Florida, USA

Lado, R. C., and Lily, S. 2004, "Pengujian Experimental Kuat Tarik Beton dengan Metoda Direct Test dan Indirect Test" Tesis S1 di laboratorium Bahan dan Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik UNDIP, Semarang

Mindess, S., Young, J.F. and Darwin, D., 2003, "Concrete", Second edition, Pearson Education Inc, NJ, USA.

Neville, A. M., 2003, "Properties of Concrete", Fourth Edition, Pearson Education Inc, NJ, USA.

Neville, A., 2001, "Standard Test Methods: Avoid the Free-For-All!", Concrete International, ACI Journal, May 2001, Vol. 23 no. 5, page 60

Popovics, S., 1998 "Strength and Related Properties of Concrete: a Quantitative Approach", New York.

Prestressed Concrete Institute; www.pci.org

Raphael, J.M., 1984 "Tensile Strength of Concrete," ACI Journal, Vol. 81, Number 2, Mar-Apr 1984 pp. 158-165

Thadani, B.N., 1982, "Reinforced Concrete Design", Cantext Publications, Winnipeg, Canada..

Standart Nasional Indonesia SNI T-15-1991-03