

# KORELASI UMUR BETON PADA KUAT LENTUR

Yulita Arni Priastiwi<sup>1)</sup>, Purwanto<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Jl. Prof.Soedarto,SH, Tembalang Semarang 50239; Telp. 024-7474770. Email: yulita\_tiw@mail.com

<sup>2)</sup> Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Jl. Prof.Soedarto,SH, Tembalang Semarang 50239; Telp. 024-7474770 Email:purwatrend@yahoo.com

## Abstrak

Kekuatan tarik lentur/*flexure strength* beton seperti halnya kekuatan tekannya/*compressive strength* sangat dipengaruhi oleh umur dari beton itu sendiri. Kekuatan beton akan meningkat, sebagai fungsi penambahan usia [7,8,11] hingga mencapai batas optimumnya. Korelasi kekuatan beton pada berbagai umur beton seringkali masih dianggap sama dalam hal kuat tekan maupun kuat tarik. Hal ini karena beton memang lebih kuat menahan gaya tekan daripada gaya tarik, sehingga seringkali yang diperhatikan hanyalah kuat tekan beton saja. Padahal banyak kasus terjadi di lapangan bahwa beton yang digunakan untuk menahan tarik ataupun lentur, misalnya pada perkerasan kaku / *rigid pavement*. Pada dasarnya nilai kuat tarik beton dapat diperoleh dari *direct tension test*, namun tes semacam ini sangat sulit dilakukan meskipun di dalam laboratorium, karena sulitnya untuk menciptakan kondisi tarik murni. Biasanya kuat tarik beton dievaluasi dengan menggunakan *indirect tension test*, seperti *bending* atau *modulus of rupture test* dan untuk beberapa hal, hasil evaluasi dengan cara ini dianggap sudah cukup akurat. Dengan kondisi tersebut perlu dibuat standar korelasi kekuatan tarik beton, untuk memprediksi kekuatan tarik beton terutama kekuatan tarik lentur beton pada usia yang berbeda. Dari hasil analisis data uji tekan silinder beton dan uji lentur murni balok beton di Laboratorium menunjukkan bahwa nilai korelasi kuat tarik beton hasil penelitian mendekati koefisien korelasi umur kuat tarik beton dari ACI - Code. Sedangkan dari hasil penelitian ini didapatkan *modulus of rupture*  $f_r = K \sqrt{f'_c}$  MPa dengan nilai  $K = 0.716$

**Kata kunci:** kuat tarik beton, korelasi umur, kuat lentur

## Abstract

*Flexure strength of concrete as compressive strength is strongly influenced by the age of the concrete itself. Concrete strength will increase, as a function of increasing age until it reaches the limit optimum. Strength correlation of concrete at different ages of concrete are considered equal in terms of compressive strength and tensile strength. This is because concrete is more able to resist compressive force than tension, so often that is known is the concrete compressive strength only. Though most cases occur in the field that used to hold the concrete tensile or bending, for example on the pavement stiff / rigid pavement. Basically the concrete tensile strength values can be obtained from the direct tension test, but such testing is very difficult to do even in the laboratory, because of the difficulty of creating a pure traction conditions. Concrete tensile strength is usually evaluated using the indirect tension test, such as bending modulus of rupture. Under these conditions, the correlation should be made a standard tensile strength of concrete, to predict the tensile strength of concrete is mainly flexural tensile concrete at different ages. From the analysis of test data and test concrete cylinders press the pure bending concrete beams, shows that the correlation values of tensile strength of concrete results of correlation coefficient close to the age of the concrete tensile strength of ACI - Code. While the modulus of rupture results of this study found that  $f_r = K \sqrt{f'_c}$  MPa with a value of  $K = 0.716$*

**Keywords:** tensile strength concrete, correlation of age, flexural tensile

## 1. PENDAHULUAN

Kekuatan tarik lentur/*flexure strength* beton seperti halnya kekuatan tekannya/*compressive strength* sangat dipengaruhi oleh umur dari beton itu sendiri.

Kekuatan beton akan meningkat, sebagai fungsi penambahan usia [7,8,11] hingga mencapai batas optimumnya.

Korelasi kekuatan beton pada berbagai umur beton masih dianggap sama dalam hal kuat tekan maupun kuat tarik. Hal ini karena beton memang lebih kuat menahan gaya tekan daripada gaya tarik, sehingga seringkali yang diperhatikan hanyalah kuat tekan beton saja. Padahal banyak kasus terjadi di lapangan bahwa beton yang digunakan untuk menahan tarik ataupun lentur, misalnya pada perkerasan kaku / *rigid pavement*.

Pada dasarnya nilai kuat tarik beton dapat diperoleh dari *direct tension test*, namun tes semacam ini sangat sulit dilakukan meskipun di dalam laboratorium, karena sulitnya untuk menciptakan kondisi tarik murni. Biasanya kuat tarik beton dievaluasi dengan menggunakan *indirect tension test*, seperti *bending* atau *modulus of rupture test*. Untuk banyak hal, hasil evaluasi dengan cara ini sudah cukup akurat.

Hasil dari *flexure test* sangat sensitif tergantung pada persiapan dan penanganan benda uji serta prosedur perawatan. Benda uji balok sangat berat dan mudah rusak jika tidak ditangani dengan seksama saat dipindahkan dari lokasi proyek menuju laboratorium. Untuk memenuhi semua persyaratan tersebut di lapangan merupakan hal yang sangat sulit. Sementara itu di lapangan juga sering terkendala untuk

menentukan kuat tarik beton karena keterbatasan alat uji yang ada di sekitar lokasi. Mayoritas instansi dan *batching plant* hanya memiliki alat uji tekan beton saja, oleh karena itu biasanya kuat tarik beton diprediksi berdasarkan kuat tekannya saja. Berdasarkan hal tersebut maka perlu dibuat suatu standar korelasi kuat tarik beton, untuk memprediksikan kuat tarik beton terutama tarik lentur pada berbagai umur beton.

Pada serangkaian tes yang dilakukan sejak tahun 1910 [12], menunjukkan bahwa kekuatan beton terus meningkat sejak mulai dicetak dan pada usia 28 hari beton dianggap telah mencapai 100% dari kekuatannya. Meskipun kenyataannya kekuatan beton masih terus meningkat selama 50 tahun dan tidak hanya berhenti di usia 28 hari saja, yang ditunjukkan dalam persamaan logaritma  $S_c = 1380 \log_{10} D$  untuk campuran 1:2:4 dan  $S_c = 810 \log_{10} D$  untuk campuran 1:3:6.  $S_c$  merepresentasikan kekuatan tekan dalam psi dan  $D$  adalah umur beton dalam hari.

Sementara itu pada 1998 [6] merumuskan hubungan antara kuat tarik beton ( $f_t$ ) dengan kuat tekan silinder ( $f_c'$ ) sebagai  $f_t = 0,3(f_c')^{2/3}$  dalam MPa. Dan pada 2004, [10] juga merumuskan hubungan tarik-tekan beton sebagai  $f_t = 0,33\sqrt{f_c'}$  dalam MPa. Pada umumnya akan didapatkan rasio kuat tarik dan kuat tekan yang lebih tinggi pada saat beton berusia muda dan nilai rasio ini akan semakin menurun saat umur beton semakin meningkat. Hal ini terjadi disebabkan oleh pengaruh dari retak mikro akibat pengeringan atau penyusutan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

Beton adalah bahan yang diperoleh dengan mencampurkan agregat halus, agregat kasar, semen Portland, dan air [2] Seiring dengan penambahan umur, beton akan semakin mengeras dan akan mencapai kekuatan rencana ( $f_c'$ ) pada usia 28 hari. Kecepatan bertambahnya kekuatan beton ini sangat dipengaruhi pada Faktor Air Semen (FAS) dan suhu selama perawatan. Kekuatan tekan merupakan salah satu kinerja utama beton. Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya tekan per satuan luas [9].

Beton dapat mempunyai kekuatan tekan yang sangat tinggi tetapi kuat tariknya rendah. Biasanya beton dikombinasikan dengan baja untuk meningkatkan kekuatan tariknya.

Sifat-sifat khusus yang dimiliki beton misalnya sebagai berikut :

1. Kuat tekan beton sangat tinggi, akan selalu bertambah bersamaan dengan bertambahnya umur beton dan akan bertambah terus sampai beton berumur 50 tahun [12].
2. Kekuatan tarik maupun lentur beton sangat rendah hanya berkisar seperdelapan belas kuat

desak pada umur yang masih muda dan berkisar sepersepuluh sesudahnya.

3. Dalam praktek kuat geser beton selalu diikuti oleh desak, tarik, lentur, bahkan didalam pengujian tidak mungkin menghilangkan elemen lentur.
4. Perubahan bentuk akibat pembebanan. Bilamana beton dibebani, perubahan bentuk terjadi dan bertambah sesuai dengan penambahan beban, sebagaimana baja dan bahan-bahan lain. Beton berubah bentuk sebagian mengikuti regangan elastis dan sebagian mengalami regangan plastis.

## Uji Beton

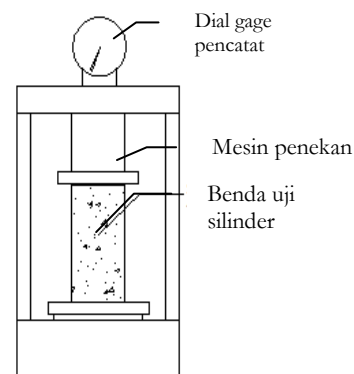
Untuk memperoleh data kekuatan beton dilakukan dua buah pengujian yaitu pengujian tekan dan pengujian tarik. Uji tekan (*compression test*) biasanya menggunakan benda uji kubus berukuran 150 x 150 x 150 mm atau benda uji silinder berukuran diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Dari hasil pengujian benda uji berupa kubus ataupun silinder tersebut dapat saling dikorelasikan menurut perumusan atau gambar grafis hasil penelitian terdahulu. Hubungan kekuatan kubus dan kekuatan silinder adalah 0,85 atau  $\sigma_{\text{silinder}} = 0,85 \sigma_{\text{kubus}}$ . Atau dapat dipergunakan rumus (*ASTM C39*) :

$$f_c' = [0,75 + 0,20 \log \frac{f_{ck}}{15}] f_{ck} \quad (1)$$

dimana :

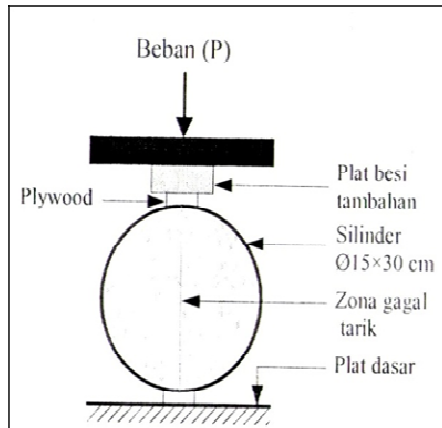
$f_c'$  = kuat tekan beton (MPa), silinder 150 x 300 mm  
 $f_{ck}$  = kuat tekan beton (MPa), dari benda uji kubus 150 x 150 x 150 mm

Permukaan atas dan bawah benda uji diratakan lalu letakkan benda uji pada mesin penekan. Penekanan dilakukan secara konstan hingga benda uji hancur. Beban maksimal dan jenis kehancuran dicatat.



Gambar 1. Sket pengujian tekan

Uji tarik dilakukan secara tidak langsung dengan uji split (*splitting test*) ataupun uji lentur (*flexure test*). Uji split dilakukan dengan merebahkan benda uji silinder sehingga bidang kontak ada pada sisi-sisi selimut silinder dan ditekan sehingga terjadi tegangan tarik pada beton.



Gambar 2. Uji kuat tarik

Tensile splitting strength dari silinder dihitung dengan rumus :

$$T = \frac{2 \times P}{\pi \times l \times d} \quad (2)$$

dimana :

$T$  = Tensile splitting strength (MPa)

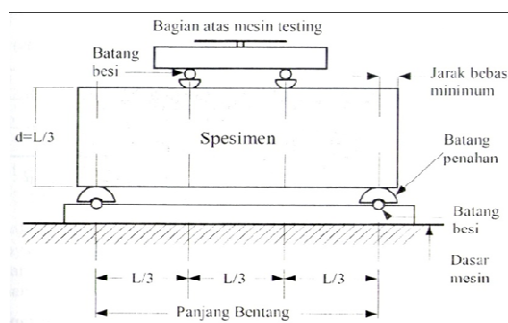
$P$  = beban hancur (N)

$l$  = panjang specimen (mm)

$d$  = diameter specimen (mm)

Sedangkan uji lentur dapat menggunakan benda uji balok berukuran 150 x 150 x 600 mm dan diuji kelenturannya pada sepertiga muatan. Pembebanan pada 1/3 bentang untuk mendapatkan lentur murni tanpa gaya geser. Benda uji ini diuji pada sisi-sisinya dengan memperhatikan posisinya ketika dicetak. Benda uji ini harus memiliki permukaan yang halus, datar dan sejajar bagi beban muatan.

Flexure test sebenarnya tidak mengukur kuat tarik beton yang sebenarnya melainkan mengukur modulus of rupture. Metode third point adalah metode terbaik untuk mengukur kuat lentur dan biasanya digunakan untuk mendesain.



Gambar 3 Uji kuat lentur dengan pembebanan sepertiga bentang

Tes ini sangat sensitif pada muai susut, temperatur, dan faktor kecil lainnya seperti potongan agregat di dekat permukaan beton dan lain-lain. Meskipun benda uji beton yang kering akan menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi daripada beton yang basah, tapi

sebagian benda uji yang kering akan menurunkan kuat lentur hingga 40% dibandingkan dengan benda uji yang lembab. Muai susut yang terlalu cepat akan mengakibatkan retak yang dapat menurunkan kuat tarik beton. Kuat tarik beton tidak hanya ditentukan oleh kekuatan mortar beton saja, tetapi juga tergantung kekuatan agregat kasar dan kekuatan lekatan antara agregat kasar. Beberapa agregat dapat menghasilkan kuat tekan yang tinggi namun tidak dapat menghasilkan kuat tarik yang tinggi, sehingga faktor air semen tidak begitu berpengaruh pada kuat tarik beton. Hal ini tentu berbeda dengan kuat tekan beton yang tergantung pada faktor air semen.

Jika retakan terjadi pada permukaan tarik diantara bagian tengah dari sepertiga bentang, maka modulus of rupture dihitung sebagai berikut :

$$M_R = \frac{P \times L}{b \times d^2} \quad (3)$$

dimana :

$P$  = jumlah beban maksimal yang diberikan

$b$  = lebar benda uji

$L$  = panjang bentangan

$d$  = tinggi benda uji

Jika retakan terjadi pada permukaan tarik diluar sepertiga bentang bagian tengah namun tidak lebih dari 5% panjang bentang, maka modulus of rupture dihitung sebagai berikut :

$$M_R = \frac{3 \times P \times a}{b \times d^2} \quad (4)$$

dimana  $a$  adalah jarak tumpuan antara titik retak dan tumpuan terdekat.

Sedangkan ACI Code merekomendasikan rumus dibawah ini untuk menghitung modulus of rupture, khususnya untuk beton normal :

$$f_r(\text{psi}) = 7,5 \sqrt{f'_c(\text{psi})} \quad (5)$$

$$f_r(\text{N/mm}^2) = 0,623 \sqrt{f'_c(\text{N/mm}^2)} \quad (6)$$

Selanjutnya ACI Committee merekomendasikan rumus baru yang lebih tepat untuk beton dengan berat jenis antara 90 – 145 pcf atau 1440 – 2320 kg/m<sup>3</sup> yaitu :

$$f_r(\text{psi}) = 0,65 \sqrt{w_c \cdot f'_c} \quad (7)$$

dimana  $w_c$  dalam pcf dan  $f'_c$  dalam psi

$$f_r(\text{N/mm}^2) = 0,0135 \sqrt{w_c \cdot f'_c} \quad (8)$$

dengan  $w_c$  dalam kg/m<sup>3</sup> dan  $f'_c$  dalam N/mm<sup>2</sup>

Untuk mendapatkan hasil maksimal dapat dibantu dengan alat strain gage/LVDT sehingga data regangan-tegangan beton dapat diketahui secara jelas. Dengan makin lengkapnya data yang diperoleh diharapkan dapat diperoleh kesimpulan yang makin teliti.

Tabel 1. Korelasi kekuatan beton pada berbagai pengujian

Tipe Tes	Age at test				
	3 days	7 days	28 days	3 months	1 year
<b>Compression</b>	35	59	100	135	161
<b>Flexure</b>	53	71	100	126	143
<b>Tension</b>	46	68	100	121	150

(dikutip dari Concrete Construction Handbook, Joseph J Waddell, P.E & Joseph A Dobrowolski, P.E, 1993)

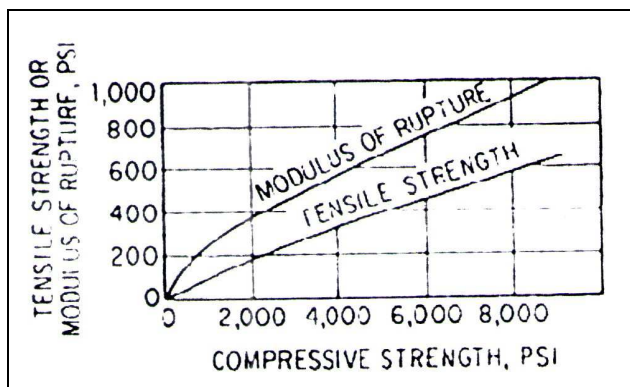
Tabel 2. Perbandingan kekuatan tekan beton pada berbagai umur

Umur beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
PC biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
PC dengan kekuatan awal yang tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,20	1,35

(dikutip dari Concrete Construction Handbook, Joseph J Waddell, P.E & Joseph A Dobrowolski, P.E, 1993)

Kecepatan bertambahnya kekuatan beton tersebut sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain : faktor air semen dan suhu perawatan. Semakin tinggi faktor air semen semakin lambat kenaikan kekuatan betonnya, dan semakin tinggi suhu perawatan semakin cepat kenaikan kekuatan betonnya. Laju kenaikan kekuatan beton ini mula-mula cepat, akan tetapi semakin lama laju kenaikan itu semakin lambat, seperti terdapat pada tabel 1 dan tabel 2.

Kuat tarik, kuat tekan, kuat geser dan kuat lentur beton saling berhubungan, dan peningkatan ataupun penurunan yang satu akan mempengaruhi yang lain.



(dikutip dari Concrete Construction Handbook, Joseph J Waddell, P.E & Joseph A Dobrowolski, P.E, 1993)

Gambar 4 Hub. antara tegangan tekan dan tegangan tarik

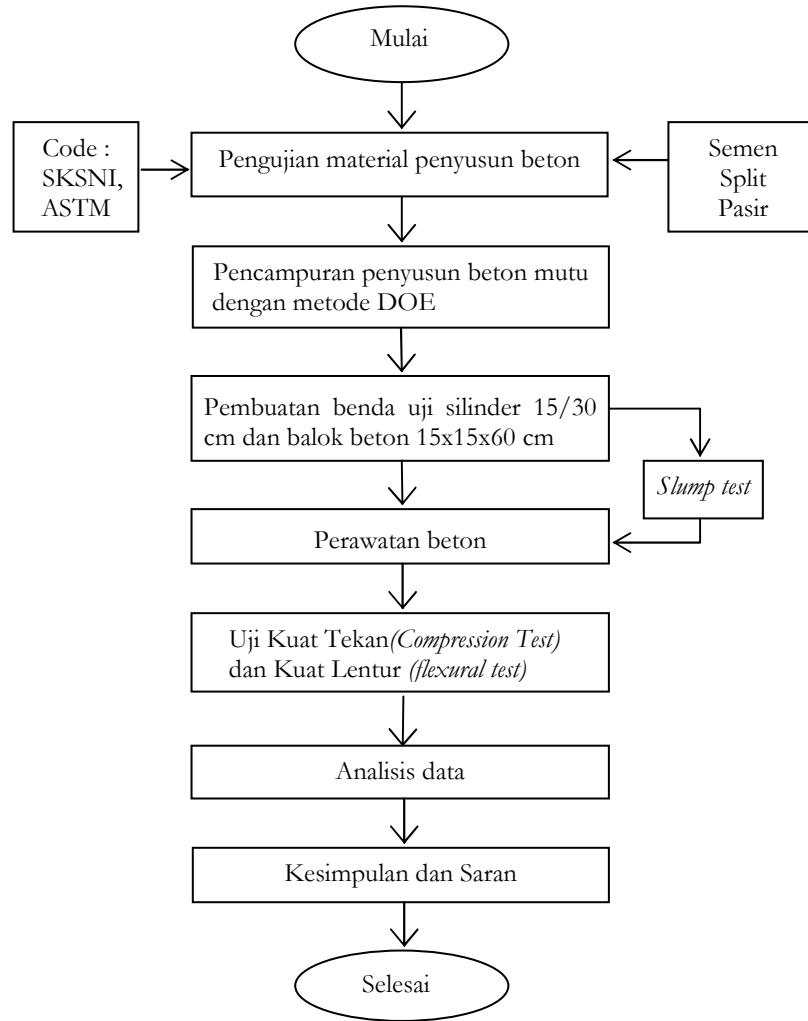
### 3. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen di laboratorium. Rancangan campuran beton mengacu kepada ketentuan SNI. Agregat halus dan agregat kasar berasal dari Semarang. Agregat kasar yang digunakan berukuran maksimum 20 mm. Semen yang digunakan jenis PCC type I untuk penggunaan umum.

Untuk setiap percobaan kuat tekan digunakan silinder beton mutu  $f_c$  50 MPa pada umur 3, 7, 14, dan 28 hari masing-masing sampel sebanyak 3(tiga) buah, dan untuk percobaan tarik pada tiap umur beton yang ditentukan dibuatkan 3(tiga) buah sampel balok 15x15x60 cm. Silinder beton akan diuji dengan alat *compression machine apparatus*, sedangkan balok beton akan diuji dengan alat *Flexure Testing Apparatus* untuk pengujian lenturnya. Pengujian dilakukan pada umur beton 3, 7, 14, dan 28 hari, sehingga total benda uji baik silinder maupun balok adalah 12 buah. Standar pengujian menggunakan standar *ASTM*.

Setelah semua proses pengujian dilakukan, maka dilanjutkan dengan pembahasan dan analisa dari semua variable dan data data yang diperoleh., baik untuk *flexure test* maupun *compression test*. Dari data hasil kedua uji tersebut akan ditarik korelasi antara keduanya.

Bila digambarkan dalam bentuk diagram, tahapan penelitian yang dilakukan seperti terlihat pada gambar 5 berikut ini :



Gambar 5. Bagan alir tahap penelitian

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1 Kuat Tekan Beton ( *Compression test* )

Pengujian kuat tekan dengan beban uniaksial dilakukan untuk mengetahui P maksimum yang mampu ditahan oleh benda uji pada umur tertentu. Dengan mengetahui P maksimum maka besar kuat tekan beton dapat dihitung dengan mempertimbangkan umur beton pada saat dilakukan pengujian.

Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dengan diameter 15cm dan tinggi 30cm. Uji tekan dilakukan pada saat beton berumur 3,7,14 dan 28 hari, dengan penambahan pembebanan sebesar 0,15-0,35 MPa sesuai dengan *ASTM-C39-94*. Pengujian dilakukan dengan mesin *Universal Testing Machine* merek Hung Ta model HT-8391PC diperoleh hasil sebagai berikut :

Tabel 3. Hasil pengujian kuat tekan beton silinder

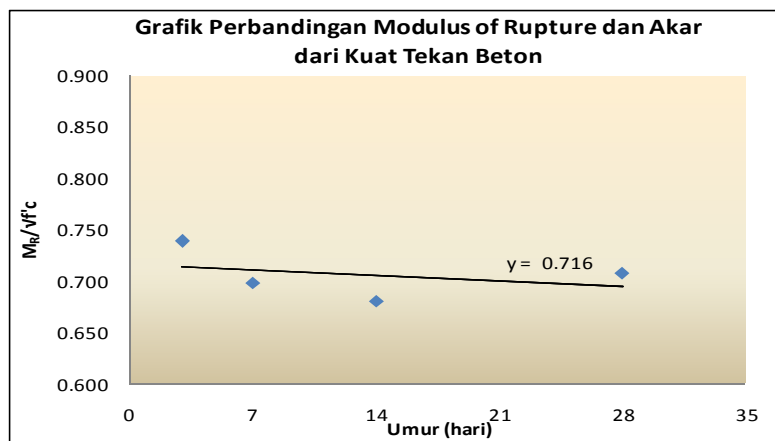
Umur	Gaya Tekan (ton)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tekan rerata (MPa)
3 hari	48	27.18	28.84
	51	28.88	
	52	29.44	
7 hari	61	34.54	35.84
	61	34.54	
	68	38.51	
14 hari	74	41.90	43.76
	78	44.16	
	80	45.30	
28 hari	90	50.96	51.50
	91	51.53	
	92	52.10	

Tabel 4. korelasi kuat tekan beton pada berbagai peraturan dan penelitian

	3 hari	7 hari	14 hari	28 hari
JJ Waddell & JA Dobrowolski	0,35	0,59		100
Beton dg PC biasa ( PBI <sup>71</sup> )	0,40	0,65	0,88	1,00
Beton dg kekuatan awal tinggi (PBI <sup>71</sup> )	0,55	0,75	0,90	1,00
PU Bina Marga – Teknologi Perkerasan Jalan Beton	0,40	0,70		1,00
Beton penelitian	0,56	0,70	0,85	1,00

Tabel 5. korelasi kuat tekan beton pada berbagai peraturan dan penelitian

	Umur Beton ( hari )			
	3 hari	7 hari	14 hari	28 hari
Beban P (kN)	29.57	31.39	33.73	38.07
<b>M<sub>R</sub> ( MPa ) penelitian</b>	<b>3.94</b>	<b>4.18</b>	<b>4.50</b>	<b>5.08</b>
fc' ( MPa )	28.48	35.84	43.76	51.50
M <sub>R</sub> ( MPa ) ACI	3.32	3.73	4.12	4.47



Gambar 6 Grafik Perbandingan akar kuat tekan dan modulus of rupture beton

Hasil penelitian tersebut bila dibandingkan terhadap penelitian terdahulu maupun dengan peraturan yang sudah ada akan diperoleh korelasi hasil seperti tertera pada tabel 4 .

#### 4.2 Kuat Lentur Beton ( Flexural test )

Uji tarik beton dengan cara uji tarik tidak langsung berupa uji lentur murni ( flexural test ) pada balok 15 x 15 x 60 cm yang dibebani 2 titik masing-masing jaraknya 1/3 L. Pembebanan dilakukan pada saat beton berumur 28 hari dan modulus of rupture dihitung dengan formula (3). Sedangkan formula dari **ACI - Code** , modulus of rupture dihitung berdasarkan kuat tekannya dengan formula (6) diperoleh hasil seperti terlihat pada tabel 5.

Dari grafik hubungan perbandingan antara modulus of rupture dengan akar kuat tekannya diperoleh hubungan persamaan  $y = 0,716$ .

$$\frac{M_R}{\sqrt{f'_c}} = 0,716$$

$$M_R = 0,716\sqrt{f'_c}$$

Sehingga dapat disimpulkan bahwa konstanta perbandingan Modulus of Rupture dan kuat tekan beton adalah konstan sebesar **0,716**.

Nilai yang didapat dari modulus of rupture pada tiap-tiap umur beton bila dibandingkan terhadap umur 28 harinya, akan didapatkan korelasi seperti terlihat pada tabel 6.

Tabel 6. korelasi kuat tarik beton terhadap umur 28 hari

	3 hr	7hr	14hr	28hr
JJ Waddell & JA Dobrowolski ( <i>Concrete Construction Handbook</i> )	<b>0,53</b>	<b>0,71</b>	-	<b>100</b>
PU Bina Marga – Teknologi Perkerasan Jalan Beton	-	0,85	-	1,00
Beton penelitian	<b>0,77</b>	<b>0,82</b>	<b>0,88</b>	<b>1,00</b>
ACI Code	0.74	0.83	0.92	1.00

Dari tabel korelasi kuat tarik beton diatas dapat disimpulkan bahwa beton hasil penelitian memiliki nilai korelasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai yang ditetapkan dalam [11].

Jika dibandingkan dengan **ACI- Code** maka nilai korelasi kuat tarik beton hasil penelitian lebih mendekati.

## 5. SIMPULAN

Nilai korelasi kuat tekan beton baik berdasarkan PBI'71, PU Bina Marga dan Weddell & Dobrowolski masih bisa digunakan karena hasil kuat tekan benda uji dari berbagai umur mempunyai prosentase nilai yang hampir mendekati beton hasil penelitian.

Sedangkan dari nilai korelasi kuat tarik beton dapat disimpulkan bahwa beton hasil penelitian memiliki nilai korelasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai yang ditetapkan dalam **Concrete Construction Handbook** karya Joseph J.Waddell, PE dan Joseph A. Dobrowolski, PE, 1993. Jika dibandingkan dengan **ACI- Code** maka nilai korelasi kuat tarik beton hasil penelitian lebih mendekati.

Metode perhitungan *modulus of rupture* berdasarkan kuat tekannya seperti yang tertera di ACI Code, yaitu :

$$f_r = K\sqrt{f_c} \text{ (MPa)} ; K = 0,623$$

kurang tepat untuk menentukan *modulus of rupture* beton mutu tinggi karena dari penelitian ini didapatkan persamaan bahwa

$$f_r = K\sqrt{f_c} \text{ (MPa)} ; K = 0,716$$

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aly, M.A, (2004), Teknologi Perkerasan Jalan Beton Semen, Yayasan Pengembang Teknologi dan Manajemen, Jakarta.
- [2] Anonim, (1971), *PERATURAN BETON BERTULANG INDONESIA (PBI 1971)*, Departemen Pekerjaan Umum.
- [3] Anonim, (1982), *PERSYARATAN UMUM BAHAN BANGUNAN DI INDONESIA (PUBI 1982)*, Pusat Penelitian dan Pengembangan, DPU, Bandung.
- [4] Daniel Ariyanto, (2009), Pengaruh Additive Terhadap Korelasi Kuat Tekan dan Kuat Tarik Beton, Tesis, Program Pasca Universitas Diponegoro, Semarang
- [5] Gardner, N. J. and Poon, S. M., 1976, "Time and Temperature Effects on Tensile, Bond and Compressive Strength", *ACI Journal Proceedings*, Vol. 73, no 7, pp 405-409.
- [6] Kaufmann, Walter, 1998, *Strength and Deformations of Structural Concrete Subjected to In-Plane Shear and Normal Forces*, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich
- [7] Mehta, P. K. and Monteiro, P. J. M., 1993, "Concrete: Microstructures, Properties and Materials", Third Edition, McGraw-Hill, pp. 56-57.
- [8] Mindess, S., Young, J. F. and Darwin, D., 2003, "Concrete", Second Edition, Pearson Education Inc, Upper Saddle River, NJ, pp. 353-354.
- [9] Mulyono, (2003), "TEKNOLOGI BETON", C.V. Andi Offset, Yogyakarta.
- [10] Vecchio, F.J dan Shim, W., 2004, *Experimental and Analytical Reexamination of Classic Concrete Beams Test*, *Journal of Structural Engineering*, ASCE
- [11] Waddell, J. J. and Dobrowolski, J. A., 1993, "Concrete Construction Handbook", Third Edition, McGraw-Hill, Inc, pp. 6.11.
- [12] Withey, M. O., 1961, "Fifty Year Compression Test of Concrete", *ACI Journal Proceedings*, vol. 58, no 12, pp. 695-7