

PENINGKATAN EFISIENSI BAHAN STRUKTUR BETON BERTULANG DENGAN PENGGUNAAN VARIASI CAMPURAN MUTU BETON PADA DAERAH TARIK BETON

Sukoyo

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Semarang
Jalan Prof. H. Sudarto, SH Tembalang Semarang, 50275 Telp. (024) 7473417
Email : jwahana_tspolines@yahoo.com

Abstrack

In a cross-sectional design of reinforced concrete, is generally assumed to be only 30 to 50% higher cross section work withstand being hit withstand tensile rest. From these assumptions and with the use of the model diagram, meaning there are still opportunities to optimize the function of the concrete with the use of lower levels of the cement mixture. With this method the benefits expected to be obtained and optimally efficient use of cement as an adhesive in the construction of reinforced concrete. Experiments carried out by varying the mix proportion of concrete as high as 50% higher for the cross-sectional area that will receive the attractive force. Of the six variations resulting mixture is made that the flexural strength of concrete as indicated by the flexural strength test results obtained that the bending moment variation cement mix with lower levels do not affect the flexural strength of about 9.2 KNm.

Kata kunci : *optimal, gaya tarik, variasi campuran, diagram tegangan-regangan, kekuatan lentur.*

PENDAHULUAN

Asumsi dasar yang digunakan dalam perencanaan penampang beton bertulang masih menggunakan hubungan tegangan - regangan dimana beton akan menerima gaya tekan sedangkan baja untuk menahan gaya tarik. Artinya daerah luasan bidang tarik yang diisi oleh beton sebenarnya secara fungsional tidak memanfaatkan kekuatan beton, namun sepenuhnya ditahan oleh tulangan. Oleh karena itu daerah ini menjadi tidak efisien Sehingga dengan penggantian mutu material yang lebih rendahpun tidak akan mempengaruhi kekuatan elemen balok tersebut.

Penggunaan bahan beton dan acuan perancah yang efisien akan menghemat penggunaan material

secara signifikan [4,5,6,7,8]. Peningkatan efisiensi ini akan terjadi apabila kekuatan rencana sesuai dengan kebutuhan konstruksi tersebut, dimana pada umumnya penurunan rumus-rumus yang digunakan pada perencanaan didasarkan pada anggapan diagram tegangan lentur, baja sebagai penahan tarik dan beton sebagai penahan tekan. Sehingga masih ada 50 hingga 70% tinggi penampang yang dapat diefisienkan mutu campurannya. Yang tentu dalam pelaksanaannya perlu pengawasan yang ketat dalam pelaksanaan agar tidak terjadi kesalahan, dimana hanya daerah yang mengalami serat tarik saja yang divariasikan mutu betonnya.

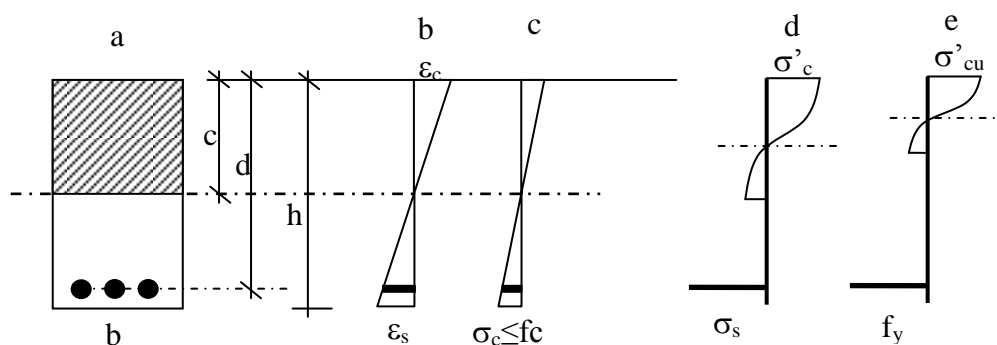
Dalam analisa penampang beton yang dibebani lentur ada beberapa asumsi yang digunakan :

- Beton kekuatan tariknya relatif kecil berkisar 10% dari kekuatan tekannya.
- Perubahan bentuk berupa penambahan panjang dan perpendekan pada serat-serat penampang berbanding lurus dengan jarak tiap serat ke sumbu netral atau yang dikenal dengan

azas Bernoulli dan Navier “Penampang bidang datar akan tetap datar sesudah deformasi”.

- Hubungan antara tegangan dan regangan baja dan beton dapat dinyatakan secara skematis.

Pada balok beton dengan lebar b dan tinggi efektif d yang menahan momen lentur, distribusi tegangan –regangan penampangnya akan terlihat seperti gambar 1 berikut ini :



Gambar 1. Distribusi Tegangan-Regangan Penampang Beton Bertulang

Tampak dari diagram tinggi daerah tekan (yang diarsir) adalah c , sedangkan regangan tekan dan regangan tarik (dalam beton dan baja) berbanding lurus dengan jarak sumbu netral (gambar 1a). Gambar 1c menyatakan distribusi tegangan pada bagian yang belum retak. Tegangan tarik maksimum beton terdapat pada serat terbawah dan lebih kecil dari f_c . Selama tegangan tekan lebih kecil, diagram distribusi tegangan masih linier [1,2,3]. Bila beban pada balok diperbesar, tegangan tarik akan beton akan melebihi f_c , beton akan retak, akibatnya gaya tarik dilawan tulangan, sedangkan diagram distribusi tegangan

tekan pada beton mendapatkan bentuk lengkung yang mendekati diagram tegangan-regangan yang sebenarnya. Daerah regangan tarik tidak retak sepanjang tingginya (bagian atas), tetap tidak retak, dengan demikian dapat meneruskan sebagian gaya tarik (gambar 1d).

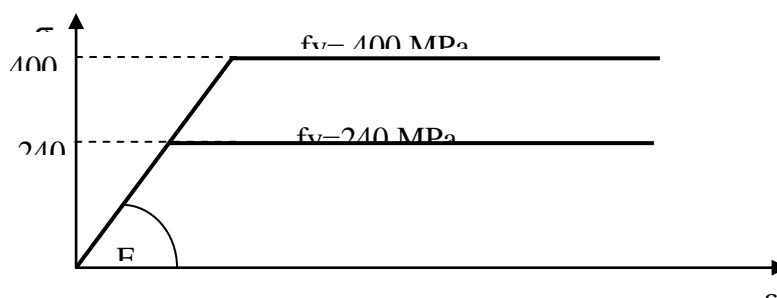
Pada saat balok hancur, distribusi tegangan pada penampang adalah sesuai gambar 1e. Di daerah tekan, hubungan antara tegangan dan regangan sesuai dengan diagram σ - ϵ yang sebenarnya bagi beton. Tegangan pada serat atas sama dengan tegangan tekan hancur, sedangkan pada daerah tekan telah mencapai tinggi minimum

cu, bagian daerah tarik yang tidak retak sangat kecil dan dapat diabaikan, tegangan pada tulangan beton dapat dianggap sama dengan tegangan leleh f_y .

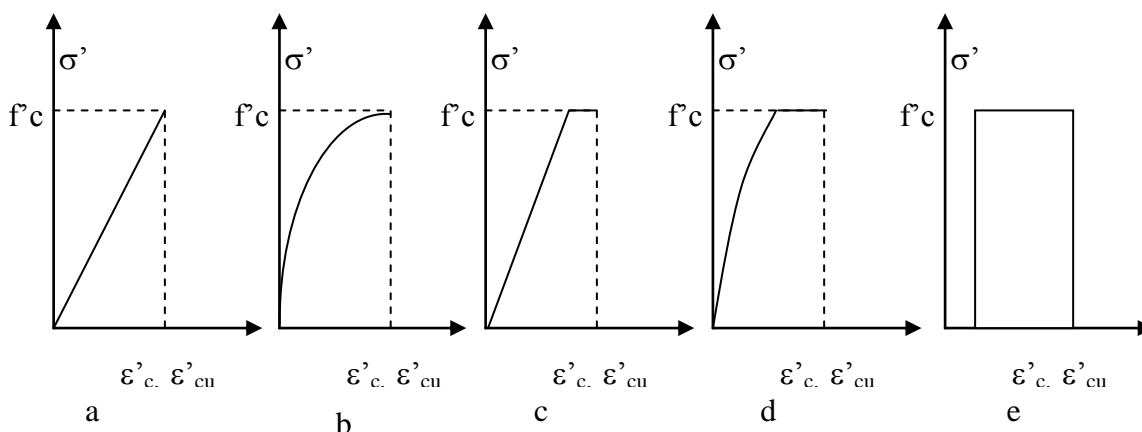
Regangan pada baja dan beton dinyatakan dengan ϵ_s . Hubungan antara σ_s dan ϵ_s umumnya diskemakan sebagai garis lurus yang patah seperti disajikan pada gambar 2. Kemiringan awal dari kurva menyatakan modulus elastisitas baja beton dan untuk kedua mutu baja beton besarnya adalah $E_s = 2.1 \times 10^5$ MPa. Garis horizontal pada

diagram ini ditentukan oleh tegangan leleh f_y atau batas leleh pada batas regangan 0,2%.

Hubungan antara tegangan-regangan yang diskematisasikan tersebut didapatkan dengan berbagai cara dan banyak dipakai pada pedoman maupun peraturan antara lain SKSNI, ACI, maupun CEB. Gambar 3 berikut adalah gambar model skema dari beberapa peraturan.



Gambar 2. Diagram Tegangan Regangan Baja Diskematisasikan



Gambar 3. Diagram σ - ϵ Beton yang Diskematisasikan

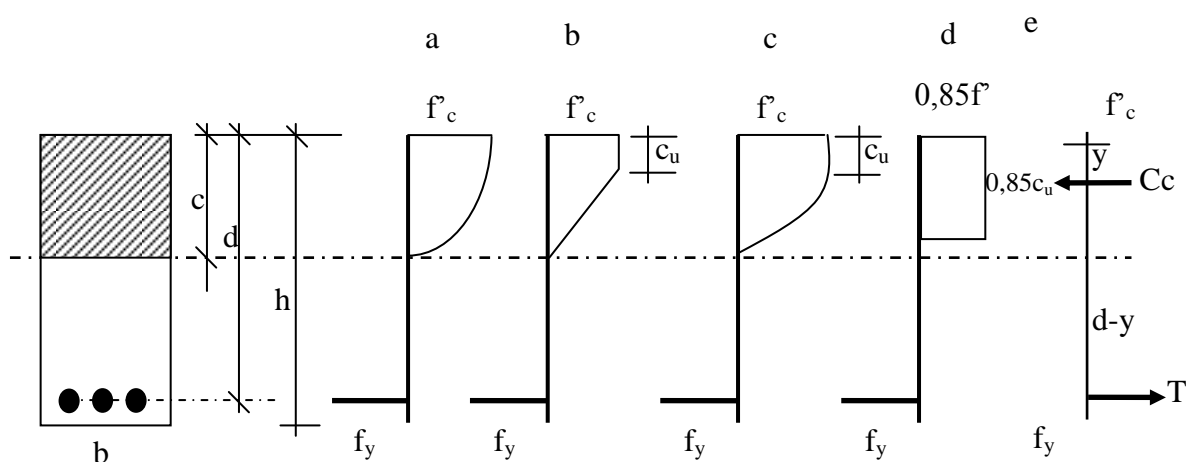
Gambar 3a menunjukkan hubungan linier dari tegangan-regangan, dan pada gambar 3b dipilih sebuah parabola derajat dua. Pada

gambar 3c diberikan diagram tegangan-regangan bilinear dan gambar 3d adalah kombinasi persegi dan parabola. Dan pada gambar 3e adalah

diagram tegangan-regangan yang digunakan sebagai dasar penurunan perencanaan beton bertulang yang banyak dipakai pada buku teks. Dalam peraturan nilai ϵ'_{cu} dibedakan 0,3% dan 0,35%.

Pada SKSNI 2002 mengizinkan setiap hubungan diskematisasikan antara σ - ϵ , asalkan kebenarannya dinyatakan dengan sejumlah pengujian yang cukup dan valid. Dalam peraturan

beton tersebut sesuai pada gambar 4e dinyatakan nilai $\sigma'c$ diambil sebesar $0,85f'c$. Harga $a = \beta c$ ditentukan oleh $\beta = 0,85$ untuk mutu beton $f'c < 30$ MPa. Untuk mutu beton yang lebih tinggi, menurut rumus $\beta = 0,85 - 0,008(f'c - 30)$, maka harga β akan menjadi lebih kecil. Diagram-diagram σ - ϵ gambar 3e diskemakan menjadi gambar diagram tegangan seperti ditunjukkan dalam gambar 4. berikut.



Gambar 4. Penampang dengan Variasi Diagram Tegangan

Dari syarat keseimbangan didapat $\Sigma H = 0$ didapat bahwa $C = Ts$ (kondisi seimbang antara kuat tekan beton dan kuat tarik baja). Titik tangkap C terletak pada jarak $3/8Cu$ dari serat yang paling tertekan yakni

$$Cu = \frac{2}{7} b \cdot c_u \cdot f'c + \frac{1}{2} \left(\frac{5}{7} b \cdot c_u \cdot f'c \right) = \frac{9}{24} b \cdot c_u \cdot f'c = 0,64 b \cdot c_u \cdot f'c \quad (1)$$

Nilai C_u , y , dan M_u dari model grafik yang diberikan pada gambar 6 tersebut dapat diperoleh dengan cara mencari titik berat (y) dari diagram asumsi, maka akan diperoleh persamaan untuk grafik pada gambar 6b, 6c, dan 6d diberikan dalam tabel 1. Untuk


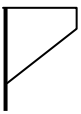
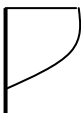

$y = 0,37Cu'$. Jarak antara resultan gaya tekan dan resultan gaya tarik adalah $d - y = d - 0,37cu'$, dan $M_u = Ts (d - 0,37cu_u)$. Untuk diagram bilinear pada gambar 4b berlaku sebagai berikut :

keamanan diambil harga rata-rata dari keempat pengandaian yang berbeda-beda yakni $C_c = 0,70 b \cdot c_u \cdot f'c$ dan $y = 0,40 c_u'$. Oleh karena itu hubungan antara tegangan dan regangan serta kaitan antara M_u dan A_s diformulasikan berikut :

$$C_s = 0,70b.c_u.f^c c = A_s.f_y \quad (2)$$

$$M_u = A_s.f_y.(d-0,40c_u) \quad (3)$$

Tabel 1 Nilai C_c , y , dan M_u berdasar diagram yang digunakan pada gambar 3.6.

Model Grafik	Gambar	$C_c = T_s$	y	M_u
6a		$0,67b.c_u.f^c c = A_s.f_y$	$0,37c_u$	$T_s(d-0,37c_u)$
6b		$0,64b.c_u.f^c c = A_s.f_y$	$0,35c_u$	$T_s(d-0,35c_u)$
6c		$0,76b.c_u.f^c c = A_s.f_y$	$0,40c_u$	$T_s(d-0,40c_u)$
6d		$0,72b.c_u.f^c c = A_s.f_y$	$0,42c_u$	$T_s(d-0,42c_u)$

Dari gambar 4 dan tabel 1 di atas dapat dinyatakan bahwa, apapun model diagram yang digunakan, maka daerah tarik pada beton hanya ditahan oleh tulangan. Ini artinya bahwa bagian penampang tersebut dapat dioptimalkan dengan menggunakan material yang sesuai dengan kebutuhan tegangan yang terjadi.

METODOLOGI PENELITIAN

Dalam diagram tegangan yang menjadi dasar dalam perencanaan beton bertulang, daerah dibawah garis netral, yang bekerja menahan tegangan tarik hanyalah baja. Dengan demikian kalau kita tilik permasalahan ini artinya masih ada sebagian penampang yang kurang berfungsi secara maksimal. Prinsip ini memberikan peluang untuk mengoptimalkan daerah dibawah garis netral sesuai dengan fungsinya, yaitu beton tidak mengalami tegangan, artinya dengan

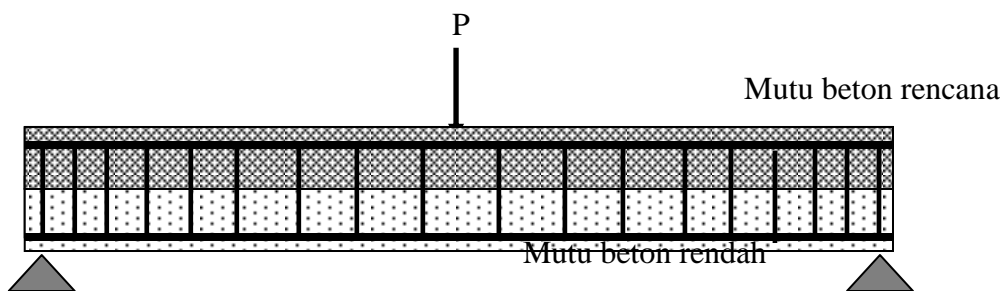
prinsip tersebut ekstrimnya secara teoritis luasan dapat dihilangkan, namun secara prinsip keamanan, baja menjadi tidak terlindung. Untuk itu tanpa mengurangi fungsi perlindungan terhadap baja tulangan dan tetap terjaganya hubungan beton dan baja, mutu beton pada daerah tarik dapat diganti dengan mutu yang lebih rendah. Dengan material yang mutunya lebih rendah pada akhirnya akan menghemat penggunaan bahan beton bertulang yaitu semen, kerikil atau bahkan pasir. Atas dasar tersebut diatas, maka hal yang harus dilakukan dalam penelitian ini adalah :

- Melakukan studi numerik untuk menentukan kebutuhan tulangan dari model, studi ini dimaksudkan untuk menghindari kerusakan dan kegagalan dalam uji eksperimental.
- Perhitungan numerik dilakukan dengan mengkaji tegangan dan regangan pada elemen model.

- c. Melakukan uji eksperimental pengaruh perbedaan penggunaan mutu bahan pada model.
- d. Melakukan analisis untuk memverifikasi hasil pengujian dengan bantuan software SAP dalam beberapa model yaitu

elemen frame, shell, Asolid, dan solid.

Berikut ini sketsa model untuk analisis dan uji eksperimental yang digunakan dan tabel campuran material standar sesuai perencanaan :



Gambar 5 Model Gelagar Untuk Uji

Tabel 2 Variasi Campuran Beton

No	Baja Tulangan (MPa)	CBR (MPa)	CBRd (MPa)	Jumlah
1	240	1:2:3	1:2:3	1
2	240	1:2:3	1:3:3	1
3	240	1:2:3	1:3:4	1
4	240	1:2:3	1:4:4	1
5	240	1:2:3	1:4:5	1
6	240	1:2:3	1:5:5	1

Catatan :

CBR : Campuran Beton Rencana

CBRd : Campuran Beton Rendah

Dari model variasi mutu beton tersebut selanjutnya dilakukan pembebanan sampai gaya rencana (beton seras tekan mencapai f'_c , dan baja mencapai f_y), kemudian dilakukan analisis pengaruh penggantian mutu beton lebih rendah dengan mutu rencana untuk bagian seras taik yang dikomparasi dengan beton yang tidak standar yaitu satu mutu beton untuk seluruh bagian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan Benda Uji Balok dan Silinder

Pembuatan benda uji penelitian dimulai dari analisis dimensi penampang yang akan digunakan dalam pengujian beban. Secara umum proses dilakukan sebagai berikut :

1. Penentuan dimensi balok uji

2. Pembuatan cetakan balok
3. Perakitan tulangan
4. Pengecoran sesuai dengan proporsi campuran yang telah ditentukan dalam metodologi dan pengecoran benda uji silinder untuk menentukan mutu beton.

Hasil Pengujian

Agar dipenuhi umur beton standar pengujian kuat tekan dan kuat lentur dilakukan setelah beton berumur 28 hari. Walau sebenarnya untuk pengujian kuat tekan dapat dilakukan pada umur 7 hari, 14 hari atau 21 hari,

namun untuk pengujian yang terkait dengan kekuatan lentur konstruksi harus dilakukan setelah beton mencapai umur minimal 28 hari. Karena pada umur ini beton telah mencapai kekuatan maksimumnya, sehingga keadaan waktu pengujian dengan keadaan konstruksi ketika mulai menahan beban adalah sama. Dari pengujian kuat tekan variasi campuran didapatkan hasil tabel 3, sedangkan pengujian kuat lentur untuk variasi campuran dan konstruksi lapis didapat seperti tabel 4 berikut :

Tabel 3 Kuat Tekan Campuran

No	Campuran	Kuat Tekan (MPa)
1	1:2:3	15.584
2	1:3:3	13.831
3	1:3:4	12.662
4	1:4:4	8.571
5	1:4:5	7.792
6	1:5:5	4.870

Tabel 4 Kuat Lentur Variasi Beton Lapis

No	Baja Tulangan (MPa)	CBR (MPa)	CBRd (MPa)	P (KN)	Momen (kNm)
1	240	1:2:3	1:2:3	86.800	9.874
2	240	1:2:3	1:3:3	86.800	9.874
3	240	1:2:3	1:3:4	82.600	9.396
4	240	1:2:3	1:4:4	81.200	9.237
5	240	1:2:3	1:4:5	81.200	9.237
6	240	1:2:3	1:5:5	81.200	9.237

Pembahasan

Kuat tekan beton uji silinder dari variasi campuran yang direncanakan di atas diperoleh mutu kuat tekan yang ditunjukkan dalam gambar 5. Dari

grafik variasi campuran dari 1:2:3 sampai dengan 1:5:5 terlihat bahwa kekuatan yang diperoleh pada campuran 1:5:5 mencapai sepertiga dari kekuatan beton yang dianggap

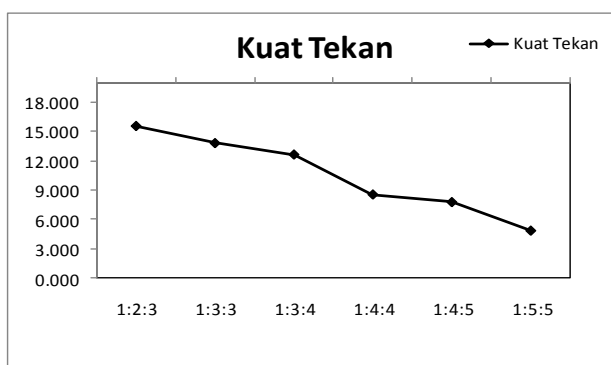
sebagai standar yaitu 1:2:3, dari sini dapat dikatakan bahwa dengan menggunakan mutu beton tersebut maka semen yang digunakan menjadi lebih sedikit untuk ukuran volume yang sama, hal ini akan membuat penggunaan semen menjadi lebih efisien.

Dari gambar grafik gaya lentur terpusat untuk model dengan jarak antar tumpuan 45,5 cm tersebut menunjukkan besarnya variasi gaya lentur yang dihasilkan antara beton dengan campuran murni 1:2:3 terhadap beton balok yang terdiri dari dua variasi campuran menunjukkan perbedaan yang tidak terlalu besar atau mendekati sama. Hal ini artinya apa yang disajikan dalam dasar teori hubungan tegangan dan regangan tersebut bahwa optimasi diagram masih dapat dilakukan untuk efisiensi penggunaan semen agar diperoleh kekuatan yang memadai.

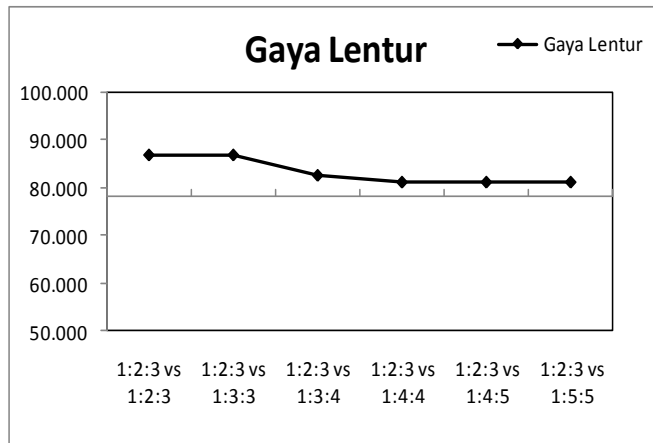
Demikian juga grafik yang ditunjukkan oleh kekuatan momen lentur yang terjadi pada variasi mutu campuran 1:2:3 sampai penggunaan

campuran 1:5:5 masih dihasilkan kekuatan lentur yang relatif sama. Artinya dengan penggunaan variasi material beton untuk daerah tarik akan menghasilkan kekuatan momen lentur yang sama. Jadi dengan metode ini penggunaan semen menjadi lebih irit. Efisiensi penggunaan semen akan menjadi lebih signifikan ketika mengecor balaok dengan dimensi yang besar misalnya 1 meter.

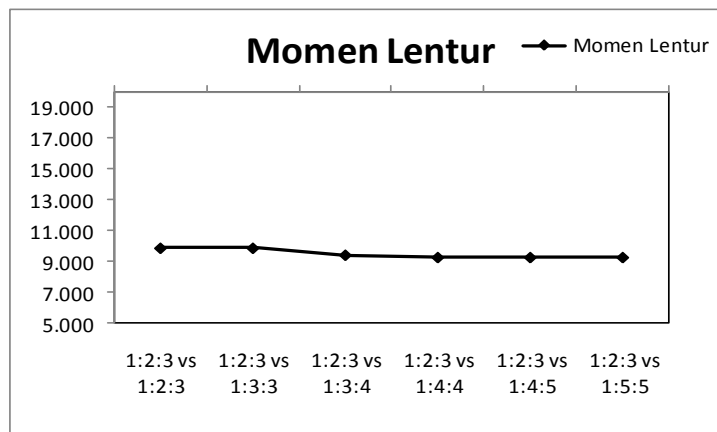
Namun demikian dalam pelaksanaan pengecoran diperlukan pengawasan yang ketat agar tidak terjadi kesalahan penggunaan campuran tersebut. Bila campuran rendah digunakan untuk daerah tekan maka akan memberikan dampak yang fatal terhadap kekuatan struktur. Demikian halnya untuk penggunaan konstruksi yang momen lenturnya berubah arah atau tanda, maka akan menjadi tidak cocok dan berbahaya. Oleh karena itu penggunaan variasi campuran yang lebih rendah ini akan aman bila dipastikan respons gaya yang terjadi hanya tarik saja pada serat yang sama.



Gambar 6. Grafik Kuat Tekan Beton dg Variasi Campuran



Gambar 7. Grafik Gaya Lentur Balok dg Variasi Campuran



Gambar 8. Grafik Momen Lentur Balok dg Variasi Campuran

SIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan di atas dapat diperoleh kesimpulan bahwa kekuatan lentur yang dihasilkan dari penggunaan campuran yang lebih rendah untuk daerah serat tarik masih dimungkinkan untuk efisiensi penggunaan bahan perekat/ semen, kekuatan lentur sesuai dasar teori dan banyak dipakai dalam asumsi desain bahwa hanya memperhitungkan kekuatan tulangan saja dapat dipakai campuran mutu yang lebih rendah dari mutu beton untuk serat tekan.

Penggunaan campuran lebih rendah untuk beton dengan serat tarik harus dapat diprediksi bahwa elemen tersebut dipastikan hanya menerima gaya dalam satu arah, bukan gaya yang bersifat bolak-balik dan efisiensi penggunaan semen akan menjadi lebih signifikan ketika balok yang dicor mempunyai tinggi penampang diatas 25 cm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam penelitian ini atas nama tim peneliti mengucapkan terima kasih

yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini antara lain : Politeknik Negeri Semarang yang telah mendanai pelaksanaan penelitian ini, UP2M Polines yang telah membantu terselenggaranya penelitian, dan para anggota tim peneliti dan para mahasiswa yang telah bekerja keras untuk membantu proses penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajit, K.M and Singh, S.T., 1991, *Deformation of Elastic Solids*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Armenakas, A.E, 1991, *Modern Structural Analysis The Matrix Method Approach*, Mc Graw-Hill, Inc, New York.
- Cook, R.D, 1985, *Advanced Mechanics of Materials*, Macmillan Publishing Company, New York.
- Cook, R.D., 1990, *Konsep dan Aplikasi METODE ELEMEN HINGGA*, Edisi Pertama, PT. ERESCO, Bandung.
- Dally, J.M and Riley, W.F, 1991, 3rd edition, *Experimental Stress Analysis*, Mc Graw-Hill International, New York.
- Reddy, J.N., 1993, *An Introduction to the FINITE ELEMENT METHOD*. Second Edition, McGraw-Hill International, New York.
- Timoshenko, S.P. and Goodier, J.N., 1970, *Theory of Elasticity*, McGraw-Hill International, New York.
- Wilson E.L and Habibullah A, 2002, *SAP2000 A Series Of Computer Program for the Static and Dynamic Finite Element Analysis of Structures*, CSI, Inc, Berkeley, California