

PENGARUH FAS PADA BETON TERHADAP TEGANGAN LEKAT BAJA TULANGAN POLOS (BJTP) DENGAN PENGANGKERAN LURUS DAN KAIT STANDAR

Jhonson A. Harianja¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UKRIM Yogyakarta

Abstract

The strength and integrity of reinforced concrete element depend largely on the effectiveness of the bond between the concrete and reinforcing rod at the anchoring ends. Past investigations have revealed that one of the causes of the reduction in the anchoring capacity of steel bars with end hooks is the presence of cavities in the part of the concrete where the end hooks rest. This research is aimed to study the effect of water cement ratio on the effectiveness of the bonding strength between concrete and steel rod at its anchoring point.

Concrete cylinder specimens were cast with water cement ratios of 0.4, 0.55, 0.60, 0.70, and 0.75. In each test specimens ordinary reinforcing steel bar of diameter 7.5 mm were planted with either straight of standard hook anchoring. The steel bars were pulled out after the specimen was 28 days old. The amount of load needed to pull the rod as much as 0.25 mm was recorded.

The test revealed that maximum bonding resistance between the concrete and rod was an achieved at a water cement ratio 0.65 for both straight as well as hook anchoring. Below a water cement ratio to 0.65 and increase in the water cement ratio resulted in a steady increase of bonding strength. Beyond 0.65 a steady decrease in the bonding strength was noted with increasing water cement ratio. It was also observed that increasing water cement ratio resulted in the narrowing of the gap in the steel-concrete bonding strength for specimens with straight and hook anchoring. Another observation was the significant increase in the effectiveness of the standard hook anchoring a increasing water cement ratio, even tough the compressive strength of the specimens were more less the same.

Key words : bonding strength, water cement ratio

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Air dalam campuran beton mempunyai dua fungsi, yang pertama memungkinkan reaksi kimia yang menyebabkan pengikatan dan berlangsungnya pengerasan dan yang kedua sebagai pelumas antar agregat sehingga memudahkan

dalam pencetakan. Adukan beton yang menggunakan air minimal biasanya dapat menghasilkan kuat tekan beton yang tinggi tetapi adukan semacam ini akan bersifat sangat kaku. Kakunya adukan dapat menyebabkan sulitnya pemadatan sehingga menyebabkan betonnya keropos dan berongga terutama di daerah bengkokan tulangan. Oleh karena itu kuat tekan beton yang tinggi, secara teoritis belum tentu diikuti dengan kuat lekat yang semakin baik dengan baja tulangan.

Kuat tarik lolos atau tegangan lekat yang dengan kata lain dapat disebut kuat lekat antara beton dengan baja tulangan sangat ditentukan oleh kualitas dan kondisi bidang kontak baja tulangan dengan beton di sekelilingnya. Walaupun diketahui bahwa, adukan yang encer memperbesar luas bidang kontak antara beton dengan baja tulangan, tetapi perlu adanya perhatian karena adukan yang semakin encer secara umum diikuti dengan turunnya kuat tekan. Oleh karena itu, rumusan permasalahannya adalah berapa besarnya faktor air semen yang menghasilkan kuat lekat beton terhadap baja tulangan yang optimal, baik yang ditanam lurus maupun yang dibengkokkan di bagian ujungnya.

B. Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui proporsi kebutuhan air yang optimal agar dihasilkan kuat lekat terbaik antara beton dengan baja tulangan, baik baja tulangan dengan penanaman lurus maupun dengan kait standar atau pembengkokan pada bagian ujung. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan khususnya tentang sifat dan perilaku yang berkaitan dengan kuat tarik lolos baja tulangan dari beton di sekelilingnya. Informasi yang dihasilkan melalui analisis terhadap data pengujian kuat tarik lolos juga akan sangat bermanfaat dalam usaha mengembangkan pengetahuan bahan konstruksi khususnya dalam materi kajian teknologi beton sebagai bahan bangunan. Untuk usaha jasa konstruksi, jumlah air yang optimum melalui penelitian ini diharapkan dapat memberi informasi berguna khususnya dalam perencanaan kekuatan konstruksi agar menghasilkan kekuatan bahan beton bertulang yang diharapkan, khususnya dalam perencanaan panjang penyaluran baja tulangan dalam memikul gaya-gaya yang bekerja.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Beton dan Agregat

Pencampuran agregat halus seperti pasir dan krikil sebagai agregat kasar dengan semen sebagai bahan perekat dan air sebagai bahan pereaksi kimia antara bahan-bahan tersebut akan menghasilkan beton. Jika baja tulangan ditempatkan di dalam campuran yang basah, massa akhirnya akan mengeras dan menjadi beton bertulang.

Campuran beton pada umumnya menggunakan agregat dengan volume 60 sampai 70 persen dari volume totalnya. Umumnya agregat harganya lebih murah sehingga dianjurkan penggunaan bahan ini sebanyak mungkin agar beton yang dihasilkan ekonomis dan pemakaian agregat yang banyak akan mengurangi penyusutan akibat mengeringnya beton dan juga dapat mengurangi ekspansi akibat panan (Tjokrodimulyo, K., 1992). Secara umum, perencanaan campuran beton yang akan digunakan dalam pelaksanaan konstruksi beton harus memenuhi syarat-syarat kekuatan, keawetan (*durability*), kemudahan pelaksanaan (*workability*), dan ekonomis (Murdock, L.J., 1999).

Agregat halus untuk beton adalah berupa pasir alam sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan atau berupa pasir buatan yang dihasilkan oleh alat-alat pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5 mm. Menurut standar konsep SNI, persyaratan yang harus dipenuhi oleh agregat halus adalah butir-butir yang tajam dan keras, bersifat kekal, tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5 persen, tidak boleh mengandung bahan-bahan organik terlalu banyak dan susunan besar butir agregat halus harus memenuhi syarat.

Agregat kasar dan agregat halus pada umumnya dapat dibedakan dengan dasar ukuran butirannya. Agregat yang mempunyai ukuran butir-butir besar disebut agregat kasar. Batas antara butir kasar dan halus tampaknya belum ada nilai yang pasti, masih berbeda antara disiplin ilmu yang satu dengan yang lain. Dalam bidang teknologi beton, batas tersebut umumnya adalah 4,75 atau 4,80 mm. agregat yang ukuran butirannya lebih besar dari 4,80 disebut agregat kasar dan yang lebih kecil dari 4,80 disebut agregat halus. Secara umum, agregat kasar sering disebut sebagai kerikil, kricak, batu pecah atau split sedang agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami dari sungai atau galian maupun dari pecahan batuan. Agregat yang ukuran butirannya lebih kecil dari 1,20 mm kadang-kadang disebut pasir halus dan jika butirannya lebih kecil dari 0,075 mm disebut silt, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut clay (Tjokrodimulyo, K., 1992).

Sifat agregat mempunyai pengaruh besar terhadap perilaku beton setelah mengeras. Sifat agregat tersebut tidak hanya berpengaruh terhadap sifat keras dari beton, tetapi juga mempengaruhi ketahanan (*durability*) sehingga umumnya diatur tingkatannya berdasarkan ukuran dalam suatu campuran yang layak yang menyatakan persentase dari agregat halus dan yang kasar (Wang, C.K., dan Salmon, C.G., 1994).

Menurut British Standard yang juga dipakai di Indonesia dalam SK-SNI T-15-1991-03, kekasaran pasir dapat dibagi menjadi empat kelompok menurut gradasinya, yaitu pasir halus, agak halus, agak kasar, dan kasar. Modulus halus butir (*fineness modulus*) ialah suatu indeks yang dipakai untuk menjadi ukuran kehalusan atau kekasaran butir-butir agregat dan didefinisikan sebagai jumlah persen kumulatif dari butir-butir agregat yang tertinggal di atas suatu set ayakan dan kemudian dibagi seratus. Makin besar nilai modulus halus butir (*mhb*)

menunjukkan makin besar butir-butir agregatnya. Pada umumnya pasir mempunyai mhb antara 1,5 sampai 3,8 sedang kerikil antara 5 sampai 8.

B. Kuat Tekan Beton

Nilai kuat tekan dan daya layan (durability) beton merupakan fungsi dari banyak faktor di antaranya adalah nilai banding campuran dan mutu bahan susun, metode pelaksanaan pengerjaan, finishing, temperatur, dan kondisi perawatan. Perbandingan air terhadap semen merupakan faktor utama dalam menentukan kuat tekan beton. Semakin rendah perbandingan air - semen, semakin tinggi kekuatan tekan tetapi suatu jumlah tertentu air diperlukan untuk memberikan aksi kimiawi dalam proses berlangsungnya pengerasan beton. Nilai kuat tekan beton dapat bervariasi sesuai dengan umurnya dan biasanya nilai kuat tekan beton ditentukan pada waktu beton mencapai umur 28 hari setelah pengecoran.

Oleh karena hampir semua sifat dari beton bertulang dikaitkan dengan kekuatan beton umur 28 hari, maka adalah hal penting untuk menyadari bahwa kekuatan sedemikian berbeda tergantung dari ukuran dan bentuk benda uji standar dan cara percobaan. Kekuatan tekan beton silinder tidak menunjukkan sifat yang persis sama dengan kekuatan tekan dari benda uji beton berbentuk kubus.

C. Faktor Air Semen (FAS)

Seperti pada reaksi kimia lainnya, semen dan air dikombinasikan dalam proporsi tertentu. Untuk semen Portland, satu bagian berat semen membutuhkan sekitar 0,25 bagian berat air untuk hidrasi. Akan tetapi, beton yang mengandung proporsi air yang sangat kecil, menjadi sangat kering dan sangat sulit untuk dipadatkan. Beton yang paling padat dan kuat diperoleh dengan menggunakan air yang minimal konsisten dengan derajat workabilitas. Workabilitas perlu dipertimbangkan dalam hubungannya dengan cara pemadatan dan jenis konstruksi agar terhindar dari pekerjaan yang berlebihan dalam mencapai kepadatan maksimal.

L.J. Murdock dan K.M. Brook (1999), mengatakan bahwa perbandingan air semen perlu dijelaskan karena adanya kesulitan yang timbul dari adanya air dalam takaran beton yang berasal dari tiga sumber, yaitu air yang diserap dalam agregat (w_a), air permukaan pada agregat (w_s), dan air yang ditambahkan selama mencampur (w_m).

Air yang diserap dalam agregat (w_a) dan air permukaan pada agregat (w_s) bersama-sama diistilahkan sebagai air bebas dalam campuran. Oleh sebab itu, perbandingan air semen selanjutnya dapat dituliskan dengan persamaan sebagai berikut :

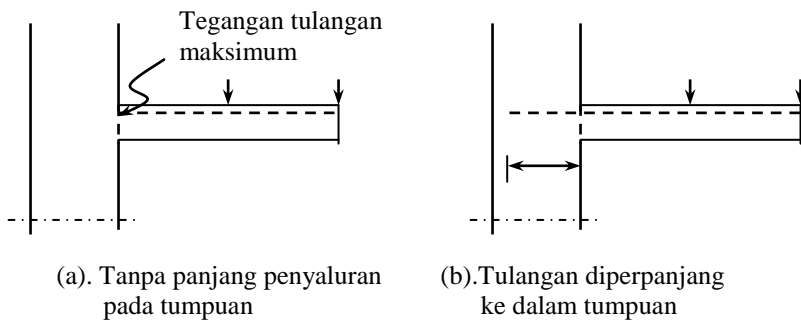
$$\text{Perbandingan Air Semen} = \frac{w_s + w_m}{W_c} = \frac{w}{W_c} \dots\dots\dots (2.1)$$

Dalam Persamaan (2.1), W_c menunjukkan berat semen, w adalah berat air, dan diasumsikan bahwa agregat adalah basah, lembab dan jenuh di dalamnya.

D. Panjang Penyaluran dan Kuat Lekat

1. Panjang Penyaluran

Kapasitas momen suatu elemen struktur bukan hanya menyangkut sifat-sifat penampang pada suatu lokasi si sepanjang bentang tetapi juga menyangkut panjang penanaman batang tulangan. Pada Gambar 2.1. terlihat bahwa baik momen maksimum dalam balok maupun tegangan maksimum dalam tulangan tarik terjadi pada permukaan tumpuan.

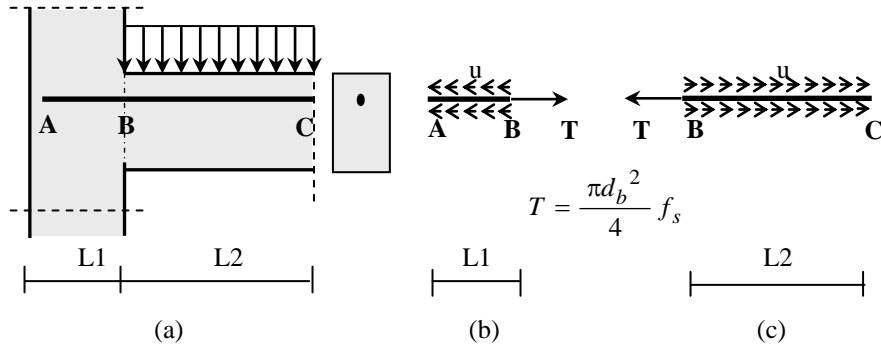


Gambar 2.1. Balok kantilever dengan tulangan dihentikan dan diperpanjang

Secara teoritis, pada jarak yang pendek masuk ke dalam tumpuan momen adalah nol sehingga tulangan tidak lagi diperlukan tetapi tentu saja jika tulangan dihentikan pada permukaan tumpuan, balok akan runtuh (McCormac, J.C., 2004).

Tegangan tulangan harus ditransfer ke beton oleh lekatan antara baja dengan beton sebelum tulangan dapat dipotong. Dalam hal ini tulangan harus diperpanjang dengan jarak tertentu masuk ke dalam balok untuk mengankur tulangan sehingga meningkatkan kekuatannya. Jarak ini disebut panjang penyaluran (L_d) seperti ditunjukkan pada Gambar 2.1 (b). Panjang penyaluran dapat didefinisikan sebagai panjang minimum dari tulangan terbenam yang diperlukan sehingga tulangan dapat diberikan tegangan sampai mencapai titik leleh ditambah jarak ekstra untuk menjamin kekuatan dari batang (McCormac, J.C., 2004). Hal yang sama dapat dilakukan untuk tulangan-tulangan dalam kondisi lain dan jenis balok yang lain.

Penjabaran lebih jauh terhadap permasalahan pada Gambar 2.1 sebelumnya diuraikan dengan meninjau balok balok AB pada Gambar 2.2. Gambar balok 2.2 (a) dengan tulangan tunggal diidealisaikan menjadi tipe diskrit seperti pada Gambar 2.2. (b), maka gaya tarik pada B yang besarnya adalah f_s ($\pi d_b^2/4$) haruslah dipindahkan kepada beton oleh interaksi batang baja tulangan dengan beton di sekelilingnya sepanjang penanaman $L_1 = AB$



Gambar 2.2. Lekatan anker pada batang tarik

Bila u adalah tegangan lekat rata-rata pada luar permukaan nominal $\pi d_b L_1$, maka :

$$u = \pi d_b L_1 = f_s \pi \frac{d_b^2}{4} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\text{atau } u = \frac{f_s d_b}{4 L_1} \dots\dots\dots (2.3)$$

dan panjang penyaluran yang diperlukan untuk f_s adalah :

$$L_1 = \frac{f_s}{4u} d_b \dots\dots\dots (2.4)$$

dengan L_1 = panjang penyaluran (mm), f_s = tegangan baja pada beban kerja (MPa), u = tegangan lekat antara baja tulangan dengan beton (MPa), dan d_b = diameter nominal baja tulangan (mm)

Kadaan yang sama terjadi pada batang BC seperti pada Gambar 2.2. (c). Gaya tarik pada B harus dikerahkan oleh penanaman baja tulangan sejauh BA atau BC . Oleh karena keterbatasan tempat sehingga penanaman lurus tidak dimungkinkan, maka baja tulangan dapat diakhiri dengan cara pembengkokan. Pengakhiran semacam ini dianggap berfungsi sama dengan suatu panjang

penyaluran ekuivalen oleh adanya aksi mekanis yang sebanding dengan kekuatan tarik beton.

Perencanaan yang didasarkan pada metode kekuatan bertujuan untuk mencapai tegangan leleh f_y di dalam tulangan. Oleh karena itu, f_s dalam Persamaan (2.3) menjadi f_y . Kuat lekat u adalah suatu tegangan nominal di ambang keruntuhan, yaitu tegangan dekat batas u_u sehingga panjang penyaluran yang dibutuhkan harus sama dengan kuat tarik leleh bajanya. Berdasarkan hal ini, maka panjang penyaluran minimum dapat dirumuskan (Wang, C.K dan Salmon, C.G., 1994) :

$$L_d = \frac{d_b f_y}{4 u_u} \dots\dots\dots (2.5)$$

dengan L_d = panjang penyaluran dasar (mm), f_y = tegangan leleh baja tulangan (MPa), dan u_u = kuat lekat antara baja tulangan dengan beton (Mpa)

Lebih lanjut, dalam SNI-92 pasal 3.5.2 disyaratkan nilai-nilai panjang penyaluran dasar L_{db} dari tulangan tarik yang tergantung pada diameter tulangan, mutu beton, dan mutu baja untuk baja tulangan deform berdiameter ≤ 36 mm dengan persamaan :

$$L_{db} = 0,02 A_b \frac{f_y}{\sqrt{f'_c}} \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan f'_c = kuat tekan beton dalam satuan Mpa, A_b = luas penampang tulangan dalam satuan mm^2 .

Untuk persamaan (2.6), L_{db} tidak boleh lebih kecil dari $0,06 d_b f_y$ atau 300 mm sedang untuk baja tulangan polos SNI-92 tidak menentukan persyaratan tetapi perbandingan panjang penyaluran baja tulangan polos terhadap panjang penyaluran baja deform pada f_y yang sama adalah faktor dua.

2. Tegangan Lekat

Asumsi dasar untuk perencanaan beton bertulang adalah bahwa sama sekali tidak boleh terjadi selip pada tulangan terhadap beton disekitarnya. Dengan kata lain, tulangan dan beton sebaiknya tetap bersatu dan melekat sehingga keduanya menjadi satu kesatuan.

Besarnya nilai tegangan lekat antara baja tulangan yang tertanam dalam beton (W.C. Vis dan Gideon K, 1993) terutama tergantung pada diameter tulangan yang diangkerkan, kualitas beton, dan letak tulangan dalam konstruksi. Jika tegangan lekat merata pada seluruh bagian batang baja tulangan yang tertanam, maka total gaya angker yaitu gaya yang harus dilawan oleh batang baja tulangan itu sebelum keluar dari beton adalah sama dengan panjang bagian yang

tertanam dikalikan keliling batang kali kekuatan lekat. Gaya maksimum yang dapat dilawan oleh baja tulangan itu sendiri sama dengan luas penampang batang kali kekuatan tarik baja dan agar terjadi keseimbangan, maka kedua gaya harus sama besar di arah yang berlawanan. Hal ini dapat dirumuskan sebagai :

$$L_d (\pi d_b) f_b = (\pi d_b^2) f_y \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

Dengan L_d = panjang penyaluran (mm), d_b = diameter nominal baja tulangan (mm), f_y = tegangan leleh baja tulangan (MPa), dan f_b = tegangan lekat (kuat lekat) beton (MPa).

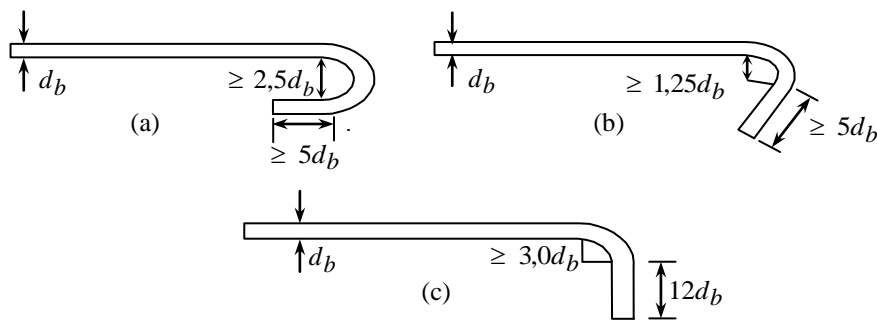
Dalam SNI-92 pasal 3.5. tercantum persamaan panjang penyaluran untuk baja tulangan dengan $f_y = 400$ MPa dengan ujung bentuk kait sebagai :

$$L_{dh} = \frac{100 d_b}{\sqrt{f'_c}} \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

dengan L_{dh} = panjang penyaluran dasar baja tulangan dengan kait (mm), d_b = diameter nominal tulangan (mm), dan f'_c = kuat tekan beton (MPa).

L_{dh} pada Persamaan (2.6) di atas, harus dikalikan dengan $f_y / 400$ untuk tulangan dengan f_y selain 400 MPa tetapi L_{dh} tersebut tidak boleh kurang dari $8 d_b$ atau 150 mm.

Dalam PBI-71 pasal 8.2 disebutkan, bahwa kait haruslah berupa sudut bengkokan sebesar 180 yang selanjutnya disebut kait penuh dan kait miring dengan sudut bengkokan 135 seperti pada Gambar 2.3. (a) dan 2.3. (b). Selanjutnya, SNI-92 pasal 3.16.1. memberikan aturan kait dengan pembengkokan 90 seperti pada Gambar 2.3. (c).



Gambar 2.3. Kait standar baja tulangan polos

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan meliputi PC, pasir, batu pecah/split (maksimum ϕ 20 mm), air sebagai media pereaksi dan baja tulangan polos (BJTP) dengan diameter pengenal 8 mm, dan pipa PVC ϕ 8 cm sebagai cetakan. Peralatan yang digunakan antara lain saringan agregat, timbangan, kerucut Abrams untuk pengujian nilai slump campuran beton segar, alat uji desak beton, dialgauge (dengan tingkat ketelitian 0,01 mm) untuk mengetahui besarnya perpindahan tulangan dari betonnya, alat uji tarik baja untuk mengetahui tegangan leleh baja tulangan yang digunakan, alat pengujian tarik lolos baja tulangan, dan alat-alat bantu lainnya.

B. Pelaksanaan Penelitian

1. Pemeriksaan bahan

Sebelum digunakan, bahan-bahan penelitian diperiksa menggunakan cara dan prosedur yang biasa dilakukan. Pasir sebagai agregat halus dicuci agar terbebas dari kotoran dan tanah menggunakan air bersih kemudian dikeringkan sampai mencapai kering muka. Selanjutnya pasir yang sudah kering tersebut diperiksa agar diketahui gradasi atau distribusi ukuran butirannya. Hal yang relatif sama juga dilakukan terhadap agregat kasar (split) dan agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah (split) dengan diameter maksimum 20 mm. Baja tulangan polos dengan diameter pengenal 8 mm juga diperiksa untuk mengetahui diameter aktualnya di samping pemeriksaan kuat tarik untuk mengetahui tegangan leleh.

2. Perhitungan rencana kebutuhan bahan susun

Kebutuhan rencana bahan susun adukan beton dihitung berdasarkan standar Pekerjaan Umum SK SNI T-15-1990-03. Perhitungan dilakukan untuk tiap 1m^3 beton dan selanjutnya dihitung kebutuhan bahan susun untuk setiap benda uji dan kebutuhan air yang digunakan.

Kebutuhan bahan dasar tiap 1 m^3 beton dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\frac{W_c}{\gamma_c \gamma_w} + \frac{P_s}{\gamma_s \gamma_w} + \frac{P_g}{\gamma_g \gamma_w} + \frac{A}{\gamma_w} + v = 1 \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

dengan W_c = berat semen 1 m^3 , A = faktor air semen, v = persentase udara dalam beton (0,01 dari volume beton), P_s = proporsi berat pasir dalam campuran,

P_g = proporsi berat split dalam campuran, dan $\gamma_c, \gamma_s, \gamma_w, \gamma_g$ berturut-turut adalah berat jenis semen, berat jenis pasir, berat jenis air, berat jenis split.

Kebutuhan bahan susun semen, agregat halus, dan agregat kasar untuk tiap benda uji dihitung menggunakan persamaan-persamaan berikut :

$$\text{Semen (PC)} = \frac{\text{Berat semen}}{\text{Berat jenis beton}} \times \text{berat benda uji} \dots\dots\dots (3.2)$$

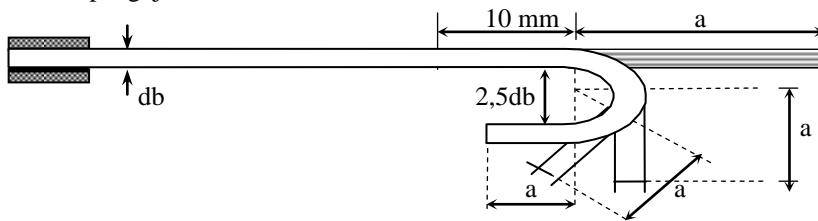
$$\text{Agregat Halus (P}_s\text{)} = \frac{\text{Berat pasir}}{\text{Berat jenis beton}} \times \text{berat benda uji} \dots\dots\dots (3.3)$$

$$\text{Agregat kasar (P}_g\text{)} = \frac{\text{Berat split}}{\text{Berat jenis beton}} \times \text{berat benda uji} \dots\dots\dots (3.4)$$

3. Pembuatan benda uji

Untuk mengetahui mutu beton yang digunakan dalam penelitian dibuat benda uji berupa kubus beton yang dicetak dalam cetakan besi berukuran 15 x 15 x 15 cm. Benda uji kubus beton yang dibuat berjumlah 15 masing-masing 3 benda uji untuk setiap variasi fas yang ditetapkan. Untuk pengujian tarik lolos baja tulangan dibuat benda uji berupa silinder beton yang dicetak di dalam pipa PVC berdiameter 8 cm dan baja tulangan dengan diameter pengenal 8 mm ditanam ke dalam beton, Untuk setiap faktor air semen (0,40, 0,55, 0,65, 0,70, dan 0,75) dan setiap bentuk kait tulangan (sudut kait 00, 900, 1350, dan 1800) dibuat masing-masing 3 benda uji sehingga jumlah keseluruhan benda uji adalah 60.

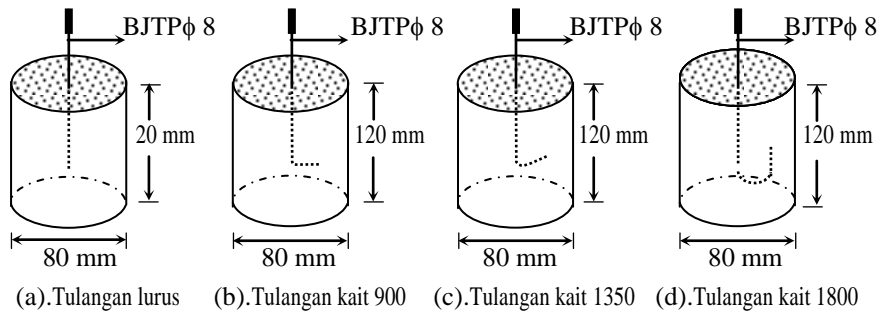
Diameter bengkokan tulangan diambil sebesar 2,5 kali diameter nominal tulangan sebagaimana tampak pada gambar. Jika diameter bengkokan bagian dalam 2,5db dan total panjang bengkokan dan bagian lurus 70 mm, maka bagian bengkok dan bagian lurus di belakang ekor dapat dilihat pada Tabel 5.1. Bagian baja tulangan yang tertanam dalam beton seluruhnya adalah 80 mm baik untuk baja tulangan lurus maupun dengan kait. Di sisi atas silinder beton disisakan tulangan dengan panjang yang cukup untuk menyediakan tempat tulangan dijepit pada saat pengujian tarik lolos.



Gambar 3.1. Pembuatan kait standar pada baja tulangan

Tabel 3.1. Panjang bagian bengkok dan bagian lurus sesuai sudut bengkokan

Sudut bengkokan (derajat)	Panjang bagian bengkokan (mm)	Panjang bagian lurus (mm)
0	0	70
90	15,7	53,3
135	23,6	46,4
180	31,4	38,6



Gambar 3.2. Benda uji dengan tulangan lurus dan kait standar

C. Pengujian Kuat Tekan beton dan Tegangan Lekat Baja Tulangan

1. Pengujian kuat tekan beton

Untuk mengetahui kuat tekan beton pada berbagai variasi fas yang direncanakan dilakukan uji kuat tekan terhadap 15 buah sampel benda uji kubus beton 15 x 15 x 15 cm pada umur 28 hari. Pada awal pencetakan benda uji, perawatan untuk menjamin kelembaban agar dapat mengontrol panas hidrasi yang terjadi dilakukan dengan cara merendam setelah cetakan dilepas sehari kemudian. Setelah umur beton mencapai 28 hari, dimensi dan berat benda uji diukur dan selanjutnya dilakukan pengujian kuat tekan. Data kuat tekan, dimensi, dan berat masing-masing benda uji dicatat.

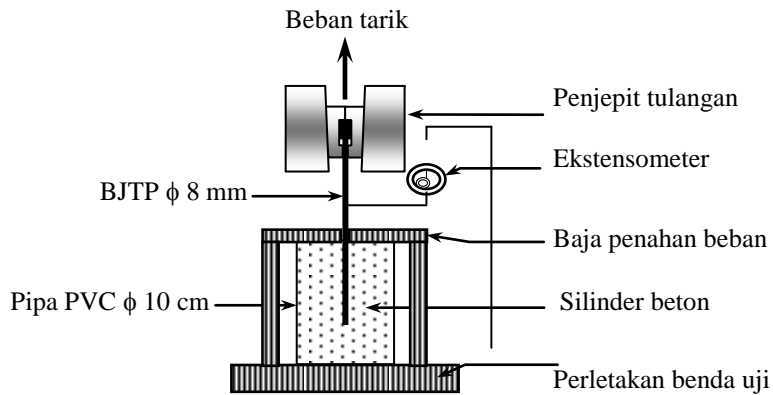
Besarnya nilai kuat tekan ditetapkan dengan membagi besarnya gaya P yang diperoleh dari masing-masing pengujian benda uji dibagi dengan luas bidang tekan yang ada dan dirumuskan sebagai berikut :

$$\sigma_{ds} = \frac{P}{A} \dots\dots\dots (3.5)$$

dengan σ_{ds} = kuat tekan (kg/cm²), P = beban tekan (kg), dan A = luas bidang tekan (cm²).

2. Pengujian tegangan lekat baja tulangan

Benda uji berupa baja tulangan yang tertanam dalam beton berbentuk silinder ditarik dengan alat uji tarik (Gambar 5.4). Beban tarik dimulai dari nol, kemudian dinaikkan pelahan-lahan hingga mencapai beban maksimum. Dasar yang dijadikan sebagai acuan dalam menentukan tegangan lekat ijin adalah beban pada saat pergeseran tulangan sebesar 0,25 mm dari beton sesuai batasan yang diberikan oleh ASTM C-234-91 a).. Penarikan dihentikan jika sesar yang terjadi terus bertambah dengan tidak adanya kenaikan beban tarik.



Gambar 3.3. Pengujian kuat lekat baja tulangan terhadap beton

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pemeriksaan Agregat

Tbel 4.1. Hasil pemeriksaan gradasi dan modulus halus butir pasir

Ukuran lubang (mm)	Berat tertahan saringan (gr)	Persentase berat terahan saringan	Persentase berat tertahan kumulatif	Persentase berat lewat saringan
10	0	0	0	100
4,8	12,60	2,52	2,52	97,48
2,4	32,60	6,52	9,04	90,96
1,2	82,50	16,50	25,54	74,46
0,6	161,40	32,28	57,82	42,18
0,3	142,85	28,57	86,39	13,61
0,15	61,85	12,37	98,76	1,24
Pan	6,20	1,24	---	0
Jumlah	500,00	100,00	280,07	---

Dari Tabel 4.1 diperoleh bahwa pasir yang digunakan termasuk gradasi agak kasar atau gradasi pasir daerah II sesuai SK-SNI T-15-1990-03. Selanjutnya diperoleh :

$$mhb = \frac{208,07}{100} = 2,0807$$

Pemeriksaan berat satuan volume pasir dan batu pecah (split) dilakukan dengan cara Rodded. Data-data hasil pengujian dicantumkan pada Tabel 6.2. Dari data-data pada Tabel 6.2 tersebut dapat dihitung berat satuan pasir dan split sebagai berikut :

$$\text{Berat satuan pasir} = \frac{\text{Berat pasir}}{\text{volumetakaran}} = \frac{W_5}{W_3} = \frac{W_4 - W_1}{W_3} = \frac{5018}{2906} = 1,726$$

$$\text{Berat satuan split} = \frac{\text{Berat split}}{\text{volumetakaran}} = \frac{S_5}{S_3} = \frac{S_4 - S_1}{S_3} = \frac{10432}{6917} = 1,508$$

Tabel 4.2 Data pemeriksaan berat satuan pasir dan split

Bahan	Uraian	Hasil
Pasir	Berat bejana kosong (W1)	3532 gr
	Berat bejana berisi air (W2)	6526 gr
	Volume bejana (W3)	2906 cc
	Berat bejana + Pasir (W4)	8550 gr
	Berat pasir (W5) = (W4) - (W1)	5018 gr
Split	Berat bejana kosong (S1)	4427 gr
	Berat bejana berisi air (S2)	11340 gr
	Volume bejana (S3)	6917 cc
	Berat bejana + Split (S4)	14859 gr
	Berat Split (S5) = (S4) - (S1)	10432 gr

B. Kebutuhan Material

Tabel 4.3. Kebutuhan material 1 m3 untuk berbagai nilai fas

No	Fas	Kebutuhan material 1 m3 campuran			
		Berat semen (Pc)	Berat pasir (2 Pc)	Berat split (3 Pc)	Berat air (Fas. Pc)
1	0,40	366	732	1098	146,4
2	0,55	347	694	1041	190,8
3	0,60	335	670	1005	217,7
4	0,70	330	660	990	231
5	0,75	324	648	972	243

C. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

Tabel 4.4. Hasil uji kuat tekan beton

No	Kebutuhan Air (kg)	FAS	Kuat tekan (MPa)
1	0,51	0,40	20,5
2	0,66	0,55	29,6
3	0,76	0,65	30,1
4	0,80	0,70	27,2
5	0,84	0,75	21,0

D. Hasil Pengujian Kuat Tarik Baja

Pengujian kuat tarik baja dilakukan untuk mengetahui besarnya nilai tegangan baja pada saat terjadinya kondisi leleh. Data hasil pengujian tarik terhadap sampel baja yang digunakan tersaji pada Tabel 6.6. Nilai tegangan leleh rata-rata diperoleh 34,32 kg/mm².

Tabel 4.5. Hasil pengujian tarik baja

No	φ tulangan (mm)	Beban leleh (kgf)	Beban maksimum (kgf)	Tegangan leleh (kg/mm ²)	Tegangan maksimum (kg/mm ²)	Mutu Baja (SNI)
1	7,5	1450	2100	32,81	47,52	BJTP 30
2	7,5	1580	2090	35,75	47,29	BJTP 30
3	7,5	1520	2095	34,39	47,40	BJTP 30
Rata-rata		1516,67	2095	34,32	47,40	---

E. Tegangan Lekat BJTP

Pengujian kuat tarik lolos baja tulangan dari slinder beton menghasilkan tegangan lekat masing-masing baja terhadap beton dengan fas yang bervariasi. Nilai tegangan lekat seperti tercatat dalam Tabel 6.7 adalah tegangan lekat yang dihitung pada beban saat sesar yang terjadi antara tulangan dengan beton sebesar 0,25 mm sesuai batasan yang diberikan oleh ASTM C-234-91 a).

Contoh perhitungan tegangan lekat baja dengan beton diuraikan berikut ini dengan mengambil benda uji tulangan kait 1350 (kode benda uji TK-135) untuk fas 0,40 sebagai berikut :

Beban pada sesar 0,25 mm ($P_{0,25}$) = 1276,29 N

Panjang tulangan tertanam dalam beton \square = 8 cm

Luas selimut baja tulangan yang tertanam :

$$A_s = 2\pi rh = 2\pi \cdot 0,5 \cdot 0,75 \cdot 8 = 18,86 \text{ cm}^2 = 18,86 \cdot 10^2 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tegangan lekat } \sigma_1 = \frac{P_{0,25}}{A_s} = \frac{1276,29}{18,86 \cdot 10^2} = 0,677 \text{ MPa}$$

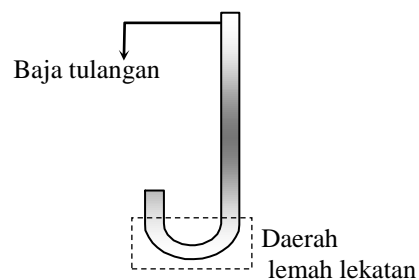
Tabel 4.6. Hasil pengujian tegangan lekat baja dengan beton

Kuat tekan beton	FAS	Kode benda uji	Beban pada sesar 0,25 mm (N)	Beban maksimum (N)	Tegangan lekat (MPa)	
					Ijin	Maks
20,5	0,40	TL-0	1491,76	4309,54	0,791	2,285
		TK-90	994,51	2983,53	0,527	1,582
		TK-135	1276,29	3978,03	0,677	2,109
		TK-180	994,51	1491,76	0,527	0,791
29,6	0,55	TL-0	3729,41	9945,09	1,977	5,273
		TK-90	2652,02	7956,07	1,406	4,218
		TK-135	3480,78	7956,07	1,846	4,218
		TK-180	2983,53	9447,83	1,582	5,009
30,1	0,65	TL-0	4475,29	10939,60	2,373	5,800
		TK-90	3978,04	13260,12	2,109	7,031
		TK-135	4309,54	12066,71	2,285	6,398
		TK-180	3232,15	11934,11	1,714	6,328
27,2	0,70	TL-0	2983,53	7458,82	1,582	3,955
		TK-90	2519,42	7458,81	1,336	3,955
		TK-135	2813,91	6961,56	1,492	3,691
		TK-180	2602,30	5967,05	1,380	3,164
21,0	0,75	TL-0	2038,74	5967,05	1,081	3,164
		TK-90	1922,72	5469,77	1,019	2,900
		TK-135	1990,11	5801,30	1,055	3,076
		TK-180	1989,02	4972,54	1,055	2,637

Keterangan : TL = Tulangan Lurus (tulangan tanpa kait). TK = Tulangan dengan ujung berupa kait standar. 0, 90, 135, 180 = sudut pembengkokan kait standar

Mencermati hasil analisis tegangan lekat baja tulangan sesuai Tabel 4.6, tampak bahwa kuat tekan beton memberi pengaruh terhadap tegangan lekat. Tegangan lekat baja secara umum semakin kecil dengan menurunnya kuat tekan beton baik pada tulangan yang ditanam lurus maupun tulangan dengan bengkokan atau kait standar. Informasi lain yang diperoleh dari analisis hasil pengujian tegangan lekat ini adalah bahwa dengan fas rendah 0,4 dan dengan fas yang relatif tinggi 0,75 menghasilkan kuat tekan beton yang hampir sama tetapi memberikan pengaruh yang berbeda terhadap tegangan lekat baja. Pada fas tinggi dihasilkan tegangan lekat yang lebih baik dibanding dengan tegangan lekat pada fas rendah walaupun mempunyai kuat tekan beton yang relatif sama.

Keadaan ini terjadi diduga karena pemadatan yang lebih baik dapat terjadi pada beton yang memiliki fas yang lebih tinggi selama pemisahan agregat dapat dihindari. Hal ini semakin diperjelas pada penanaman tulangan dengan kait 135^o yang menghasilkan tegangan lekat yang sangat baik. Kelemahan utama tulangan dengan bentuk kait adalah lemahnya ikatan di daerah tumpuan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.1 (daerah yang di beri tanda kotak) sebagai akibat tidak terisinya bagian bengkokan tersebut oleh adukan dengan merata di sepanjang sisi tulangan.



Gambar 4.1. Lokasi daerah lemah lekatan baja tulangan

Tegangan lekat yang tinggi pada tulangan dengan bengkokan sesuai nilai yang tercantum dalam Tabel 4.6 diduga karena daerah tumpuan pada bengkokan terisi adukan dengan lebih baik oleh campuran yang lebih encer dibandingkan dengan campuran yang relatif kental atau lebih kaku. Ampak juga bahwa pengaruh variasi fas pada tegangan lekat (σ_l) mempunyai kecenderungan yang relatif sama baik pada tulangan lurus tanpa kait maupun tulangan dengan kait.

Apabila tegangan lekat yang terjadi pada keempat jenis sudut kait untuk setiap variasi fas dibandingkan, tampak bahwa baja tulangan polos dengan sudut kait 0 derajat dapat dikatakan memiliki bentuk yang paling sempurna karena menghasilkan tegangan lekat paling baik terhadap beton. Hal ini menunjukkan

bahwa adhesi beton dengan baja terjadi lebih homogen dan merata pada bidang kontak selimut baja tulangan. Pemadatan beton yang baik dapat tercapai di bidang kontak antara beton dengan selimut tulangan karena tulangan lurus tidak menghalangi adukan untuk terisi dengan baik.

Berbeda halnya dengan baja tulangan yang diberi kait. Pembengkokan tulangan mengakibatkan perubahan orientasi tulangan sehingga adukan beton tidak secara sempurna mengisi semua daerah di sekitar selimut baja tulangan, khususnya pada daerah yang bengkok seperti ditunjukkan pada Gambar 4.1. Akibatnya, adhesi antara beton dengan tulangan pada bagian yang bengkok tersebut menjadi lemah. Dalam hal semacam ini, tercapainya pemadatan yang baik sangat penting sehingga friksi tulangan dengan beton dapat terbentuk untuk memberi perlawanan terhadap gaya tarik lolos antara tulangan dengan beton.

Pemberian fas yang semakin tinggi tampak dapat menekan perbedaan tegangan lekat yang terjadi antara keempat bentuk kait yang dibuat. Dengan kata lain selisih tegangan lekat yang terjadi antara tulangan dengan penanaman lurus dan tulangan dengan kait standar semakin kecil. Fakta ini memberi indikasi bahwa pada fas tertentu dapat saja terjadi tegangan lekat yang sama baik pada tulangan dengan penanaman lurus maupun dengan penanaman dengan kait standar.

F. Panjang Penyaluran

Berdasarkan hasil pengujian yang menghasilkan tegangan lekat untuk masing-masing bentuk penanaman tulangan baja pada beton, selanjutnya dapat dihitung panjang penyaluran yang diperlukan oleh tulangan untuk dapat menahan gaya yang direncanakan. Untuk baja tulangan polos dengan diameter nominal 7,5 mm dengan tegangan leleh hasil pengujian baja adalah 343 MPa dapat dihitung panjang penyaluran minimum menggunakan Persamaan 2.5.

Pada Persamaan 2.5, perencanaan panjang penyaluran yang diperlukan didasarkan pada metode kekuatan. Metode kekuatan bertujuan agar tegangan leleh baja dapat tercapai sehingga dalam perhitungan tegangan baja yang dipakai adalah tegangan leleh. Oleh karena itu, panjang penyaluran minimum dapat dihitung untuk tulangan dengan penanaman lurus maupun dengan kait standar dan sebagai contoh perhitungan diambil data dari Tabel 4.6 pada benda uji TL-0 dan fas 0, 55 sebagai berikut :

$$L_d = \frac{d_b f_y}{4 u_u} = \frac{7,5 \cdot 343}{4 \cdot 1,977} = 325,3 \text{ mm}$$

Hasil lengkap perhitungan panjang penyaluran untuk setiap benda uji dirangkum dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7. Hasil perhitungan panjang penyaluran minimum

Kuat tekan beton	FAS	Kode benda uji	Tegangan lekat (MPa)	Panjang penyaluran minimum (mm)
20,5	0,40	TL-0	0,791	813,1
		TK-90	0,527	1220,4
		TK-135	0,677	950,0
		TK-180	0,527	1220,4
29,6	0,55	TL-0	1,977	325,3
		TK-90	1,406	457,4
		TK-135	1,846	348,4
		TK-180	1,582	406,5
30,1	0,65	TL-0	2,373	271,0
		TK-90	2,109	304,9
		TK-135	2,285	281,5
		TK-180	1,714	375,2
27,2	0,70	TL-0	1,582	406,5
		TK-90	1,336	481,4
		TK-135	1,492	431,0
		TK-180	1,380	466,0
21,0	0,75	TL-0	1,081	594,9
		TK-90	1,019	631,1
		TK-135	1,055	609,6
		TK-180	1,055	609,6

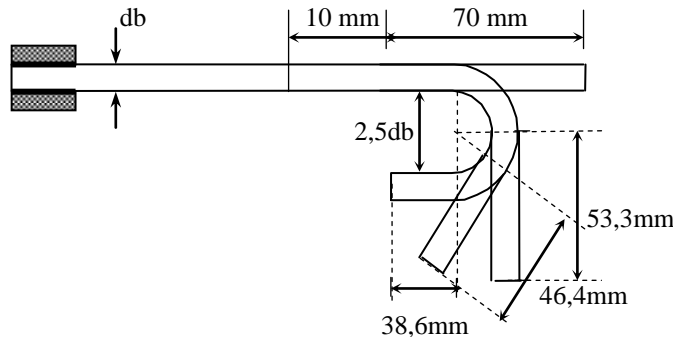
G. Efektivitas Kait

Beban tarik yang diperoleh pada sesar 0,25 mm tulangan terhadap beton baik pada tulangan dengan penanaman lurus maupun dengan kait seperti tercantum dalam Tabel 4.6 adalah nilai rata-rata pengujian terhadap tiga buah benda uji. Beban tarik tersebut terjadi sebagai akibat adanya aksi perlawanan tegangan lekat antara tulangan yang tertanam dalam beton sepanjang 80 mm yang terdiri bagian lurus 10 mm dan bagian bengkok dan lurus pada ekor sebesar 70 mm seperti tercantum dalam Tabel 3.1 pada bagian sebelumnya.

Jika beban tarik dikurangi kuat lekat tulangan sepanjang 80 mm, maka akan diperoleh besarnya kuat kait. Perhitungan kuat kait atau gaya kait diperoleh dengan mengalikan beban tarik rata-rata tulangan lurus (TL-0) yang tertanam sepanjang 80 mm pada sesar 0,25 mm untuk setiap jenis benda uji dengan rasio bagian lurus pada tulangan dengan kait. Dengan demikian sesuai Gambar 4.2 beban yang ditahan tulangan sepanjang 10 mm (P10) dapat dirumuskan seperti pada Persamaan (4.1) berikut.

$$P_{10} = \frac{10}{L_t} \bar{P} \quad \dots\dots\dots (4.1)$$

dengan P_{10} = beban yang ditahan tulangan lurus sepanjang 10 mm, L_t = panjang total tulangan yang tertanam (mm), \bar{P} = beban rata-rata tulangan lurus.



Gambar 6.3. Ukuran panjang bagian lurus dan bengkok pada tulangan

Pada Tabel 6.7 beban tarik rata-rata atau gaya tarik rata-rata pada sesar 0,25 mm untuk tulangan dengan penanaman lurus untuk fas 0,40 adalah sebesar 1491,76 N. Panjang tulangan lurus yang tertanam pada tulangan dengan kait adalah 10 mm, dengan demikian besarnya beban yang dapat ditahan oleh tulangan lurus sepanjang 10 mm tersebut dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan (4.1).

$$P_{10} = \frac{10}{L_t} \bar{P} = \frac{10}{80} \cdot 1491,79 = 186,47 \text{ N}$$

Selanjutnya, beban yang ditahan oleh kait untuk benda uji pada fas 0,40 dapat dihitung yaitu selisih beban pada sesar 0,25 mm dengan beban yang dapat ditahan oleh tulangan lurus sepanjang 10 mm sebesar 186,47 N. Besarnya beban yang dapat diterima oleh kait untuk semua jenis benda uji yang dibuat dapat dihitung menggunakan cara yang sama dengan di atas. Hasil perhitungan lengkap untuk semua benda uji selanjutnya dirangkum dalam Tabel 6.9 berikut.

Untuk semua jenis benda uji dengan variasi fas seperti pada tabel di atas, tampak adanya konsistensi bahwa beban tarik kait tertinggi terjadi pada kait dengan sudut kait 135 derajat. Beban tarik kait terendah dterjadi pada sudut kait 90 derajat kecuali pada benda uji dengan fas 0,65 beban tarik kait terendah terjadi pada sudut kait 180 derajat.

Pada perencanaan tulangan dengan kait diambil diameter bagian dalam kait 2,5 db sehingga panjang tulangan untuk kebutuhan kait pada setiap sudut kait dapat ditentukan. Kebutuhan panjang tulangan bagian bengkok dan bagian lurus di belakang ekor adalah 70 mm sesuai Tabel 3.1. Jika diasumsikan bahwa

tulangan sepanjang 70 mm seluruhnya ditanam lurus tanpa kait (seperti halnya pada TL-0) untuk setiap variasi fas yang ada, maka dapat dihitung besarnya beban tarik yang dapat ditahan dengan persamaan :

$$P_{tr} = l_{ta} \pi d_b \sigma_l \quad \dots\dots\dots (4.2)$$

dengan P_{tr} = beban tarik (N), l_{ta} = panjang tulangan bengkokan (mm), d_b = diameter nominal tulangan (mm), dan σ_l = tegangan lekat tulangan lurus 80 mm (MPa).

Perhitungan menggunakan Persamaan (4.2) di atas dilakukan pada benda uji untuk kelima variasi fas untuk mengetahui beban tarik yang dapat ditahan jika tulangan tetap dibiarkan tertanam lurus sepanjang 70 mm dan hasilnya dirangkum dalam Tabel 4.8 berikut. Efektivitas kait diketahui dengan melihat selisih beban tarik yang dapat ditahan oleh kait terhadap tulangan lurus untuk panjang yang sama. Berdasarkan nilai-nilai yang diperoleh dalam Tabel 6.10 tampak bahwa kait standar dengan sudut pembengkokan 135 derajat menunjukkan efektivitas yang sangat baik terutama pada benda uji dengan fas 0,75 dengan penurunan beban tarik yang cukup kecil, yaitu 2,67 %.

Tabel 4.8. Efektivitas kait standar berdasar hasil pengujian

Kuat tekan beton	FAS	Kode benda uji	Beban pada sesar 0,25 mm (N)	Beban tarik tulangan 10 mm (N)	Beban tarik tulangan 70 mm (N)	Penurunan beban tarik (%)
20,5	0,40	TL-0	1491,76	186,47	1304,62	0
		TK-90	994,51		808,04	38,06
		TK-135	1276,29		1089,82	16,46
		TK-180	994,51		808,04	38,01
29,6	0,55	TL-0	3729,41	466,18	3260,74	0
		TK-90	2652,02		2185,84	32,96
		TK-135	3480,78		3014,60	7,55
		TK-180	2983,53		2517,35	22,80
30,1	0,65	TL-0	4475,29	559,41	3913,87	0
		TK-90	3978,04		3418,63	12,65
		TK-135	4309,54		3750,13	4,18
		TK-180	3232,15		2672,74	31,71
27,2	0,70	TL-0	2983,53	372,94	2609,25	0
		TK-90	2519,42		2146,48	17,73
		TK-135	2813,91		2440,97	6,45
		TK-180	2602,30		2229,36	14,56
21,0	0,75	TL-0	2038,74	254,84	1782,93	0
		TK-90	1922,72		1667,88	6,45
		TK-135	1990,11		1735,27	2,67
		TK-180	1989,02		1734,18	2,73

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari telaah yang dilakukan terhadap data hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa proporsi kebutuhan air yang optimal agar dihasilkan tegangan lekat baja tulangan terhadap beton yang tinggi berada pada kisaran fas 0,65 baik pada penanaman baja tulangan lurus maupun penanaman baja tulangan dengan kait standar. Di samping itu, terdapat kecenderungan naiknya tegangan lekat dengan naiknya fas sampai 0,65 tetapi kembali turun jika fas dinaikkan melampaui fas 0,65. Naiknya fas secara umum diikuti dengan penurunan selisih tegangan lekat yang terjadi antara baja tulangan dengan beton pada penanaman lurus kait standar. Unjuk kerja dan efektivitas kait standar meningkat secara signifikan untuk fas yang tinggi dibanding dengan fas rendah.

B. Saran

Dari pengalaman pengujian yang dilakukan diketahui bahwa selama pengujian tarik baja tulangan, silinder beton tempat baja ditanam mengalami tekanan sehingga dapat mencegah retak pada beton. Dalam kenyataan, khususnya batang lentur situasinya sudah pasti berbeda. Oleh karena itu disarankan faktor tekanan yang dialami beton saat pengujian perlu dipertimbangkan dengan hati-hati agar retak tarik beton tidak dicegah saat pengujian tarik sehingga mencerminkan realita sesungguhnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 1991, Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, (SNI-T-15-1991-03), Dewan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Dep. Kimpraswil, 2003, Metode, Spesifikasi dan Tata Cara, Beton, Semen, Perkerasan Beton Semen, Bagian 3, Badan Penelitian dan Pengembangan Dep. Kimpraswil, Jakarta.
- Dipohusodo, I., 1994, Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SK-SNI-T-15-1991-03, Dep. PU, Gramedia, Jakarta.
- McCormac, J.C., 2003, Desain Beton Bertulang, Erlangga, Jakarta.
- Murdock, L.J. dan K.M. Brook, 1999., Bahan dan Praktek Beton, Erlangga, Jakarta.
- Tjokrodimulyo, K., 1996., Teknologi Beton, Nafiri, Yogyakarta.
- Wang, C.k., dan Salmon, C.G., 1994, Desain Beton Bertulang, Erlangga, Jakarta.
- W.C. Vis, dan Kusuma, G., 1993, Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang Berdasarkan SK-SNI-T-15-03, Erlangga, Jakarta.
- W.C. Vis, dan Kusuma, G., 1994, Pedoman Pengerjaan Beton, Seri Beton II, Erlangga, Jakarta.