

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Beton merupakan campuran antara material agregat halus dan agregat kasar yaitu pasir, batu pecah, atau material lainnya, dengan material material perekat (seperti semen, admixture), dan juga air. Proses pengerasan terjadi karena adanya reaksi kimiawi yang terjadi antara air dengan semen yang berlangsung dari waktu ke waktu.

Beton *High Volume Fly ash Self Compacting Concrete* (HVFA-SCC) atau Beton memadat sendiri dengan kadar *fly ash* tinggi merupakan beton yang saat ini banyak dikembangkan untuk produksi massal. *Fly ash* merupakan limbah dari hasil pembuangan pembakaran batu bara pada PLTU. *Fly ash* memiliki sifat yang hampir sama dengan semen yaitu mampu mengikat agregat-agregat yang ada pada campuran beton. Penggunaan *fly ash* pada beton diharapkan dapat mendaur ulang limbah hasil pembakaran batu bara. Banyak peneliti mengembangkan penggunaan *fly ash* pada campuran beton. *Fly ash* sebagai pengganti semen memiliki dampak positif pada durabilitas dan workabilitas beton (Naik et al., 1991). Penambahan *fly ash* dapat meningkatkan workabilitas beton, sedangkan kenaikan kekuatan dipengaruhi oleh faktor air semen (w/c ratio) dan jumlah *fly ash* dalam campuran beton. (Jatale et al., 2013). Penggunaan *fly ash* sebagai material pengganti semen dapat mereduksi emisi CO₂ dari produksi semen, sehingga dapat mendukung pembangunan yang ramah lingkungan.

Struktur beton bertulang adalah material komposit yang terdiri dari beton dan baja tulangan yang ditanam didalam beton. Perencanaan balok beton bertulang dengan panjang beton yang panjang, seringkali tidak dimungkinkan untuk memasang tulangan secara utuh sepanjang balok selain dengan tulangan yang disambung. Ada 3 metode penyambungan tulangan yang lazim digunakan, yaitu sambungan lewatan (*lap splices*), sambungan las (*welded splices*), dan sambungan mekanis (*mechanical*

connections). (Lancelot 1985). Menurut Dipohusodo (1994) sambungan lewatan merupakan sambungan yang paling ekonomis. Sambungan lewatan (*splice length*) dibuat dengan membuat overlapping, yaitu memberikan panjang lewatan pada ujung tulangan yang disambung. (Wang dan Salmon , 1993).

Faktor yang berpengaruh dalam perancangan dan analisis struktur beton bertulang dalam menahan momen lentur adalah kekuatan lekat batang tulangan baja dengan beton yang menyelimutinya berlangsung ideal tanpa selip atau bergeser. Atas dasar hal tersebut maka pada saat komponen struktur beton bertulang menahan beban, akan terjadi tegangan lekat pada permukaan kontak antara batang tulangan dan beton. Bagian sambungan tulangan, transfer tegangan dari tulangan satu ke tulangan lain akan efektif apabila minimum panjang lewatan (*splice length*) pada sambungan terpenuhi. Besarnya kuat lekat ini akan menentukan kebutuhan panjang tulangan yang harus tertanam di dalam beton (*length development*) agar saat menerima beban tarik, tegangan pada tulangan efektif mencapai kuat lelehnya (Nilson, 2010; Sulaiman, 2017 ; Arezoumandi, 2018).

Cara menghitung besar minimum *splice length* pada beton konvensional adalah dari formula yang ada pada peraturan perencanaan beton bertulang (*Code of Practice*). Formula yang ada harus dimodifikasi apabila akan diterapkan pada beton non-konvensional karena perbedaan sifat dari material beton dalam mengikat tulangan. Menurut Mabrouk and Mounir, Merujuk pada perbedaan adhesi, friksi dan *mechanical interlocking* antara HVFA-SCC dan beton konvensional (Mousavi, 2017), maka penelitian ini dimaksudkan untuk menentukan besarnya panjang lewatan (*splice length*) minimum pada daerah sambungan tulangan dengan memodifikasi formula yang digunakan pada beton konvensional.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Beton Bertulang

Beton adalah hasil dari pencampuran material-material berupa agregat halus dan kasar, yaitu: pasir, kerikil atau material serupa lainnya, dengan penambahan

material perekat semen dan air sebagai material pembantu untuk menunjang proses pengikatan agregat dan perawatan beton berlangsung. (Istimawan Dipohusodo, 1994 : 1)

Beton adalah material yang kuat terhadap gaya tekan namun lemah terhadap gaya tarik, sehingga dalam suatu komponen struktur beton bertulang membutuhkan peran material baja sebagai tulangan. Karena sifat utama baja tulangan, yaitu sangat kuat menahan gaya tarik. Apabila kedua material (beton dan baja tulangan) digunakan secara komposit akan diperoleh material yang umum disebut dengan beton bertulang. Pada saat ini, material beton bertulang merupakan material utama dalam pembangunan gedung bertingkat tinggi, jembatan, bendungan, jalan raya dan lain-lain.

2.3. Beton High Volume Fly ash (HFVA)

2.3.1. Pengertian Beton High Volume Fly ash (HFVA)

High volume Fly ash (HVFA) concrete adalah beton dengan kadar *fly ash* minimal 50% dari jumlah semen yang digantikan. Istilah HVFA pertama kali diperkenalkan oleh peneliti dipusat penelitian CANMET Canada pada tahun 1980 (Malhorta and Mehta, 2005)

Mulai tahun 1980-an, CANMET mengembangkan beton dengan workabilitas tinggi dengan kadar *fly ash* tinggi dalam volume pada campuran beton, tetapi menghasilkan beton yang bernilai mekanik, permeabilitas, dan durabilitas yang baik. Menurut Irawan (2015) dalam penelitiannya, ada beberapa macam karakteristik dari beton *High Volume Fly ash (HFVA)*

1. Substitusi 50% - 60% material semen dengan *fly ash* tipe F.
2. Kadar air yang rendah rendah, yaitu kurang dari 130 kg/m³ beton.
3. Kadar semen Portland tidak lebih dari 200 kg/m³ beton.
4. Dosis *superplasticizer* sangat rendah, untuk mencapai nilai slump mulai dari 150 hingga 200 mm
5. W/c ratio yang rendah, umumnya w/c < 0,35.

Menurut Wibowo (2017) kelebihan pemakaian HVFA adalah:

1. *Fly ash* dalam volume tinggi dapat menurunkan panas hidrasi yang terjadi,

sehingga dapat mencegah terjadinya retak

2. Jumlah air yang digunakan (fas) kecil, sehingga kekuatan beton akan meningkat.
3. Relatif dapat menghemat biaya karena mengurangi pemakaian semen.
4. Beton akan lebih kedap air karena pori-pori akan tertutup kalsium silikat hidrat.
5. Pada beton segar, kehalusan dan bentuk partikel *fly ash* yang bulat pada HVFA dapat meningkatkan *flowability*, *workabilitas*, *pumpability* serta mengurangi terjadinya segregasi agregat dan air.
6. Lebih ramah lingkungan, karena mengurangi pembuangan limbah B3.
7. Kekuatan beton HVFA dapat terus meningkat setelah 28 hari, sehingga faktor keamanan dapat diturunkan
8. Beton HVFA memiliki tekstur permukaan yang lebih baik.
9. HVFA lebih tahan terhadap electrical dan chloride ion penetratiton berdasarkan ASTM C 1202-12.

Sedangkan kekurangan pemakaian HVFA menurut Wibowo (2017) adalah:

1. Beton HVFA tidak cocok untuk mendapatkan kekuatan awal yang tinggi (*early strength*) karena proses *hardening* berlangsung lebih lambat.
2. Mutu *fly ash* perlu diperhatikan, karena temperatur pembakaran batubara mempengaruhi mutu *fly ash*.

2.3.2. Spesifikasi Beton HVFA

Salah satu ciri paling menonjol dalam beton HVFA adalah penggunaan *fly ash* dengan komposisi yang tinggi. Penelitian – penelitian sebelumnya menunjukkan komposisi *fly ash* dalam beton *high volume fly ash* berkisar diantara 50% - 70% dari binder. Substitusi sebagian besar semen dengan *fly ash* bertujuan agar beton memiliki durabilitas yang tinggi. Kadar silika (SiO_2) yang tinggi dalam *fly ash* akan bereaksi dengan zat hasil hidrasi proses semen Ca(OH)_2 menghasilkan kalsium silikat hidrat (CSH) yang merupakan zat pengikat dalam beton.

Reaksi Ca(OH)_2 dengan SiO_2 dalam beton adalah sebagai berikut : $3\text{Ca(OH)}_2 + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow 3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

$3\text{CH} + \text{Si} + \text{H} \longrightarrow \text{C-S-H gel}$

calcium hidroksida silika gel tobermorite

2.4. Self Compacting Concrete (SCC)

Self Compacting Concrete (SCC) dikembangkan pertama kali di Jepang pada tahun 1980-an. SCC adalah beton dimana saat masih berbentuk beton segar mampu melewati celah tulangan dan memenuhi seluruh ruang yang ada didalam bekisting secara merata tanpa pemadatan manual atau getaran mekanik.

Pada umumnya *Self Compacting Concrete* merupakan salah satu jenis beton dengan karakteristik derajat pengerjaan (*workabilitas*) yang tinggi dan mempunyai kekuatan awal yang besar (*high early strength*).

Terkait dengan penggunaan SCC, beberapa peneliti meragukan penerapannya di lapangan. Ukuran agregat yang digunakan dalam SCC relatif lebih kecil daripada beton konvensional. Hal ini dapat mengurangi kontribusi *aggregate interlocking* dalam menyumbang kapasitas geser balok secara keseluruhan. Lin dan Chen (2012) melakukan eksperimen menggunakan dua kadar agregat kasar yang berbeda dalam campuran SCC. SCC dengan kadar agregat kasar yang lebih banyak, memiliki kuat geser yang hampir sama dengan beton konvensional. Sebaliknya, beton SCC yang memiliki kadar agregat kasar yang lebih sedikit cenderung memiliki kapasitas geser yang lebih kecil dibandingkan dengan balok beton konvensional.

Ada beberapa perbedaan antara beton konvensional dengan SCC. Okamura dan Ozawa (1994) dalam penelitiannya menyarankan spesifikasi beton memadat mandiri yaitu:

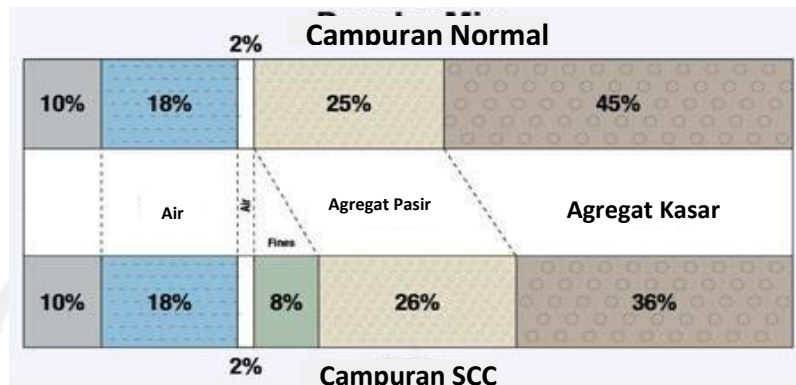
- a. Agregat kasar yang digunakan adalah 40% dari volume solid, agar mortar dapat melewati sela-sela dari agregat kasar yang kurang rapat
- b. Volume agregat halus ditetapkan sebesar 40% dari volume solid total
- c. Rasio volume untuk air dan material pengikat ditetapkan antara 0,9-1 sesuai dengan material pengikatnya
- d. Kadar *superplasticizer* dan faktor air-material pengikat ditentukan setelahnya sehingga didapatkan sifat memadat dengan sendirinya.

Menurut Hela dan Hubertova (2006) kemampuan SCC mengisi ruang bekisting dan tingkat segregasi rendah disebabkan oleh dua faktor kunci yaitu :

- a. Penambahan superplastiziser dengan takaran teliti dengan ketatdalam mengatur

komposisi agregat pada campuran.

- b. *w/c-ratio* rendah dengan mengendalikan volume agregat yang dikombinasikan dengan filler 0,125 mm mengurangi tingkat segregasi. Perbedaan utama antara SCC dengan beton konvensional adalah kadar agregat halus yang lebih banyak dan mengurangi kadar dan ukuran agregat kasar. Agregat halus akan mengurangi segregasi dan meningkatkan kelekatan campuran.



Gambar 2.1 Perbandingan Proporsi SCC dengan Beton Konvensional (Okamura,1994)

Okamura H. (1994) menjelaskan dalam penelitiannya ketentuan material campuran pada beton SCC adalah :

- Volume agregat kasar pada SCC lebih kecil daripada beton konvensional
- Ukuran agregat kasar berkisar antara 12mm - 20mm
- Semen dan *fly ash* digunakan sesuai perbandingan binder

Prosedur penyusunan *mix design* atau rancang campur dalam beton SCC berdasar pada EFNARC *Specification and Guidelines for Self-Compacting Concrete*, 2002.

Acuan tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.1**

Tabel 2.1 Rancang Campur SCC (EFNARC, 2002)

| KOMPOSISI CAMPURAN | |
|---------------------------|--|
| Rancang Campur | Lakukan Perancangan Campur SCC |
| | Agregat kasar <50% |
| | Rasio binder dan air = 0,8 – 1,0 |
| | Total binder 400-600 kg/m ³ |
| | Kandungan Pasir >40% dari volume mortar |
| | Pasir <50% dari volume pasta |
| | Pasir >50% berat dari total volume agregat |
| | Air < 200 l |
| | Pasta > 40% dari volume campuran |

Ada berbagai macam keuntungan ketika kita menggunakan *Self Compacting Concrete* antara lain :

- a. Mengurangi kebisingan yang diakibatkan mesin vibrator
- b. Meningkatkan durabilitas beton
- c. Tenaga kerja yang dibutuhkan menjadi lebih sedikit
- d. Memungkinkan pengecoran dengan bentuk yang relative rumit dan tempat yang sulit dijangkau
- e. Waktu pengerjaan yang dapat dipersingkat

Self Compacting Concrete juga mempunyai beberapa kekurangan antara lain:

- a. Biaya yang relatif lebih mahal
- b. Harus dengan perhitungan yang tepat, agar SCC dapat memiliki flowabilitas baik tetapi tidak mengalami segregasi (Herbudiman, 2013).

2.4.1 Sifat atau Karakteristik Self Compacting Concrete

EFNARC *Specification and Guidelines for Self – Compacting Concrete*, 2002 menjelaskan bahwa SCC memiliki sifat berupa kemudahan dalam pengerjaan pengecoran (*workabilitas*) yang tinggi. Untuk mencapai *workabilitas* yang disyaratkan, maka SCC haruslah memenuhi beberapa kriteria berikut

2.4.2 Kemampuan mengisi ruang (*Filling Ability*)

Adalah sifat beton untuk mengisi seluruh bagian bekisting dengan memanfaatkan berat sendiri beton. Unsur yang mempengaruhi antara lain: Ukuran agregat maksimal 10mm, volume agregat kasar maksimal 50% dari total volume agregat, penggunaan *superplasticizer* yang memadai, dan w/c ratio yang rendah.

2.4.3 Kemampuan Melewati Tulangan (*Passing Ability*)

Adalah sifat beton SCC untuk melewati ruang diantara besi tulangan atau bagian sempit lainnya dalam bekisting tanpa terjadinya pemisahan material-material (segregasi).

2.4.4 Ketahanan terhadap segregasi (*Segregation resistance*)

Segregasi adalah pemisahan butiran agregat kasar dari campuran beton. SCC

dirancang agar memiliki flowabilitas tinggi dan tidak terjadi segregasi.

2.4.5 Pengujian Self Compacting Concrete (SCC)

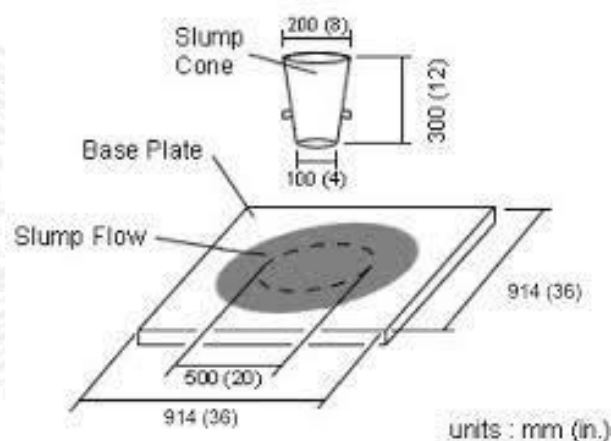
Ada beberapa macam pengujian beton segar SCC. Pengujian ini berdasarkan EFNARC *Specification and Guideline for Self-Compacting Concrete* (2002).

Metode tersebut antara lain :

a *Slump Flow Test*

Slump Flow Test digunakan untuk mengetahui *filling ability* dan memperoleh nilai workabilitas beton dari kemampuan pengaliran beton segar pada diameter pada rentang 60 cm – 75 cm.

Metode pengukuran didasarkan pada ASTM C 1611 dan dapat dilihat pada Gambar 2.2



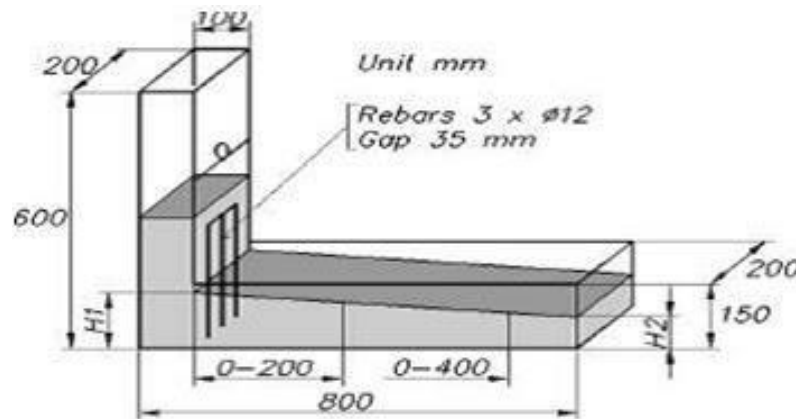
Gambar 2.2 Pengujian *Slump Flow* SCC (ASTM C 1611)

$Slump\ flow = 0,5 (d_{max} + d_{perpendicular})$ Dengan,

d_{max} = jarak diameter terbesar lingkaran *slump flow*

$d_{perpendicular}$ = jarak diameter yang tegak lurus dari d_{max}

Pengujian *L-Shape Box* digunakan untuk mengetahui *passing ability* dari SCC, *blocking* pada beton segar, dan juga kekentalan beton segar dapat diketahui dengan melakukan pengujian ini. Nilai *blocking ratio* didapat dengan membandingkan besaran H_2 / H_1 . Semakin kecil nilai *blocking ratio*, kemampuan mengalir beton semakin buruk. Kriteria yang umum adalah mencapai nilai *blocking ratio* antara 0.8 - 1.0 (*The European Guidelines for Self- Compacting Concrete*, 2005)



Gambar 2.3 *L-Shape Box* (EFNARC, 2005)

2.4.6 Material Penyusun HVFA-SCC

2.4.6.1 Semen Portland

Semen merupakan unsur penyusun beton yang sangat penting karena fungsi dan perannya sebagai perekat butiran agregat agar terbentuk suatu kesatuan yang padat dan juga menutup void yang terjadi diantara butiran agregat. Semen memiliki berbagai jenis, diantaranya semen Portland (semen biasa), semencampur, dan semen putih. Jenis semen yang sering dipakai dalam produksi beton adalah semen Portland

Tabel 2.2 Susunan Unsur Semen Portland

| Oksida | Persen (%) |
|---|------------|
| Kapur (CaO) | 60-65 |
| Silika (SiO ₂) | 17-25 |
| Alumina (Al ₂ O ₃) | 3-8 |
| Besi (FeO ₂) | 0,5-6 |
| Magnesia (MgO) | 0,5-4 |
| Sulfur (SO ₃) | 1-2 |
| Soda/Potash (Na ₂ O +K ₂ O) | 0,5-1 |

(Tjokrodinuljo, 2007)

Semen portland merupakan hasil dari pembakaran material-material dasar yang terdiri dari batu kapur (CaO), tanah liat yang mengandung H₂O dan SiO₂, alumina (Al₂O₃) dan oksida besi (Fe₂O₃). Campuran dari material – material tersebut selanjutnya dibakar dalam temperatur 1300 C - 1450 C sampai berubah menjadi butiran (klingker). Klingker kemudian digiling halus secara mekanis dengan

ditambahkan gypsum (CaSO_4). Klingker yang digiling menghasilkan semen Portland yang berupa bubuk halus lolos saringan 75 mikron.

2.4.6.2 Agregat Kasar

Menurut Peraturan Beton Bertulang Indonesia (PBBI) 1971, agregat kasar berupa kerikil sebagai hasil abrasi alami dari batuan-batuan atau berupa batu pecah yang didapat dari proses pemecahan batu secara manual. Agregat kasar merupakan agregat dengan ukuran butir minimal 5 mm. Menurut PBBI 1971 pasal 3.4 kriteria agregat kasar (kerikil) yang harus dipenuhi adalah sebagaiberikut:

1. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang mengandung butir-butir pipih hanya dapat dipakai apabila jumlahbutir-butir pipih tersebut tidak melebihi 20% dari berat agregat seluruhnya. Butir-butir agregat kasar harus bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca, seperti terik matahari dan hujan.
2. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% yang ditentukan terhadap berat kering. Apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.
3. Agergat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang dapat merusak beton, seperti zat-zat yang reaktif alkali.
4. Kekerasan dari butir-butir agregat kasar diperiksa dengan bejana penguji dari Rudeloff dengan beban penguhi 20t, dengan mana harus dipenuhi syarat-syarat sebagai berikut :
 - a. Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 9,5 – 19 mm lebih dari 24% berat.
 - b. Tidak terjadi pembubukan sampai fraksi 19 – 30 mm lebih dari 22%. Atau kekerasan butir-butir agregat kasar dapat diperiksa dengan mesin Los Angeles. Dalam hal ini tidak boleh terjadi kehilangan berat lebih dari 50%.
5. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan dalam pasal 3.5 ayat (1) PBBI 1971, harus memenuhi syarat sebagai berikut :
 - a. Sisa diatas ayakan 31,5 mm harus 0% berat,
 - b. Sisa diatas ayakan 4 mm harus berkisar antara 90% dan 98% berat
 - c. Selisih antara sisa-sisa kumulatif diatas dua ayakan yang

berurutan, maksimum 60% dan minimum 10% berat.

6. Besar butir agregat maksimum tidak boleh lebih dari seperlima jarak terkecil antara bidang-bidang samping dari cetakan, sepertiga dari tebal pelat atau sepertiga dari jarak bersih minimum diantara batang-batang atau berkasberkas tulangan. Penyimpangan dari batasan ini diijinkan, apabila menurut penilaian Pengawas Ahli cara-cara pengecoran beton adalah sedemikian rupa hingga menjamin tidak terjadinya sarang-sarang kerikil.

2.4.6.3 Agregat Halus

Berdasarkan PBI 1971, agregat halus untuk beton dapat berupa pasir sebagai hasil pelapukan batuan atau pasir yang didapat setelah pemecahan batu. Menurut PBI 1971 pasal 3.3, kriteria agregat halus (pasir) yang harus dipenuhi adalah sebagai berikut :

- a) Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras dan bersifat kekal yang berarti tidak pecah atau hancur oleh pengaruh-pengaruh cuaca, seperti panas matahari dan hujan.
- b) Agregat halus tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 5% yang ditentukan terhadap berat kering. Apabila kandungan lumpur melampaui 5%, agregat halus harus dicuci terlebih dahulu.
- c) Agregat halus tidak boleh mengandung bahan-bahan organis terlalu banyak yang harus dibuktikan dengan percobaan warna dari Abrams Header (dengan menggunakan larutan NaOH).
- d) Agregat halus terdiri dari butir-butir yang beraneka ragam besarnya dan apabila diayak dengan susunan ayakan yang ditentukan dalam pasal 3.5 ayat 1 (PBI 1971), harus memenuhi syarat sebagai berikut:
 - Sisa di atas ayakan 4 mm, harus minimum 2% berat,
 - Sisa di atas ayakan 1 mm, harus minimum 10% berat,
 - Sisa di atas ayakan 0,25 mm, harus berkisar antara 80%-90% berat.
- e) Pasir laut tidak boleh dipakai sebagai agregat halus untuk semua mutu beton, kecuali dengan petunjuk-petunjuk dari lembaga pemeriksaan bahanbahan yang diakui.

2.4.6.4 Air

Air memiliki peranan yang sangat penting dalam material penyusun beton. Reaksi hidrasi semen akan terjadi jika semen bersentuhan dengan molekul air. Reaksi hidrasi semen berguna untuk membentuk senyawa CSH yang berfungsi sebagai zat yang mengikat material lain. Air yang digunakan memiliki beberapa karakteristik yang diatur dalam PBI 1971, yaitu:

- a) Air tidak boleh mengandung garam, asam, minyak, alkali, material organik atau material lain yang merusak beton dan/atau tulangan.
- b) Apabila terdapat ketidakyakinkan akan air yang akan digunakan, dianjurkan untuk melakukan pengujian air untuk mengetahui zat terkandung dalam air.
- c) Kadar air yang digunakan dalam adukan beton dapat ditentukan dengan takaran isi atau ukuran berat dan harus dilakukan secara teliti.

Air memiliki pengaruh pada kuat tekan beton, pemakaian air yang berlebihan menyebabkan penurunan kekuatan karena tingginya porositas setelah air menguap dan air yang kurang akan menyebabkan semua semen tidak bisa menjadi pasta semen sehingga perekat untuk agregat menjadi kurang. Air dalam campuran beton berpengaruh pada workabilitas adukan, nilai rangkai dan susut beton, reaksi kimia dengan semen, dan perawatan beton guna mencapai pengerasan beton yang baik.

2.4.6.5 Fly ash

Menurut ACI Committee 226 dijelaskan bahwa *fly-ash* mempunyai butiran yang cukup halus, yaitu lolos ayakan No. 325 (45 milimikron) 5-27%, dengan specific gravity antara 2,15-2,8 dan berwarna abu-abu kehitaman. Sifat proses pozzolanic dari *fly-ash* mirip dengan bahan pozzolan lainnya. Menurut ASTM C.618 (ASTM, 1995:304) abu terbang (*fly-ash*) didefinisikan sebagai butiran halus residu pembakaran batubara atau bubuk batubara. Abu terbang atau *fly ash* dapat dibedakan menjadi 3 jenis (ACI Manual of Concrete Practice 1993 parts 1 226.3R-3), yaitu :

- a) Fly Ash Kelas C

Fly ash yang mengandung CaO lebih dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran lignite atau sub-bitumen batu bara (batu bara muda). Senyawa lain yang

terkandung didalamnya : SiO_2 (30-50%), Al_2O_3 (17-20%), Fe_2O_3 , MgO , Na_2O dan sedikit K_2O . mempunyai specific gravity 2,31-2,86. Mempunyai sifat pozzolan, tetapi juga langsung bereaksi dengan air untuk membentuk CSH

b) Fly Ash Kelas F

Fly ash yang mengandung CaO kurang dari 10% yang dihasilkan dari pembakaran anthracite atau bitumen batu bara. Senyawa lain yang terkandung didalamnya : SiO_2 (30-50%), Al_2O_3 (45-60%), MgO , K_2O dan sedikit Na_2O . mempunyai specific gravity 2,15-2,45. bersifat seperti pozzolan, tidak bisa mengendap karena kandungan CaO yang kecil.

c) Fly ash Tipe N

Pozzolan alam yang dapat digolongkan antara lain opaline chert dan shales, tanah diatomic, tuff dan abu vulkanik yang biasa diolah dengan metode pembakaran atau tanpa pembakaran.

2.4.6.6 Superplasticizer

Superplasticizer adalah suatu material aditif yang berguna untuk mereduksi kebutuhan air dalam campuran beton dan meningkatkan keplastisan beton sehingga dapat meningkatkan workabilitas beton.

Menurut Edward G Nawy, 1996, ada 4 jenis superplasticizer, yaitu:

1. Modifikasi Lignosulfonat tanpa kandungan klorida,
2. Kondensasi Sulfonate Melamine Formaldehyde (SMF) dengan kandungan klorida sebesar 0,005,
3. Kondensasi Sulfonate Nephthalene Formaldehyde (SNF) dengan kandungan klorida yang diabaikan.
4. Carboxyl acrylic ester copolymer.

Beberapa faktor yang mempengaruhi fungsi superplasticizer, seperti : kadar, jenis semen, tipe dan gradasi agregat, komposisi campuran dan temperatur pada saat *mixing*. Kadar superplasticizer yang optimal adalah 1-2 % dari berat material *cementitious*. Kadar *superplasticizer* berlebihan dapat menyebabkan segregasi dan berkurangnya kuat tekan beton (Imran, 2006).

2.4.7 Kuat Lekat

Adanya lekatan (*bond*) antara tulangan baja dan beton di sekitarnya merupakan syarat pokok dalam konstruksi beton bertulang. Kekuatan lekatan yang terjadi dapat memberikan/mengurangi kekuatan antara tulangan dengan beton sekelilingnya untuk menghindari keruntuhan total dari balok. Walaupun tulangan terjadi pemisahan hampir keseluruhan panjang dengan beton, selama ujung-ujung tulangan tidak terlepas, suatu balok masih mampu dalam memikul beban. Integritas dari sistem dapat diperoleh dengan cara pengankeran mekanis dari ujung tulangan dimana tulangan harus ditanamkan dengan jarak tertentu agar melewati titik dimana beban tarik maksimum terjadi, sehingga tulangan dapat mengembangkan kapasitas tarik secara penuh (Wang et al., 1993).

Menurut (Nawy, 1998), antara tulangan baja dan beton di sekitarnya saling bergesek yang dikarenakan oleh perpindahan mikrotulangan tarik, sehingga menyebabkan tahanan terhadap gelincir/slip meningkat. Kekuatan lekatan bergantung pada beberapa faktor pokok, antara lain:

1. Adhesi antara beton dan tulangan.
2. Susut pengeringan mengakibatkan saling *gripping* (memegang) dan saling geser antara tulangan dan beton
3. Tegangan tarik dialami oleh tulangan saat friksi terhadap gelincir dan saling “*interlocking*”.
4. Kualitas beton ditinjau dari kuat tarik dan kuat tekan.
5. Efek mekanis pengankeran ujung tulangan.
6. Jarak, diameter, dan bentuk tulangan dimana pertambahan retak dipengaruhi kesemuanya.

Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mempelajari ikatan batang baja di beton SCC. Dehn et al. telah mempelajari waktu pengembangan perilaku ikatan rebar baja di beton SCC. Sonebi et al. telah melakukan studi perbandingan *normal concrete* (NC) dan *Self Concolidated Concrete* (SCC). Mereka melaporkan bahwa kekuatan ikatan di beton SCC adalah 10-14 % lebih tinggi dari NC. Chan et al. melaporkan bahwa SCC memiliki hubungan ikatan yang lebih tinggi dari beton

Pada balok beton bertulang, gaya tekan lentur diasumsikan ditahan oleh beton, sedangkan gaya tarik lentur diberikan oleh tulangan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8-1. Pada proses ini, transfer gaya harus terjadi, atau kelekatan dua material. Gaya yang bekerja pada batang ditunjukkan pada Gambar 8-1b. Agar batang berada dalam kesetimbangan, tegangan lekat harus ada. Jika lekatan hilang, tulangan akan terlepas dari beton dan gaya tarik, T , akan menjadi nol, sehingga balok mengalami kegagalan. Tegangan lekat harus ada setiap kali tegangan atau gaya pada batang tulangan berubah dari titik ke titik sepanjang batang. Ini diilustrasikan oleh benda bebas diagram pada Gambar. 8-2. Jika f_{s2} lebih besar dari f_{s1} tegangan lekat, μ , harus bekerja pada permukaan batang untuk menjaga keseimbangan. Menjumlahkan gaya-gaya yang sejajar dengan batang, diperoleh bahwa rata-rata tegangan ikatan, μ_{avg} adalah

$$(f_{s2} - f_{s1}) \frac{\pi d_b^2}{4} = \mu_{avg} (\pi d_b) \ell$$

Dan diambil $(f_{s2} - f_{s1}) = \Delta f_s$, didapatkan

$$u = \frac{P}{\pi \cdot d_b \cdot l_d}$$

Dimana:

P = beban tarik ultima

d_b = diameter tulangan

l_d = panjang lekatan

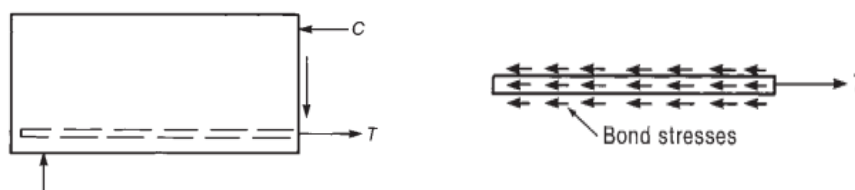
(8-1)

Jika l diambil sebagai panjang yang sangat pendek, dx , persamaan ini dapat ditulis sebagai:

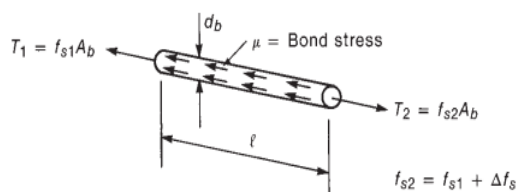
$$\frac{df_s}{dx} = \frac{4\mu}{d_b}$$

(8-2)

Dimana μ adalah tegangan lekatan yang bekerja sepanjang dx



Gambar 8.1 Kebutuhan tegangan lekat



Gambar 8.2 Hubungan perubahan tegangan tulangan dan tegangan lekat rata-rata

Pada sebuah balok, gaya pada tulangan saat mengalami retak dapat dituliskan sebagai berikut :

$$T = \frac{M}{jd}$$

(8-3)

di mana jd adalah lengan tuas dalam dan M adalah momen yang bekerja pada penampang. Jika kita mempertimbangkan panjang balok antara dua retak, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 8-3, momen yang bekerja pada dua retak adalah dan Jika balok diperkuat dengan satu batang diameter d_b , gaya-gaya pada bar seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 8-3c.

Menjumlahkan gaya horizontal memberikan rumusan

$$\Delta T = (\pi d_b) \mu_{avg} \Delta x$$

(8-4)

Dimana d_b adalah diameter tulangan, atau dapat digunakan

$$\frac{\Delta T}{\Delta x} = (\pi d_b) \mu_{avg}$$

Dimana,

$$\Delta T = \frac{\Delta M}{jd}$$

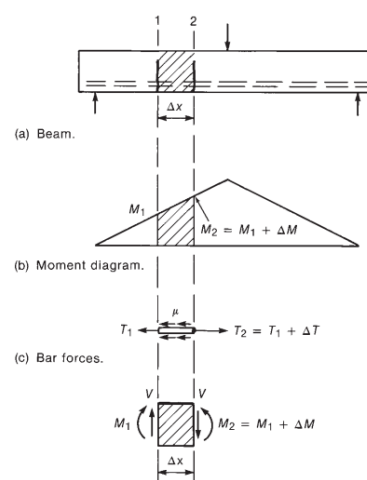
Sehingga didapatkan rumusan

$$\frac{\Delta M}{\Delta x} = (\pi d_b) \mu_{avg} jd$$

Dari *freebody* diagram pada gambar 8.3, dapat dilihat bahwa

$$\Delta M = V \Delta x \quad \Delta M / \Delta x = V$$

$$\mu_{avg} = \frac{V}{(\pi d_b) jd}$$



(8-5)

Gambar 8.3 Tegangan lekat lentur rata-rata

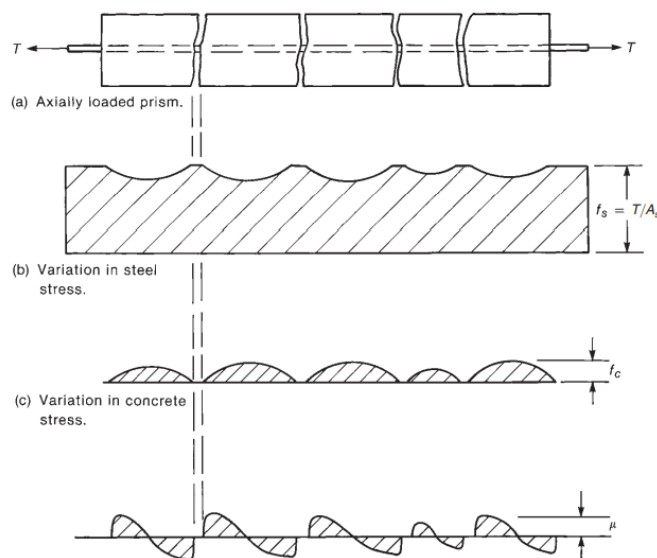
Jika ada lebih dari satu tulangan, keliling tulangan ($\pi \cdot d_b$) dapat diganti dengan jumlah keliling, Σo , didapatkan

$$\mu_{avg} = \frac{V}{\Sigma o jd}$$

(8-6)

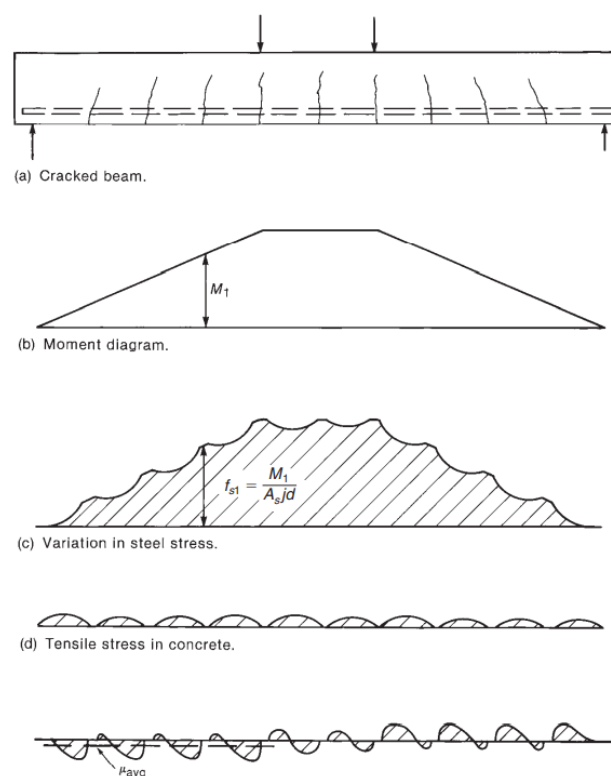
Persamaan 8-5 dan 8-6 memperlihatkan tegangan lekat rata-rata diantara dua retakan pada balok. Selanjutnya akan ditampilkan variasi tegangan lekat dari titik-titik diantara retakan.

Gambar 8-4a menunjukkan prisma beton berisi satu batang tulangan, yang dibebani ketegangan. Pada retakan, tegangan pada tulangan $f_s = T/A_s$. Di antara retakan, sebagian dari beban dipindahkan ke beton dengan ikatan, dan distribusi baja yang dihasilkan dan tegangan beton ditunjukkan pada Gambar. 8-4b dan c. Dari Persamaan. (8-2), kita melihat bahwa tegangan ikatan pada setiap titik sebanding dengan kemiringan diagram tegangan baja pada titik yang sama. Dengan demikian, distribusi tegangan ikatan ditunjukkan pada Gambar 8-4d. Karena tegangan pada baja adalah sama pada masing-masing retak, gayanya juga sama, sehingga $\Delta T = 0$ pada kedua retak, dan dari Persamaan. (8-4), kita melihat bahwa tegangan ikatan rata-rata, μ_{avg} juga sama dengan nol. Jadi, untuk tegangan ikatan rata-rata sama dengan nol, luas total di bawah diagram tegangan ikatan antara dua retakan pada Gambar 8-4d harus sama dengan nol ketika $\Delta T = 0$. Tegangan ikatan yang diberikan oleh Persamaan. (8-2) dan diplot pada Gambar. 8-4d disebut benar tegangan ikatan atau tegangan ikatan keluar-masuk (mereka mentransfer tegangan ke batang dan keluar kembali lagi) untuk membedakannya dari tegangan ikatan rata-rata yang dihitung dari Persamaan. (8-1).



Gambar 8.4 Tegangan lekat pada balok yang retak

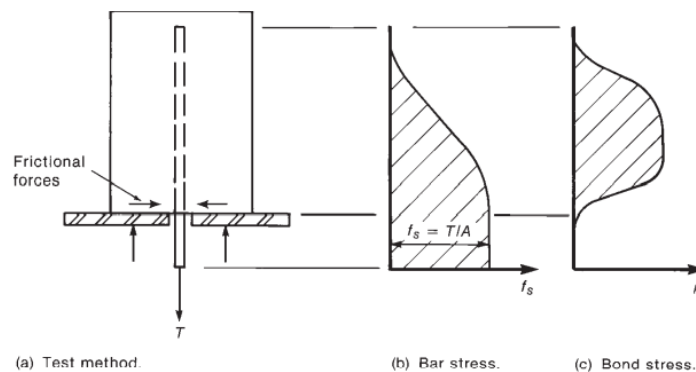
Pada retakan balok, gaya pada tulangan dapat dihitung dari Persamaan. (8-3). Jika beton dan batang tulangan direkatkan menjadi satu, sebagian gaya tarik akan ditahan oleh beton pada titik-titik di antara retakan. Akibatnya, tegangan tarik pada baja dan beton pada tingkat baja akan bervariasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 8-5c dan d. Hal ini menimbulkan plot distribusi tegangan-ikatan yang ditunjukkan pada Gambar 8-5e. Pada daerah momen-konstan antara dua beban pada Gambar 8-5a, gesernya adalah nol, dan tegangan ikat rata-rata dari diagram tegangan ikat masuk dan keluar pada Gambar 8-5(e) adalah nol. Antara tumpuan dan beban terdekat, ada gaya geser. Sekali lagi, ada ikatan keluar-masuk tegangan-tegangan, tetapi sekarang luas total di bawah diagram tegangan-ikatan bukanlah nol. Ikatan rata-rata tegangan pada Gambar 8-5e harus sama dengan nilai yang diberikan oleh Persamaan. (8-5)



Gambar 8.5 Tegangan lekat pada balok

Cara termudah untuk menguji kekuatan ikatan batang di laboratorium adalah dengan cara tarik keluar tes. Di sini, silinder beton berisi batang dipasang pada pelat kaku dan dongkrak digunakan untuk menarik batang keluar dari silinder, seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 8-6a. Dalam pengujian seperti itu, beton adalah

terkompresi dan karenanya tidak retak. Tegangan di batang bervariasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 8-6b, dan tegangan ikatan bervariasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 8-6c. Tes ini tidak memberikan nilai yang mewakili kekuatan ikatan balok karena beton tidak retak, dan karenanya, tidak ada distribusi tegangan ikat masuk dan keluar. Juga, tegangan dukung beton terhadap pelat menyebabkan komponen gesekan yang menahan ekspansi melintang yang akan mencerminkan rasio Poisson. Sebelum tahun 1950, uji tarik digunakan secara ekstensif untuk mengevaluasi kekuatan ikatan batangan. Sejak kemudian, berbagai jenis uji balok telah digunakan untuk mempelajari kekuatan ikatan [8-1]

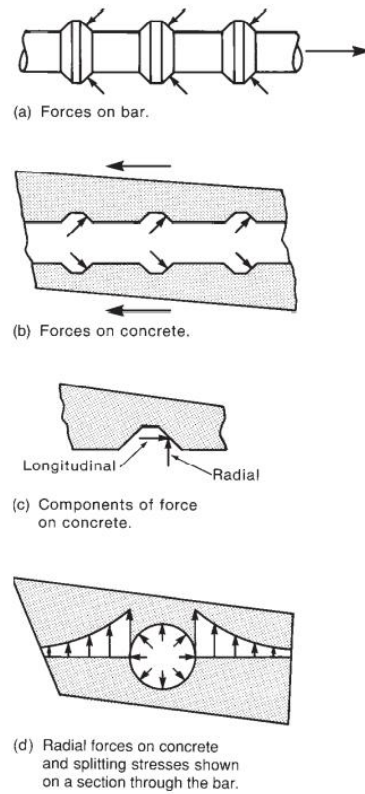


Gambar 8.6 Tegangan lekat pada uji *pull out*

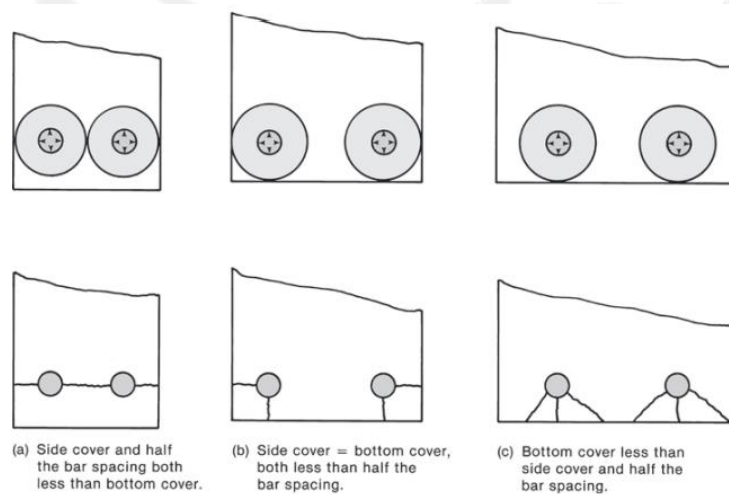
2.4.7.1 Mekanisme Tegangan Lekat

Tulangan polos tertanam dalam beton mengakibatkan ikatan dengan adhesi antara beton dan batang dan dengan sedikit gesekan. Kedua efek ini dengan cepat hilang ketika batang dibebani dengan tegangan, terutama karena diameter batang berkurang sedikit, karena rasio Poisson. Untuk alasan ini, batang halus umumnya tidak digunakan sebagai bantuan. Dalam kasus di mana batang halus harus tertanam dalam beton (jangkar) baut, sengkang yang terbuat dari batangan berdiameter kecil, dll), angkur mekanis berupa: kait, mur, dan ring pada ujung tertanam (atau perangkat serupa) digunakan. Meskipun adhesi dan gesekan hadir ketika batang cacat dimuat untuk pertama kali, mekanisme transfer ikatan ini dengan cepat hilang, meninggalkan ikatan untuk dipindahkan dengan menahan deformasi batang seperti ditunjukkan pada Gambar 8-7a. Setara dan berlawanan tegangan dukung bekerja pada beton, seperti ditunjukkan pada Gambar 8-7b. Gaya pada beton memiliki komponen longitudinal dan radial (Gbr. 8-7c dan d). Yang terakhir ini

menyebabkan tegangan tarik melingkar pada beton di sekitar batang. Pada akhirnya beton akan terbelah sejajar dengan batang, dan retak yang dihasilkan akan menjalar ke permukaan balok. Itu retak retak mengikuti batang tulangan di sepanjang permukaan bawah atau samping balok



Gambar 8.7 Mekanisme transfer tegangan lekat



Gambar 8.8 Tipe-tipe kegagalan pemisahan permukaan.

2.4.8 Panjang Lewatan

Tulangan baja yang dipasang pada struktur beton bertulang, lazimnya diproduksi dengan panjang tertentu, biasanya 12 m, fasilitas transportasi, sesuai diameter tulangan, dan alasan lainnya. Sedangkan, struktur yang digunakan sangat panjang. Maka perlu adanya penyambungan tulangan di daerah tertentu, daerah penyambungan ini sering disebut dengan panjang lewatan. Penyambungan tulangan dilakukan dengan panjang penyambungan yang cukup untuk transfer tegangan lekatan dari tulangan satu ke tulangan yang disambung.

Pemasangan sambungan lewatan pada umumnya diletakkan tidak pada daerah yang terjadi momen lentur maksimal, serta diusahakan agar pemasangan beberapa sambungan lewatan tidak pada satu lokasi atau lokasi berdekatan karena menyebabkan perlemahan struktur beton bertulang. Berkumpulnya beberapa sambungan lewatan menimbulkan penumpukan tulangan yang dapat menimbulkan kesulitan dalam proses pengecoran.

Ada dua alternatif untuk sambungan lewatan pada kondisi tarik, 1st, yaitu sambungan lewatan kelas A dan kelas B (yang tidak boleh kurang dari 300 mm), dan besarnya adalah :

- Sambungan lewatan kelas A 1,0ld
- Sambungan lewatan kelas B 1,3ld

Tabel 2.3 Kelas Sambungan Lewatan Dalam Kondisi Tarik

| As terpasang As perlu | Persentase Maksimum As yang Disambung Sepanjang Ld | |
|--------------------------|---|---------|
| | 50 | 100 |
| ≥ 2,0 | Kelas A | Kelas B |
| < 2,0 | Kelas B | Kelas B |

- Panjang Penyaluran Pada Kondisi Tarik

Jarak bersih tulangan yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari db, selimut beton bersih tidak kurang dari db, dan sengkang atau sengkang ikat yang dipasang sepanjang ld tidak kurang dari persyaratan minimum sesuai peraturan. Jarak bersih tulangan yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari 2db dan selimut beton bersih tidak kurang dari db. Dari persamaan 8-1 didapatkan

persamaan untuk menghitung panjang penyaluran.

$$u = \frac{P}{\pi \cdot d_b \cdot l_d}$$

$$l_d = \frac{P}{\pi \cdot d_b \cdot u}$$

$$l_d = \frac{f_y \cdot \pi \cdot d^2}{4 \cdot \pi \cdot d_b \cdot u}$$

Didapatkan,

$$l_d = \frac{f_y \cdot d_b}{4u_u}$$

dimana

l_d : panjang penyaluran

f_y : tegangan leleh

d_b : diameter baja tulangan

u_u : kapasitas tegangan lekat ultima

Dimana :

Ψ_1 adalah faktor lokasi tulangan, yang besarnya ditentukan sebagai berikut :

| | |
|----------------|--|
| $\Psi_1 = 1,3$ | Untuk tulangan atas, yang didefinisikan sebagai tulangan horizontal yang ditempatkan hingga lebih dari 300 mm beton segar dicor pada komponen di bawah panjang penyaluran atau sambungan yang ditinjau |
| $\Psi_1 = 1,0$ | Untuk tulangan lainnya |

Ψ_e adalah faktor pelapisan tulangan, yang besarnya adalah :

| | |
|----------------|---|
| $\Psi_e = 1,5$ | Untuk tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari 3db atau spasi bersih kurang dari 6ds |
| $\Psi_e = 1,2$ | Untuk tulangan berlapis epoksi lainnya |
| $\Psi_e = 1,0$ | Untuk tulangan tanpa lapisan epoksi |

Hasil kali $\Psi_1 \Psi_e$ tidak perlu diambil lebih dari 1,7

λ adalah faktor beton ringan

| | |
|---|--|
| $\lambda = 0,75$ | Untuk beton ringan |
| $\lambda = \left[\frac{f_{ct}}{0,56\sqrt{f'c}} \right] \leq 1,0$ | Jika nilai kuat Tarik belah beton ringan diketahui |
| $\lambda = 1,0$ | Untuk beton normal |

