

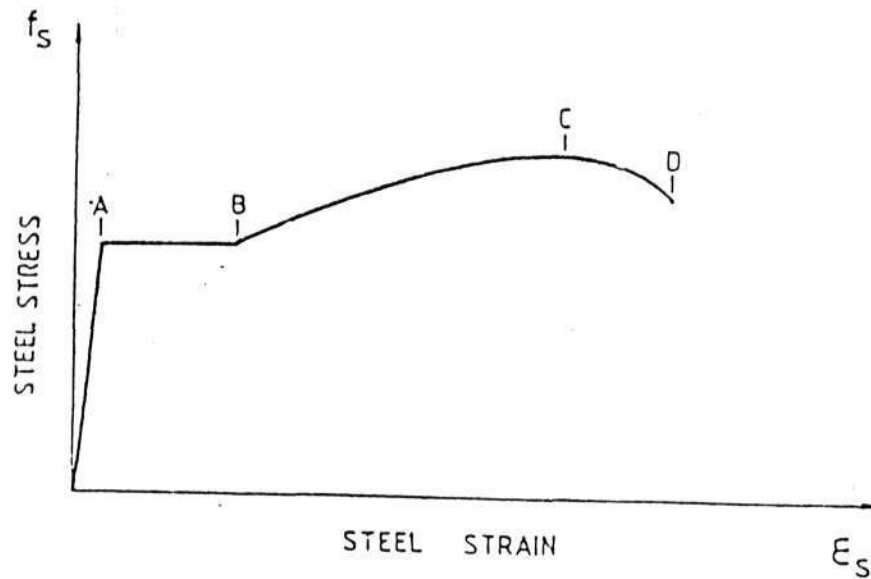
III. HUBUNGAN TEGANGAN REGANGAN BAJA TULANGAN

III.1. PERILAKU TEGANGAN REGANGAN BAJA TULANGAN

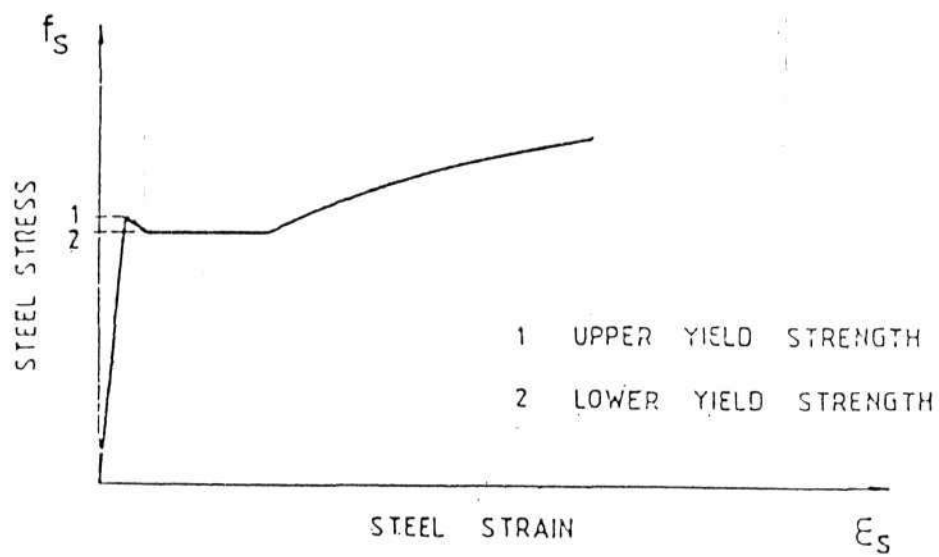
Diagram tegangan regangan baja tulangan yang digunakan dalam konstruksi beton bertulang diperoleh dari hasil tes tarikan monoton.

Seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1 kurva awal sampai titik leleh A menunjukkan daerah elastis linier. Setelah mencapai titik leleh A maka akan terjadi penambahan regangan dengan sedikit atau tanpa adanya penambahan tegangan, sampai pada titik B. Kemudian baja tulangan memasuki daerah strain hardening, dimana penambahan regangan diikuti oleh penambahan tegangan yang cukup besar. Hal ini terus berlangsung sampai mencapai tegangan maksimum pada titik C. Melewati titik C, penambahan regangan akan menyebabkan tegangannya turun secara drastis sampai putus di titik D.

Kemiringan kurva pada daerah elastis linier menyatakan Modulus Elastisitas (E_s). Untuk daerah strain hardening, modulus strain hardening (E_{sh}), dinyatakan dengan garis singgung dari awal garis lengkung tersebut. Biasanya penentuan nilai modulus strain hardening cukup sulit karena penentuan garis singgungnya tidak dapat dilakukan secara tepat.



Gambar 3.1 Hubungan tegangan regangan baja tulangan



Gambar 3.2 Kurva tegangan regangan dengan titik leleh atas dan bawah

Tegangan pada titik A menunjukkan tegangan lelehnya dan merupakan suatu parameter yang sangat penting dari baja tulangan. Kadang-kadang kurva tegangan regangan menunjukkan dengan jelas tegangan atas (upper yield strength), dan tegangan leleh bawah (lower yield strength) seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.2.

Titik leleh bawah biasanya dianggap sebagai parameter karakteristik yang benar dan dipakai untuk menentukan tegangan leleh baja tulangan. Panjang yield plateau (daerah A-B pada gambar 3.1) secara umum merupakan fungsi dari tegangan baja. Baja high strength high carbon biasanya mempunyai yield plateau yang jauh lebih pendek dan total regangan yang lebih kecil sebelum putus jika dibandingkan dengan baja lower strength low carbon. Untuk baja cold worked, daerah strain hardening dapat dimulai dengan segera setelah terjadi leleh yang pertama dan sering titik lelehnya tidak begitu jelas. Dalam hal ini maka tegangan lelehnya ditentukan berdasarkan standar.

Diagram tegangan regangan untuk baja tulangan yang diperoleh dari hasil tes tarikan dapat diasumsikan cukup baik untuk mewakili diagram tegangan regangan akibat beban tekan. Dari hasil-hasil percobaan yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa asumsi tersebut cukup layak dan dapat diterima.

Baja tulangan dalam beton bertulang biasanya mengalami pembebanan berulang selama masa layan. Namun secara umum hubungan tegangan regangan monoton merupakan idealisasi yang cukup baik bagi kurva envelope pada pembebanan berulang.

III.2. IDEALISASI DIAGRAM TEGANGAN REGANGAN BAJA TULANGAN YANG DIPAKAI DALAM DESAIN.

Bentuk hubungan tegangan regangan untuk baja tulangan yang dipakai di dalam desain diidealisasikan berbentuk uniaksial bilinear, seperti yang tampak pada gambar 3.3 , dimana penambahan kekuatan akibat strain hardening dari tulangan diabaikan.

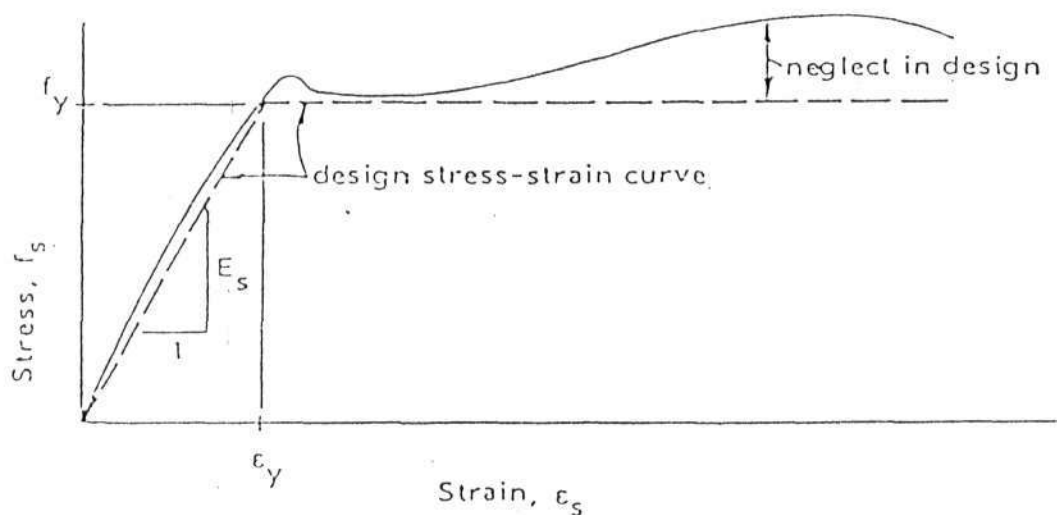
Hubungan antara tegangan pada tulangan f_s dan regangan akibat tegangan dapat ditulis sebagai berikut :

$$f_s = E_s \varepsilon_s \leq f_y \quad (3.1)$$

dimana E_s = modulus elastisitas baja dapat diambil sebesar 200.000 MPa.

Dalam perhitungan kekuatan, besar gaya tarik atau tekan dari tulangan dihitung sebagai :

$$\text{Jika } \varepsilon_s \leq \varepsilon_y \text{ (regangan leleh) dimana tulangan belum leleh maka} \\ A_s f_s = A_s E_s \varepsilon_s \quad (3.2)$$



Gambar 3.3 Hubungan tegangan regangan baja tulangan dalam desain

sedangkan jika $\epsilon_s \geq \epsilon_y$ dimana tulangan telah mencapai leleh maka

$$A_s f_s = A_s f_y \quad (3.3)$$

dimana ϵ_s adalah regangan pada tulangan.

III.3. IDEALISASI DIAGRAM TEGANGAN REGANGAN BAJA TULANGAN DALAM ANALISA MOMEN KURVATUR

Dalam analisa momen kurvatur: untuk menghitung faktor overstrength, digunakan diagram tegangan regangan yang sebenarnya dengan memperhitungkan daerah strain hardening.

Para peneliti terdahulu telah mengusulkan beberapa idealisasi dari diagram tegangan regangan. Setelah dilakukan evaluasi terhadap idealisasi-idealisisi tersebut dengan membandingkan hasil-hasil percobaan tarikan maupun tekanan, maka Mander^[14] menganjurkan pemakaian perumusan alternatif yang akan dipakai dalam studi ini.

Diagram tegangan regangan yang dianjurkan oleh Mander mengandung enam parameter dasar yaitu: f_y , f_{su} , E_s , E_{sh} , ϵ_{sh} , ϵ_{su} .

Keenam parameter tersebut dipakai untuk membentuk kurva tegangan regangan monoton seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.4.

Kurva diagram tegangan regangan tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

a) Daerah Elastis ($0 \leq \epsilon_s \leq \epsilon_y$)

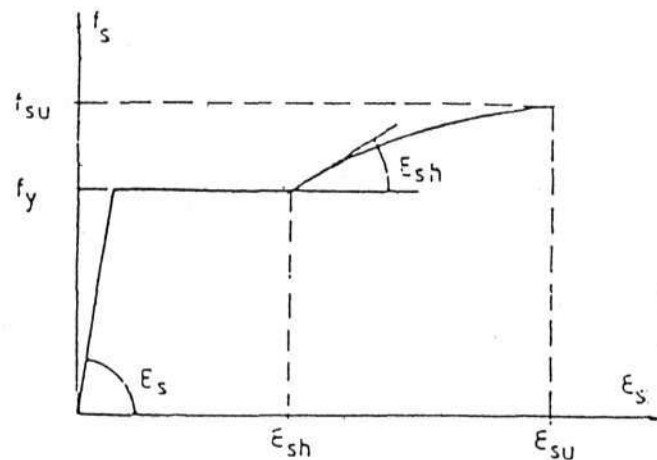
$$f_s = E_t \epsilon_s \quad (3.4)$$

$$E_t = E_s$$

dimana : $\epsilon_y = \frac{f_s}{E_s}$

E_t adalah tangent modulus

E_s adalah modulus elastisitas



Gambar 3.4 Diagram tegangan regangan usulan Mander^[14]

b) Daerah Yield Plateau ($\epsilon_y < \epsilon_s \leq \epsilon_{sh}$)

$$f_s = f_y \quad (3.5)$$

$$E_t = 0.0$$

c) Daerah Strain Hardening ($\epsilon_{sh} < \epsilon_s < \epsilon_{sh}$)

Daerah strain hardening dimulai pada saat tegangan melampaui daerah yield plateau (dimulai pada regangan ϵ_{sh}) sampai regangan ultimate. Regangan

ultimate adalah regangan pada saat terjadi tegangan ultimate, bukan regangan pada saat putus.

Mander^[14] berpendapat bahwa modulus strain hardening adalah suatu parameter yang hanya diperlukan untuk menentukan kurva strain hardening disamping koordinat awal (ϵ_{sh}, f_y) dan koordinat akhir (ϵ_{su}, f_{su}) .

Pendekatan yang dipakai Mander^[14] untuk menentukan kurva strain hardening adalah cara yang diusulkan oleh Burns dan Seiss yang kemudian diperbaharui oleh Kent dan Park, yaitu menggunakan suatu persamaan garis antara regangan strain hardening, (ϵ_{sh}) dan regangan ultimate (ϵ_{su}) .

Dengan koordinat awal (ϵ_{sh}, f_y) dan koordinat akhir (ϵ_{su}, f_{su}) dari kurva strain hardening, kita dapat menentukan modulus strain hardening (E_{sh}) .

Persamaan dari kedua titik koordinat tersebut berbentuk suatu *power curve* dengan koordinat tegangan regangan ultimate sebagai koordinat awalnya dan dapat ditulis sebagai berikut :

$$\left| \frac{f_{su} - f_s}{f_{su} - f_y} \right| = \left| \frac{\epsilon_{su} - \epsilon_s}{\epsilon_{su} - \epsilon_{sh}} \right|^p \quad (3.6)$$

tegangan yang terjadi adalah :

$$f_s = f_{su} + (f_y - f_{su}) \left| \frac{\epsilon_{su} - \epsilon_s}{\epsilon_{su} - \epsilon_{sh}} \right|^p \quad (3.7)$$

dimana p adalah strain hardening power dan dapat ditentukan dengan

mendiferensialkan persamaan (3.7) untuk memberikan tangen modulus :

$$E_t = \frac{df_s}{d\epsilon_s} = p \left| \frac{f_{su} - f_y}{\epsilon_{su} - \epsilon_{sh}} \right| \left| \frac{\epsilon_{su} - \epsilon_s}{\epsilon_{su} - \epsilon_{sh}} \right|^{p-1} \quad (3.8)$$

karena modulus strain hardening, E_{sh} terjadi pada saat $\epsilon_s = \epsilon_{sh}$ maka :

$$E_t = E_{sh} = p \left| \frac{f_{su}-f_y}{\epsilon_{su}-\epsilon_{sh}} \right| \quad (3.9)$$

$$\text{atau} \quad p = E_{sh} \left| \frac{\epsilon_{su}-\epsilon_{sh}}{f_{su}-f_y} \right| \quad (3.10)$$

Persamaan (3.10) menyatakan bahwa p adalah perbandingan antara strain hardening modulus dengan secant modulus diantara kedua titik koordinat tersebut.

Regangan yang terjadi dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\epsilon_s = \epsilon_{su} + (\epsilon_{sh} - \epsilon_{su}) \left| \frac{f_{su}-f_s}{f_{su}-f_y} \right|^{1/p} \quad (3.11)$$

Dari persamaan (3.6),(3.8),(3.9),(3.11) didapat suatu nilai tangen modulus dari daerah strain hardening,

yaitu :

$$E_t = E_{sh} = \left| \frac{f_{su}-f_s}{f_{su}-f_y} \right|^{1-\frac{1}{p}} \quad (3.12)$$

III.4. PENGARUH KECEPATAN PEMBEBANAN

Di dalam analisa momen kurvatur untuk mendapatkan faktor overstrength, perlu dipertimbangkan pengaruh kecepatan pembebanan, karena pembebanan yang cepat akan menyebabkan tegangan leleh baja tulangan bertambah besar.

Parameter-parameter diagram tegangan regangan yang diperoleh dari laboratorium didasarkan pada kecepatan pembebanan yang dalam keadaan quasi-static yang pada umumnya diambil sebesar 0.00001 /detik, sedangkan pada

keadaan gempa tidaklah demikian, karena itu harus diperhitungkan faktor pembesar dinamis yang sesuai dengan keadaan yang sesungguhnya.

Besarnya tegangan leleh yang terjadi pada kecepatan regangan yang tinggi akan menyebabkan *over-estimate* pada tegangan lentur dari struktur-struktur penahan gempa, tetapi karena beban gempa bersifat dinamis maka hal ini dianggap cocok untuk mendapatkan kemungkinan faktor overstrength yang mungkin terjadi selama gempa kuat.

Oleh Mander^[14], ditunjukkan bahwa pengaruh kecepatan regangan yang tinggi pada tegangan leleh dapat diperhitungkan dengan memodifikasi harga dari keadaan quasistatic dengan menggunakan faktor pembesar dinamis sbb :

$$(f_s)_{dyn} = D_s f_s \quad (3.13)$$

$(f_s)_{dyn}$ adalah tegangan leleh yang diukur pada kecepatan regangan yang tinggi.

f_s adalah tegangan leleh yang diukur pada keadaan quasi-static.

D_s adalah faktor pembesar dinamis yang untuk baja ringan ditentukan sbb :

* untuk baja yang mengalami tarikan :

$$D_s = 0.953 \left[1 + (\dot{\epsilon} / 700)^{1/6} \right] \quad (3.14)$$

* untuk baja yang mengalami tekanan :

$$D_s = 0.966 \left[1 + (\dot{\epsilon} / 500)^{1/6} \right] \quad (3.15)$$

Dimana $\dot{\epsilon}$ adalah kecepatan regangan untuk keadaan quasi-static yang diasumsikan sebesar = 0.00001/sec.

Demikian pula untuk tegangan ultimate (f_{su}), modulus elastisitas (E_s), modulus strain-hardening (E_{sh}) diperhitungkan pengaruh kecepatan regangan yang tinggi dengan memodifikasi harga dari keadaan quasi-static dengan menggunakan faktor pembesar dinamis seperti untuk tegangan leleh (f_y), Sedangkan untuk regangan pada saat terjadinya strain-hardening (ϵ_{sh}) dan regangan ultimate (ϵ_{su}) oleh Mander dianggap tidak dipengaruhi oleh kecepatan pembebanan.

Tegangan leleh tulangan sengkang (f_{yh}), juga diperhitungkan terhadap pengaruh kecepatan pembebanan seperti halnya pada tulangan longitudinal.