

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Pendahuluan

Hipotesa *Bernoulli* menyatakan bahwa penampang struktur dianggap rata dan tegak lurus garis netral sebelum dan sesudah lentur, selanjutnya Navier menganggap bahwa distribusi regangan adalah linier pada seluruh penampang struktur. Akan tetapi dalam kenyataannya distribusi regangan pada penampang struktur tidak selalu linier, khususnya pada struktur beton terdapat daerah-daerah yang distribusi regangannya adalah non-linier, sehingga diperlukan suatu metoda analisis dengan asumsi yang lebih mendekati perilaku struktur pada kondisi sebenarnya. Dengan berbagai penelitian dan percobaan akhirnya muncullah metoda *strut and tie model* yang dianggap sebagai metoda yang cukup rasional untuk perancangan struktur beton. Penyelesaian dari metoda ini tidak berupa satu hasil akhir yang selalu tetap bagi masing-masing perencana, melainkan memberikan hasil yang unik dimana hasil desain yang diperoleh dapat saja berbeda antara perencana satu dengan yang lainnya hanya saja yang membedakan berupa tingkat keefisienan rencana yang ada, baik dari segi perhitungan maupun segi material perkuatan tambahan yang akan digunakan sebagai desain struktur tersebut.

*Strut and tie model* pertama sekali diperkenalkan oleh *Ritter* (1989), *Morsch* (1902) sebagai *Truss Analogy Model*. *Morsch* menggunakan bentuk rangka batang (*truss*) dengan memperhatikan pola retak pada beton bertulang

akibat beban. Rangka batang ini terdiri dari batang desak dan batang tarik, sejajar dengan arah memanjang dari balok, batang desak diagonal dan batang tarik vertikal. Berbagai *truss-model* dikembangkan oleh para peneliti yang akhirnya pada tahun 1982-1993 Schaich, Schafer dan Jenewein mengembangkan suatu model *Truss Analogy* yang lebih umum dan konsisten yang kemudian dikenal dengan *strut and tie model*. Di dalam *ACI 318-02 App.A strut and tie model* didefinisikan sebagai suatu model struktur rangka dari suatu elemen struktural atau dari sebuah *D-Region* dalam elemen tersebut, yang terdiri dari batang-batang desak dan batang-batang tarik yang terhubung pada titik nodal, dan yang mampu meneruskan beban-beban terfaktor ke titik tumpuan atau ke *B-Region* di dekatnya.

## 2.2. Tegangan Bidang

Suatu benda elastis yang dibebani, sebelum retak akan menghasilkan medan desak (*compression field*) dan medan tarik (*tension field*) elastis. Pada saat itu, tegangan pada elemen struktur akan mengalami sudut yang berbeda, sehingga membentuk garis-garis tegangan utama. Garis-garis tersebut merupakan aliran tegangan pada struktur yang disebut trajektor tegangan.

Untuk mengetahui keadaan status tegangan (*state of stress*) sebuah elemen dalam struktur dapat digunakan analisis tegangan. Analisis tegangan sebuah elemen dikaitkan dengan suatu himpunan sumbu-sumbu koordinat yang ditransformasikan. Transformasi ini diperlukan untuk mengetahui tegangan yang terjadi pada sudut rotasi sumbu yang berbeda. Penurunan persamaan transformasi terhadap sudut rotasi sama dengan nol akan memberikan besarnya sudut rotasi

yang memberikan tegangan-tegangan utama. Berdasarkan tegangan utama dalam struktur data digambarkan garis-garis trajektor tegangan.

Untuk menjelaskan tegangan-tegangan utama elemen struktur dapat diuraikan secara singkat berikut ini :

### 2.2.1. Elemen-elemen tegangan bidang

Pada struktur yang menerima beban luar akan terjadi tegangan-tegangan yang bervariasi di dalam bahan struktur. Analisis tegangan dapat disederhanakan dengan meninjau elemen-elemen bidang yang digambarkan pada gambar 2.1. Komponen tegangan normal yang bekerja searah sumbu  $y$  dinamakan  $\sigma_y$ , sedangkan yang searah sumbu  $x$  dinamakan  $\sigma_x$ . Tegangan geser  $\tau_{yx}$  yang bekerja pada permukaan  $y$  dalam arah sumbu  $x$  dan tegangan geser  $\tau_{xy}$  bekerja pada permukaan  $x$  dalam arah sumbu  $y$ .

Tegangan geser  $\tau_{yx}$  dan  $\tau_{xy}$  pada permukaan- permukaan tegak lurus sumbu  $y$  dan  $x$  positif. Begitu pula pada permukaan negatif elemen, tegangan geser bernilai positif jika searah sumbu negatif (gambar 2.1.a). Jadi tegangan  $\tau_{yx}$  dan  $\tau_{xy}$  pada permukaan-permukaan sumbu  $x$  dan  $y$  negatif juga berharga negatif maka berlaku persamaan sebagai berikut :

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} \dots\dots\dots(2.1)$$

Jika ditinjau suatu sudut  $\theta$  terhadap kedudukan koordinat global (gambar 2.1.b) akan terjadi tegangan yang besarnya dapat dihitung sebagai berikut :

$$\sigma_{x1} = \sigma_x \cos^2 \theta + \sigma_y \sin^2 \theta + 2\tau_{xy} \cos \theta \sin \theta \dots\dots\dots(2.2)$$

$$\sigma_{y1} = \sigma_x \cos^2 \theta + \sigma_y \sin^2 \theta - 2\tau_{xy} \cos \theta \sin \theta \dots\dots\dots(2.3)$$

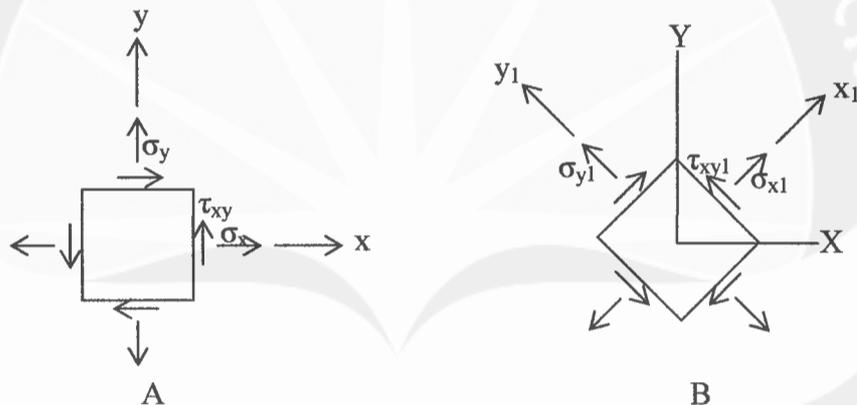
$$\tau_{x_1y_1} = -(\sigma_x - \sigma_y)\sin \theta \cos \theta + \tau_{xy}(\cos^2\theta - \sin^2\theta) \dots\dots\dots(2.4)$$

Sudut  $\theta$  adalah sudut rotasi dari arah sumbu  $x$  terhadap sumbu  $y$  dapat dilihat pada gambar 2.1.b. Persamaan-persamaan di atas dapat ditransformasikan dalam bentuk lain menjadi :

$$\sigma_{x_1} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\sigma_{y_1} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta - \tau_{xy} \sin 2\theta \dots\dots\dots(2.6)$$

$$\sigma_{x_1y_1} = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta \dots\dots\dots(2.7)$$



Gambar 2.1. Elemen-elemen Tegangan Bidang  
(Sumber: Gere & Timoshenco, “Mekanika Bahan”, 1990)

**2.2.2. Tegangan utama dan tegangan geser maksimum**

Tegangan utama akan terjadi apabila tegangan geser sama dengan nol. Besarnya sudut rotasi yang terjadi pada tegangan utama dapat diselesaikan dengan menurunkan persamaan 2.5 terhadap  $\theta$  sama dengan nol, maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\partial \sigma_{x_1}}{\partial \theta} = -(\sigma_x - \sigma_y)\sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta = 0 \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\tan 2\theta_p = \frac{2\tau_{xy}}{\sigma_x - \sigma_y} \dots\dots\dots(2.9)$$

$$\tan_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \left(\frac{\tau_{xy}}{2}\right)^2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Tegangan geser maksimum diperoleh dengan menurunkan persamaan 2.7 terhadap  $\theta$  sama dengan nol diperoleh persamaan berikut :

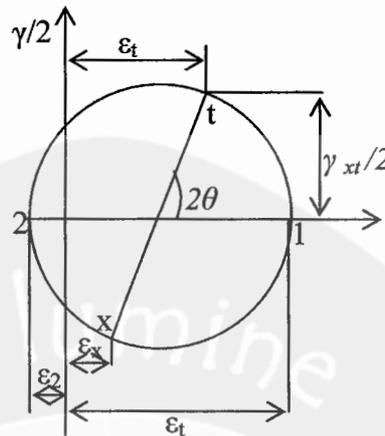
$$\frac{\partial \sigma_{x1y1}}{\partial \theta} = -(\sigma_x - \sigma_y) \cos 2\theta - 2\tau_{xy} \sin 2\theta = 0 \dots\dots\dots(2.11)$$

$$\tan 2\theta_s = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2\tau_{xy}} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$\tau_{maks} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \dots\dots\dots(2.13)$$

### 2.2.3. Lingkaran mohr untuk tegangan

Persamaan-persamaan transformasi tegangan bidang dapat dinyatakan dalam bentuk garis yang dikenal sebagai lingkaran *Mohr* (*Mohr Circle*). Lingkaran *Mohr* (gambar 2.2 ) ini sangat bermanfaat untuk memvisualisasikan hubungan tegangan normal dan tegangan geser yang bekerja pada sebuah elemen miring di sebuah titik dalam benda yang mengalami tegangan.



Gambar 2.2. Lingkaran Morh Untuk Tegangan  
(Sumber: Gere & Timoshenco, "Mekanika Bahan", 1990)

Persamaan 2.3 dan 2.4 adalah persamaan-persamaan sebuah lingkaran dalam bentuk parametrik, dengan  $2\theta$  sebagai parameternya. Dikuadratkan kedua belah ruas dari masing-masing persamaan ini kemudian dijumlahkan untuk mengeliminasi parameternya maka diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$\left(\sigma_{x1} - \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{x1y1}^2 = \left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2 \dots\dots\dots(2.14)$$

Persamaan tersebut dapat ditulis dalam bentuk yang lebih sederhana dengan menggunakan rotasi sebagai berikut :

$$\sigma_{rata} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2}, R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \dots\dots\dots(2.15)$$

Persamaan diatas berubah menjadi:

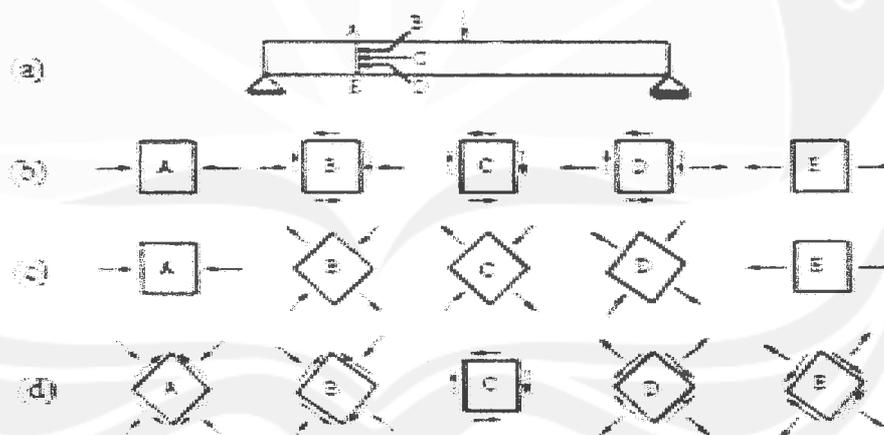
$$(\sigma_{x1} - \sigma_{rata})^2 + \tau_{2xy}^2 = R^2 \dots\dots\dots(2.16)$$

Selanjutnya dari persamaan-persamaan di atas dapat digambarkan lingkaran *Morh*. Tegangan  $\sigma_{x1}$  sebagai absis dan  $\tau_{x1y1}$  sebagai ordinat. Sudut  $2\theta$

adalah besarnya rotasi sudut yang dimulai dari sumbu absis. Sudut  $2\theta$  adalah positif apabila diukur berlawanan dengan arah jarum jam.

### 2.3. Distribusi Dan Trajektor Tegangan Utama

Untuk menjelaskan distribusi dan trajektori tegangan utama diambil contoh sebuah balok *simple beam* yang mengalami beban titik pada tengah bentang. Tegangan normal dan geser pada balok yang bekerja pada sembarang titik dalam penampang sebuah balok sangat bervariasi pada kedudukan titik yang berbeda. Divisualisasikan pada gambar 2.3. (Mekanika Bahan Gere & Timoshenco), ditinjau tegangan pada kelima titik : A, B, C, D, dan E.



Gambar 2.3. Tegangan –tegangan dalam Sebuah Balok Berpenampang Segi Empat : (a) Titik A, B, C, D, dan E dalam penampang, (b) Tegangan Normal dan Geser yang Bekerja pada Bidang-bidang Horizontal dan Vertikal, (c) Tegangan-tegangan Utama, dan (d) Tegangan-tegangan Geser Maksimum (sumber: Gere & Timoshenco, "Mekanika Bahan", 1990)

Tegangan-tegangan yang bekerja pada penampang di tiap-tiap titik ini dapat langsung dihitung apabila momen lentur dan gaya lintang diketahui. Tegangan-tegangan ini dapat digambar seolah-olah bekerja pada elemen-elemen tegangan bidang yang memiliki permukaan-permukaan horizontal dan vertikal

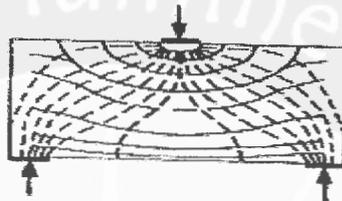
(gambar 2.3.b). Dari sketsa dalam gambar 2.3.c dapat diamati bagaimana tegangan-tegangan utama berubah.

Penyelidikan terhadap tegangan-tegangan di berbagai penampang struktur dapat menentukan bagaimana tegangan-tegangan utama bervariasi di seluruh sistem struktur. Kemudian barulah dapat menggambarkan 2 buah sistem orthogonal yang disebut trajektor tegangan (*stress trajectory*). Kedua sistem ini memberi arah-arah dari tegangan utama, sehingga dapat diketahui bahwa garis trajektori tegangan merupakan garis tempat kedudukan titik dari suatu tegangan utama (*principal stress*) yang memiliki nilai aljabar yang sama yang terdiri dari garis trajektori desak dan garis trajektori tarik.

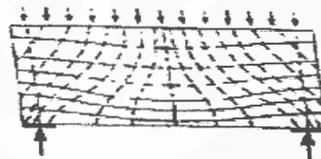
Karakteristik penting dari trajektori tegangan (Hardjasaputra,2002) adalah :

1. Di tiap-tiap titik ada trajektori desak dan trajektori tarik yang saling tegak lurus.
2. Dalam komponen struktur yang dibebani terdapat suatu kelompok trajektori tarik, dan kelompok trajektori desak, dan kedua kelompok tersebut orthogonal.
3. Trajektori desak dan trajektori tarik berakhir pada sisi tepi dengan sudut  $90^{\circ}$ .
4. Di dalam titik garis netral arah trajektori-trajektori adalah  $45^{\circ}$ .
5. Lebih dekat jarak antar trajektori-trajektori, lebih besar nilai tegangan utamanya.
6. Trajektori tegangan pada daerah *B* jauh lebih teratur (*smooth*) dibandingkan pada daerah *D* (*turbulent*).

Cook dan Mitchell (1998) menyarankan penggunaan metoda *finite-element nonlinier*, akan tetapi dalam penggunaan praktis masih banyak berorientasi pada distribusi dan trajektori tegangan utama karena dianggap lebih praktis dan cukup konservatif. Contoh bentuk distribusi dan trajektori tegangan utama dapat dilihat dalam gambar 2.4. dan gambar 2.5.



Gambar 2.4. Trajekrtori Tegangan Utama pada Balok Tinggi dengan Beban Terpusat pada Tengah Bentang (sumber: Hardjasaputra, Harianto, “*Strut and Tie Model*”, 2002)



Gambar 2.5. Trajekrtori Tegangan Utama pada Balok Tinggi dengan Beban Terbagi Merata di Atas Bentang (sumber: Hardjasaputra, Harianto, “*Strut and Tie Model*”, 2002)

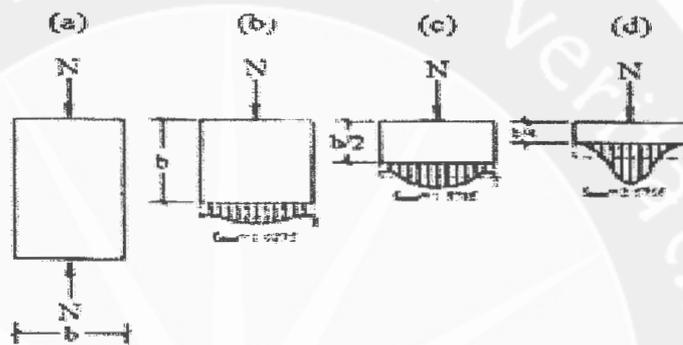
Keterangan : \_\_\_\_\_ trajektori tegangan desak

----- trajektori tegangan tarik

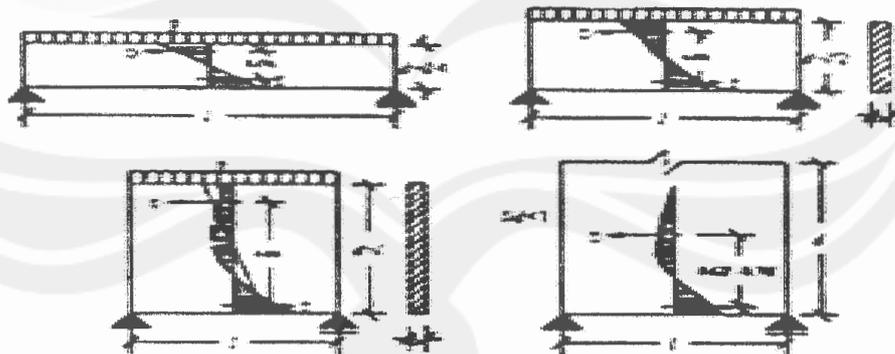
#### 2.4. Daerah B dan Daerah D

Asas *Saint Venant* penting dipahami untuk menggambarkan konsentrasi tegangan yang terjadi pada suatu struktur. Apabila sebuah batang persegi panjang setebal  $b$  dan setinggi  $t$  diberi beban  $P$  pada ujungnya, maka tegangan maksimum yang terjadi akan berkurang dengan cepat pada penampang yang semakin jauh dari titik awal beban, sehingga diketahui bahwa rumus aksial  $f = N/A$  hanya

berlaku jika penampang batang yang ditinjau terletak minimal sejauh  $b$  dari lokasi beban terpusat, dimana  $b$  adalah dimensi lateral terbesar dari batang ( misalnya lebar atau diameter). Di dekat sumber beban, tegangan tergantung pada detail beban dan batang elemen struktur. Konsentrasi tegangan selalu terlokalisasi dan pengaruhnya terhadap perilaku keseluruhan elemen struktur sedikit (Timoshenco, "Mekanika Bahan", 1990). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat dalam gambar 2.6.



Gambar 2.6. Distribusi Tegangan di Sekitar Beban Kerja Terpusat (sumber: Hardjasaputra, Harianto, "Strut and Tie Model", 2002)

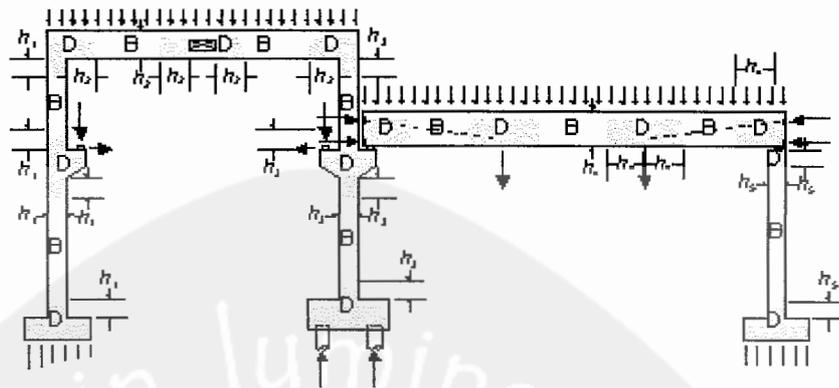


Gambar 2.7. Tegangan Longitudinal pada Balok dengan Beban Terbagi Merata (sumber: Hardjasaputra, Harianto, "Strut and Tie Model", 2002)

Selanjutnya menurut Leonhardt dan Moning (1975) pada gambar 2.7. (Hardjasaputra, 2002) diperlihatkan distribusi tegangan longitudinal pada tengah bentang dari suatu balok dari bahan elastis linier yang mengalami lentur murni

akibat beban merata. Dari gambar tersebut diketahui bahwa pada rasio tinggi/bentang balok yang rendah, distribusi tegangan adalah linier dan seiring dengan meningkatnya rasio tersebut, distribusi tegangan menjadi tidak linier. Akibat munculnya penampang yang mengalami distribusi tegangan nonlinier (untuk bahan elastis linier berarti distribusi regangan juga linier) yang tidak sesuai dengan hipotesa *Bernoulli* ini, maka daerah pada elemen balok dengan berbagai bentuk selain memiliki daerah *B (Balance)*, juga terdapat daerah *D (Disturbance)*. Daerah *B* adalah daerah yang memenuhi asas *Bernoulli* dimana daerah ini dapat dirancang dengan hitungan standar yang ditetapkan dalam peraturan struktur beton seperti *SNI 03-2847-2002*, *ACI*, *EUROCODE 2*, *AASHTO LRFD spec.1994*, dll, sedangkan daerah *D* adalah daerah yang tidak memenuhi asas *Bernoulli* karena distribusi regangannya tidak linier, sehingga hitungan standar yang ditetapkan dalam peraturan struktur beton tidak dapat diterapkan.

Sebelum dilakukan perancangan struktur terlebih dahulu diperlukan penentuan daerah *B* dan *D*. Perancangan menggunakan *strut and tie model* diutamakan untuk daerah *D*, sedangkan pada daerah *B* *strut and tie model* dapat digunakan dalam perancangan terhadap geser dan torsi. Daerah *D (Disturbance)* pada umumnya ditentukan oleh dimensi dari struktur yang berbatasan atau mengalami diskontinuitas geometri dan statika, serta komponen-komponen struktur lainnya dapat dilihat dalam gambar 2.8.



Gambar 2.8. Pembagian Daerah *D* dan *B* dari Berbagai Sistem dan Komponen Struktur (Sumber : Triwiyono, Andreas, "Bahan Kuliah Topik Spesial", S2 Struktur)

## 2.5. Komponen *Strut and Tie Model*

*Strut and tie model* merupakan suatu penyelesaian pendekatan secara terpadu yang memperhatikan semua efek beban (momen, aksial, geser dan torsi) secara simultan dan merepresentasikan struktur yang kompleks ke dalam bentuk model rangka yang sederhana dan sesuai. Dalam metoda *strut and tie model*, hanya gaya aksial (tarik dan desak) yang bekerja. *Strut* merupakan resultan dari medan tegangan (*stress field*) desak pada beton sedangkan *tie* adalah resultan medan tegangan tarik pada baja tulangan, selanjutnya komponen utama dalam *strut and tie model* dapat dijelaskan sebagai berikut:

### 2.5.1 Batang desak (*strut*)

Kuat desak beton dan dimensi dari *strut* merupakan unsur yang sangat menentukan dalam analisis dan perencanaan batang desak. *Strut* memiliki lebar dan tebal tertentu yang besarnya tergantung pada gaya batang serta tingkat tegangan yang diijinkan. Sisi muka ujung-ujung *strut* tegak lurus terhadap sumbu *strut*. Batang desak tepi atas pada *strut and tie model* untuk balok memiliki fungsi

menahan momen sedangkan batang desak diagonal berfungsi untuk memindahkan gaya geser ke tumpuan.

### 2.5.2 Batang tarik (*tie*)

Batang tarik dalam *strut and tie model* mewakili semua komponen yang dapat menahan gaya tarik, termasuk sengkang, tulangan utama, dan tulangan detail. Untuk menghitung kapasitas ultimitnya, semua batang tarik dianggap mencapai tegangan leleh  $f_y$ . Beton tarik tidak digunakan untuk menahan gaya aksial dalam batang tarik, namun akan mengurangi perpanjangan pada batang tarik, khususnya pada beban layan. Karena *strut and tie model* diberlakukan pada kondisi batas, maka pada kondisi layan lebar retak pada batang tarik perlu diperiksa.

### 2.5.3 Titik simpul (*node*)

Titik simpul merupakan titik tangkap dari 2 batang atau lebih dari batang tarik atau batang desak dengan berbagai kombinasi (Hardjasaputra,2002). Jadi titik simpul adalah titik dimana batang desak dan batang tarik dari elemen *strut and tie model* saling bertemu membentuk titik joint. Dalam perancangan node elemen harus diperhatikan penjangkaran batang-batang tarik untuk menahan konsentrasi tegangan yang ada. Penjangkaran batang tarik yang tidak baik akan menyebabkan keruntuhan awal. Penjangkaran dapat dilakukan dengan memberikan panjang penjangkaran, panjang penyaluran dan kait yang cukup.

## 2.6. Penentuan Bentuk *Strut and Tie Model*

Dalam penentuan bentuk dari *strut and tie model* yang sesuai diperlukan suatu kriteria dalam perencanaan letak dan kombinasi batang-batangnya. Kriteria tersebut diantaranya adalah :

1. Sederhana dan stabil.
2. Lintasan gaya terpendek dari titik beban sampai dengan tumpuan.
3. Batang tarik direncanakan sesedikit mungkin.
4. Tidak ada persilangan antara batang-batang desak (*strut*).
5. Tulangan geser dapat dimodelkan satu per satu atau ekuivalen.
6. Kemiringan maksimum batang desak adalah  $25^{\circ}$ - $65^{\circ}$  (*ACI 318-02 App.A*).

Pemilihan bentuk/model struktur *truss* dari *strut and tie model* dapat dilakukan dengan beberapa cara, yaitu :

### 2.6.1. *Load path method* (metoda perambahan beban)

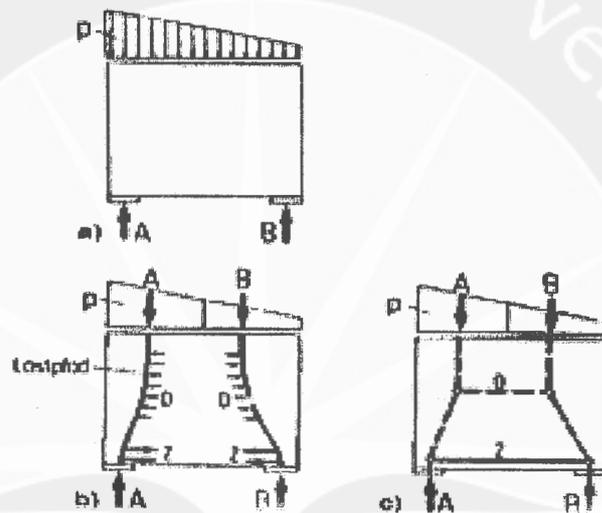
Metoda ini lebih sederhana dan lebih populer di kalangan perencana.

Langkah-langkah penentuan metoda ini adalah sebagai berikut :

1. Dicari gaya-gaya reaksi.
2. Beban yang bekerja pada daerah *D* dibagi ke dalam beberapa segmen sebagai berikut :
  - a. Beban merata digantikan dengan resultan gaya.
  - b. Untuk beban tidak simetris digunakan resultan kopel gaya.
3. *Strut and tie* disediakan untuk membelokkan arah beban di dalam jalur antara beban dan reaksi.

4. Lokasi batang tarik harus memperhitungkan selimut beton dan jarak antar tulangan.
5. Bila ada beberapa pola aliran beban yang mungkin, maka digunakan pola aliran yang paling sederhana.

Contoh penentuan *strut and tie model* menggunakan *load path method* dapat dijelaskan dari gambar 2.9 berikut ini :



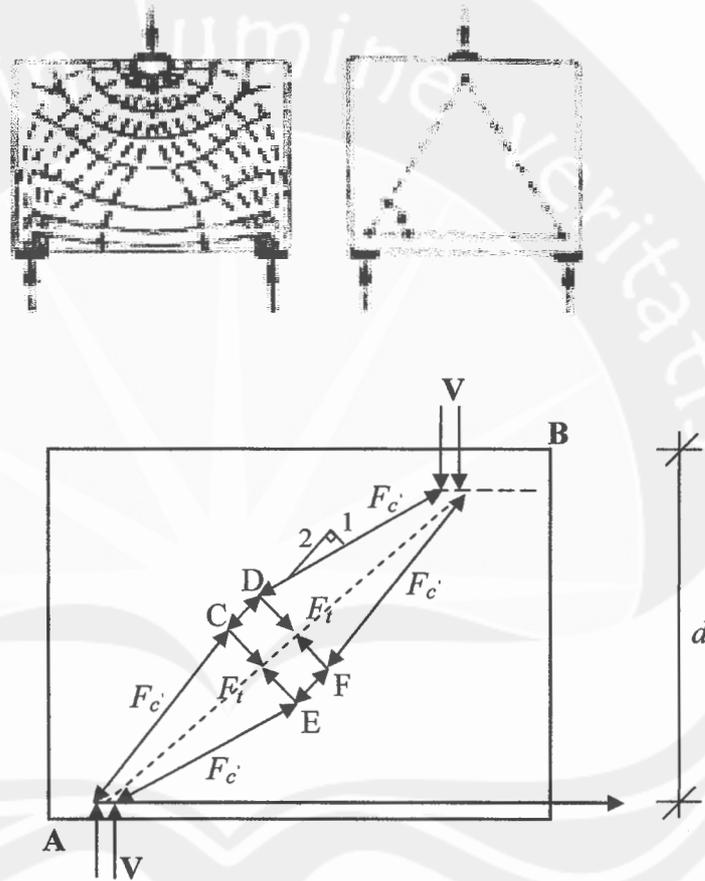
Gambar 2.9. Penentuan *Strut and Tie Model* Menggunakan *Load Path Method* (sumber: Hardjasaputra, Harianto, “*Strut and Tie Model*”, 2002)

Pada awalnya harus ditentukan terlebih dahulu keseimbangan luar sehingga beban kerja dan reaksi berada dalam keseimbangan. Kemudian beban  $P$  dibagi menjadi 2 bagian yang masing-masing beban mempunyai kopel gaya. Kemudian diasumsikan bahwa jalur pembebanan sampai pada tumpuan untuk masing-masing beban  $A$  dan  $B$  tidak saling berpotongan. *Load Path* pada  $A$  dan  $B$  akan bermuara pada titik berat tumpuan masing-masing  $A$  dan  $B$ . Akhirnya akan terbentuk *load path A-A* dan *B-B*. *Load path A-A* harus berhubungan dengan *B-B*, yaitu dengan menambahkan batang-batang horizontal berupa *strut and tie* sehingga keseimbangan horizontal dapat tercapai. Dengan mengidealisasikan

*load path A-A dan B-B* dengan suatu poligon yang terdiri dari batang tarik dan batang desak, maka terbentuklah *strut and tie model*.

### 2.6.2. Trajektori tegangan dan analisis linier elastik

Metoda ini dapat dijelaskan dengan gambar 2.10.



Gambar 2.10. Pemodelan *Strut And Tie Model* dari Trajektor Tegangan (sumber: Hardjasaputra, Harianto, "*Strut And Tie Model*", 2002)

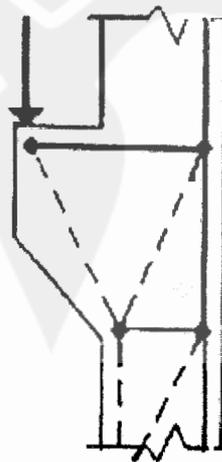
Metoda penyebaran tegangan yang digunakan untuk menentukan bentuk *stru and tie model* dari elemen adalah sebagai berikut:

1. Analisis dilakukan pada struktur menggunakan analisis statik bentuk dengan metoda *finite element*.

2. Dari analisis tersebut akan didapatkan arah dan distribusi tegangan-tegangan utama (trajektori tegangan) pada struktur.
3. Model *truss strut and tie model* dibuat dengan mengikuti pola penyebaran tegangan utama tarik dan desak yang terkonsentrasi.

### 2.7. Pemilihan dari Bentuk-Bentuk Standar yang Sudah Ada.

Dalam menentukan bentuk dari *strut and tie model* dapat dengan melihat bentuk yang sudah umum digunakan maupun bentuk yang sudah pernah diteliti sebelumnya. Pada suatu struktur, umumnya hanya terdapat beberapa bentuk standar, karena itu dapat dibuat analisis yang mendetail untuk menentukan model standar yang dapat diterapkan pada bentuk yang sama dengan ukuran yang berbeda. Standarisasi ini dapat memudahkan pekerjaan seorang perencana dan menghindari variasi penggunaan model oleh perencana berbeda. Sebagai contoh suatu konsol pendek dengan beban terpusat diatas dan pada ujung konsol, bentuk *strut and tie model* yang dianjurkan dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Bentuk Standar *Strut and Tie Model* Konsol Pendek dengan Beban Terpusat. (sumber: Hardjasaputra, Harianto, "*Strut And Tie Model*", 2002)

Dalam pembentukan model dari *strut and tie* diperlukan asumsi-asumsi yang sebagian telah digunakan dalam pemodelan di atas, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. *Strut and tie model* didasarkan pada *static limit analysis (lower bound theorem of plasticity)* yang menyatakan bahwa suatu struktur tidak akan berada diambang keruntuhan bila terjadi keseimbangan antara beban dan distribusi tegangannya sehingga setiap titik pada struktur mengalami tegangan di bawah tegangan lelehnya. Dengan demikian *load path* yang dipilih harus memberikan kapasitas struktur yang lebih rendah (tidak ada *load path* yang mengalami *overstressed*).
2. *Strut and tie model* berlaku untuk semua geometrik dan semua pola pembebanan.
3. *Strut and tie model* yang dipilih harus mampu mengakomodasi tegangan yang berubah akibat keretakan yang terjadi pada beton.
4. Struktur yang ditinjau diidealisasikan sebagai suatu sistem rangka batang plastis (*plastic truss analogy*) yang berada dalam keadaan seimbang.

Keseimbangan ini terpenuhi jika :

- a. Beban luar dan reaksi-reaksi tumpuan serta semua titik nodal berada dalam keadaan seimbang.
- b. Kuat desak efektif beton  $f_{ce} \leq n \cdot f'_c$ , (dengan  $n \leq 1$ )
- c. Semua gaya tarik didukung oleh baja tulangan dengan atau tanpa baja prategang.

- d. Titik simpul (nodal) merupakan titik tangkap dari gaya-gaya pada *strut* dan *tie* dengan/tanpa gaya-gaya luar (beban) serta reaksi tumpuan, sehingga tidak timbul momen pada titik simpul tersebut.
- e. Kehilangan keseimbangan rangka batang terjadi jika beton mengalami kehancuran akibat desak atau baja tulangan mengalami pelelehan sehingga mengakibatkan rangka batang dalam mekanisme labil.
- f. *Strut and tie* merupakan resultan dari medan-medan tegangan yang terbentuk di dalam struktur akibat suatu pembebanan.

Pada saat pembentukan model *strut and tie* perlu juga diperhatikan beberapa hal, sehingga model yang dibentuk merupakan suatu bentuk yang optimal dan sesuai dengan prinsip-prinsip perencanaan struktur.

Hal-hal tersebut diantaranya adalah :

1. Bentuk tulangan harus praktis dan mudah untuk dilaksanakan
2. Pada permukaan yang luas perlu di pasang tulangan permukaan (suhu dan susut)
3. Susunan batang tarik (baja tulangan ) hendaknya juga berlaku untuk pola/kasus pembebanan yang lain, sehingga diperlukan pengecekan terhadap kondisi beban yang lain.
4. Retak-retak pada beton akan menimbulkan redistribusi tegangan dalam struktur sehingga struktur akan berusaha menahan beban luar dengan kemampuan gaya-gaya dalam dengan deformasi yang seminimal mungkin, sehingga model dengan batang-batang tarik yang pendek dan sedikit mungkin akan lebih realistis.