

BAB I STRUKTUR RANGKA BATANG (Truss)

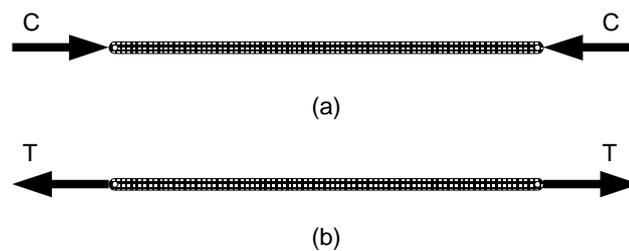
1.1. Pendahuluan

Ada banyak jenis tipe struktur yang digunakan pada bangunan teknik sipil. Salah satunya adalah struktur rangka batang (*Truss*).

Struktur rangka batang terbentuk dari susunan elemen batang yang dihubungkan dengan jenis penghubung sendi, yang biasanya terangkai dalam bentuk segitiga dan hanya mampu dibebani oleh beban aksial.

Elemen batang adalah elemen yang bentuknya paling sederhana karena sifat fisiknya yang relatif pendek, prismatis, langsing dan lurus.

Disebut elemen batang karena sifatnya yang hanya mampu menahan **beban aksial** saja.



Gambar 1.1. Elemen batang

Pada gambar diatas (a) ditunjukkan bahwa akibat gaya aksial tekan, batang mengalami gaya batang yang nilainya senilai gaya tersebut, yaitu :

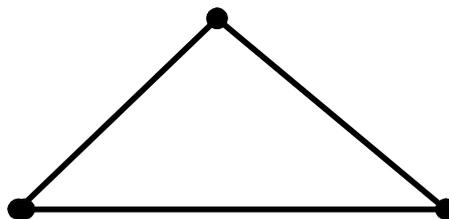
BATANG TEKAN (*Compression (C)*)

Sedangkan gambar (b) menunjukkan bahwa akibat gaya aksial tarik, batang mengalami gaya batang yang nilainya senilai gaya tersebut, yaitu :

BATANG TARIK (*Tension (T)*)

Apabila batang tersebut dirangkai dengan jumlah **minimal 3 batang** yang membentuk segitiga dan dengan titik hubung berupa **sendi** maka akan terbentuk “

STRUKTUR RANGKA BATANG (*Truss*)

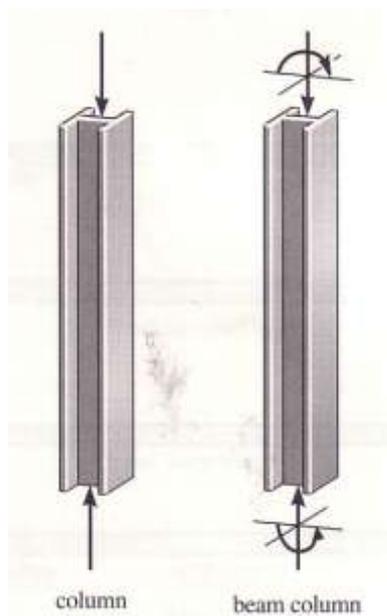


Gambar 1.2. Struktur rangka batang sederhana

1.2. Penggunaan Rangka Batang pada Struktur

Jenis struktur rangka batang ada banyak disekitar kita, yaitu paling banyak digunakan pada struktur atap dan jembatan. Menurut sejarah penggunaan rangka batang ini pertama kali digunakan oleh bangsa Romawi pada penggunaan rangka batang kayu pada struktur jembatan dan atap. Penggunaannya kemudian dipopulerkan oleh berbagai bangsa di dunia pada tahun 1700-an. Terutama untuk penggunaan pada struktur jembatan, yaitu dengan menggunakan material **kayu dan baja**.

Akhirnya seiring dengan berjalannya waktu dan meningkatnya berbagai kebutuhan, struktur rangka batang dengan material kayu ditinggalkan pada akhir abad ke-19, karena orang telah menemukan material yang lebih menguntungkan dalam segi penggunaannya.



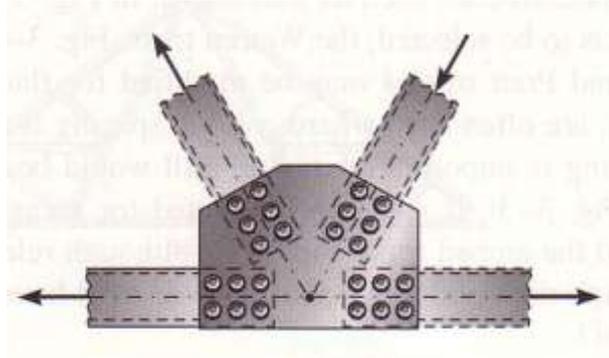
Gambar 1.3. Elemen batang sebagai elemen kolom dan elemen balok kolom

Sumber: Hibbeler, R.C.(2002)

Jembatan rangka baja lebih disukai karena lebih mungkin untuk penggunaan bentang panjang. Begitu pula penggunaan struktur rangka batang untuk atap. Orang lebih mungkin untuk memakainya pada struktur dengan bentang besar.

Berdasarkan kebutuhan pun akhirnya muncul banyak konfigurasi bentuk rangka batang dengan pertimbangan kebutuhan akan efisiensi. (Gambar 1.6 dan 1.9)

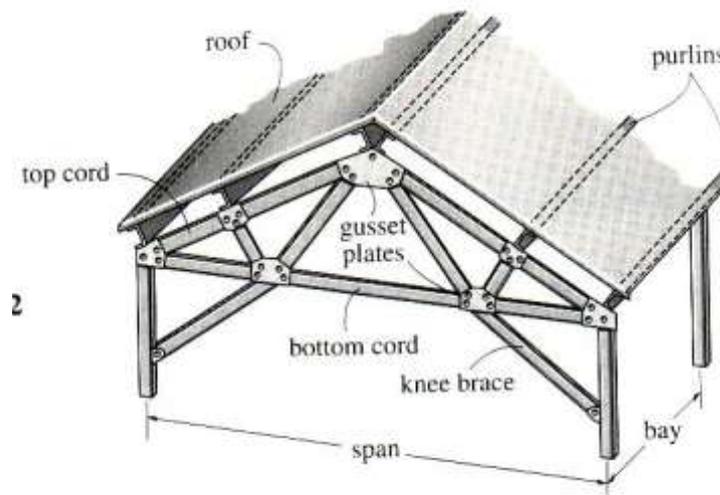
Titik hubung pada rangka batang berupa sendi yang dalam kenyataannya biasanya dibuat dengan menggunakan las, paku keling dan baut. (gambar 1.4)



Gambar 1.4. Titik hubung pada struktur rangka batang baja
 Sumber: Hibbeler, R.C.(2002)

1.2.1. Rangka Batang Atap

Struktur Atap yang terbuat dari rangka batang (*Roof Truss*) biasanya digunakan untuk bangunan industri yang memerlukan bentangan yang besar (Gambar 1.5).



Gambar 1.5. Struktur Rangka Atap
 Sumber: Hibbeler, R.C.(2002)

Ada banyak tipe rangka atap yang penggunaannya dipilih dengan berdasarkan atas panjang bentang (*span*), kemiringan dan jenis penutup atap. Beberapa yang umum digunakan ditunjukkan pada gambar 1.6.

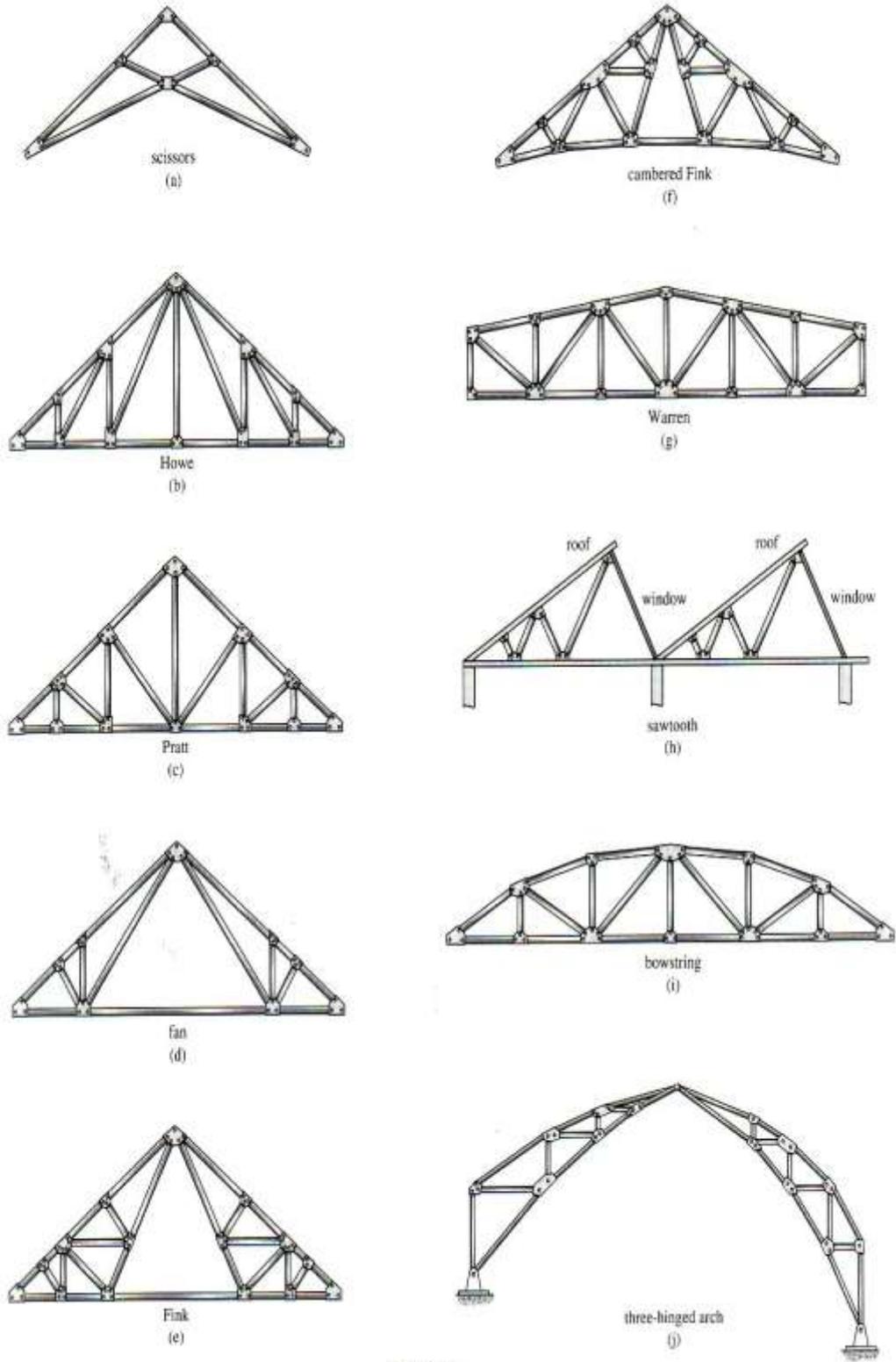


Fig. 1.1

Gambar 1.6. Jenis Rangka Batang untuk Atap
 Sumber: Hibbeler, R.C.(2002)

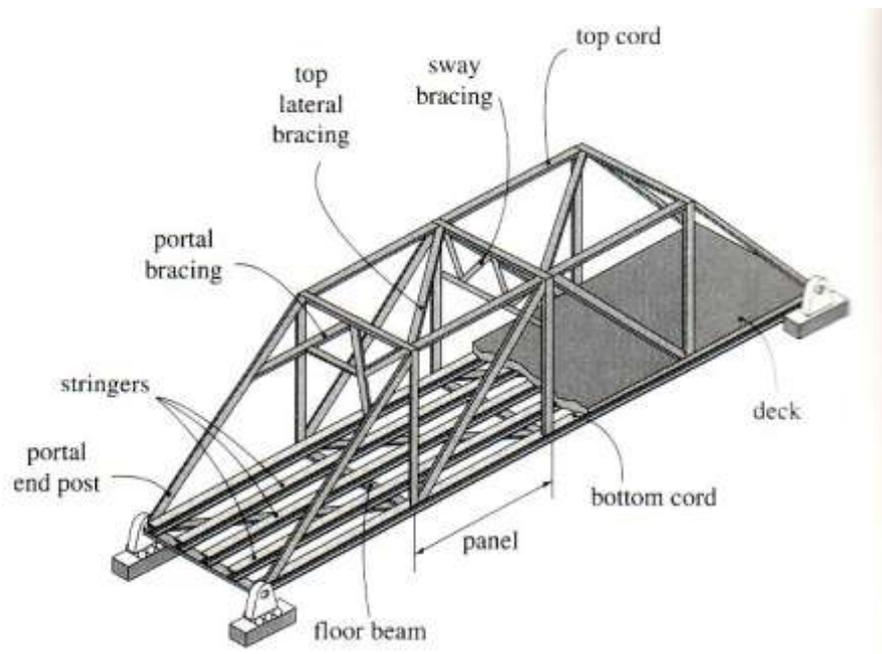
Tabel 1.1. Jenis Rangka Atap dan kegunaannya

Jenis Atap	Penggunaan
<i>Scissors</i>	Bentang Pendek dan keleluasaan pada bagian atas
<i>Howe dan Pratt</i>	Bentang Moderat (18 -30 m)
<i>Fan dan Fink</i>	Bentang > 30 m
<i>Cambered Fink</i>	Bentang > 30 m
<i>Warren</i>	Atap datar (kemiringan landai)
<i>sawtooth</i>	Digunakan pada pabrik tekstil yang membutuhkan penerangan yang baik
<i>bowstring</i>	Digunakan untuk garasi dan hangar pesawat kecil
<i>three-hinged arch</i>	Bangunan tinggi dan bentang panjang (mis: tempat senam)

Sumber: Hibbeler, R.C.(2002)

1.2.2. Rangka Batang Jembatan

Elemen struktural utama dari tipikal rangka jembatan ditunjukkan pada gambar 1.7 berikut.

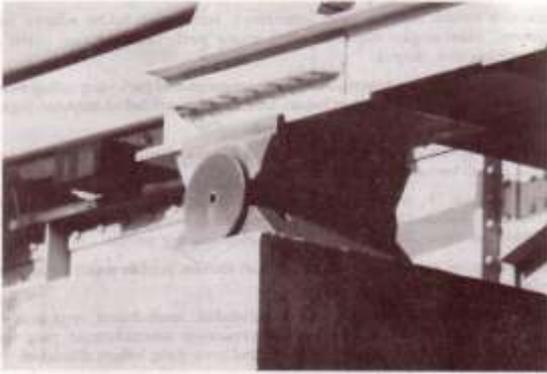


Gambar 1.7. Struktur Rangka Jembatan

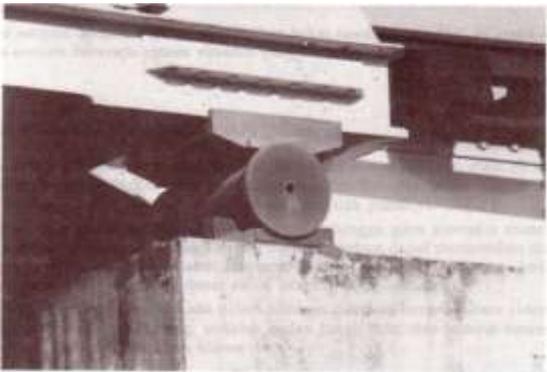
Sumber: Hibbeler, R.C.(2002)

Beban pada plat lantai jembatan (*deck*) diteruskan ke balok anak (*stringers*) yang kemudian diteruskan ke balok induk (*floor beam*) lalu ke dua perletakan di kedua ujung

jembatan. Batang Atas (*top chord*) dan bawah (*bottom chord*) rangka jembatan pada tiap sisinya dihubungkan oleh *lateral bracing* bagian atas dan bawah untuk menahan beban lateral yang diakibatkan oleh angin dan pergerakan kendaraan pada arah *sidesway*. Sebagai tambahan kestabilan ditambahkan portal dan *sway bracing*. Rangka jembatan tersebut ditumpu oleh 2 perletakan **sendi rol**. Tumpuan rol pada salah satu ujungnya berfungsi terhadap ekspansi suhu .



(a)



(b)

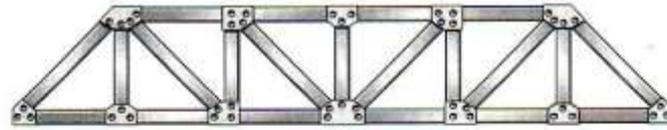
Gambar 1.8. Tumpuan Sendi (a) dan Rol (b) pada Struktur Jembatan
Sumber: Hibbeler, R.C.(2002)

Ada banyak tipe rangka jembatan yang penggunaannya dipilih dengan berdasarkan atas panjang bentang (span) . Seperti yang dijelaskan di tabel 1.2, beberapa tipe yang umum digunakan ditunjukkan pada gambar 1.9.

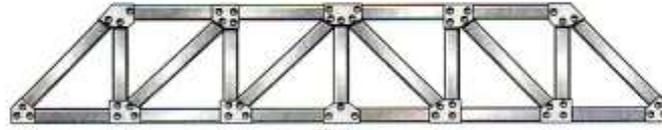
Tabel 1.2. Jenis Rangka Jembatan dan kegunaannya

Jenis Atap	Penggunaan
Pratt, Howe dan Warren	Bentang sampai dengan 61 m
Parker	Bentang > 61 m, lebih hemat dalam penggunaan bahan
Baltimore	Bentang > 91 m
Subdivided-Warren	Bentang > 91 m
K-truss	Bentang > 91 m

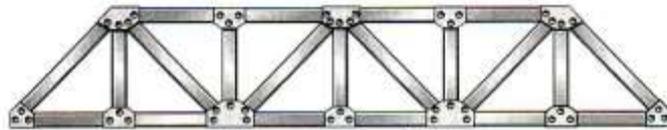
Sumber: Hibbeler, R.C.(2002)



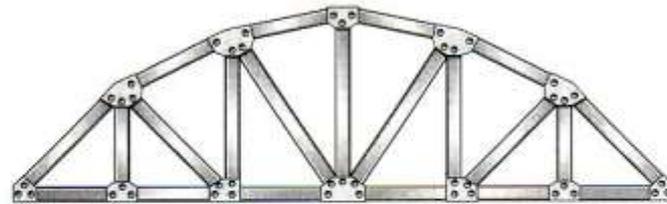
Pratt
(a)



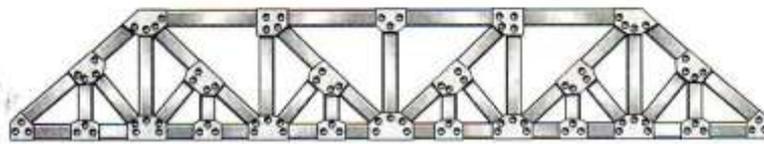
Howe
(b)



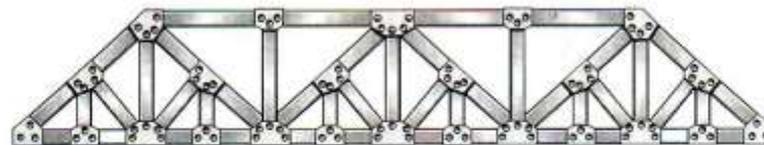
Warren (with verticals)
(c)



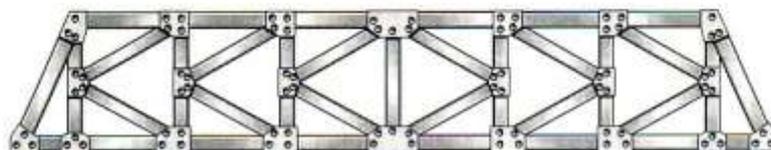
Parker
(d)



Baltimore
(e)



subdivided Warren
(f)



K-truss
(g)

Gambar 1.9. Jenis Rangka Batang untuk Jembatan
Sumber: Hibbeler, R.C.(2002)

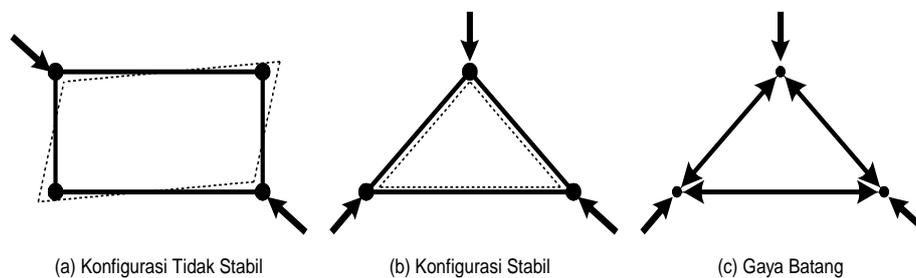
BAB II ANALISIS PADA STRUKTUR RANGKA BATANG

2.1. Prinsip Umum pada Rangka Batang

2.1.1. Pembentukan Segitiga

Rangka batang adalah susunan elemen-elemen linier yang membentuk segitiga atau kombinasi segitiga sehingga membentuk rangka yang tidak dapat berubah bentuk apabila diberi beban luar tanpa adanya perubahan bentuk pada satu atau lebih batangnya. Setiap elemen dianggap tergabung pada titik hubung berupa sendi, dimana semua beban dan reaksi terjadi pada titik hubung tersebut,

Prinsip yang utama bahwa konfigurasi segitiga tersebut harus berada pada **kondisi stabil**.



Gambar 2.1. Susunan Batang yang Stabil dan Tidak Stabil
Sumber: Schodek (1995)

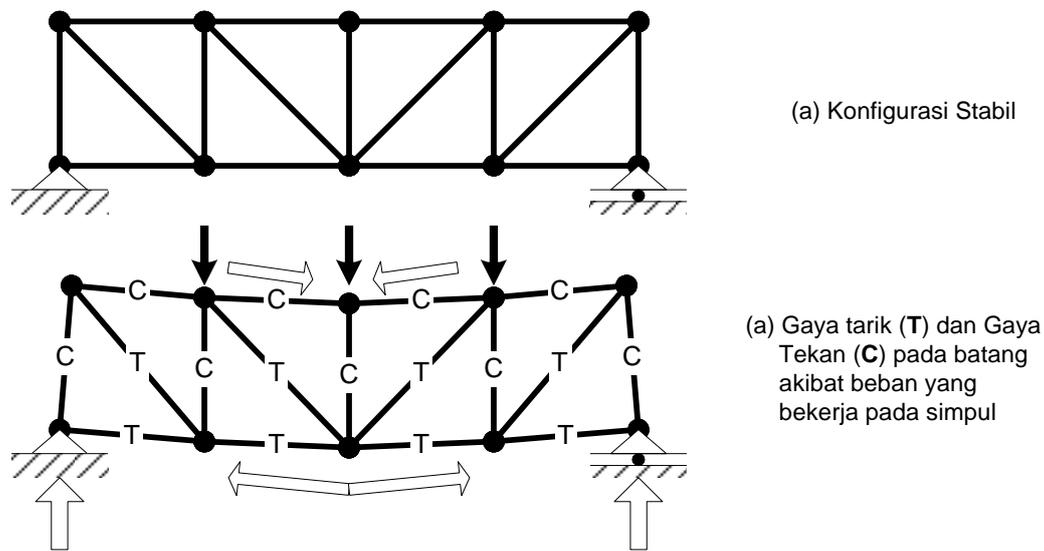
Gambar (a) menunjukkan struktur yang tidak stabil, garis putus-putusnya menunjukkan mekanisme runtuhnya (*collapse*), bila dibebani. Bentuk tersebut dapat dengan mudah berubah bentuk atau runtuh bila dibebani tanpa adanya perubahan panjang pada setiap batangnya.

Gambar (b) menunjukkan struktur yang stabil, tidak dapat berubah bentuk atau runtuh seperti gambar (a). Bentuk segitiga lebih stabil, karena deformasi yang diakibatkan beban luar bersifat minor dan diasosiasikan dengan perubahan panjang pada tiap batangnya. Selain itu ditunjukkan juga dengan tidak adanya perubahan sudut antara dua batang bila struktur tersebut dibebani. (Bandingkan dengan (a) yang perubahan sudutnya besar sekali).

Gambar (c) menunjukkan gaya batang yang terjadi pada struktur stabil akibat beban luar yang bekerja. Gaya-gaya batang yang dapat terjadi adalah tarik dan tekan (pada gambar (c) gaya tekan semua). Tidak ada lentur pada struktur tersebut.

2.1.2. Konfigurasi

Karena susunan segitiga dari batang-batang adalah bentuk yang stabil, maka sembarang susunan segitiga juga akan membentuk struktur yang stabil dan kaku seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Struktur Rangka Batang dengan konfigurasi segitiga

Ide ini merupakan prinsip dasar penggunaan rangka batang pada gedung karena bentuk yang kaku yang lebih besar untuk sembarang geometri dapat dibuat dengan memperbesar segitiga tersebut.

Pengaruh beban luar pada struktur adalah berupa gaya tarik atau tekan murni pada setiap batangnya. Pola tarik dan tekan pada masing-masing batang dapat berubah tergantung bagaimana beban luar bekerja. Pada gambar 2.2.b, dimana rangka batang hanya menerima beban vertikal saja, maka pada seluruh batang atas mengalami gaya tekan dan seluruh batang bawah mengalami gaya tarik.

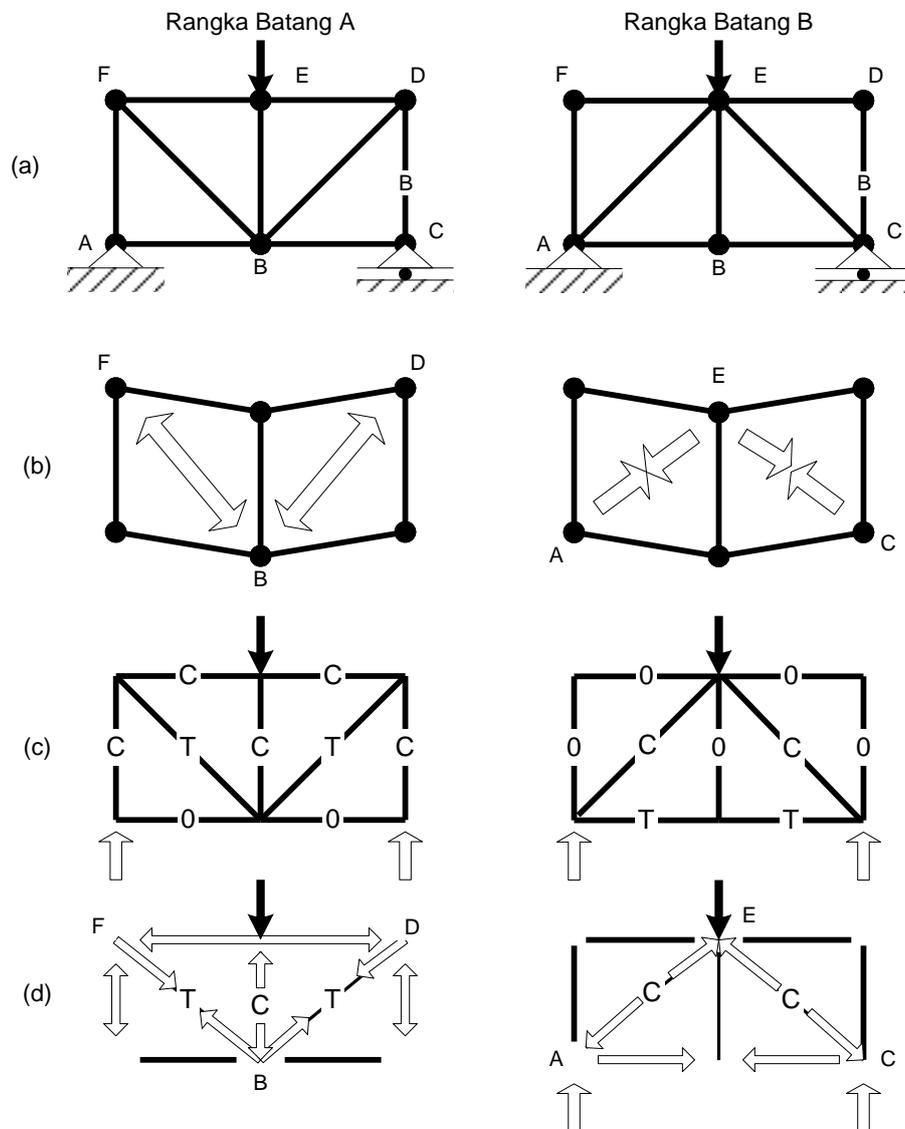
Beban luar hanya bekerja pada titik hubung batang berupa beban terpusat. Bila beban bekerja pada batang, akan timbul tegangan lentur sehingga dapat mengakibatkan desain batang menjadi lebih rumit dan efisiensi keseluruhan batang menjadi berkurang.

2.1.3. Gaya Batang

Pada rangka batang yang sederhana, gaya-gaya dalam pada setiap batang (selanjutnya disebut **GAYA BATANG**) dapat ditentukan dengan teknik yang berguna dengan gambaran bagaimana rangka batang tersebut memikul beban.

Salah satu caranya adalah dengan:

Menggambarkan bentuk deformasi yang mungkin terjadi pada struktur yang akan terlihat apabila batang yang hendak diketahui sifat gayanya tidak ada. Dengan demikian sifat gaya berupa tarik atau tekan dari batang tersebut dapat diketahui dengan analisis mengenai pencegahan deformasi tersebut. (Perhatikan gambar 2.3)



Gambar 2.3. Metode Pendekatan untuk Menentukan Gaya Batang pada Rangka Batang sederhana

Gambar (a) : Susunan rangka batang dasar (Perhatikan perbedaan letak batang diagonal rangka batang A dan B.

Gambar (b) : Sifat gaya (tarik atau tekan) batang diagonal dapat ditentukan dengan mula-mula membayangkan batang tersebut tidak ada dan melihat kecenderungan deformasi rangka batang tersebut. Jadi, diagonal yang terletak diantara B dan F pada rangka batang A mengalami tarik karena berfungsi mencegah menjauhnya titik B dan F

Gambar (c) : Distribusi gaya batang pada rangka batang tersebut

C = gaya tekan (Compression)

T = gaya tarik (Tension)

Gambar (d) : Analogi “kabel” atau ”pelengkung” dapat digunakan untuk menentukan sifat tarik atau tekan gaya batang. Pada rangka batang A, batang FBD dibayangkan sebagai “kabel”, dan tentu saja mengalami tarik (T). Batang-batang lainnya berfungsi mempertahankan keseimbangan konfigurasi “kabel” dasar tersebut.

Tetapi untuk rangka batang yang lebih rumit tetap harus memerlukan analisis yang bersifat kuantitatif yang akan dijelaskan pada bagian ANALISIS RANGKA BATANG berikut ini..

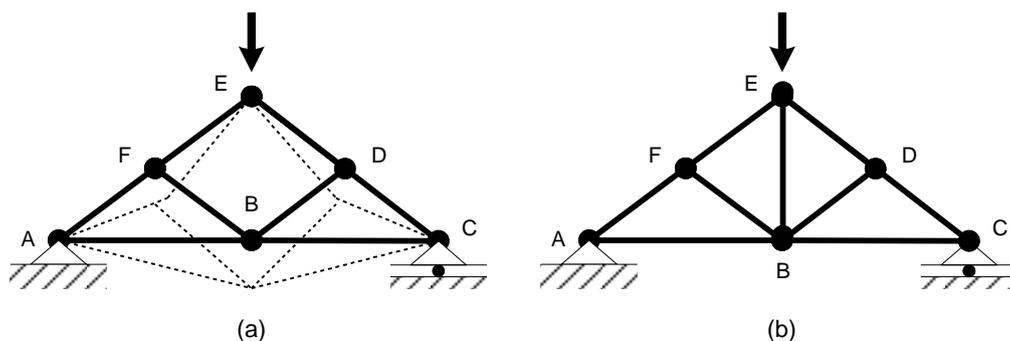
2.2. Analisis Rangka Batang

2.2.1. Stabilitas

Syarat pertama yang harus dipenuhi pada analisis rangka batang adalah :

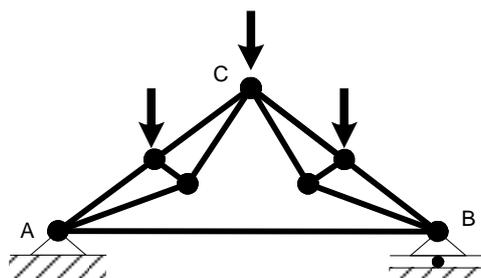
Apakah rangka batang tersebut memiliki **konfigurasi yang stabil** atau tidak?

Hal ini penting karena **keruntuhan total** dapat terjadi apabila struktur yang tidak stabil dibebani.



Gambar 2.4. Konfigurasi Batang Stabil dan Tidak Stabil

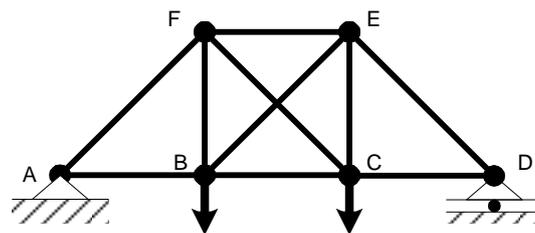
Secara umum setiap rangka batang yang merupakan susunan bentuk dasar segitiga merupakan struktur yang stabil (Gambar 2.4).



Gambar 2.5. Rangka Batang Stabil dengan Pola Batang Bukan Segitiga

Tetapi perlu diperhatikan ada juga rangka batang dengan pola batang yang tidak segitiga dihubungkan tetapi tetap merupakan struktur yang stabil (Gambar 2.5)

Perhatikan gambar 2.5! Kelompok segitiga diantara A dan C membentuk pola kaku, begitu juga diantara B dan C sehingga posisi relatif C ke titik A dan B dapat dipertahankan, yang berarti rangka batang tersebut stabil. Kumpulan segitiga diantara A dan C dapat dipandang sebagai “batang”, begitu pula diantara B dan C.



Gambar 2.6 Rangka Batang dengan Jumlah Batang Melebihi yang Diperlukan untuk Kestabilan

Ada juga jenis rangka batang yang menggunakan batang melebihi minimum yang diperlukan untuk kesetabilan. Jenis rangka ini memiliki kelebihan batang (**REDUNDANT**) (Gambar 2.6). Salah satu batang diagonalnya dianggap sebagai *redundant*. Apabila salah satu dibuang maka struktur tetap akan stabil. Jenis ini termasuk dalam kategori **STRUKTUR STATIS TAK TENTU**.

Untuk memudahkan kita dalam menentukan apakah struktur rangka batang tersebut stabil atau tidak kita bisa menggunakan rumusan :

$$n = 2s - 3 \quad (2.1)$$

dimana :

n : jumlah batang

s : jumlah simpul

Dengan rumus diatas kita bisa menentukan jenis sifat struktur, yaitu:

Bila $n < 2s - 3$: Struktur **Tidak Stabil**

Bila $n = 2s - 3$: Struktur **Stabil** (Struktur Statis Tertentu)

Bila $n > 2s - 3$: Struktur **Statis Tak Tentu** (Memiliki Redundan)

Dalam hal pembagian struktur rangka batang berdasarkan sifat statisnya, dapat dibedakan menjadi

1. Struktur statis tertentu

- Ciri : - $n = 2s - 3$
- $R = 3$ ($R =$ Reaksi Perletakan)

2. Struktur statis tak tentu

a. Struktur statis tak tentu dalam

- Ciri : - $n > 2s - 3$
- $R = 3$

b. Struktur statis tak tentu luar

- Ciri : - $n = 2s - 3$
- $R > 3$

c. Struktur statis tak tentu luar dan dalam

- Ciri : - $n > 2s - 3$
- $R > 3$

Latihan 2.1:

Tentukan jenis struktur rangka batang pada gambar 1.6 dan 1.9, apakah statis tertentu atau statis tak tentu dalam, luar atau luar dan dalam ?

2.2.2. Perhitungan Gaya Batang

Penentuan gaya batang dapat dilakukan seperti pada bagian (2.1.3), tetapi pada struktur yang lebih rumit hal tersebut sulit dilakukan. Sehingga kita membutuhkan metode perhitungan analisis struktur.

Prinsip yang mendasari semua jenis perhitungan gaya batang dari suatu rangka batang adalah :

**Keseimbangan terjadi pada *Setiap Bagian* dari struktur
atau *Secara Keseluruhan* dari Struktur**

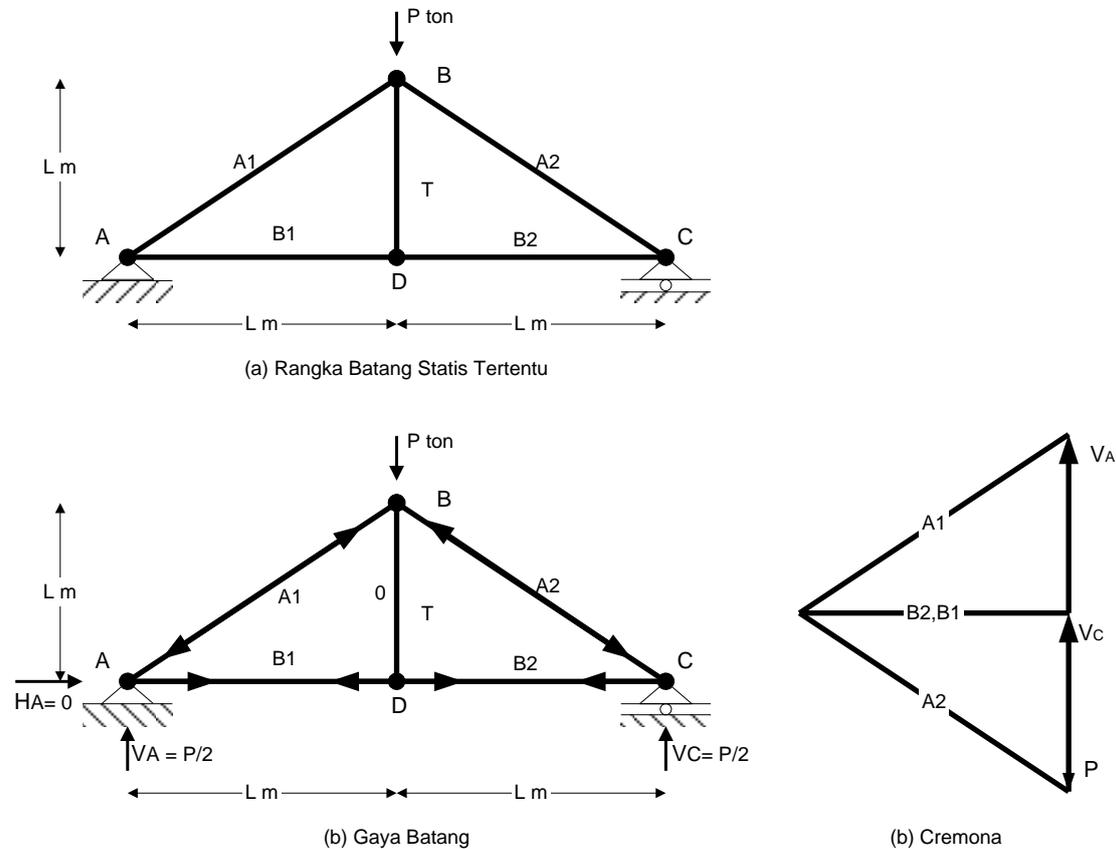
Apabila struktur rangka batang stabil dan termasuk dalam kategori statis tertentu, maka penentuan gaya batang dapat dilakukan dengan berbagai metode perhitungan dengan menggunakan persamaan dasar keseimbangan, yaitu :

$$\begin{aligned}\Sigma F_x &= 0 \\ \Sigma F_y &= 0 \\ \Sigma M_i &= 0\end{aligned}\quad (2.2)$$

Adapun metode-metode perhitungan yang dapat digunakan antara lain, **Metode Cremona**, **metode Ritter**, **Metode Keseimbangan Titik Kumpul**.

2.3. Metode Cremona

Metode Cremona adalah metode perhitungan gaya batang pada struktur rangka batang dengan cara grafis dengan yang berdasarkan keseimbangan gaya pada setiap titik kumpul.



Gambar 2.7. Perhitungan Gaya Batang dengan Cremona

Adapun langkah-langkah perhitungannya adalah:

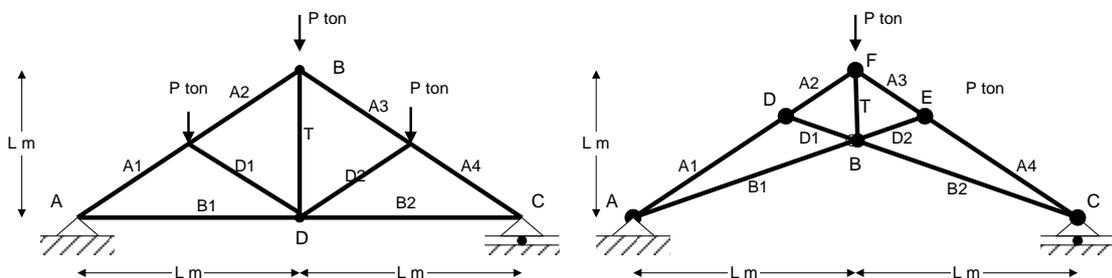
1. Cari reaksi perletakan pada gambar (a)
2. Tentukan skala (Cremona : Gaya Batang, misal $1 \text{ cm} = 1P$)
3. Tinjau struktur secara keseluruhan (gambar b), gambarkan seluruh garis gaya (Gaya Luar dan Reaksi Perletakan) sesuai dengan besar dan arahnya dengan mengikuti skala yang telah ditentukan. Mulai dari satu titik simpul untuk selanjutnya ke titik simpul yang lain searah dengan jarum jam sampai membentuk loop tertutup, dan buat tanda arahnya (tanda panah) (gambar c).
4. Setelah tergambar seluruh garis gaya, tinjau setiap titik simpul untuk menggambarkan garis gaya batang pada titik simpul tersebut dengan memperhatikan:
 - a. Titik simpul yang ditinjau memiliki maksimal 2 gaya batang atau reaksi yang belum diketahui.

- b. Gambarkan garis gaya batang/reaksi tersebut pada gambar cremona sesuai dengan tempatnya sehingga membentuk loop tertutup, tanpa membuat tanda arahnya, tapi cukup diberi nama saja (gambar c).
- c. Arah garis gaya pada simpul yang ditinjau tadi pindahkan ke gambar strukturnya pada posisis dekat dengan titik simpul yang ditinjau (gambar b).
- d. Arah panah pada ujung batang dekat dengan titik simpul yang ditinjau bisa berupa arah menuju titik simpul atau meninggalkan titik simpul. Bila pada ujung tersebut menuju titik simpul maka pada ujung lainnya juga dibuat arah panah menuju titik simpul, demikian sebaliknya. (Sehingga pada satu batang terdapat 2 tanda panah yang berlawanan) (gambar b)
- e. Lanjutkan ke titik simpul yang lain dengan cara yang sama untuk menentukan gaya pada batang yang lain yang belum diketahui.
- f. Setelah selesai semua gaya batang diketahui, besarnya gaya batang masing-masing dapat ditentukan dengan menghitung besarnya gais gaya yang tergambar pada cremona dan mengalikannya dengan skala yang sudah ditentukan.
- g. Jenis gaya batang dapat ditentukan dari arah gaya pada rangka batang, yaitu :

- ❖ **BATANG TEKAN** : apabila tanda panah menunjukkan arahnya menuju titik simpul
- ❖ **BATANG TARIK** : apabila tanda panah menunjukkan arahnya meninggalkan titik simpul

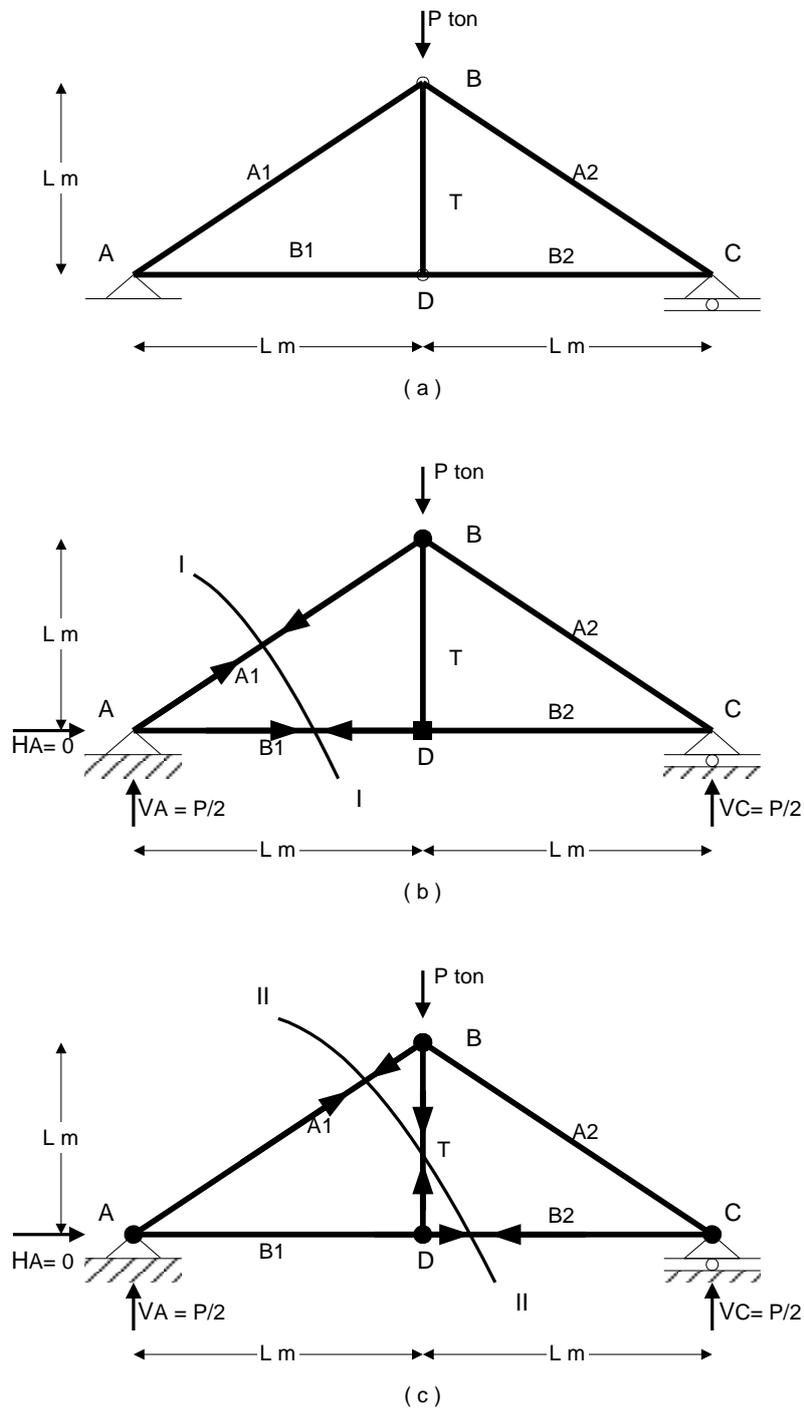
Latihan 2.2 :

Tentukan Gaya Batang berikut dengan menggunakan metode Cremona



2.4. Metode Ritter

Metode ritter adalah metode perhitungan gaya batang pada struktur rangka batang dengan cara analitis yang berdasarkan persamaan keseimbangan pada setiap titik kumpul dengan meninjau salah satu bagian potongan struktur.



Gambar 2.8. Perhitungan Gaya Batang dengan Ritter

Adapun langkah-langkah perhitungannya adalah:

1. Cari reaksi perletakan (b)
2. Potong beberapa batang dengan syarat hanya ada maksimal 2 gaya batang atau reaksi yang belum diketahui.
3. Buat batang sebagai batang tarik dengan memberi panah menuju garis potongan.
4. Perhitungan dilakukan dengan meninjau salah satu bagian potongan, tinjau kiri ataupun kanan potongan.
5. Bila meninjau kiri

- a. Semua gaya (reaksi dan gaya luar) dan gaya batang yang ada disebelah kanan diabaikan.
- b. Tinjau salah satu titik simpul (misal titik i) untuk menghitung persamaan

$$\sum M_i = 0 \quad (2.3)$$

Titik i tersebut boleh berada di kiri atau kanan potongan, dengan pertimbangan memudahkan perhitungan nantinya.

- c. Semua gaya dan reaksi yang masuk dalam persamaan tersebut hanyalah yang ada di sebelah kiri potongan.
 - d. Bila diperoleh gaya batang bernilai positif maka batang tersebut disebut **BATANG TARIK.**
 - e. Bila diperoleh gaya batang bernilai negatif maka batang tersebut disebut **BATANG TEKAN.**
6. Bila meninjau kanan

- a. Semua gaya(reaksi dan gaya luar) dan gaya batang yang ada disebelah kiri diabaikan.
- b. Tinjau salah satu titik simpul (misal titik i) untuk menghitung persamaan

$$\sum M_i = 0$$

Titik i tersebut boleh berada di kiri atau kanan potongan, dengan pertimbangan memudahkan perhitungan nantinya.

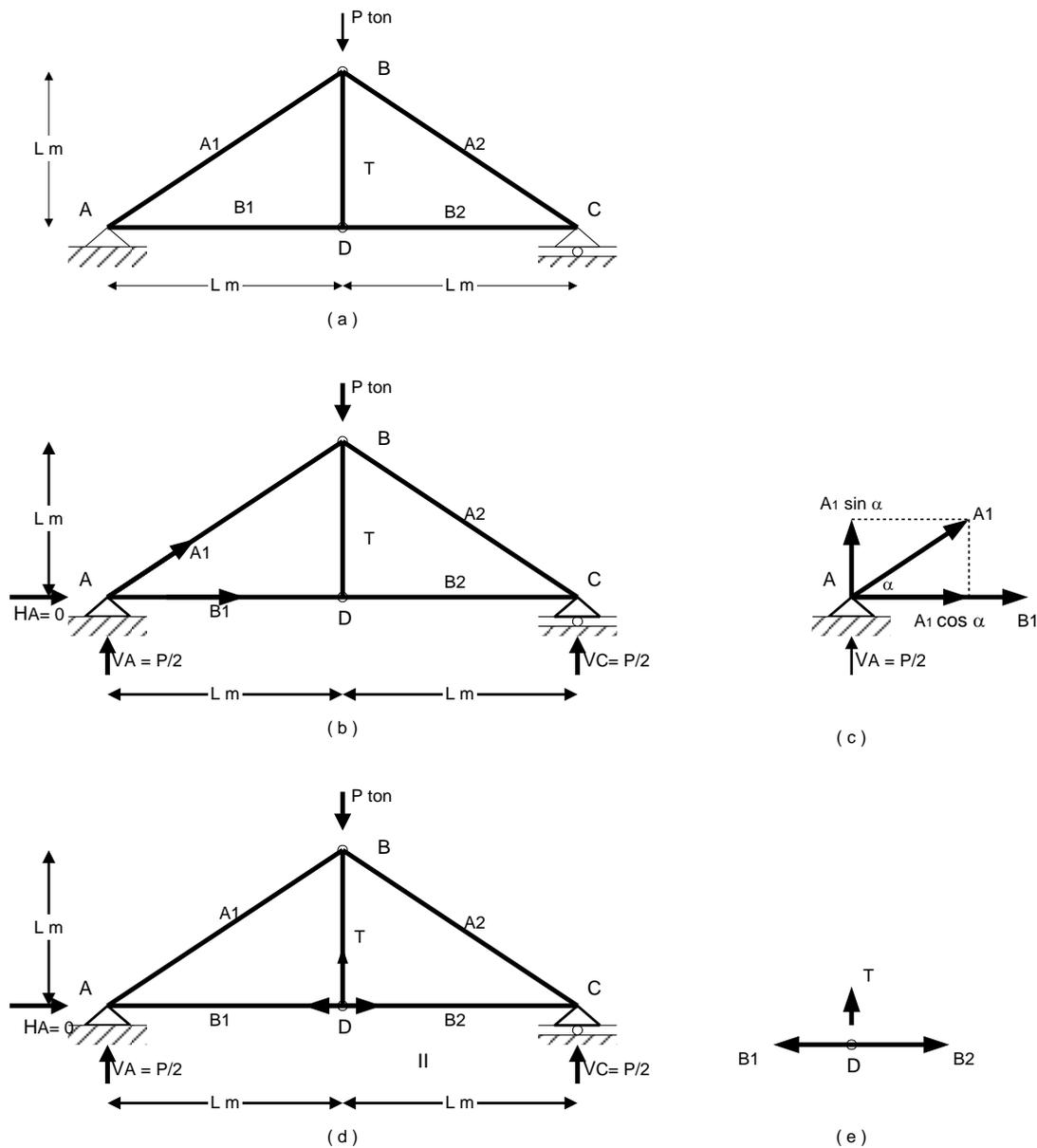
- c. Semua gaya dan reaksi yang masuk dalam persamaan tersebut hanyalah yang ada di sebeleh kanan potongan.
- d. Bila diperoleh gaya batang bernilai positif maka batang tersebut disebut **BATANG TARIK.**
- e. Bila diperoleh gaya batang bernilai negatif maka batang tersebut disebut **BATANG TEKAN.**

Latihan 2.3 :

Hitung Gaya Batang pada Rangka Batang di latihan 2.2 dengan menggunakan metode Ritter

2.5. Metode Keseimbangan Titik Kumpul

Metode Keseimbangan Titik adalah metode perhitungan gaya batang pada struktur rangka batang dengan cara analitis yang berdasarkan persamaan keseimbangan pada setiap titik kumpul.



Gambar 2.9. Perhitungan Gaya Batang dengan Keseimbangan Titik

Adapun langkah-langkah perhitungannya adalah:

1. Cari reaksi perletakan
2. Tinjau salah satu titik simpul dengan syarat hanya ada maksimal 2 gaya batang atau reaksi yang belum diketahui pada titik simpul tersebut.
3. Buat batang sebagai batang tarik dengan memberi panah meninggalkan titik simpul yang ditinjau.
4. Apabila gaya, reaksi ataupun gaya batang tidak berada pada arah koordinat x dan y (atau koordinat lain yang saling tegak lurus), maka uraikan gaya, reaksi dan gaya batang tersebut ke arah koordinat yang kita tentukan tadi.
5. Untuk mencari gaya yang ingin diketahui, gunakan persamaan keseimbangan dengan arah koordinat yang kita tentukan tadi, misalnya menggunakan koordinat X-Y maka persamaannya :

$$\begin{aligned}\Sigma F_x &= 0 \\ \Sigma F_y &= 0\end{aligned}\quad (2.4)$$

6. Bila diperoleh gaya batang bernilai positif maka batang tersebut disebut
BATANG TARIK.
7. Bila diperoleh gaya batang bernilai negatif maka batang tersebut disebut
BATANG TEKAN

Latihan 2.4 :

Hitung Gaya Batang pada Rangka Batang di latihan 2.2 dengan menggunakan metode Keseimbangan Titik !