

METODE PEMBELAJARAN MEKANIKA BAHAN PADA APLIKASI KOMPONEN BETON BERTULANG

**Oleh:
Antonius
Prabowo Setiyawan**

ABSTRAK

Ilmu Mekanika Bahan merupakan salah satu cabang dari ilmu Mekanika Rekayasa, yang mempunyai perbedaan khusus dibandingkan cabang ilmu Mekanika Rekayasa lainnya. Mekanika Bahan lebih menitikberatkan pada perilaku bahan secara mikro, sehingga mekanisme transfer gaya-gaya dalam yang terjadi di dalam material menjadi hal utama yang harus dipahami secara lebih mendalam. Di dalam paper ini akan dibahas aplikasi Mekanika Bahan secara mendasar yaitu dengan mengkaji perilaku penampang seperti inersia, tegangan lentur balok dan lendutan yang diaplikasikan pada beton bertulang. Pembahasan mengenai zona tarik dan tekan pada beton juga akan dibahas lebih detail agar diperoleh gambaran bahwa betapa pentingnya pengetahuan tentang Mekanika Bahan. Hasil kajian yang diperoleh dapat dijadikan masukan dalam sistem pembelajaran kuliah Mekanika Bahan secara lebih aplikatif, khususnya yang terkait dalam bidang studi Teknik Sipil.

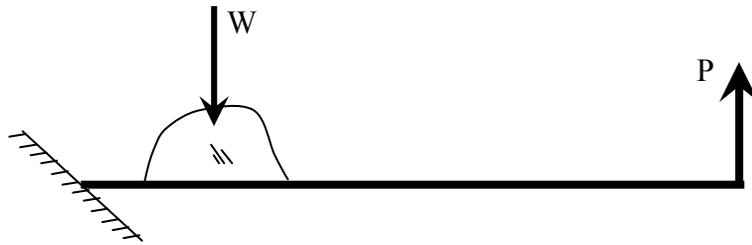
1. PENDAHULUAN

Mata kuliah Mekanika Rekayasa bagi para mahasiswa Teknik Sipil pada umumnya menjadi salah satu mata kuliah yang sulit dicerna dan dimengerti secara mudah. Indikasi hal tersebut salah satunya dapat dilihat pada nilai/hasil akhir kuliah Mekanika Rekayasa di jurusan teknik Sipil UNISSULA, yang pada umumnya di bawah harapan atau sebagian besar tidak lulus dan harus mengulang mata kuliah tersebut. Mahasiswa pada umumnya lebih tertarik pada bidang ilmu yang langsung aplikatif seperti Struktur Baja, Struktur Beton, Teknik Pondasi, Irigasi dan sebagainya, tetapi mereka kurang memahami bahwa terdapat saling ketergantungan yang sangat erat terhadap ilmu Mekanika Rekayasa dengan ilmu terapan tersebut. Salah satu sebab yang dihadapi mahasiswa dalam memahami Mekanika Rekayasa adalah kurang kuatnya dasar ilmu Mekanika yang dipelajari di bangku SMA. Kelemahan tersebut antara lain disebabkan oleh kekurangterarikan siswa terhadap bidang ilmu Mekanika. Selain itu terutama bagi mahasiswa Perguruan Tinggi Swasta (PTS) adalah kualitasnya yang relatif dibawah kualitas mahasiswa Perguruan Tinggi Negeri (PTN), meskipun hal ini tidak berlaku untuk semua PTS. Kondisi ini menjadikan para pengajar di PTS harus bekerja lebih keras agar ilmu Mekanika Rekayasa dapat ditransfer sedemikian rupa sehingga dapat dimengerti oleh mahasiswa secara baik dan lengkap.

Mekanika Rekayasa merupakan penyangga utama dalam bidang studi Teknik Sipil, terlebih untuk keahlian bidang struktur. Salah satu cabang ilmu Mekanika Rekayasa adalah Mekanika Bahan. Mekanika Bahan mempunyai perbedaan khusus dibandingkan cabang ilmu Mekanika Rekayasa lainnya. Mekanika Bahan lebih menitikberatkan pada perilaku bahan secara mikro, sehingga mekanisme transfer gaya-gaya dalam yang terjadi di dalam bahan menjadi hal utama yang harus dipahami secara lebih mendalam. Pada dasarnya Mekanika Bahan berkaitan dengan hubungan antara gaya luar yang bekerja dan pengaruhnya terhadap gaya dalam benda. Selanjutnya, benda tidak lagi dianggap sebagai kaku ideal; deformasi, meskipun kecil,

merupakan sasaran utama. Sifat bahan suatu struktur atau mesin mempengaruhi pemilihan dan ukuran yang memenuhi kekuatan dan kekakuan.

Perbedaan antara Mekanika Bahan dengan cabang ilmu mekanika rekayasa lainnya selanjutnya secara jelas dapat dilihat pada contoh berikut. Kasus ini merupakan masalah sederhana dalam statika yaitu menetapkan gaya yang dibutuhkan pada ujung linggis untuk mengangkat beban tertentu (gambar 1). Jumlah momen terhadap titik tumpu akan dapat menetapkan P . Jawaban statika ini mengandaikan bahwa linggis cukup kaku dan kuat untuk mengijinkan tenaga yang diinginkan. Tetapi, pada Mekanika Bahan, jawaban harus dikembangkan lebih lanjut. Kita harus menyelidiki batang untuk menjamin apakah batang tersebut tidak akan patah atau tidak cukup luwes sehingga batang tersebut melengkung tanpa beban.



Gambar 1. Linggis harus tidak patah atau melengkung

Didalam Mekanika Bahan dipelajari analisis penampang, yang salah satunya adalah untuk mengetahui daerah tarik dan daerah tekan penampang. Pengetahuan tentang hal tersebut sangat berguna untuk menentukan metoda desain struktur, seperti beton bertulang dimana pemilihan jumlah dan pemasangan tulangan tarik merupakan fokus utama dalam desain. Paper ini akan membahas metode pembelajaran Mekanika Bahan yang diaplikasikan pada komponen beton bertulang.

2. SILABUS MEKANIKA BAHAN DI JURUSAN TEKNIK SIPIL UNISSULA

Mata kuliah Mekanika Bahan merupakan salah satu bagian dari kuliah Statika dan Mekanika Bahan yang diajarkan di jurusan Teknik Sipil UNISSULA. Urutan penyampaian materi dalam mata kuliah Mekanika Bahan disesuaikan dengan materi yang paling dasar, dilanjutkan dengan materi yang sifatnya lebih detail, dengan urutan sebagai berikut:

1. Pengertian inersia penampang
2. Inersia Dasar pada potongan penampang
3. Inersia penampang yang mengalami perputaran sumbu
4. Tegangan lentur pada batang prismatis
5. Tegangan geser pada batang prismatis
6. Tegangan geser pada potongan profil
7. Pelengkungan (*deflection*)
8. Kern pada potongan normal penampang

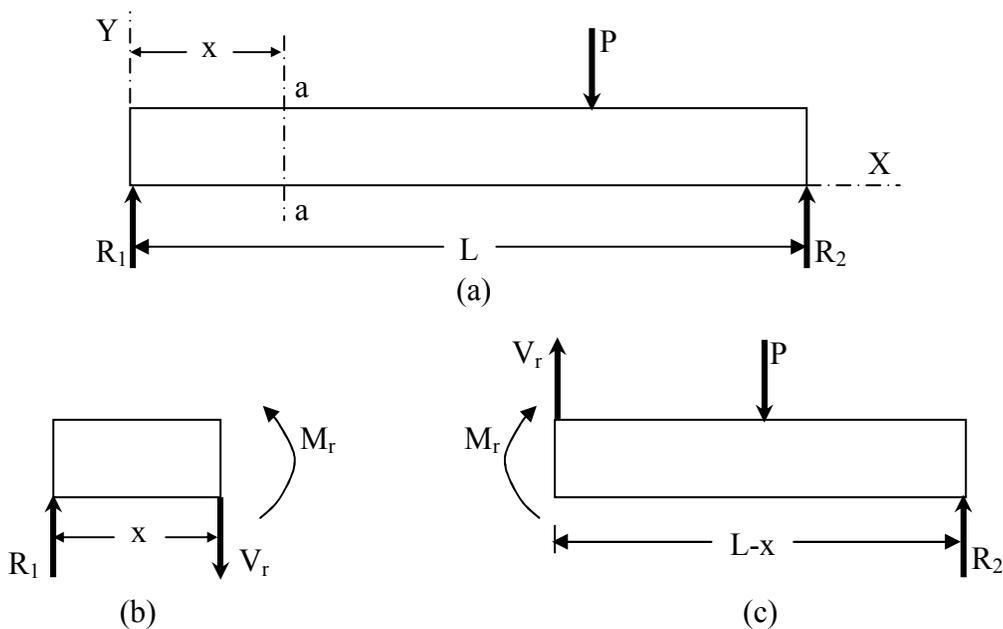
Metode perkuliahan ini dilaksanakan dengan cara ceramah dan mengerjakan latihan soal dan tugas-tugas. Delapan materi perkuliahan di atas pada dasarnya merupakan pengertian yang paling mendasar, dimana materi tersebut implementasinya dapat diterapkan pada perilaku struktur, salah satunya adalah struktur beton bertulang. Dengan demikian apabila diberikan contoh kegunaan materi Mekanika Bahan tersebut, mahasiswa diharapkan dapat membayangkan aplikasinya secara langsung pada struktur secara umum.

3. PENGERTIAN GESER DAN MOMEN

Di dalam mempelajari perkuliahan Mekanika Bahan, mahasiswa harus mampu mengerti dengan baik tentang apa yang disebut dengan GESER dan MOMEN pada batang/balok sederhana. Gambar 2 memperlihatkan balok sederhana yang mendukung beban terpusat P dan dibuat setimbang diperoleh reaksi R_1 dan R_2 . Berat sendiri balok diabaikan dan ditinjau pengaruh beban P. Andaikan bahwa bidang potong a-a berjarak x dari R_1 membagi balok menjadi dua segmen. Diagram benda bebas segmen kiri pada gambar 2a memperlihatkan beban luar/reaksi R_1 . Untuk menjaga kesetimbangan segmen balok ini, serat penampang a-a harus memberikan gaya tahanan yang dibutuhkan untuk memenuhi kondisi kesetimbangan statis. Pada kasus ini, beban luar arahnya adalah vertikal, sehingga kondisi $\sum X=0$ secara otomatis terpenuhi.

Untuk memenuhi $\sum Y=0$, didefinisikan kesetimbangan tegak sebagai gaya geser balok. Gaya ini disebut V, dan bisa ditetapkan dari jumlah komponen tegak dan beban luar yang bekerja pada kedua sisi penampang. Definisi gaya geser bisa dinyatakan secara matematis yaitu

$$V=(\sum Y) \tag{1}$$



Gambar 2. Kesetimbangan segmen sebelah kiri dan kanan penampang a-

Ketika menghitung V, gaya atau beban yang bekerja ke atas dianggap positif. Hukum tanda ini menghasilkan pengaruh seperti terlihat pada gambar 3, dimana gaya geser positif cenderung menggerakkan segmen kiri ke arah atas ditinjau dari arah kanan atau sebaliknya.



Gambar 3. gerakan relatif tergantung kepada tanda gaya geser

Untuk kesetimbangan diagram benda bebas dari gambar 2b, jumlah momen juga harus setimbang. Pada paper ini R_1 dan V_r sama, sehingga menghasilkan kopel M yang sama dengan R_1x dan disebut dengan momen lentur karena cenderung melenturkan balok. Serat pada penampang yang ditinjau harus menimbulkan momen tahanan, M_r .

3.1. Definisi Momen Lentur

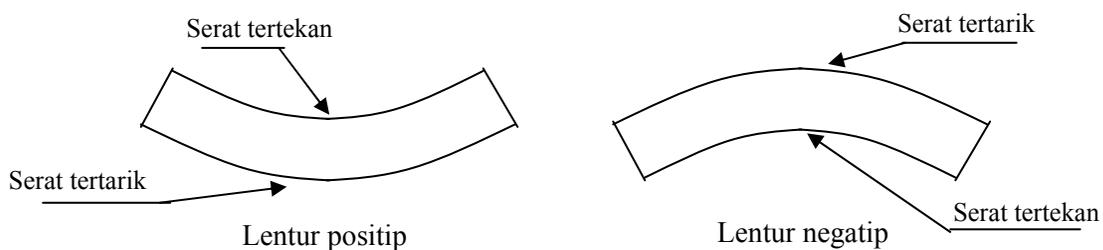
Mahasiswa perlu mengerti apa yang disebut sebagai momen lentur. Momen lentur didefinisikan sebagai jumlah momen semua gaya yang bekerja di sisi kiri atau kanan penampang terhadap sumbu titik berat penampang yang ditinjau, dan dinyatakan secara matematis sebagai

$$M = (\sum M)_L = (\sum M)_R \quad (2)$$

Subskrip L menunjukkan bahwa momen lentur dihitung berdasarkan beban yang bekerja di sebelah kiri penampang dan subskrip R berkaitan dengan beban sebelah kanan penampang.

3.2. Tanda momen lentur

Masalah umum yang paling mendasar yang dihadapi mahasiswa adalah mengenai pemberian tanda momen lentur. Masalah ini menjadi sangat penting karena akan menentukan zona tarik dan tekan pada penampang. Apabila tidak tepat dalam memprediksi tanda momen lentur, maka dapat dikatakan bahwa analisa struktur adalah gagal. Momen lentur bertanda positif apabila momen menghasilkan lenturan balok cekung ke atas, (gambar 4). Kita memilih pemakaian konvensi ekuivalen yang menyatakan bahwa gaya luar yang bekerja ke atas menghasilkan momen lentur positif terhadap setiap penampang; gaya ke bawah menghasilkan momen lentur negatif. Sejauh ini karena selalu ditinjau segmen kiri balok (gambar 2b), hal ini ekuivalen dengan mengambil momen searah jarum jam terhadap sumbu lentur positif, seperti ditunjukkan oleh R_1 . Terhadap segmen kanan balok (gambar 2c), konvensi ini berarti bahwa momen reaksi R_2 positif dalam arah berlawanan jarum jam. Konvensi ini memberi keuntungan sehingga momen lentur bisa dihitung, tanpa dibingungkan oleh tanda. Kita tidak pernah memikirkan apakah momen searah jarum jam atau berlawanan jarum jam; gaya bekerja ke atas selalu menghasilkan momen lentur positif dengan mengabaikan apakah gaya bekerja di sebelah kiri atau sebelah kanan penampang yang ditinjau. Lentur positif juga memberi arti bahwa serat yang tertarik adalah serat yang di bawah, dan serat tertekan adalah di bagian atas. Definisi ini berlaku sebaliknya untuk lentur negatif (lihat gambar 4).

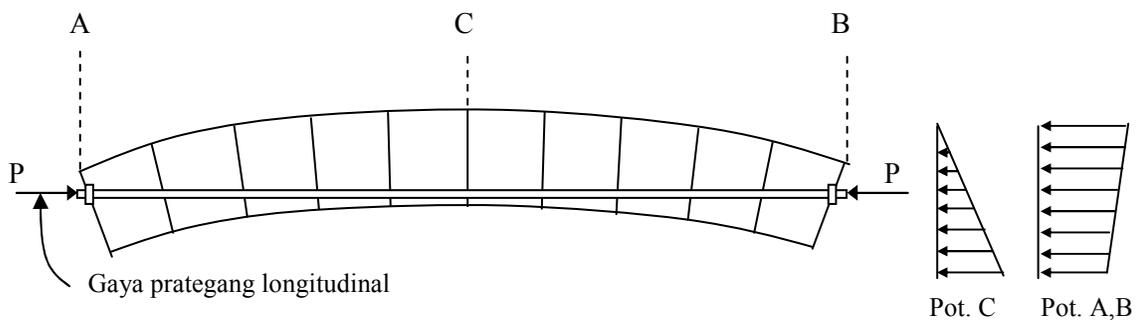


Gambar 4. Perilaku lentur positif dan negatif

4. MEKANISME LENTUR PADA BALOK BETON BERTULANG

Seperti diketahui bahan bangunan yang terbuat dari beton mempunyai sifat yang kuat dalam menahan tekan namun lemah dalam menahan tarik. Karakteristik bahan beton ini oleh mahasiswa sudah dipelajari pada kuliah Bahan Bangunan. Dalam desain beton bertulang, terutama untuk beton mutu normal ($f_c' < 50$ MPa), daerah tarik beton diabaikan dimana untuk menahan tarik tersebut dipasang tulangan baja yang mempunyai kekuatan tarik relatif sangat tinggi dibandingkan beton. Pengertian ini perlu ditekankan kepada para mahasiswa agar mereka lebih cermat dalam melakukan kalkulasi daerah tarik dan tekan penampang.

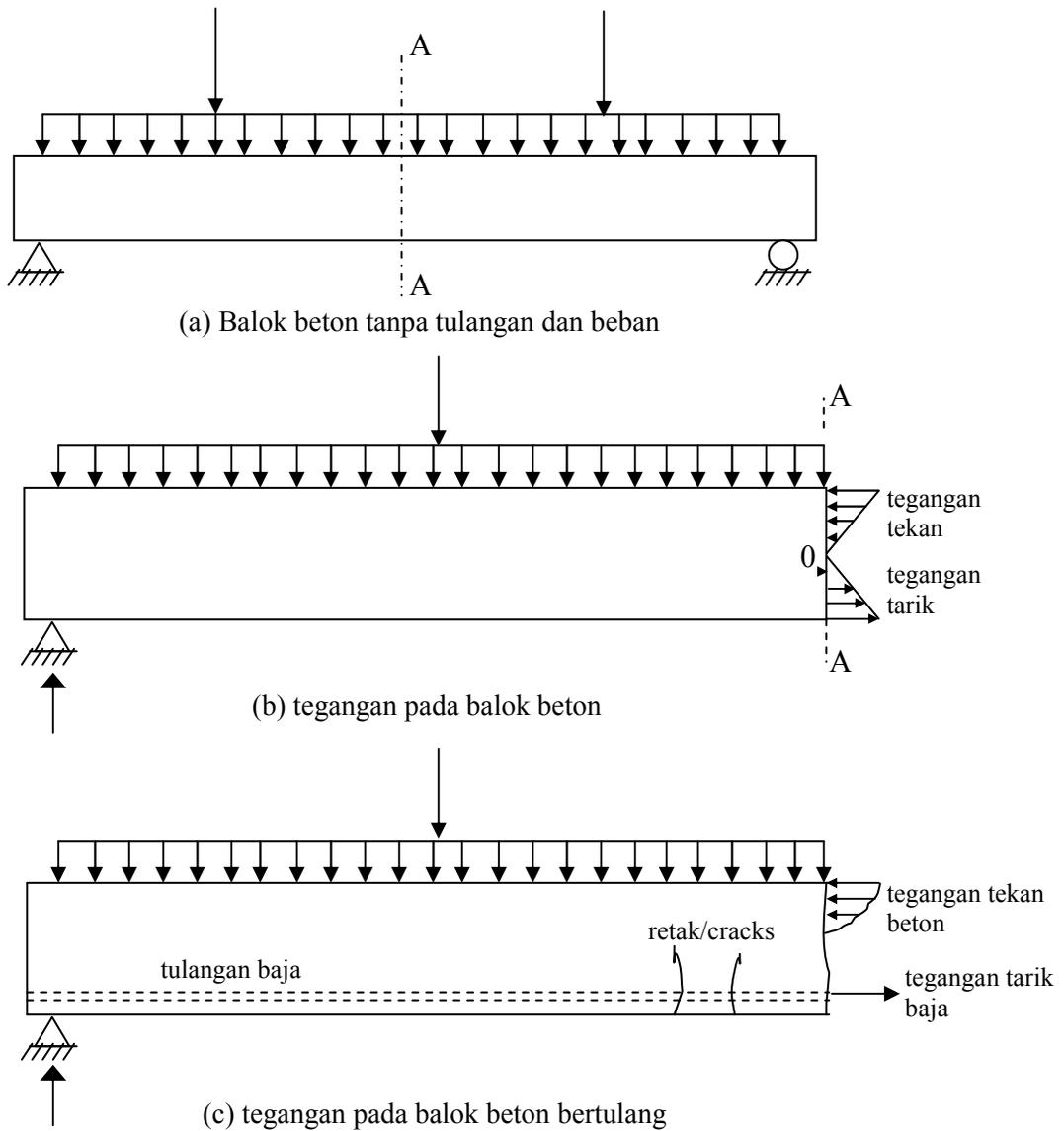
Karena rendahnya kapasitas tarik pada beton, retak lentur biasanya dapat terjadi pada tahap awal pembebanan. Salah satu cara untuk mengurangi atau mencegah terjadinya retak-retak tersebut, dapat dilakukan *pretensioning* terhadap tulangan-tulangan baja pada elemen beton bertulang, sehingga dihasilkan suatu bentuk beton bertulang yang disebut dengan beton prategang (gambar 5).



Gambar 5. *Pretensioning* pada elemen balok

5. APLIKASI MEKANIKA BAHAN PADA BALOK BETON BERTULANG

Aplikasi Mekanika Bahan pada balok beton bertulang dapat dicontohkan melalui struktur balok beton tanpa tulangan yang terlihat pada gambar 6. Momen yang timbul akibat beban luar pada dasarnya ditahan oleh kopel gaya-gaya dalam tarik dan tekan. Balok tersebut dapat runtuh secara tiba-tiba dan total jika retak terbentuk pada zona tarik penampang. Pada balok beton bertulang, tulangan baja ditanam di dalam beton sedemikian rupa sehingga gaya tarik yang dibutuhkan untuk menahan momen pada penampang retak dapat dikembangkan pada tulangan baja. Jadi dapat dikatakan bahwa untuk mengatasi kelemahan beton dalam menahan tarik maka ditambahkan tulangan baja pada bagian penampang beton yang berpotensi mengalami tarik pada saat menahan beban. Karakteristik yang dipunyai beton tersebut sangat penting untuk dicermati dan diketahui oleh mahasiswa, terutama untuk menentukan serat mana yang mengalami tarik dan tekan (seperti telah diuraikan pada sub bab 3.2 di atas).



Gambar 6. Balok beton tanpa dan yang dipasang tulangan

5.1. Mekanisme Gaya-gaya Dalam pada Penampang Balok Beton Bertulang yang Mengalami Lentur

Hampir semua elemen struktur seperti balok, kolom dan pelat mengalami momen lentur. Pada umumnya, elemen struktur yang mengalami lentur berlaku hukum Bernoulli dimana distribusi regangan di sepanjang tinggi penampang dapat diasumsikan linier.

Berdasarkan teori balok elastik, distribusi tegangan pada penampang akibat momen lentir M dapat dituliskan sebagai berikut:

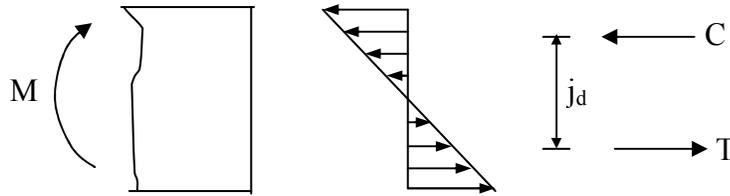
$$\sigma = \frac{My}{I} \tag{3}$$

Perlu dijelaskan kepada mahasiswa bahwa persamaan (3) hanya berlaku untuk penampang beton tanpa tulangan yang belum retak. Hal ini dikarenakan:

- Hubungan tegangan-regangan tekan beton bersifat non-linier

- Adanya tulangan baja pada penampang yang berfungsi untuk mentransfer gaya tarik pada saat terjadi retak pada penampang.

Selanjutnya mekanisme kesetimbangan gaya-gaya dalam penampang beton bertulang diilustrasikan pada gambar 7.



Gambar 7. Mekanisme gaya-gaya dalam yang bekerja pada beton bertulang

Jika tidak ada gaya aksial luar yang bekerja pada penampang, maka pada penampang di atas berlaku:

$$M = C j_d \quad \text{atau} \quad M = T j_d \quad (4)$$

$$\text{dan} \quad C - T = 0 \quad (5)$$

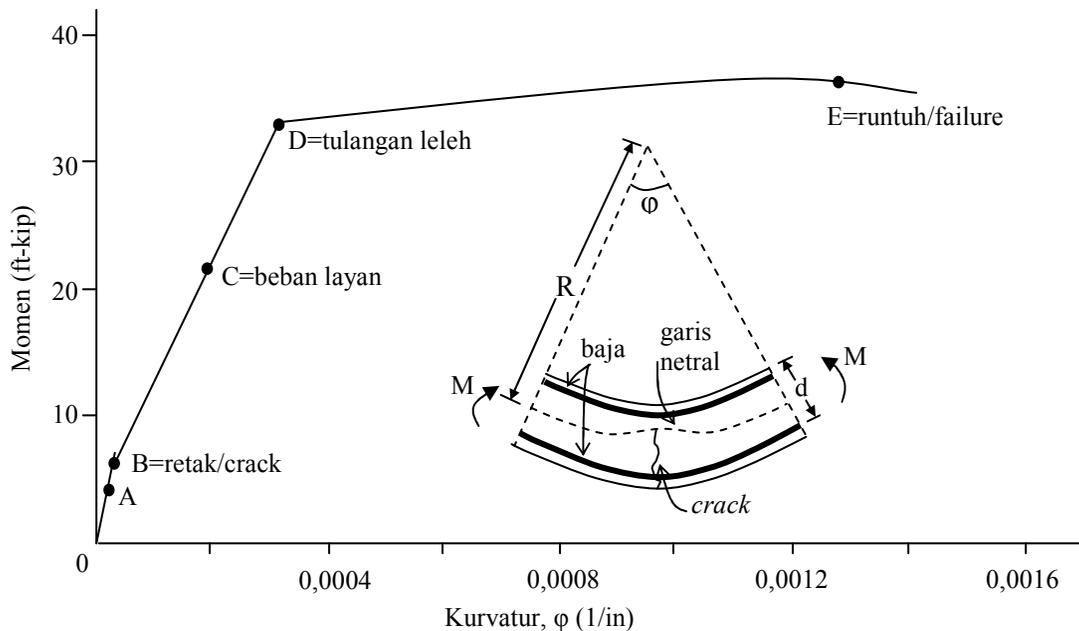
$$\text{atau} \quad C = T \quad (6)$$

5.2. Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang

Salah satu materi dari kuliah Mekanika Bahan adalah mengenai perilaku lentur pada batang prismatis. Untuk mempelajari perilaku lentur tersebut biasanya disampaikan sub materi mengenai teori momen-kelengkungan. Aplikasi lentur pada batang prismatis tersebut dapat dijelaskan kepada mahasiswa, yaitu dengan langsung menggambarkan diagram Momen-kelengkungan (kurvatur) penampang.

Secara garis besar perilaku lentur pada balok beton bertulang dapat dijelaskan pada gambar 8. Pada saat awal, dimana retak belum terjadi, nilai regangan yang terjadi akibat momen yang bekerja adalah sangat kecil, sehingga distribusi tegangan yang diperoleh pada dasarnya masih linier (titik A). Pada kondisi ini hubungan momen dan kelengkungan pada penampang juga bersifat linier (lihat segmen O-B).

Jika beban yang bekerja terus ditingkatkan, retak akan terjadi pada tepi bawah penampang yang mengalami momen maksimum. Retak terjadi pada saat tegangan tarik pada tepi bawah mencapai kekuatan tarik beton. Pada saat terjadi gaya tarik pada beton di lokasi retak akan ditransfer ke tulangan baja, sehingga penampang beton yang efektif dalam menahan momen menjadi berkurang. Pada saat ini kekakuan balok juga berkurang (segmen B-C-D), namun distribusi tegangan masih mendekati kondisi linier.



Gambar 8. Perilaku momen-kurvatur balok beton bertulang

Jika beban terus ditingkatkan pada akhirnya tulangan baja akan leleh (titik C). Setelah leleh terjadi, kelengkungan balok meningkat dengan cepat dengan sedikit peningkatan pada momen (segmen D-E).

6. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian di atas, maka dapat diambil kesimpulan bahwa mata kuliah Mekanika Bahan merupakan salah satu mata kuliah yang sangat penting untuk dipahami, baik filosofi, mekanisme gaya-gaya dalam maupun aplikasinya ke sistem struktur. Prediksi mengenai zona tarik dan tekan pada struktur perlu lebih dicermati agar dalam desain beton bertulang nantinya tidak terjadi kegagalan. Mekanika Bahan dapat diaplikasikan secara luas, salah satunya ke struktur beton bertulang. Pengetahuan yang baik dari pengajar terhadap materi mata kuliah ini dan disertai dengan metode pengajaran yang efektif dan aplikatif, diharapkan dapat ditransfer ilmu kepada mahasiswa dengan baik.

7. DAFTAR PUSTAKA

1. MacGregor, J.G. (1997); *Reinforced Concrete, Mechanics and Design*, Prentice Hall.
2. Singer, F.L. dan Pytel, A. (1980); *Kekuatan Bahan* (terjemahan oleh Darwin Sebayang), Erlangga.

PENULIS

Dr.Ir. Antonius, M.T., Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil UNISSULA Semarang, e-mail: antoni67a@yahoo.com

Ir. Prabowo Setiyawan, M.T., Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil UNISSULA Semarang