

PEMROGRAMAN MOMEN-KURVATUR BALOK PERSEGI BETON MUTU NORMAL DENGAN MENGGUNAKAN VISUAL BASIC FOR APPLICATION

Darmansyah Tjitradi¹⁾, Eliatun²⁾

¹⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
Jl. A. Yani Km.33, Banjarbaru, Kalimantan Selatan-70714,
email: tjitradi_syah@unlam.ac.id

²⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat
Jl. A. Yani Km.33, Banjarbaru, Kalimantan Selatan-70714,
email: eliatun_tarip@unlam.ac.id

ABSTRAK

Tulisan ini merupakan suatu cara memodifikasi kurva tegangan-regangan beton mutu normal yang diusulkan oleh Kent Park, dkk. (1971) menjadi blok tegangan segiempat ekuivalen. Prinsip perubahan ini adalah luas daerah diagram tegangan beton sebenarnya harus sama dengan luas blok tegangan segiempat ekuivalen, dan sentroid diagram tegangan beton sebenarnya harus berlokasi sama dengan sentroid blok tegangan segiempat ekuivalen.

Hasil dari penelitian ini adalah analisis kekuatan dan daktilitas kurvatur penampang yang menggunakan blok tegangan segiempat ekuivalen dapat dilakukan dengan mudah, cepat dan sederhana apabila dibandingkan dengan analisis manual yang menggunakan kurva tegangan-regangan beton yang sebenarnya, serta dikembangkan dalam bentuk program komputer dengan menggunakan software Microsoft Excel VBA (Visual Basic for Application) yang diberi nama Program MCur.xls.

Kata Kunci: kekuatan, daktilitas kurvatur, pemrograman

ABSTRACT

This paper is modifying the normal strength concrete stress-strain curve proposed by Kent Park et al. (1971) into an equivalent rectangular stress block. The principle of this change is the area of the actual concrete stress curve must be equal to the area of the equivalent rectangular stress block, and the centroid of the concrete stress curve should actually be located equal to centroid of an equivalent rectangular stress block.

The result of this research is the analysis of strength and curvature ductility of cross section using equivalent rectangular stress block can be done easily, fast and simple when compared with manual analysis using actual stress-strain curve, and developed in computer program using Microsoft software Excel VBA (Visual Basic for Application) which is named MCur.xls Program.

Keywords: strength, ductility curvature, programming

1. PENDAHULUAN

Suatu struktur bangunan sangat penting didesain berdasarkan peraturan SNI 03-2847-2002 dan memenuhi konsep kolom kuat balok lemah (strong column weak beam), sehingga apabila struktur bangunan mengalami guncangan yang besar akibat pembebanan, struktur bangunan yang didesain akan tetap bertahan, sehingga manusia yang berada didalam bangunan gedung masih mempunyai waktu untuk menyelamatkan diri sebelum bangunan mengalami keruntuhan total (struktur yang daktail).

Untuk menjamin terwujudnya struktur yang daktail maka perilaku balok beton sebagai elemen struktur perlu diantisipasi terutama tingkat daktilitas kurvturnya. Daktilitas kurvatur merupakan salah satu aspek penting dalam perencanaan suatu elemen struktur disamping aspek kekuatan dan kekakuan. Pada saat terjadi gempa, elemen-elemen struktur yang mempunyai daktilitas kurvatur besar akan mampu menyerap dan memancarkan energi gempa melalui mekanisme terbentuknya sendi plastis.

Oleh karena itu dalam penelitian ini akan mempelajari mengenai pengembangan program komputer yang menggunakan software Microsoft Excel VBA (Visual Basic for Application) untuk menghitung daktilitas kurvatur suatu elemen balok persegi beton mutu normal.

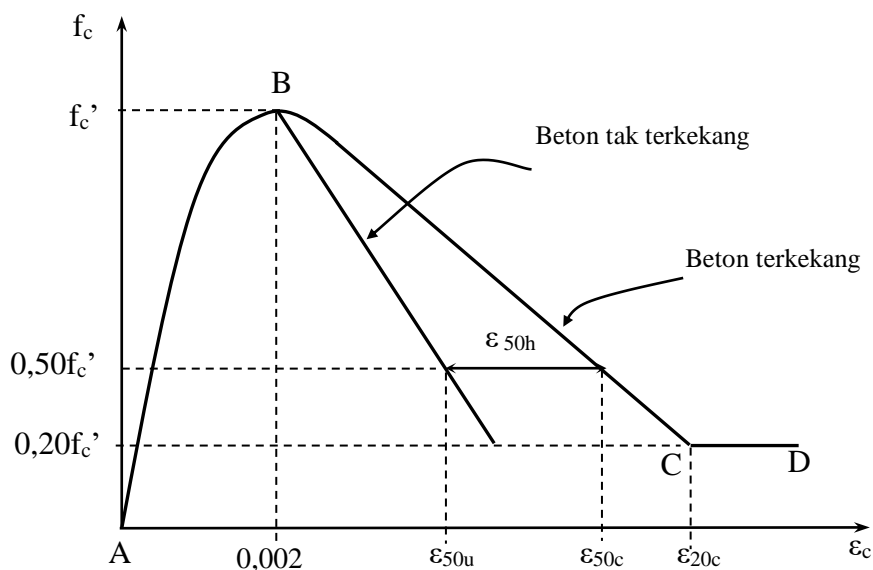
Tujuan dan manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Menurunkan modifikasi kurva tegangan-regangan beton mutu normal usulan Kent Park, dkk.(1971) menjadi model blok tegangan segiempat ekivalen.
2. Penyederhanaan perhitungan analisis kekuatan dan daktilitas kurvatur penampang dengan blok tegangan segiempat ekivalen.
3. Pengembangan program komputer untuk menghitung kekuatan dan daktilitas kurvatur penampang dengan blok tegangan segiempat ekivalen.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Kurva Tegangan-Regangan Beton Mutu Normal Menurut Kent dan Park (Kent dan Park, 1971)

Pada tahun 1971 Kent dan Park, dkk. telah mengusulkan hubungan tegangan-regangan beton terkekang dan tidak terkekang dengan sengkang persegi, kurva hubungan yang dipakai sudah memperhitungkan jarak tulangan sengkang dan jumlahnya dalam satu faktor rasio volume tulangan sengkang terhadap volume yang diselimutinya (Gambar 1).



Gambar 1. Kurva tegangan-regangan beton yang terkekang menurut Kent dan Park, dkk. (1971).

Kurva tegangan-regangan beton usulan Kent dan Park, dkk. (1971) dibagi menjadi 3 daerah, yaitu:

a) Daerah AB: $\varepsilon_c \leq 0,002$

$$f_c = f_c' \cdot \left[\frac{2 \cdot \varepsilon_c}{0,002} - \left(\frac{\varepsilon_c}{0,002} \right)^2 \right] \quad (1)$$

b) Daerah BC: $0,002 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{20c}$

$$f_c = f_c' \cdot [1 - Z \cdot (\varepsilon_c - 0,002)] \quad (2)$$

c) Daerah CD: $\varepsilon_c \geq \varepsilon_{20c}$

$$f_c = 0,2 \cdot f_c' \quad (3)$$

dimana:

$$Z = \frac{0,5}{\varepsilon_{50u} + \varepsilon_{50h} - 0,002} \quad (4)$$

$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + 0,002 \cdot f_c'}{f_c' - 1000} \quad (5)$$

$$\varepsilon_{50h} = \frac{3}{4} \cdot \rho_s \cdot \sqrt{\frac{b''}{s}} \quad (6)$$

$$\varepsilon_{20c} = \frac{0,8}{Z} + 0,002 \quad (7)$$

Slope kemiringan kurva tegangan-regangan beton tersebut diidealisasikan dengan persamaan:

a) Beton terkekang (confined):

$$Z = \frac{0,5}{\frac{3 + 0,002 \cdot (f_c' / 0,00689)}{(f_c' / 0,00689) - 1000} + \frac{3}{4} \cdot \rho_s \cdot \sqrt{\frac{b''}{s}} - 0,002} \quad (8)$$

b) Beton tak terkekang (unconfined):

$$Z = \frac{0,5}{\frac{3 + 0,002 \cdot (f_c' / 0,00689)}{(f_c' / 0,00689) - 1000} - 0,002} \quad (9)$$

2.2. Konsep Modifikasi Kurva Tegangan-Regangan Beton Kent Park (1971) Menjadi Blok Tegangan Segiempat Ekuivalen

Konsep cara memodifikasi kurva tegangan-regangan Beton menurut Kent Park, dkk. (1971) menjadi blok tegangan segiempat ekuivalen adalah dengan menurunkan nilai koefisien α_i dan γ_i (lihat Gambar 2). Nilai koefisien α_i dan γ_i setiap daerah diperoleh langsung dari dua syarat berikut ini (Sheikh, S.A, et.all., 1992), (Park, R. and Paulay, T., 1974):

- 1) Luas daerah diagram tegangan beton sebenarnya harus sama dengan luas blok tegangan ekuivalen

$$\int_0^{\epsilon_c} f_c d\epsilon_c = \alpha_1 \cdot f_c' \cdot \epsilon_c \quad , \text{ maka } \alpha_1 = \frac{\int_0^{\epsilon_c} f_c d\epsilon_c}{f_c' \cdot \epsilon_c} \quad (10)$$

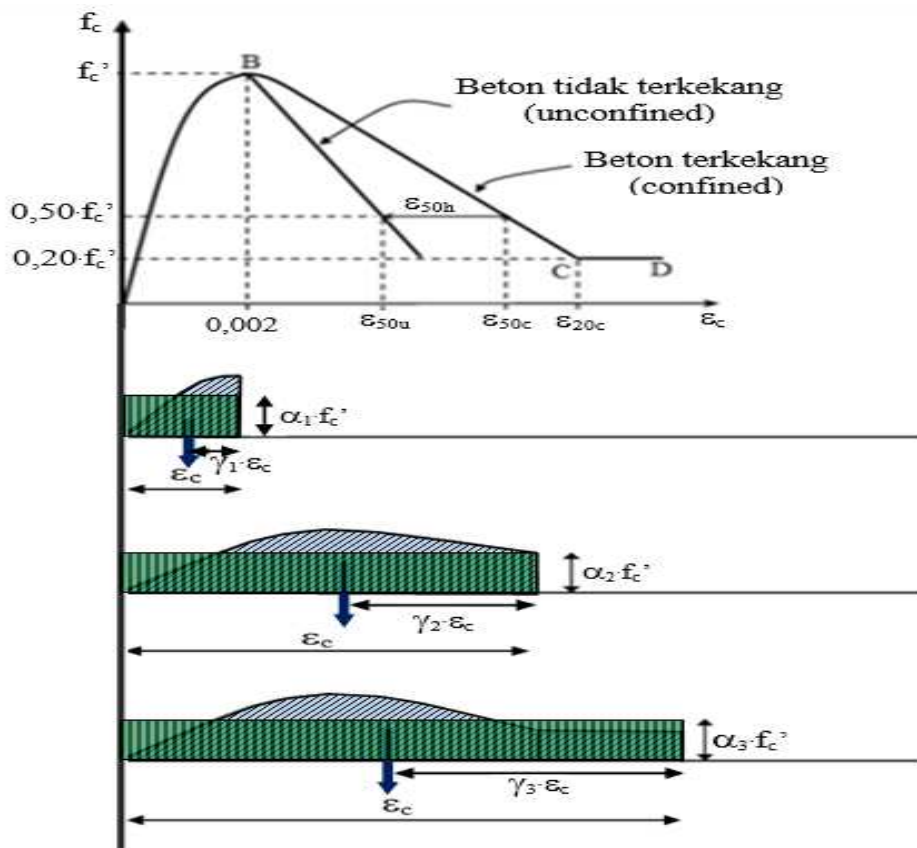
- 2) Sentroid diagram tegangan beton sebenarnya berlokasi sama dengan sentroid blok tegangan ekuivalen

$$\int_0^{\epsilon_c} f_c \cdot \epsilon_c d\epsilon_c = (1 - \gamma_1) \cdot \epsilon_c \cdot \int_0^{\epsilon_c} f_c d\epsilon_c \quad , \text{ maka } \gamma_1 = 1 - \frac{\int_0^{\epsilon_c} \epsilon_c \cdot f_c d\epsilon_c}{\epsilon_c \cdot \int_0^{\epsilon_c} f_c d\epsilon_c} \quad (11)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

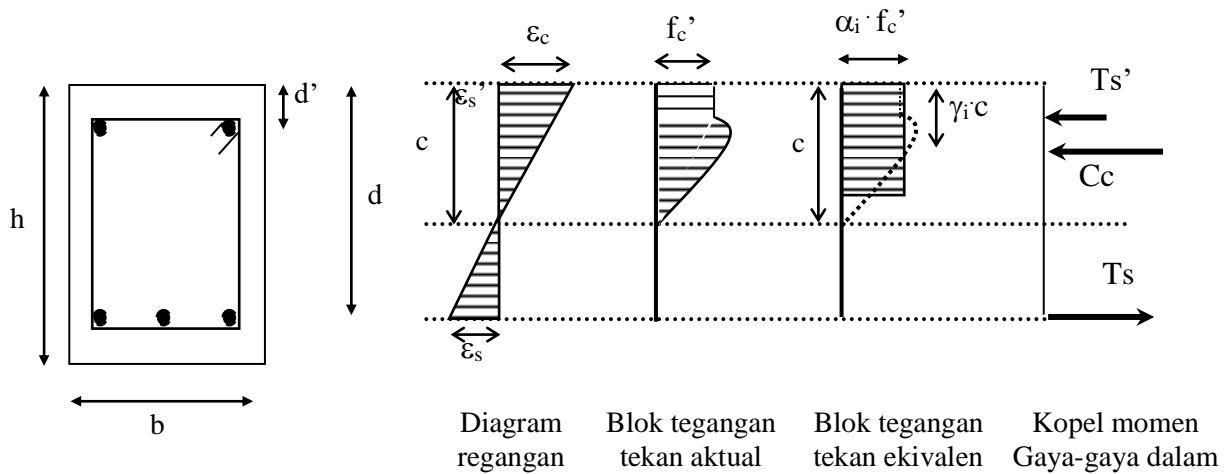
3.1. Modifikasi Kurva Tegangan-Regangan Beton Usulan Kent Park, dkk. (1971) Menjadi Model Blok Tegangan Segiempat Ekuivalen

Perhitungan nilai α_i dan γ_i pada blok tegangan segiempat (ekuivalen) dengan menurunkan persamaan (1) sampai dengan (5). Penurunan ini dengan membagi kurva menjadi 3 bagian seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Pembagian daerah Kurva Tegangan-Regangan Kent Park, dkk. (1971)

Dengan menggunakan persamaan 10 dan 11, maka akan diperoleh nilai α_i dan γ_i pada blok tegangan segiempat ekuivalen (lihat Gambar 3).



Gambar 3. Analisis Kapasitas Momen Lentur dan Kurvatur Balok dengan Blok Tegangan Segiempat Ekuivalen

Dimana:

1) Daerah AB: $\epsilon_{c1} \leq 0,002$

$$\alpha_1 = \frac{\epsilon_{cm1}}{0,002} \cdot \left[1 - \frac{\epsilon_{c1}}{0,006} \right]$$

$$\gamma_1 = \frac{0,008 - \epsilon_{c1}}{0,024 - 4 \cdot \epsilon_{c1}}$$

2) Daerah BC: $0,002 \leq \epsilon_{c2} \leq \epsilon_{20c}$

$$\alpha_2 = \frac{0,004}{3 \cdot \epsilon_{c2}} + \left(1 - \frac{0,002}{\epsilon_{c2}} \right) \cdot \left(1 - \frac{Z}{2} \cdot (\epsilon_{c2} - 0,002) \right)$$

$$\gamma_2 = 1 - \frac{-\frac{3,334 \cdot 10^{-7}}{\epsilon_{c2}} + 0,5 \cdot \epsilon_{cm2} - 0,333 \cdot Z \cdot \epsilon_{c2}^2 + 0,001 \cdot Z \cdot \epsilon_{c2} - \frac{1,334 \cdot 10^{-9}}{\epsilon_{c2}} \cdot Z}{-(6,667 \cdot 10^{-4}) + \epsilon_{c2} - 0,5 \cdot Z \cdot \epsilon_{c2}^2 + 0,002 \cdot Z \cdot \epsilon_{c2} - 2 \cdot 10^{-6} \cdot Z}$$

3) Daerah CD: $\epsilon_{c3} \geq \epsilon_{20c}$

$$\alpha_3 = \frac{-6,667 \cdot 10^{-4}}{\epsilon_{c3}} + 0,80 \cdot \frac{\epsilon_{20c}}{\epsilon_{c3}} - 0,50 \cdot Z \cdot \frac{\epsilon_{20c}^2}{\epsilon_{c3}} + 0,002 \cdot Z \cdot \frac{\epsilon_{20c}}{\epsilon_{c3}} - \frac{2 \cdot 10^{-6}}{\epsilon_{c3}} Z + 0,20$$

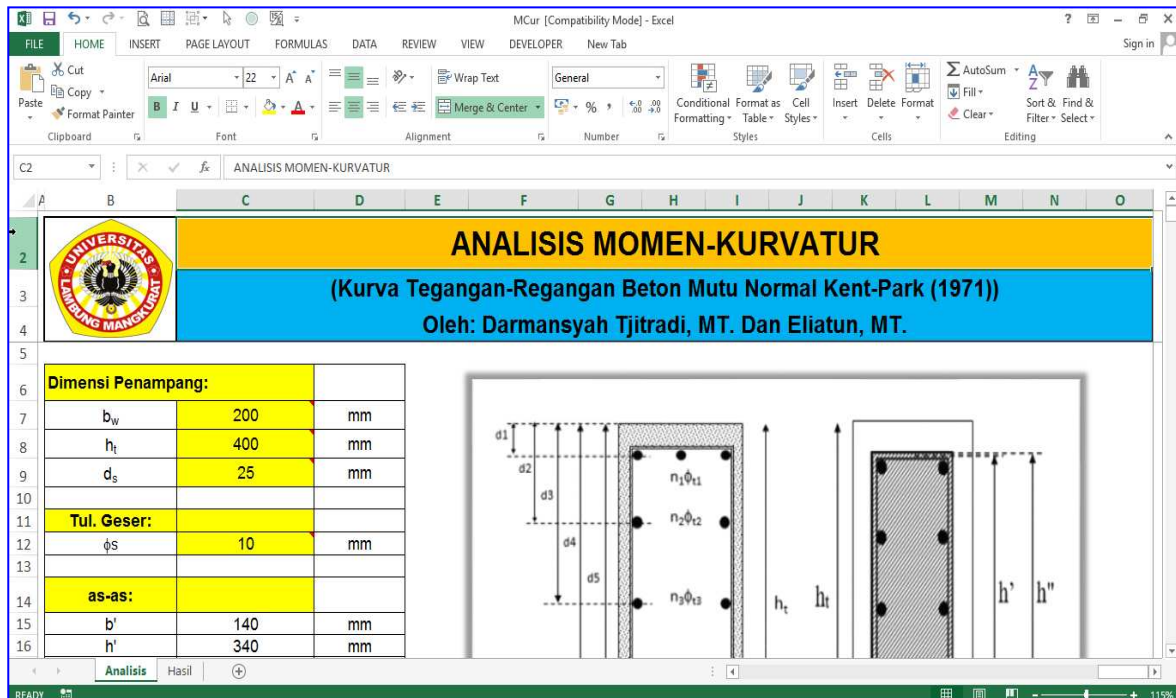
$$\gamma_3 = 1 - \frac{-\frac{3,334 \cdot 10^{-7}}{\epsilon_{c3}} + 0,40 \cdot \frac{\epsilon_{20c}^2}{\epsilon_{c3}} - 0,333 \cdot Z \cdot \frac{\epsilon_{20c}^3}{\epsilon_{c3}} + 0,001 \cdot Z \cdot \frac{\epsilon_{20c}^2}{\epsilon_{c3}} - \frac{(1,334 \cdot 10^{-9}) \cdot Z}{\epsilon_{c3}} + 0,10 \cdot \epsilon_{c3}}{-(6,667 \cdot 10^{-4}) + 0,80 \cdot \epsilon_{20c} - 0,50 \cdot Z \cdot \epsilon_{20c}^2 + 0,002 \cdot Z \cdot \epsilon_{20c} - 2 \cdot 10^{-6} \cdot Z + 0,20 \cdot \epsilon_{c3}}$$

3.2. Tampilan Program Momen Kurvatur pada Microsoft Excel 2013

Tampilan program ini dapat dikelompokkan sebagai berikut:

a) Buku Kerja (Workbook)

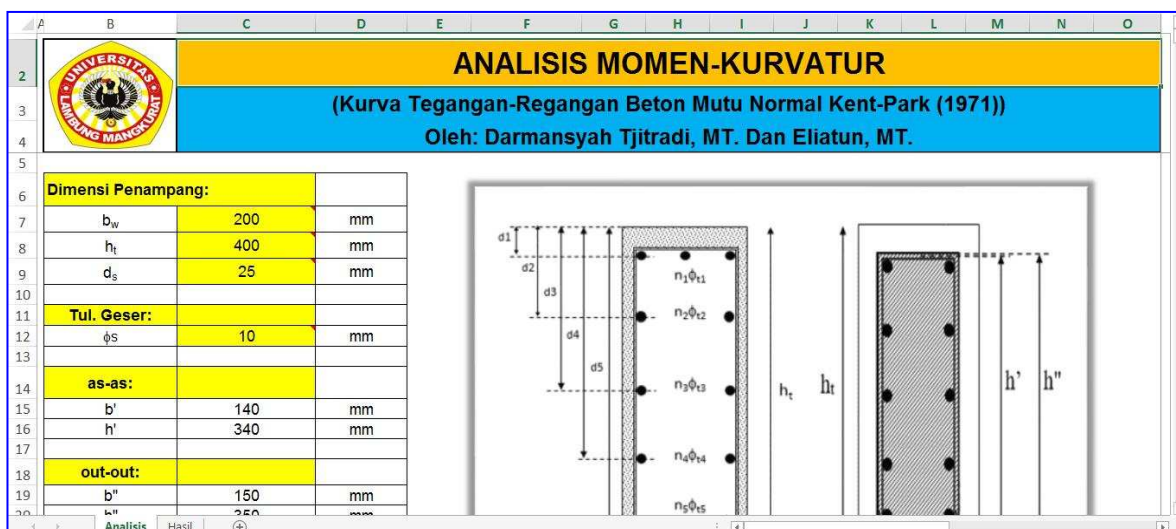
Buku kerja program momen kurvatur ini disimpan dalam format file Excel yang bernama MCur.xls, tampilan dari buku kerja program ini dapat dilihat pada Gambar 4.



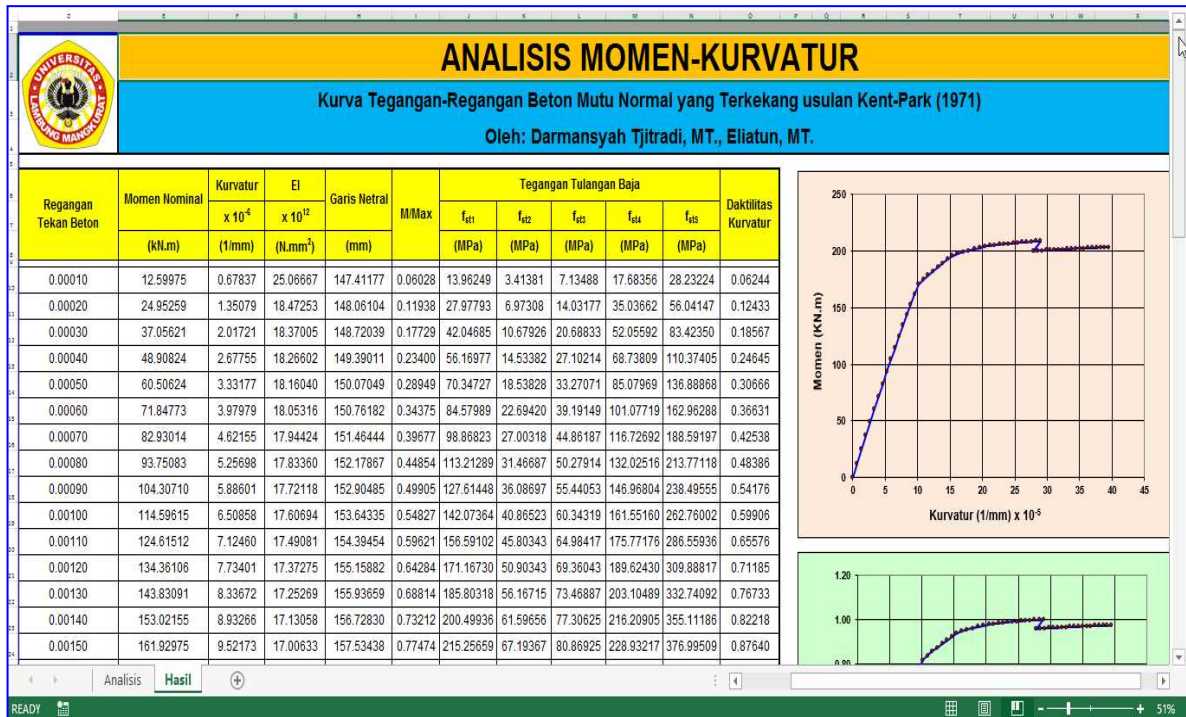
Gambar 4. Buku kerja program momen kurvatur (MCur)

b) Lembar Kerja (Worksheet)

Buku kerja yang dibuat mempunyai banyak lembar kerja (Worksheet) yang didalamnya berisi langkah-langkah input data dan hasil program, tampilan dari program ini dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Lembar kerja Analisis momen kurvatur yang terdiri dari input data, proses, dan output.



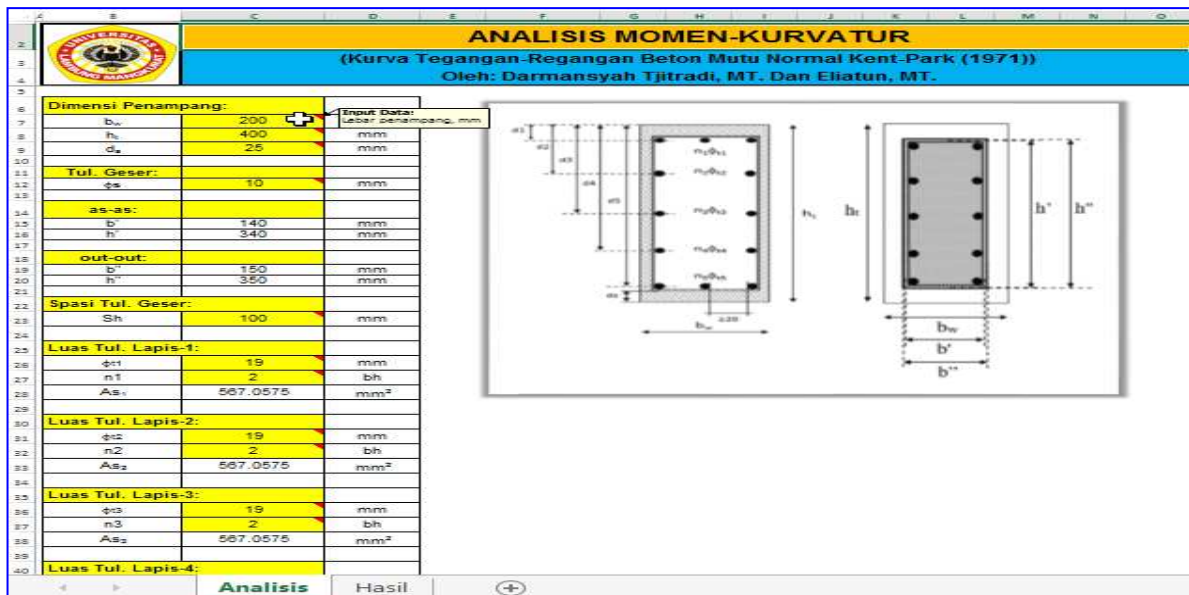
Gambar 6. Lembar kerja Hasil Analisis momen kurvatur secara numerik dan grafik hubungan momen-kurvatur

3.3. Pemrograman dengan VBA pada Microsoft Excel 2013

Pemrograman momen kurvatur menggunakan bahasa pemrograman Visual Basic yang tersedia pada Microsoft Excel 2013 atau disebut juga dengan macro VBA.

a) Input Data

Input data yang diperlukan untuk menghitung momen kurvatur suatu penampang dapat dilihat pada Gambar 7.



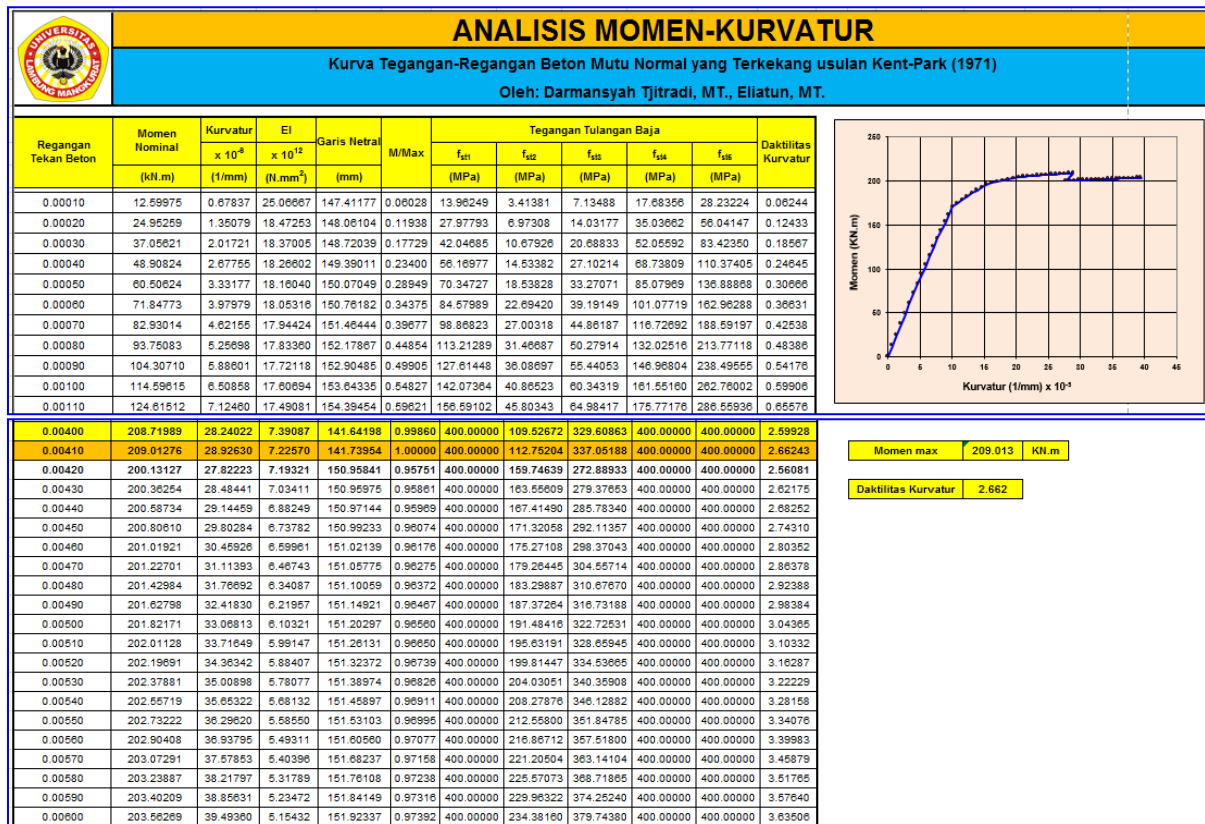
Gambar 7. Input data penampang yang dilengkapi dengan tooltips/ command untuk mempermudah penginputan data

b) Proses Data

Proses data menggunakan algoritma pemrograman perhitungan momen kurvatur suatu penampang.

c) Output Data

Output data dari program ini adalah kapasitas momen, beban lentur, dan grafik momen kurvatur suatu penampang yang dapat dilihat pada Gambar 8.

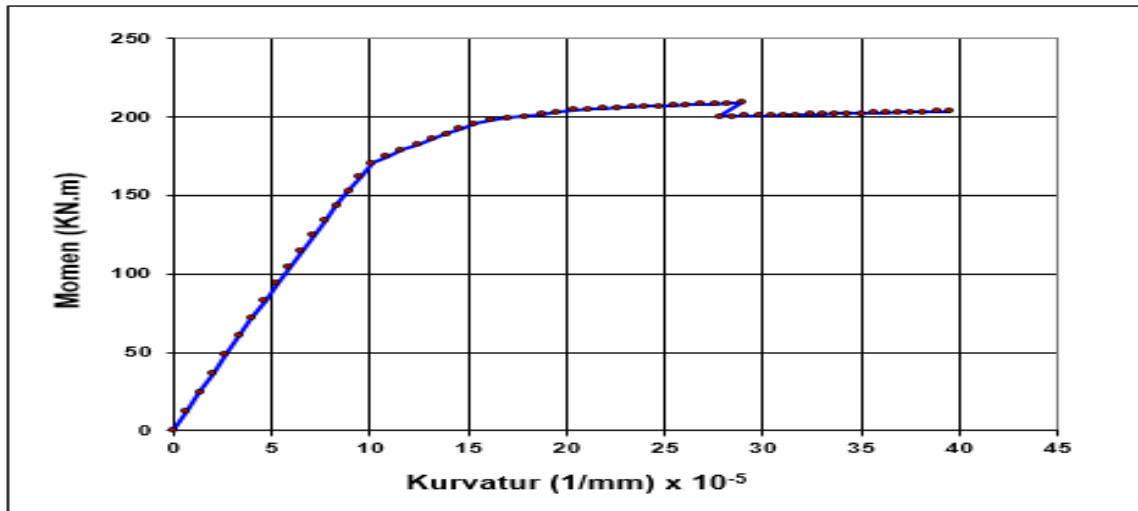


Gambar 8. Output data hasil analisis momen kurvatur

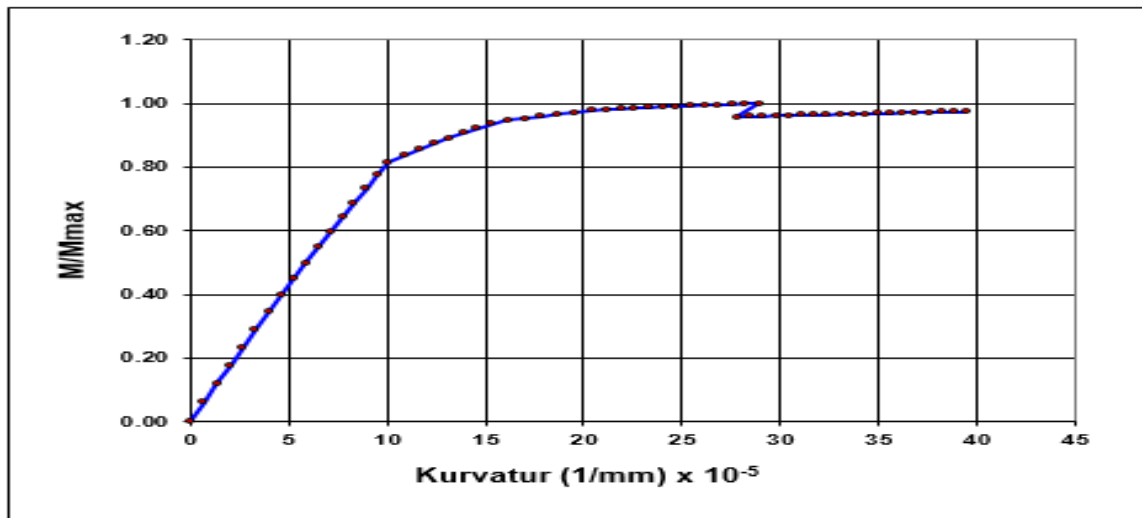
4.4 Validasi Program MCur

Untuk mengetahui program MCur yang dibuat apakah sudah sesuai dengan hasil perhitungan secara manual, maka diambil sebuah contoh kasus yang akan dianalisis secara manual dan dibandingkan dengan output hasil program, dan diperoleh hasil yang sama antara perhitungan manual dan program.

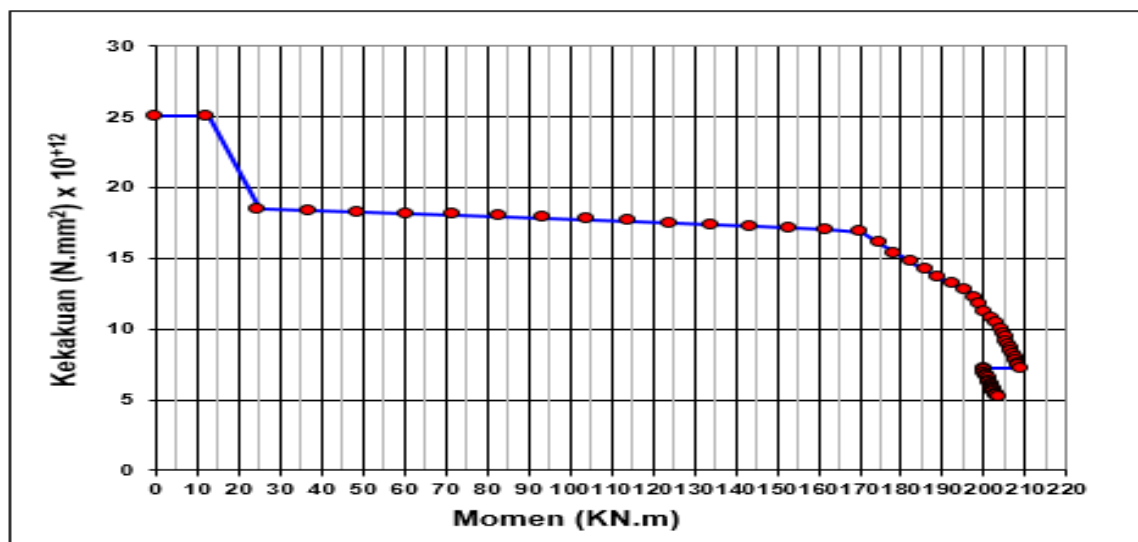
Sebagai contoh penggunaan program MCur diambil model penampang beton balok segiempat bertulangan rangkap yang berukuran 200 mm x 400 mm, $f_y = 400$ MPa, $f_{su} = 1,67.f_y = 668$ MPa, $\epsilon_y = 0,002$, $\epsilon_{sh} = 16.\epsilon_y = 0,032$, $\epsilon_{su} = \epsilon_{sh} + 0,14 = 0,172$, $f_c' = 25$ MPa, $f_{yh} = 240$ MPa, tulangan geser $\phi 10-100$, mempunyai tulangan 2D19 yang terdistribusi sepanjang tinggi balok sebanyak 5 layer, $\rho_s = 0,0144$, $Z = 33,1253$. Dengan menggunakan program MCur dapat dibuat grafik hubungan Momen-Kurvatur balok (Gambar 9), grafik hubungan M/M_{max} - Kurvatur balok (Gambar 10), dan grafik hubungan Momen – Kekakuan (Gambar 11) yang sangat bermanfaat untuk mengetahui kapasitas momen dan kurvatur suatu penampang balok.



Gambar 9. Grafik Hubungan Momen-Kurvatur penampang balok



Gambar 10. Grafik Hubungan M/M_{max} – Kurvatur penampang balok



Gambar 11. Grafik Hubungan Momen – Kekakuan penampang balok

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

- 1) Kurva tegangan-regangan beton usulan Kent Park, dkk.(1971) dapat dimodifikasi menjadi model blok tegangan segiempat ekuivalen.
- 2) Penyederhanaan perhitungan analisis kekuatan dan daktilitas kurvatur penampang dengan blok tegangan segiempat ekuivalen, sehingga analisis kapasitas penampang dapat dilakukan lebih cepat.
- 3) Dengan menggunakan blok tegangan segiempat ekuivalen telah dibuat program komputer untuk menghitung kekuatan dan daktilitas kurvatur penampang dan diberi nama Program MCur.xls.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik ULM yang telah memberikan bantuan dana dalam melaksanakan penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Kent, D. C. and Park, R., 1971, Flexural Members with Confined Concrete, *Journal of the Structural Division, ASCE*, 97, pp. 1969 - 1990.
- Park, R. and Paulay, T., 1974, *Reinforced Concrete Structure*, John Wiley & Sons.
- Sheikh, S.A.; Member, ASCE, Yeh, C.C., 1992. Analytical Moment-Curvature Relations For Tied Concrete Columns, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, 118 (2).
- SNI 03-2847-2002, 2002. *Tata Cara Perhitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung*, BSN.