

TUGAS AKHIR

**PENGARUH SUDUT TULANGAN GESER TERHADAP
PERILAKU GESER BALOK BETON BERTULANG DENGAN
*SOFTWARE ATENA 3D***

Diajukan guna melengkapi persyaratan untuk memenuhi gelar Sarjana Teknik
di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Deden Aris Munandar

20170110280

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA**

2021

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Deden Aris Munandar
NIM : 20170110280
Judul : Pengaruh Sudut Tulangan Geser Terhadap Perilaku Geser Balok Beton Bertulang dengan *Software ATENA 3D*

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan karya saya sendiri. Apabila terdapat karya orang lain yang saya kutip, maka saya akan mencantumkan sumber secara jelas. Jika dikemudian hari ditemukan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi dengan aturan yang berlaku. Demikian pernyataan ini saya buat tanpa ada paksaan dari pihak mana pun.

Yogyakarta, Juli 2020

Yang membuat pernyataan



(Deden Aris Munandar)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan pertolongan, dan petunjuk untuk menyelesaikan tugas akhir dengan baik. Aku bersaksi tidak ada Tuhan selain Allah. Tanpa pertolongan dari-Nya, kita bukanlah apa-apa di bumi yang luas ini. Dialah pemilik alam semesta pemberi rezeki, ilmu, dan apa-apa yang dibutuhkan oleh manusia. Sholawat serta salam semoga tetap tercurah pada nabi besar junjungan kita yakni Nabi Muhammad SAW, sang pemberi tauladan pada umat manusia untuk mendapat surga-Nya di hari akhir nanti. Semoga kelak kita dapat bersama dengan beliau dan umatnya. Aamiin

Tugas akhir ini aku persembahkan dan saya ucapkan terimakasih untuk:

1. Kedua orang tua tercinta yang senantiasa mendukung dan memberikan motivasi baik secara moral dan material
2. Keluarga tercinta yakni kakak kakakku yang selalu memberikan dukungan penuh untuk apa yang saya kerjakan dan senantiasa memberikan semangat
3. Teman-teman seperjuangan yaitu sipil kelas F angkatan 2017 serta teman-teman seangkatan yang memberikan bantuan baik dalam pembelajaran maupun motivasi untuk memacu diri menjadi lebih baik
4. Kampus tercinta Universitas Muhammadiyah Yogyakarta yang telah menyediakan sarana dan prasarana selama saya menempuh program studi.

PRAKATA



Assalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh

Segala puji bagi Allah SWT yang menguasai segala sesuatu. Sholawat dan salam selalu tercurahkan kepada Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya.

Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut pada tulangan sengkang terhadap perilaku balok dengan *ATENA 3D*.

Selama penyusunan tugas akhir ini, banyak rintangan yang penyusun dapatkan, tetapi berkat bantuan, bimbingan, dan dorongan dari berbagai pihak akhirnya dapat terselesaikan dengan baik. Melalui kesempatan ini, penyusun ingin menyampaikan rasa terima kasih atas kerja sama dan dukungan dari berbagai pihak selama proses penelitian hingga penyusunan tugas akhir ini kepada:

1. Ir. Puji Harsanto, S.T., M.T., Ph.D selaku ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
2. Ir. Ahmad Zaki, S.T., M.Sc., Ph.D selaku pembimbing tugas akhir

Akhirnya, setelah segala kemampuan dicurahkan serta diiringi dengan doa untuk menyelesaikan tugas akhir ini hanya kepada Allah SWT semua dikembalikan.

Wallahu a'lam bi Showab.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Yogyakarta, Juli 2021

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized cursive letters and a large flourish at the end.

Penyusun

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------|
| LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR..... | iv |
| HALAMAN PERNYATAAN..... | v |
| HALAMAN PERSEMBAHAN..... | vi |
| PRAKATA..... | vii |
| DAFTAR ISI..... | viii |
| DAFTAR TABEL..... | xi |
| DAFTAR GAMBAR..... | xii |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xv |
| DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG..... | xvi |
| DAFTAR SINGKATAN..... | xvii |
| DAFTAR ISTILAH..... | xviii |
| ABSTRAK..... | xix |
| BAB I. PENDAHULUAN..... | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Lingkup Penelitian..... | 2 |
| 1.4 Tujuan Penelitian..... | 3 |
| 1.5 Manfaat Penelitian..... | 3 |
| BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI..... | 4 |
| 2.1 Tinjauan Pustaka..... | 4 |
| 2.2 Dasar Teori..... | 22 |
| 2.2.1 Pengertian beton..... | 22 |
| 2.2.2 Baja tulangan beton..... | 24 |
| 2.2.3 Perilaku balok beton bertulang..... | 25 |
| 2.2.4 Kekakuan..... | 26 |
| 2.2.5 Daktilitas..... | 26 |
| 2.2.6 Balok dengan tulangan geser..... | 27 |
| 2.2.7 Jenis keruntuhan geser balok..... | 27 |
| 2.2.8 Pola retak..... | 28 |
| 2.2.9 Kuat geser balok..... | 30 |
| 2.2.10 Metode elemen hingga..... | 30 |
| 2.2.11 ATENA 3D..... | 31 |
| BAB III. METODE PENELITIAN..... | 32 |

| | |
|--|-----------|
| 3.1 Bahan atau Materi..... | 32 |
| 3.2 Alat..... | 36 |
| 3.3 Tempat dan Waktu Penelitian..... | 36 |
| 3.4 Tahapan Penelitian..... | 37 |
| 3.5 Analisis Data..... | 53 |
| BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN..... | 55 |
| 4.1 Hasil analisis perilaku balok beton bertulang..... | 55 |
| 4.1.1 Beban - defleksi..... | 55 |
| a. Balok beton bertulang dengan kuat tekan 20 MPa..... | 55 |
| b. Balok beton bertulang dengan kuat tekan 30 MPa..... | 56 |
| c. Balok beton bertulang dengan kuat tekan 40 MPa..... | 57 |
| 4.1.2 Hubungan beban - lendutan balok beton bertulang..... | 58 |
| 4.1.3 Kekakuan..... | 60 |
| 4.1.4 Daktilitas..... | 62 |
| 4.2 Pola Keretakan Balok..... | 64 |
| 4.2.1 Balok dengan sudut tulangan sengkang 50° dengan mutu 20 MPa..... | 64 |
| 4.2.2 Balok dengan sudut tulangan sengkang 60° dengan mutu 20 MPa..... | 65 |
| 4.2.3 Balok dengan sudut tulangan sengkang 70° dengan mutu 20 MPa..... | 66 |
| 4.2.4 Balok dengan sudut tulangan sengkang 90° dengan mutu 20 MPa..... | 67 |
| 4.2.5 Balok dengan sudut tulangan sengkang 110° dengan mutu 20 MPa... | 68 |
| 4.2.6 Balok dengan sudut tulangan sengkang 120° dengan mutu 20 MPa... | 69 |
| 4.2.7 Balok dengan sudut tulangan sengkang 130° dengan mutu 20 MPa... | 70 |
| 4.2.8 Balok dengan sudut tulangan sengkang 50° dengan mutu 30 MPa..... | 71 |
| 4.2.9 Balok dengan sudut tulangan sengkang 60° dengan mutu 30 MPa..... | 72 |
| 4.2.10 Balok dengan sudut tulangan sengkang 70° dengan mutu 30 MPa... | 73 |
| 4.2.11 Balok dengan sudut tulangan sengkang 90° dengan mutu 30 MPa... | 74 |
| 4.2.12 Balok dengan sudut tulangan sengkang 110° dengan mutu 30 MPa. | 75 |
| 4.2.13 Balok dengan sudut tulangan sengkang 120° dengan mutu 30 MPa. | 76 |
| 4.2.14 Balok dengan sudut tulangan sengkang 130° dengan mutu 30 MPa. | 77 |
| 4.2.15 Balok dengan sudut tulangan sengkang 50° dengan mutu 40 MPa... | 78 |
| 4.2.16 Balok dengan sudut tulangan sengkang 60° dengan mutu 40 MPa... | 79 |
| 4.2.17 Balok dengan sudut tulangan sengkang 70° dengan mutu 40 MPa... | 80 |
| 4.2.18 Balok dengan sudut tulangan sengkang 90° dengan mutu 40 MPa... | 81 |
| 4.2.19 Balok dengan sudut tulangan sengkang 110° dengan mutu 40 MPa. | 82 |
| 4.2.20 Balok dengan sudut tulangan sengkang 120° dengan mutu 40 MPa. | 83 |
| 4.2.21 Balok dengan sudut tulangan sengkang 130° dengan mutu 40 MPa. | 84 |

| | |
|----------------------------------|----|
| BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN..... | 85 |
| 5.1 Kesimpulan..... | 85 |
| 5.2 Saran..... | 85 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | 86 |
| LAMPIRAN..... | 88 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2.1 Perbandingan hasil pengujian ATENA V5 dengan hasil perhitungan teoritis Alfisyahrin (2019)..... | 6 |
| Tabel 2.2 Hasil analisis penelitian..... | 9 |
| Tabel 2.3 Volume retak model <i>ANSYS</i> | 12 |
| Tabel 2.4 Perbandingan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang..... | 13 |
| Tabel 2.5 Kelas dan Mutu Beton | 23 |
| Tabel 2.6 Sifat mekanis baja tulangan beton SNI (2017)..... | 24 |
| Tabel 3.1 Spesifikasi benda uji balok beton bertulang..... | 32 |
| Tabel 3.2 Data material beton mutu 20 MPa..... | 53 |
| Tabel 3.3 Data material beton mutu 30 MPa..... | 53 |
| Tabel 3.4 Data material beton mutu 40 MPa..... | 54 |
| Tabel 3.5 Data material baja..... | 54 |
| Tabel 4.1 Nilai lendutan dan beban pada setiap zona..... | 59 |
| Tabel 4.2 Hasil analisis kekakuan balok beton bertulang..... | 60 |
| Tabel 4.3 Data hasil perhitungan nilai daktilitas..... | 62 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2.1 Perbandingan kuat geser teoritik (V_n) dan kuat geser aktual (V_u)..... | 5 |
| Gambar 2.2 Grafik hubungan beban dan lendutan..... | 7 |
| Gambar 2.3 Diagram beban terhadap lendutan pada beton pengujian Anggarini, Hayati (2018)..... | 8 |
| Gambar 2.4 Grafik beban-lendutan pada beton pengujian..... | 10 |
| Gambar 2.5 Perilaku keruntuhan balok beton pengujian..... | 11 |
| Gambar 2.6 Perilaku keruntuhan balok beton pengujian..... | 12 |
| Gambar 2.7 Diagram hubungan regangan-tegangan uniaksial beton..... | 24 |
| Gambar 2.8 Pengertian μ dari daktilitas..... | 27 |
| Gambar 2.9 Keruntuhan geser balok (Wicaksono, Suryanita, & Djauhari, 2019)..... | 28 |
| Gambar 2.10 Pola retak lentur..... | 28 |
| Gambar 2.11 Pola retak miring..... | 29 |
| Gambar 2.12 Pola lentur reta..... | 29 |
| Gambar 2.13 Pola retak puntir..... | 29 |
| Gambar 2.14 Pola retak lekatan..... | 30 |
| Gambar 3.1 Potongan memanjang balok dengan sudut sengkang 50° | 33 |
| Gambar 3.2 Potongan melintang balok dengan sudut sengkang 50° | 33 |
| Gambar 3.3 Potongan memanjang balok dengan sudut sengkang 60° | 33 |
| Gambar 3.4 Potongan melintang balok dengan sudut sengkang 60° | 34 |
| Gambar 3.5 Potongan memanjang balok dengan sudut sengkang 70° | 34 |
| Gambar 3.6 Potongan melintang balok dengan sudut sengkang 70° | 34 |
| Gambar 3.7 Potongan memanjang balok dengan sudut sengkang 110° | 35 |
| Gambar 3.8 Potongan melintang balok dengan sudut sengkang 110° | 35 |
| Gambar 3.9 Potongan memanjang balok dengan sudut sengkang 120° | 35 |
| Gambar 3.10 Potongan melintang balok dengan sudut sengkang 120° | 35 |
| Gambar 3.11 Potongan memanjang balok dengan sudut sengkang 130° | 36 |
| Gambar 3.12 Potongan melintang balok dengan sudut sengkang 130° | 36 |
| Gambar 3.13 Diagram Alir Penelitian..... | 38 |
| Gambar 3.14 Diagram alir pemodelan <i>ATENA 3D</i> | 39 |
| Gambar 3.15 Input material <i>steel plates</i> | 40 |
| Gambar 3.16 Input material tulangan tarik..... | 41 |
| Gambar 3.17 Input tulangan tekan..... | 41 |
| Gambar 3.18 Input sengkang..... | 41 |
| Gambar 3.19 Input material <i>concrete</i> | 42 |
| Gambar 3.20 Geometri balok..... | 42 |
| Gambar 3.21 Edit grid..... | 43 |
| Gambar 3.22 Peletakan titik, <i>line</i> , dan <i>surface</i> | 43 |
| Gambar 3.23 Hasil setelah <i>extrude</i> dan penambahan material..... | 44 |
| Gambar 3.24 Pemodelan <i>steel plates</i> | 44 |
| Gambar 3.25 Hasil contacts antar <i>macroelements</i> | 45 |
| Gambar 3.26 <i>Edit grid reinforcement bars</i> | 45 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 3.27 | Penulangan balok beton..... | 46 |
| Gambar 3.28 | Tampak balok setelah di <i>FE Mesh</i> | 46 |
| Gambar 3.29 | Memasukkan load..... | 47 |
| Gambar 3.30 | Pemberian beban <i>prediscribed deformation</i> pada joint..... | 47 |
| Gambar 3.31 | Pemberian beban <i>support</i> pada <i>surface</i> | 48 |
| Gambar 3.32 | Pemberian beban <i>support</i> pada <i>joint</i> | 48 |
| Gambar 3.33 | Pembuatan parameter solusi..... | 48 |
| Gambar 3.34 | Penambah langkah analisis..... | 49 |
| Gambar 3.35 | Peletakan titik pantau <i>displacement</i> | 49 |
| Gambar 3.36 | Peletakan titik pantau <i>support</i> | 50 |
| Gambar 3.37 | Hasil setelah peletakan titik pantau..... | 50 |
| Gambar 3.38 | Tampilan sebelum <i>calculate</i> pada menu <i>run</i> | 51 |
| Gambar 3.39 | Hasil setelah <i>calculate</i> | 51 |
| Gambar 3.40 | <i>Setting</i> Grafik..... | 52 |
| Gambar 3.41 | Hasil running grafik defleksi terhadap beban..... | 52 |
| Gambar 4.1 | Grafik hubungan beban dengan lendutan pda balok 20 MPa..... | 56 |
| Gambar 4.2 | Grafik hubungan beban dengan lendutan pda balok 30 MPa..... | 57 |
| Gambar 4.3 | Grafik hubungan beban dengan lendutan pda balok 40 MPa..... | 58 |
| Gambar 4.4 | Grafik zona hubungan beban - lendutan..... | 59 |
| Gambar 4.5 | Hasil nilai kekakuan balok beton bertulang..... | 61 |
| Gambar 4.6 | Hasil nilai daktilitas balok beton bertulang..... | 63 |
| Gambar 4.7 | Pola retak balok dengan sudut 50° dengan mutu beton 20 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 64 |
| Gambar 4.8 | Pola retak balok dengan sudut 60° dengan mutu beton 20 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 65 |
| Gambar 4.9 | Pola retak balok dengan sudut 70° dengan mutu beton 20 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 66 |
| Gambar 4.10 | Pola retak balok dengan sudut 90° dengan mutu beton 20 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 67 |
| Gambar 4.11 | Pola retak balok dengan sudut 110° dengan mutu beton 20 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 68 |
| Gambar 4.12 | Pola retak balok dengan sudut 120° dengan mutu beton 20 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 69 |
| Gambar 4.13 | Pola retak balok dengan sudut 130° dengan mutu beton 20 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 70 |
| Gambar 4.14 | Pola retak balok dengan sudut 50° dengan mutu beton 30 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 71 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.15 Pola retak balok dengan sudut 60° dengan mutu beton 30 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 72 |
| Gambar 4.16 Pola retak balok dengan sudut 70° dengan mutu beton 30 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 73 |
| Gambar 4.17 Pola retak balok dengan sudut 90° dengan mutu beton 30 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 74 |
| Gambar 4.18 Pola retak balok dengan sudut 110° dengan mutu beton 30 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 75 |
| Gambar 4.19 Pola retak balok dengan sudut 120° dengan mutu beton 30 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 76 |
| Gambar 4.20 Pola retak balok dengan sudut 130° dengan mutu beton 30 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 77 |
| Gambar 4.21 Pola retak balok dengan sudut 50° dengan mutu beton 40 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 78 |
| Gambar 4.22 Pola retak balok dengan sudut 60° dengan mutu beton 40 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 79 |
| Gambar 4.23 Pola retak balok dengan sudut 70° dengan mutu beton 40 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 80 |
| Gambar 4.24 Pola retak balok dengan sudut 90° dengan mutu beton 40 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 81 |
| Gambar 4.25 Pola retak balok dengan sudut 110° dengan mutu beton 40 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 82 |
| Gambar 4.26 Pola retak balok dengan sudut 120° dengan mutu beton 40 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 83 |
| Gambar 4.27 Pola retak balok dengan sudut 130° dengan mutu beton 40 MPa (a) Pola retak pada kondisi awal (b) Pola retak pada kondisi leleh (c) Pola retak pada kondisi beban maksimum..... | 84 |

DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|----|
| Lampiran 1 <i>Load-Deflection</i> balok beton dengan mutu 20 MPa..... | 88 |
| Lampiran 2 <i>Load-Deflection</i> balok beton dengan mutu 30 MPa..... | 90 |
| Lampiran 3 <i>Load-Deflection</i> balok beton dengan mutu 40 MPa..... | 92 |

DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG

| Simbol | Dimensi | Keterangan |
|----------|---------|-------------------------------|
| f_c | MPa | Kuat tekan beton |
| f'_c | MPa | Kuat tekan rencana beton |
| μ | mm | Faktor perpindahan daktilitas |
| f_y | MPa | Tegangan leleh baja |
| δ | mm | Lendutan |
| W | kN | Beban |
| a | mm | Jarak dari tumpuan ke beban |
| E | MPa | Modulus elastisitas |
| I | mm | Momen inersia |

DAFTAR SINGKATAN

1. BU : Benda Uji
2. BU1 : Benda Uji Tipe 1
3. BU2 : Benda Uji Tipe 2
4. T : Balok Penampang T
5. P : Balok Penampang Persegi
6. BjTP : Baja Tulangan Polos
7. BjTS : Baja Tulangan Sirip

DAFTAR ISTILAH

1. **Beton**
Suatu bahan komposit (campuran) dari beberapa material yang bahan utamanya terdiri dari campuran antara semen, agregat halus, agregat kasar, air dan atau tanpa bahan tambah lain dengan perbandingan tertentu
2. **Baja Tulangan**
Baja paduan yang berbentuk batang berpenampang bundar dengan permukaan polos atau sirip/ulir dan digunakan untuk penulangan beton
3. **Balok**
Struktur melintang yang memiliki fungsi sebagai penyalur gaya menuju kolom
4. **Daktilitas**
Kemampuan suatu struktur mengalami lendutan yang cukup besar diakibatkan oleh tercapainya beban maksimal sebelum keruntuhan terjadi
5. **Lendutan**
Perilaku melendut balok akibat beban yang bekerja pada struktur
6. **Kekakuan**
Sudut kemiringan dari hubungan antara beban dan lendutan
7. **Retak lentur**
Retak dengan arah vertikal dengan mengarah keatas dari sisi tarik sampai dengan sumbu netral balok
8. **Retak miring**
Retak yang terjadi diakibatkan beban geser pada struktur balok
9. **Lentur retak**
Perpaduan antara retak geser dan retak lentur
10. **Retak puntir**
Retak melingkar yang disebabkan oleh tegangan puntir yang terjadi pada struktur balok
11. **Retak lekatan**
Retakan antara beton dengan tulangan akibat tegangan lekatan
12. **ATENA 3D**
Program komputer yang berbasis elemen hingga yang digunakan untuk analisis permasalahan yang terjadi pada struktur beton