

TUGAS AKHIR

**PERILAKU PEMODELAN BETON BERKARAT
MENGUNAKAN *SOFTWARE ATENA 3D***

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



Andri Nugroho

20160110008

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

2020

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

APPROVAL SHEET

Judul : Perilaku Pemodelan Beton Berkarat Menggunakan
*Title Software Atena 3D
Behavior Modeling of Concrete Corrosion using Software
Atena 3D*

Mahasiswa : Andri Nugroho

Student

Nomor Mahasiswa : 20160110008

Student ID.

Dosen Pembimbing : 1. Ahmad Zaki, S.T., M.Sc., Ph.D

Advisors

Telah disetujui oleh Tim Penguji :

Approved by the Committee on Oral Examination

Ahmad Zaki, S.T., M.Sc., Ph.D

Ketua Tim Penguji

Chair

Dr. Seplika Yadi, S.T., M.T.

Anggota Tim Penguji

Member

Diterima dan disetujui sebagai persyaratan untuk memenuhi gelar Sarjana Teknik

*Accepted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Bachelor of
Engineering*

Yogyakarta, ...24... Juli..... 2020

Yogyakarta, ...24... Juli..... 2020

Ketua Program Studi

Head of Department

Puji Harsanto, S.T., M.T., Ph.D

NIK. 19740607 201404 123 064

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andri Nugroho
NIM : 20160110008
Judul : Perilaku Pemodelan Beton Berkarat Menggunakan
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



(Andri Nugroho)

HALAMAN PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Andri Nugroho


NIM : 20160110008

Judul : Perilaku Pemodelan Beton Berkarat Menggunakan *Software*
Atena 3D

Menyatakan bahwa tugas akhir ini merupakan bagian dari penelitian payung dosen pembimbing yang berjudul Perilaku ikatan (*bond*) pada beton ringan yang berkarat dan didanai melalui skema hibah penelitian internal pada tahun 2020 oleh Lembaga Penelitian, Publikasi dan Pengabdian Masyarakat UMY Tahun Anggaran 2020 dengan nomor hibah 034/PEN-Lp3m/I/2020

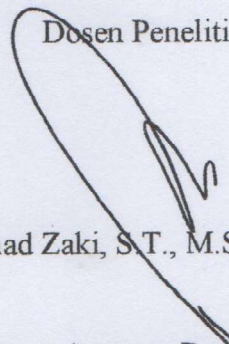
Yogyakarta, Juli 2020

Penulis,



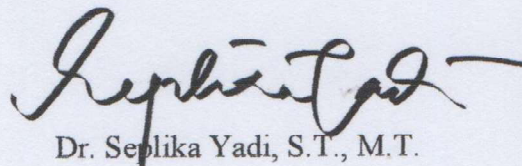
Andri Nugroho

Dosen Peneliti,



Ahmad Zaki, S.T., M.Sc., Ph.D

Dosen Anggota Peneliti 1,



Dr. Seplika Yadi, S.T., M.T.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tugas akhir ini dipersembahkan untuk kedua orang tuaku dan seluruh saudaraku yang selalu memberi doa, semangat dan dukungan baik moral maupun materi demi keberhasilan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini dipersembahkan juga kepada Bapak Ahmad Zaki, S.T., M.Sc., Ph.D. Dosen pembimbing yang dengan tulus, ikhlas dan sabsr meluangkan waktunya untuk membimbing saya yang sedang dalam proses menyelesaikan tugas akhir ini.

Tugas akhir ini dipersembahkan juga kepada Bapak Dr. Seplika Yadi, S.T., M.T. Dosen penguji yang telah banyak memberikan masukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi agama, bangsa, dan negaraku

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. 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. Puji Harsanto, ST., MT., Ph.D, selaku ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Ahmad Zaki, ST, M.Sc, Ph.D, selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Dr. Seplika Yadi, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah banyak memberikan msduksn dan saran kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Teman-teman mahasiswa/i Teknik Sipil 2016 A yang telah menemani dan bersama-sama mencari ilmu di kampus muda mendunia ini.

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, 22 Juli 2020

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG.....	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xviii
DAFTAR ISTILAH	xix
ABSTRAK.....	xxi
ABSTRACT.....	xxii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Lingkup Penelitian	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	5
2.1 Pendahuluan	5
2.1.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2.1 Perbedaan penelitian	24
2.2 Landasan Teori.....	27
2.2.1 Beton	27
2.2.2 Beton Bertulang	29
2.2.3 Modulus Elastisitas Beton.....	29
2.2.4 Daktilitas Beton.....	30
2.2.5 Kuat Tekan Beton	31
2.2.6 Kuat Tarik Beton.....	32
2.2.7 Kuat Lentur Beton.....	33

2.2.8	Keruntuhan Pada Balok.....	34
2.2.9	Pola Retak Beton Bertulang.....	35
2.2.10	Tulangan.....	37
2.2.11	Korosi Tulangan pada Beton Bertulang.....	38
2.2.12	Kuat ikatan <i>Bigaj 1999</i>	41
2.2.13	Metode Elemen Hingga.....	43
2.2.14	<i>Atena 3D</i>	43
BAB III. METODE PENELITIAN.....		46
3.1.	Pendahuluan	46
3.2.	Alur Penelitian.....	47
3.3.	Pengujian Eksperimen.....	49
3.3.1	Pembuatan Sampel Beton	49
3.3.2	Pengkorosian Tulangan.....	50
3.3.3	Pengujian Sifat Beton.....	50
3.4.	Simulasi Balok menggunakan <i>Software Atena 3D</i>	51
3.4.1	Membuka <i>Software Atena 3D</i>	51
3.4.2	<i>Pre-Processor</i>	51
3.4.3	<i>Topology</i>	55
3.4.4	<i>Loading</i>	67
3.4.5	<i>FE Mesh</i>	69
3.4.6	<i>Setting Run</i>	70
3.4.7	<i>Running</i>	73
3.4.8	<i>Post-Processor</i>	75
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		77
4.1	Pendahuluan	77
4.2	Hasil Grafik Beban-Perpindahan Beton	78
4.2.1	Grafik Beban-Perpindahan Eksperimen.....	78
4.2.2	Grafik Beban-Perpindahan <i>Atena 3D loss cross section Bigaj 1999</i>	78
4.2.3	Grafik Beban-Perpindahan <i>Atena 3D</i> dengan <i>Perfect Bond</i>	81
4.2.4	Perbandingan Grafik Beban-Perpindahan Eksperimen dan <i>Atena 3D</i>	83
4.2.5	Hasil dan Perbandingan Pola Retak Beton Eksperimen- <i>Atena 3D</i>	88

BAB V. KESIMPULAN..... 92

 5.1 Kesimpulan..... 92

 5.2 Saran..... 93

DAFTAR PUSTAKA 94

LAMPIRAN..... 97

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Sampel benda uji (El Maaddawy dkk. 2005).....	6
Tabel 2.2 <i>Models considered for description of corrosion of Reinforcement</i> (Devi dkk., 2017)	9
Tabel 2.3 Hasil tes tekan (Yadav dkk. 2019).....	19
Tabel 2.4 Perbedaan penelitian	24
Tabel 2.5 sifat mekanis baja struktural SNI 03-1729-2002 BSN (2002a)	38
Tabel 2.6 Keadaan korosi tulangan berdasarkan nilai pH (Ahmad, 2003)	40
Tabel 2. 7 Parameter untuk menentukan hubungan ikatan <i>strength-slip</i>	42

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kurfa beban-defleksi CN-50 experiment vs FEA (Jnaid dan Aboutaha, 2016).....	6
Gambar 2.2 Kurfa beban-defleksi CN-110 experiment vs FEA (Jnaid dan Aboutaha, 2016).....	7
Gambar 2.3 Kurfa beban-defleksi CN-210 experiment vs FEA (Jnaid dan Aboutaha, 2016).....	7
Gambar 2.4 Kurfa beban-defleksi CN-310 experiment vs FEA (Jnaid dan Aboutaha, 2016).....	8
Gambar 2.5 Grafik perbandingan Beban-Perpindahan dengan tingkat korosi 0% (Devi dkk., 2017)	10
Gambar 2.6 Grafik perbandingan Beban-Perpindahan dengan tingkat korosi 10% (Devi dkk., 2017)	10
Gambar 2.7 Grafik perbandingan Beban-Perpindahan dengan tingkat korosi 25% (Devi dkk., 2017)	11
Gambar 2.8 Grafik perbandingan Beban-Perpindahan dengan tingkat korosi 30% (Devi dkk., 2017)	11
Gambar 2.9 Grafik perbandingan eksperimen dan elemen hingga Balok I-1 (Lim dkk., 2016)Lim dkk. (2016).....	13
Gambar 2.10 Grafik perbandingan eksperimen dan elemen hingga Balok II-1 1 (Lim dkk., 2016)	13
Gambar 2.11 Grafik perbandingan eksperimen dan elemen hingga Balok II-2 1 (Lim dkk., 2016)	14
Gambar 2.12 Grafik perbandingan eksperimen dan elemen hingga Balok III-1 1 (Lim dkk., 2016)	14
Gambar 2.13 Grafik perbandingan eksperimen dan elemen hingga Balok III-2 1 (Lim dkk., 2016)	15
Gambar 2.14 Grafik perbandingan kuat geser-defleksi eksperimen dan analisis elemen hingga (Huang dkk., 2020).....	16
Gambar 2.15 Grafik perbandingan Beban-Perpindahan (Biswas dkk. 2020).....	17
Gambar 2.16 Grafik peerbandingan eksperimen dan analisis (Bha dkk. 2017)....	18
Gambar 2.17 Grafik Beban-Perpindahan model 1 (BaniAsad dan Dehestani, 2019)	20
Gambar 2.18 Grafik Beban-Perpindahan model 1 (BaniAsad dan Dehestani, 2019)	21
Gambar 2.19 Perbandingan Beban-Perpindahan (Pandit dan Venkataramana 2019)	22

Gambar 2.20 Grafik Beban-Perpindahan eksperimen dan simulasi (Njeem dkk. 2019)	23
Gambar 2.21 Diagram tegangan regangan beton.....	27
Gambar 2. 22 Diagram beban-lendutan pada struktur (Ujiyanto, 2006) (Ujiyanto (2006)).....	30
Gambar 2.23 pengujian kuat tekan beton.....	31
Gambar 2.24 Pengujian kuat lentur balok.....	34
Gambar 2.25 Tiga jenis keruntuhan pada Balok.....	35
Gambar 2.26 Pola retak lentur	36
Gambar 2.27 Pola retak geser	36
Gambar 2.28 Pola lentur retak	37
Gambar 2.29 Pola retak puntir	37
Gambar 2.30 Pola retak lekatan	37
Gambar 2.31 Diagram tegangan regangan baja	38
Gambar 2.32 Proses kerusakan beton akibat korosi Neville (1996).....	39
Gambar 2.33 Mekanisme terjadinya korosi pada beton (Ahmad, 2003).....	41
Gambar 2. 34 Hukum kuat ikatan <i>Bigaj 1999</i> (Jendele dan Cervenka (2006)	41
Gambar 2.35 Asumsi ikatan tulangan sempurna.....	43
Gambar 2.36 Tampilan <i>software Atena 3D</i>	45
Gambar 3.1 Mekanisme pengujian tekan satu titik benda uji	47
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i>	48
Gambar 3.3 Pengecoran benda uji (Ahmad Zaki, 2018).....	49
Gambar 3.4 Eksperimen pengkorosian tulangan baja (Ahmad Zaki, 2018).....	50
Gambar 3.5 Mesin uji universal (INSTRON <i>Satec Series 100 kN</i>).....	51
Gambar 3.6 Tampilan awal <i>Atena 3D v5</i>	51
Gambar 3.7 Tampilan <i>Global Structural Parameter</i>	52
Gambar 3.8 Material beton <i>Atena 3D</i>	53
Gambar 3.9 Material pelat baja <i>Atena 3D</i>	53
Gambar 3.10 Material tulangan <i>Atena 3D</i>	54
Gambar 3.11 <i>Input data Bond for Reinforcement Bigaj 1999</i>	55
Gambar 3.12 Tampilan <i>Add</i> di jendela kerja <i>Macroelement</i>	56
Gambar 3.13 Memasukan data-data penampang balok.	56
Gambar 3.14 Memasukan material balok.	57
Gambar 3.15 Tampilan <i>Add</i> di jendela kerja <i>Macroelement 2</i>	58

Gambar 3.16 Tampilan jendela kerja <i>Edit Grid</i>	58
Gambar 3.17 Tampilan <i>grid</i> pada jendela kerja <i>Macroelement</i>	59
Gambar 3.18 Membuat <i>joint</i> pelat baja.....	59
Gambar 3.19 Membuat <i>lines</i> pelat baja.....	60
Gambar 3.20 Membuat permukaan pelat baja	60
Gambar 3.21 Membuat penampang pelat baja menjadi bangun ruang	61
Gambar 3.22 Menambahkan material pelat baja.....	61
Gambar 3.23 Menduplikasi pelat baja	62
Gambar 3.24 Tampilan jendela kerja <i>reinforcement bar</i>	63
Gambar 3.25 Tampilan jendela kerja <i>Edit grid</i>	63
Gambar 3.26 Tampilan setelah mengaktifkan <i>grid</i>	64
Gambar 3.27 Membuat ujung tulangan dengan <i>joints</i>	64
Gambar 3.28 Menghubungkan <i>joints</i> dengan <i>segment</i>	65
Gambar 3.29 Menambahkan material tulangan.	65
Gambar 3.30 Menduplikasi tulangan.	66
Gambar 3.31 <i>Input material Bond Reinforcement Bigaj 1999</i>	66
Gambar 3.32 Menambahkan jenis <i>load cases</i>	67
Gambar 3.33 Menambahkan reaksi perletakan pada pelat baja.....	67
Gambar 3.34 Menambahkan beban deformasi pada benda uji	68
Gambar 3.35 Menambahkan beban deformasi pada balok	68
Gambar 3.36 Tampilan balok setelah diberi pembebanan	69
Gambar 3.37 Menambahkan <i>FE Mesh</i> pada <i>Macroelement</i>	69
Gambar 3.38 menambahkan <i>FE Mesh</i> ke semua <i>Macroelement</i>	70
Gambar 3.39 Mengatur <i>solution parameter</i> baru.....	70
Gambar 3.40 Tampilan <i>editing of analysis steps</i>	71
Gambar 3.41 Tampilan setelah memasukan <i>analysis steps</i>	71
Gambar 3.42 Menambahkan <i>monitoring points displacements</i>	72
Gambar 3.43 Menambahkan <i>monitoring points reaction</i>	73
Gambar 3.44 Tampilan setelah diberi <i>monitoring points</i>	73
Gambar 3.45 Proses <i>running</i>	74
Gambar 3.46 memunculkan grafik hubungan antara <i>reaction</i> dan <i>displacement</i> .	74
Gambar 3.47 Tampilan grafik beban-defleksi	75
Gambar 3.48 Tampilan pola retak.....	76
Gambar 3.49 Tampilan tegangan pada tulangan.....	76

Gambar 4.1 Detail dimensi dan penulangan spesimen balok	77
Gambar 4.2 Grafik Beban-Perpindahan eksperimen (Ahmad Zaki, 2018).....	78
Gambar 4.3 Grafik Beban-Perpindahan <i>Atena 3D</i> dengan <i>loss cross section Bigaj 1999</i>	79
Gambar 4.4 Grafik penjelasan hubungan tegangan-regangan baja pada beton model <i>bond Bigaj 1999</i> (a) Grafik Beban-Perpindahan (b) retak pertama (c) retak menjalar (d) tulangan meleleh	80
Gambar 4.5 Grafik Beban-Perpindahan <i>Atena 3D</i> dengan <i>Perfect bond</i>	81
Gambar 4.6 Grafik penjelasan hubungan tegangan-regangan baja pada beton model <i>Perfect bond</i> (a) Grafik Beban-Perpindahan (b) retak pertama (c) retak menjalar (d) tulangan meleleh	82
Gambar 4.7 Grafik perbandingan Beban-Perpindahan eksperimen dan <i>Atena 3D</i> (a) S0-B0-P0, (b) S10-B10-P10, (c) S02-B20-P20, (d) S30-B30-P30, (e) S38-B38-P38 dan (f) S50-B50-P50	85
Gambar 4.8 Grafik <i>load capacity</i> benda uji dengan <i>bond Bigaj 1999</i>	88
Gambar 4.9 Pola retak (a) benda uji S0, (b) benda uji B0 dan (c) benda uji P0...	89
Gambar 4.10 Pola retak (a) benda uji S10, (b) benda uji B10 dan (c) benda uji P10	89
Gambar 4.11 Pola retak (a) benda uji S20, (b) benda uji B20 dan (c) benda uji P20	90
Gambar 4.12 Pola retak (a) benda uji S30, (b) benda uji B30 dan (c) benda uji P30	90
Gambar 4.13 Pola retak (a) benda uji S38, (b) benda uji B38 dan (c) benda uji P38	91
Gambar 4.14 Pola retak (a) benda uji S50, (b) benda uji B50 dan (c) benda uji P50	91

DAFTAR LAMPIRAN

1. Lampiran 1 Grafik Beban-Perpindahan B0 *Atena 3D*
2. Lampiran 2 Grafik Beban-Perpindahan B10 *Atena 3D*
3. Lampiran 3 Grafik Beban-Perpindahan B20 *Atena 3D*
4. Lampiran 4 Grafik Beban-Perpindahan B30 *Atena 3D*
5. Lampiran 5 Grafik Beban-Perpindahan B38 *Atena 3D*
6. Lampiran 6 Grafik Beban-Perpindahan B50 *Atena 3D*
7. Lampiran 7 Grafik Beban-Perpindahan P0 *Atena 3D*
8. Lampiran 8 Grafik Beban-Perpindahan PB10 *Atena 3D*
9. Lampiran 9 Grafik Beban-Perpindahan P20 *Atena 3D*
10. Lampiran 10 Grafik Beban-Perpindahan P30 *Atena 3D*
11. Lampiran 11 Grafik Beban-Perpindahan P38 *Atena 3D*
12. Lampiran 12 Grafik Beban-Perpindahan P50 *Atena 3D*

DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG

Simbol	Dimensi	Keterangan
A	$[L^2]$	Luas Penampang
b	$[L]$	Lebar penampang
D	$[L]$	Diameter tulangan ulir
d	$[L]$	Tinggi penampang
f_c'	$[M] [L^{-1}] [T^{-2}]$	Kuat tekan beton yang diisyaratkan, MPa
f_u	$[M] [L^{-1}] [T^{-2}]$	Tegangan ultimate tulangan, MPa
f_y	$[M] [L^{-1}] [T^{-2}]$	Tegangan leleh tulangan, MPa
L	$[L]$	Panjang lengan
P	$[M] [L] [T^{-2}]$	Beban Aksial, kN
E_c	$[M] [L^{-1}] [T^{-2}]$	Modulus elastisitas beton, MPa
E_s	$[M] [L^{-1}] [T^{-2}]$	Modulus elastisitas baja, MPa
f_{sp}	$[M] [L^{-1}] [T^{-2}]$	Kuat tarik belah, MPa
f_r	$[M] [L^{-1}] [T^{-2}]$	Kuat lentur beton, MPa
λ	$[-]$	Satuan faktor beton ringan
\emptyset	$[L]$	Diameter

DAFTAR SINGKATAN

2D	: 2 Dimensi
3D	: 3 Dimensi
<i>ASTM</i>	: <i>American Standard Testing and Material</i>
BS	: <i>British Standards</i>
BSN	: Badan Standarisasi Nasional
CaOH ²	: Kalsium Hidroksida
DC	: <i>Direct Current</i>
<i>Fe</i>	: Unsur kimia besi
<i>FEA</i>	: <i>Finite Element Analysis</i>
<i>FEM</i>	: <i>Finite Element Method</i>
Kg	: Kilogram
kN	: Kilo Newton
m	: meter
mm	: milimeter
MPa	: Megapascal
NaCl	: Natrium klorida / Garam
pH	: <i>Power of Hydrogen</i>
w/c	: <i>water cement ratio</i>

DAFTAR ISTILAH

1. Additive
Zat kimia untuk meningkatkan kualitas beton pada semen.
2. Admixture
Zat kimia untuk mengubah sifat-sifat beton sesuai supaya cepat mengeras atau tidak.
3. Agregat halus
Butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran mortar dalam beton.
4. Agregat kasar
Material yang komposisinya paling banyak pada beton yang berupa batuan pecah atau split.
5. Batas leleh
Batad dimana tulangan sudah mencapai puncak leleh tetapi masih dapat meregang.
6. Beban *ultimate*
Beban paling tinggi yang didapat melalui grafik
7. Begesting
Tempat atau cetakan yang digunakan untuk membuat beton bertulang bersifat sementara dapat dipindah jika pembuatan beton selesai.
8. Beton
Bahan utama bangunan konstruksi yang terdiri dari campuran semen, agregat kasar, agregat halus dan air.
9. Beton bertulang
Beton yang didalamnya ditambahkan minimal satu tulangan baja untuk memperkuat dan menahan gaya tarik.
10. Beton normal
Beton dengan komposisi semen, agregat kasar, agregat halus dan air dengan berat isi 2200 kg/m³ – 2500 kg/m³
11. Daktilitas
kekakuan pada sebuah struktur beton bertulang berguna untuk menjaga kestabilan dari suatu struktur.
12. Defleksi
Penyimpangan atau perubahan posisi pada balok yang diakibatkan oleh gaya dan pembebanan di atas struktur.
13. Elektrokimia
Reaksi kimia yang terjadi pada beton.
14. FE mesh
Fungsi dari *software Atena 3D* agar balok beton dapat diatur memiliki bentuk elemen persegi atau brick.
15. *Flowchart*
Bagan dengan simbol tertentu untuk menyelesaikan masalah dengan terstruktur.
16. Hidrasi
Pengabungan semen dengan air.

17. Korosi
Proses perusakan tulangan baja akibat berinteraksi dengan lingkungan luar.
18. Kuat lekat
Kekuatan ikatan antara beton dengan tulangan baja.
19. Kuat lentur
Kapasitas beton bertulang dalam menahan beban aksial
20. Kuat tarik
Kapasitas beton bertulang dalam menahan gaya tarik
21. Kuat tarik belah
Kapasitas beton bertulang dalam menahan gaya tekan dengan posisi benda uji tertidur.
22. Kuat tekan
Besarnya nilai beban per satuan luas dan menyebabkan benda uji hancur.
23. Loading
Fungsi dari *software Atena 3D* untuk membuat pembebanan.
24. *Macroelement*
Fungsi dari *software Atena 3D* untuk membuat geometri benda uji.
25. Modulus elastisitas
Perbandingan antara tegangan gaya yang menyebabkan deformasi dengan regangan yang disebabkan oleh deformasi
26. Regangan
Deformasi atau perubahan posisi dari balok yang disebabkan adanya tegangan.
27. Reinforcement bars
Fungsi dari *software Atena 3D* untuk membuat tulangan baja.
28. Retak geser
Retak yang diakibatkan oleh beban geser.
29. Retak lekatan
Retak yang terjadi akibat hilangnya lekatan antara tulangan baja dengan beton.
30. Retak lentur
Retak yang diakibatkan oleh beban aksial di atas beton.
31. Retak puntir
Retak yang diakibatkan oleh momen torsi.
32. Run
Fungsi dari *software Atena 3D* untuk memulai analisis elemen hingga
33. Semen hidrolis
Semen yang menggunakan air untuk memulai reaksi kimianya.
34. Sengkang
Tulangan untuk menahan gaya geser.
35. Tegangan
Besarnya gaya yang mengakibatkan regangan.
36. Tulangan Tarik
Tulangan yang berfungsi untuk menahan gaya tarik pada beton.
37. Tulangan Tekan
Tulangan yang berfungsi untuk menahan gaya tekan pada beton.