

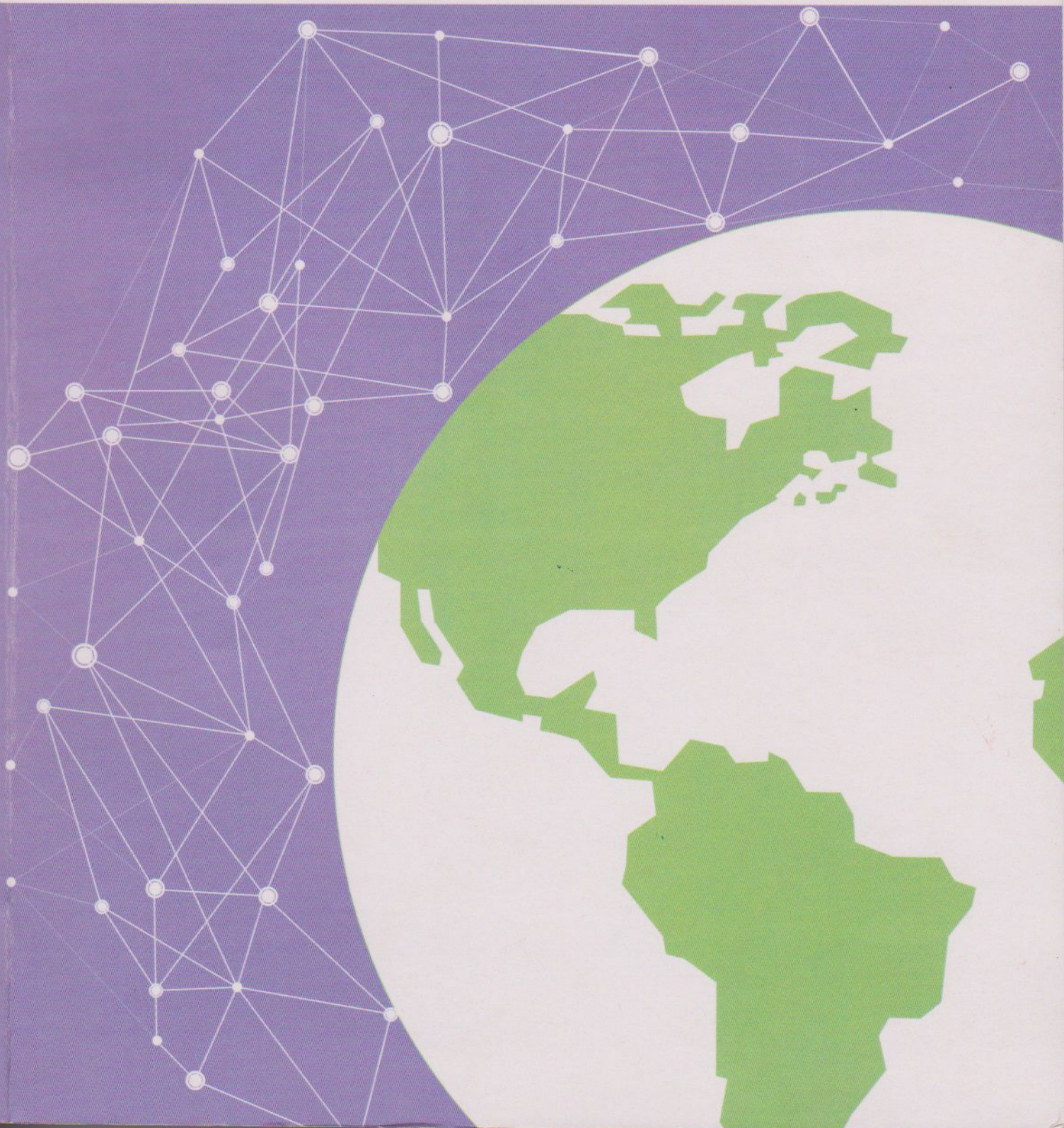
*Earthing Knowledge,  
Strengthening  
Connectivity*

Faculty of Social and Political Science  
Hasanuddin University  
Makassar, Indonesia



# Proceeding of CMR2016

INTERNATIONAL CONFERENCE ON  
MULTIDISCIPLINARY RESEARCH



**PROCEEDING OF INTERNATIONAL  
CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY RESEARCH  
2016**

**THEME CONFERENCE:  
EARTHING KNOWLEDGE STRENGTHENING CONNECTIVITY**

**Editor  
Muhammad Nasir Badu**

Fakulty of Social and Political Science  
Hasanuddin University  
Makassar, Indonesia

**PROCEEDING OF INTERNATIONAL CONFERENCE ON MULTIDISCIPLINARY  
RESEARCH 2016**

**EDITOR  
MUHAMMAD NASIR BADU**

**LAYOUTER  
AINUN JARIAH YUSUF**

**PUBLISHED  
DE LA MACCA**

**ISBN 978 602 99771 1 0**

**PUBLISHED BY  
Fakulty of Social and Political Science  
Hasanuddin University**



## OPENING REMARKS

### RECTOR OF HASANUDDIN UNIVERSITY

As a part of International Conference on Multidisciplinary Research 2016, I am pleased to welcome all presenters and participants from different regions and countries to the conference, in Makassar, Indonesia.

It is also an honor for me to welcome representatives from our consortium partners as well as experts from natural and social sciences to this conference to engage with all of us in open and constructive dialogue.

By designing a theme “Earthing Knowledge, Strengthening Connectivity” for this conference, the ICMR 2016 Organizing Committee is committed to actively raising the quality of scientific knowledge and the importance of strengthened connectivity among academics around the globe. Therefore, I also would like to thank and congratulate the ICMR2016 Organizing Committee that have worked hard since the last year to prepare this outstanding conference.

The ICMR 2016, which is a series of celebration for 60 years of Unhas, is expected to be a great success and further to strengthen ICMR as an excellent dynamic platform for the exchange of knowledge and science to face emerging challenges in our specialist fields.

The last, I would like to thank for all support and participation of highly respected and internationally renowned keynote speakers that have made the ICMR 2016 a record-breaking conference.

**Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA.**

Rector Universitas Hasanuddin

## DAFTAR ISI

### II. BIO-SCIENCES, SCIENCE ENGINEERING

***PRELIMINARY STUDY OF HYPOTHETAMUS HAMPEI IN DAIRI,  
NORTH OF SUMATRA, INDONESIA***

Ameilia Zuliyanti Siregar 533-538

***ROLES OF ASYSTASIA GANGETICA (L.) T. ANDERSON AS  
COVER CROP ON MATURE OIL PALM PLANTATION***

Yenni Asbur, Sudirman Yahya, Kukuh Murtilaksono,  
Sudradjat, and Edy Sigit Sutarta 539-543

***ANATOMY IDENTIFICATION OF CLONES BPM 1 AND PB 260***

Yayuk Purwaningrum, JA Napitupulu, Chairani Hanum, THS Siregar 545-549

***ROLES OF ZPT NAA<sup>+</sup> AND OLEOCHEMICAL  
ON SKIN RECOVERY OF CLONE PB 260***

Murni Sari Rahayu, Luthfi A.M. Siregar, Edison Purba, Radite Tistama 551-563

***GAMBARAN TINGKAT KEPATUHAN IBU HAMIL TERHADAP  
KONSUMSI TABLET ZAT BESI SELAMA KEHAMILAN  
DI RUMAH SAKIT IBU DAN ANAK BADRUL AINI***

Suci Pramadhani Nasution, Irmayanti Rangkuti, Bania Maulina 565-578

***KNOWLEDGE MANAGEMENT SYSTEM MODELLING  
FOR VOCATIONAL TRAINING SERVICE CASE STUDY:  
VOCATIONAL TRAINING DEVELOPMENT CENTER  
OF BANDUNG INDONESIA***

Dimas Ari Prasetyo dan Bambang Pharmasetiawan 579-590

***SOIL AND WATER CONSERVATION TECHNIQUES  
FOR SUSTAINABLE AGRICULTURE PRODUCTIVITY***

Dedi kusbiantoro dan Yenni Asbur 591-594

***THE POTENTIAL OF YOUNG COFFEE (ROBUSTA.SPP)  
LEAVES AS HERBAL TEA***

Mansor Abd Hamid, Mohd Fairuz Johari, Chow Kai Xin,  
Hasmadi Mamat & Mariam Abdul Latif 595-601

***FINANCIAL ANALYSIS OF FISHING BOAT RENTAL BUSINESS  
AT KENYAMUKAN HAMLET, DISTRICT OF NORTH SANGATTA,  
REGENCY OF EAST KUTAI***

Rosdianto 603-614

***TWO-DIMENSIONAL GEL ELECTROPHORESIS ANALYSIS OF  
PROTEIN EXTRACTED FROM THE MAJOR DIFFERENT  
MORPHOLOGICAL PARTS OF KAPPAPHYCUS ALVAREZII***

Fisal Ahmad, Mohd Rosni Sulaiman, Azwan Awang, Mohd Nazri Ismail,  
Chye Fook Yee, and Patricia Matanjun 615-624

<b><i>SAFETY FACTOR ANOMALI OF NATURAL SLOPE AMONG RAINFALL FLUCTUATION AROUND JATIGEDE DAM, WEST JAVA INDONESIA</i></b> Diemas Purnama and Muhammad Firman Pratama	625-636
<b><i>PERTUMBUHAN DAN PRODUKSI KEDELAI (<i>Glycine max</i> (L.) Merrill) PADA BERBAGAI DOSIS PEMUPUKAN DI BAWAH TEGAKAN MINDI (<i>Melia azedarach</i>)</i></b> Muhammad Rizwan, Abdul Rauf, Rahmawaty, Erwin Nyak Akub	637-643
<b><i>PENILAIAN KINERJA DOKTER RSU SWASTA SE KOTA MEDAN</i></b> Arifah Mardiana Lubis, S. Psi., M.Psi. dan Puteri Citra Cinta Asyura Nasution, SKM, MPH	645-653
<b><i>ISOLATION AND IDENTIFICATION OF THE TOXIC PRINCIPLE FROM SARAWAK YELLOW PUFFER FISH, <i>Xenopterus naritus</i></i></b> Mohd Nor Azman Ayub, Samsur Mohamad, Mohammed Mohidin, Zainab Ngaini and Asyilla Nordin	655-662
<b><i>CHARACTERIZATION AND CLUSTERING OF SWEET POTATOES (<i>IPOMOEA BATATAS</i> L.) IN NORTH SUMATERA</i></b> Eini Sulistiani and Dini Mufriah	663-668
<b><i>SEAWEEDS AS THICKENING AGENT, BINDING AGENT AND POTENTIAL NUTRIENTS SOURCE FOR REARED AQUATIC ANIMAL FEEDS</i></b> Edison Saade	669-674
<b><i>THE CONNECTION BETWEEN LAND USE CHANGE PROCESS AND STREET VENDOR PREFERENCES WHILE CHOOSING A TRADE LOCATION: A Case Study at Pekanbaru City, Indonesia</i></b> Zaffis Zaim and Kiki Nurjanah	675-694
<b><i>HEALTH SERVICES IN MAMUJU HOSPITAL Study of Accountability in Facilities and Infrastructure; Services Strategy; and Bureaucracy</i></b> Muhammad Masdar; Andi Asrina; Rasyidah Zainuddin; Harifuddin Halim; A.M.Firmansyah Adhariawan MD;	695-704
<b><i>KEMANDIRIAN DAN TUMBESARAN KARANG KERAS (<i>Favites pentagona</i>) PULAU SONGSONG KEDAH SECARA EX-SITU.</i></b> Anita Talib and Dzulfikkar Baitul Ma'mur	705-711
<b><i>INFLUENCE OF JOB SATISFACTION ON AFFECTIVE COMMITMENT AMONG BANK EMPLOYEES</i></b> Muhammad Hasmi Abu Hassan Asaari and Noor Awatis Anuar	713-717
<b><i>TUMBUHAN UBATAN DI MUKIM BUJANG, KEDAH DAN MUKIM LENGGONG, PERAK YANG DIGUNA UNTUK PENYAKIT DARAH TINGGI DAN DIABETES</i></b> Zuraini Zakaria dan Ziyad Rafiqi Mohammad Asri	719-726

- PENGARUH SUHU DAN LAMA FERMENTASI TERHADAP PEMBENTUKAN FLAVOR ALAMI BERBAHAN BAKU IKAN GABUS (*Channa striatus*)**  
Waode Nova Sulistiani, Aguswinarto, Sitti Rahmawati, Tamrin 727-733
- STUDI EKSPERIMENTAL PERILAKU MOMEN-KURVATUR BALOK BETON MUTU TINGGI**  
Sartika Dewi Usman 735-744
- ISOLATION CELLULOLYTIC BACTERIA DEGRADATION OF EMPTY FRUIT BUNCH OF OIL PALM IN PEATLAND**  
Hapsoh, Wawan, Isna Rahma Dini dan Maidia Daspina 745-751
- KARAKTERISASI FISILOGI DAN DAYA HAMBAT JAMUR ENDOFIT DARI TANAMAN KARET (*Hevea brasiliensis*) KLON BPM1 KEBUN HAPESONG**  
Syamsafitri, Darma Bakti Nasution, Lisnawita, Radite Tistama 753-758
- EFFECT OF ASCORBIC ACID TO OVERCOME THE FATIGUE PHYSIOLOGICAL ON RUBBER PLANT (Hevea brasiliensis MUELL. ARG) ON CLONES PB 260 AND IRR 42***  
(Pengaruh Asam Askorbat Untuk Mengatasi Kelelahan Fisiologis Pada Tanaman Karet (*Hevea Brasiliensis* Muell. Arg) Pada Klon PB 260 Dan IRR 42)  
Ade Fipriani Lubis, Rosmayati, Revandi Iskandar Muda, Radite Tistama 759-766
- EFFECT OF MICROBES PHOSPHATE SOLUBILIZING AND ORGANIC MATTER TO INCREASE THE PHOSPHATE AVAILABLE ON ANDISOL IMPACTED BY MOUNT SINABUNG ERUPTION, NORTH SUMATERA**  
Mariani Sembiring, Hardy Gucy and Jamilah 767-771
- LAND SUITABILITY EVALUATION FOR PADDY, CORN AND SOYBEAN IN BINANGALOM WATERSHED TOBASA DISTRICT NORTH SUMATERA PROVINCE**  
Tioner Purba, Erwin Masrul Harahap, Chairani Hanum, Rahmawaty 773-781
- III. SOCIAL AND PLITICAL SCIENCES**
- PSYCHOSOCIAL CHALLENGES OF HUMAN TRAFFICKING VICTIMS**  
Syamsuddin, MA, Ph.D and La Alimuddin, M.Si 783-788
- PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA DALAM PENGELOLAAN PARKIR DI DINAS PERHUBUNGAN KABUPATEN BONE**  
Andi Samsu Alam, Ashar Prawitno 789-794
- STRATEGI PEMBANGUNAN KOMODITI PADI MELALUI PROGRAM PENGEMBANGAN USAHA AGRIBISNIS PEDESAAN (PUAP) DI SULAWESI SELATAN INDONESIA**  
Sulfiana Ardin and Dr.Nailul Morad Bin Mohd Nor 795-807

# STUDI EKSPERIMENTAL PERILAKU MOMEN-KURVATUR BALOK BETON MUTU TINGGI

Sartika Dewi Usman

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik  
Universitas Negeri Gorontalo

## ABSTRACT

*This study aims to analyze the moment - curvature and stress-strain in reinforced concrete beams without planning confinement. A portrait of the relationship between the moment - curvature , the pattern of stress-strain relationship at high quality concrete beams with tensile reinforcement only.*

*By using a reinforced concrete beam specimen looks rectangular with dimensions of 20 cm x 30 cm x 160 cm 2 pieces with tensile reinforcement rebars 12 and 3  $\Phi$  2  $\Phi$  press 8 . While the quality of the concrete is 40 MPa . Monotonic loading is done is up to the beam collapse. Each stage of loading seen how much deflection occurs on the beam.*

*From the results of the study showed that the greater the moment greater kurvaturnya , and vice versa , and tend to follow the pattern of the logarithmic equation.*

*Keywords : Moment - curvature , strain - stress , and high quality concrete.*

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi beton terus menunjukkan trend kemajuan yang cukup pesat, terutama dalam kaitan rekayasa beton mutu tinggi yang belakangan ini banyak penelitian yang difokuskan pada penggunaan material ramah lingkungan dengan tetap menjamin pemenuhan kekuatan struktur secara menyeluruh. Salah satu kriteria pemenuhan kekuatan struktur adalah parameter momen-kurvatur yang bisa memberikan informasi perilaku struktur yang lebih komprehensif bagi komponen yang ditinjau. Seperti halnya pada analisa balok pada umumnya, ketika suatu balok beton bertulang dikenai beban luar akan menimbulkan momen, gaya lintang dan gaya normal yang kesemuanya tersebut dapat berimbans pada timbulnya geseran, lendutan, rotasi, regangan maupun retakan pada balok tersebut.

Ketika suatu balok beton bertulang lebih *ductile* akan berdampak pada balok beton tersebut mampu memikul beban-beban yang lebih besar. Disamping itu, dengan meningkatnya daktilitas balok akan serta merta memperbaiki karakter tegangan-regangan, yang selanjutnya mengurangi retakan pada balok. Dengan meningkatnya nilai daktilitas balok, akan semakin meningkatkan kemampuan balok beton bertulang tersebut dalam memikul momen dan gaya yang lebih besar yang mengenainya. Dengan mengecilnya nilai defleksi akan berdampak pula terhadap nilai jari-jari.

Penelitian ini dimaksudkan sebagai salah satu bentuk kontribusi ilmiah dalam pengembangan kajian struktur beton, khususnya perilaku momen-kurvatur balok beton mutu tinggi.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

### Beton Mutu Tinggi

Sesuai dengan perkembangan teknologi beton, kriteria beton mutu tinggi juga selalu berubah sesuai dengan kemajuan tingkat mutu yang berhasil dicapai. Pada tahun 1950an, beton dengan kuat tekan 30 MPa sudah dikategorikan sebagai beton mutu tinggi. Pada tahun 1960an hingga awal 1970an, kriterianya lebih lazim menjadi 40 MPa. Saat ini, disebut mutu tinggi untuk kuat tekan diatas 50 MPa, dan 80 MPa sebagai beton mutu sangat tinggi, sedangkan 120 MPa bisa dikategorikan sebagai beton bermutu ultra tinggi.

Kuat tekan beton diwakili oleh tegangan maksimum dengan satuan N/mm<sup>2</sup> (MPa). Kuat tekan beton umur 28 hari berkisar antara nilai 10-65 MPa. Untuk struktur beton bertulang berkisar antara 17-65 MPa. Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan secara bertahap benda uji silinder beton dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm sampai hancur. Tata cara pengujian yang umumnya dipakai adalah standar ASTM (American Society for Testing Materials) C39 - 86. Kuat tekan masing-masing benda uji pada umur 28 hari akibat beban tekan maksimum pada saat regangan beton ( ) mencapai nilai 0,002. Selanjutnya nilai tegangan



akan turun dengan bertambahnya nilai regangan sampai benda uji hancur pada nilai mencapai 0,003-0,005. Pada standar SNI 03-2847-2002 pasal 12.2.3 menetapkan bahwa regangan kerja maksimum yang diperhitungkan diserat beton tekan terluar adalah 0,003 sebagai batas hancur.

**Hubungan Momen–Kurvatur Penampang**

Grafik momen-kurvatur adalah salah satu indikator yang bisa dipakai untuk mengecek daktilitas sebuah struktur beton bertulang. Definisi dari momen-kurvatur adalah besarnya rotasi yang terjadi pada elemen struktur ketika menerima momen lentur. Grafik momen-kurvatur menampilkan besarnya momen lentur dan besarnya rotasi yang terjadi. Oleh karena itu, momen-kurvatur lebih sering dipakai untuk mengecek struktur elemen balok.

Hubungan momen–kelengkungan (*moment-curvature*) suatu penampang balok beton bertulang yang diberi beban lentur dapat diturunkan dari persamaan keseimbangan gaya komponen penyusun penampang beton bertulang tersebut. Gaya-gaya yang terjadi pada komponen tersebut diakibatkan perubahan bentuk penampang sebagai reaksi dari beban luar yang bekerja pada penampang.

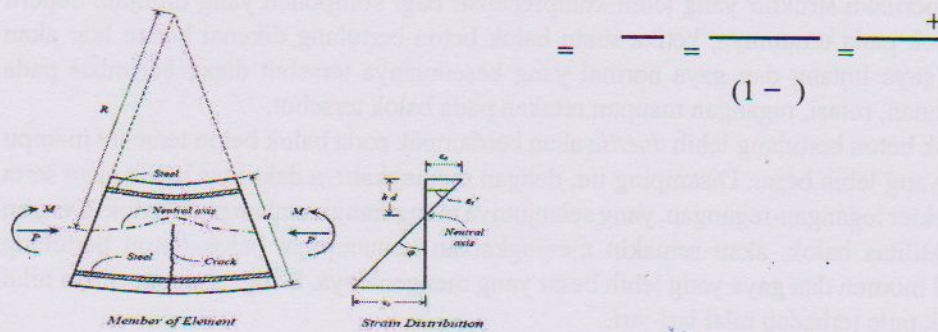
Berdasarkan Gambar 1, jari-jari kurvatur R, tinggi sumbu netral kd, regangan beton pada serat tekan terluar (paling besar)  $\epsilon_c$  dan tegangan regangan baja  $\epsilon_s$  akan berubah-ubah sepanjang bentang karena adanya retak beton yang juga memberikan tegangan. Dengan mengasumsikan material homogen dan berperilaku elastik linier, serta hanya satu elemen panjang dx, rotasi antara kedua ujung elemen adalah

$$\frac{1}{R} = \frac{\epsilon_c}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d - kd} \tag{1}$$

$$\frac{1}{R} = \frac{\epsilon_c}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d - kd} \tag{2}$$

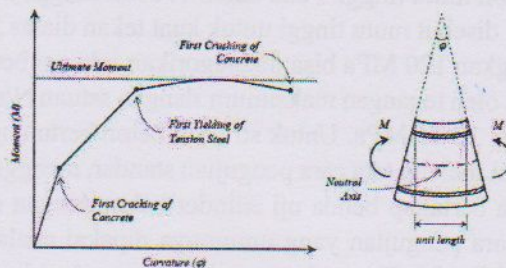
$$\therefore \frac{1}{R} = \frac{\epsilon_c}{kd} = \frac{\epsilon_s}{d - kd} \tag{3}$$

dimana  $1/R$  adalah kurvatur elemen (rotasi persatuan panjang elemen), dengan simbol  $\phi$ :



Gambar 1. Deformasi elemen struktur akibat pembebanan lentur

Kurvatur selalu berubah-ubah sepanjang bentang karena adanya fluktuasi ketinggian sumbu netral. Nilai regangan beton pada serat tekan ( $\epsilon_c$ ) dan regangan tarik baja ( $\epsilon_s$ ) akan bervariasi sepanjang elemen, akibat terjadinya tegangan tarik antara retak beton. Hubungan kurva momen-kelengkungan dari hasil pengukuran balok beton, yang menggambarkan tiga fase keruntuhan tarik dan tekan yang terjadi pada balok, dapat dilihat pada Gambar 2.

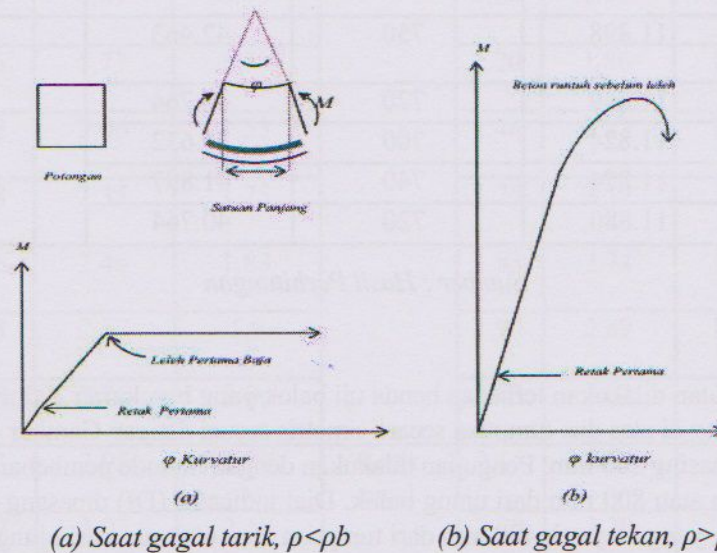


Gambar 2. Momen-kurvatur pada balok beton bertulang

mon  
hubu  
balok  
mula  
diru  
Pengur  
tulangan  
dengan  
lebih ba  
momen  
beton de  
inelastic  
dikekang  
relative l  
turun de  
3. ME  
Pe  
nمبرun  
dilakukan  
sampai m  
benda uji  
harus dia  
Da  
a. Mu  
b. Star  
(per  
c. Pad  
PROCEEDIN

Jika regangan pada bagian kritis balok beton bertulang yang diukur atas jarak ukur pendek sebagai momen lentur ditingkatkan untuk mencapai keruntuhan, kurvatur dihitung dari persamaan 1, maka hubungan momen kurvatur untuk bagian tersebut dapat diperoleh. Kedua kurva diperoleh pada perhitungan balok bertulang tunggal saat gagal tarik dan tekan seperti tampak dalam Gambar 3. dan kedua kurva pada mulanya linier.

Pada struktur elastis linier, hubungan momen lentur ( $M$ ) dgn parameter kelengkungan ( $\phi$ ), dapat dirumuskan dengan persamaan:



Gambar 3. Hubungan momen-kurvatur untuk bagian balok beton bertulang tunggal

Dengan meningkatnya momen maka retak yang timbul pada beton mengurangi kekakuan lentur. Pengurangan kekakuan untuk potongan beton dengan tulangan kecil lebih besar dibanding beton dengan tulangan besar. Perilaku potongan setelah retak sangat bergantung pada mutu baja. Potongan beton dengan tulangan kecil pada gambar 3.a menghasilkan kurva linear  $M-\phi$  membengkok sampai ke titik leleh baja. Saat baja leleh, kurvatur meningkat dengan pesat sedangkan momen lentur hamper konstan, momen meningkat secara perlahan-lahan menuju maksimum dan kemudian menurun. Pada potongan beton dengan tulangan besar (gambar 3.b), kurva  $M-\phi$  menjadi titik linear ketika beton memasuki bagian inelastic hubungan tegangan-regangan, dan keruntuhan dapat menjadi getas (brittle) kecuali jika beton dikekang oleh sengkang tertutup. Jika beton tidak dikekang, maka beton akan hancur pada kurvatur yang relative kecil walaupun baja saat itu belum meleleh, dan ini menyebabkan kapasitas daya dukung momen turun dengan cepat.

### 3. METODE PENELITIAN

Pengujian ini dilakukan pada 2 buah benda uji balok yang berukuran 200 mm x 300 mm x 1600 mm berumur 28 hari dengan metode pembebanan satu titik (*center point loading*). Pembebanan satu titik dilakukan secara monotonic. Dimana benda uji dibebani secara terus menerus dengan interval tertentu sampai mencapai nilai beban maksimum yang dapat ditahan balok. Nilai maksimum ini dapat dilihat jika benda uji telah mencapai *failure* dan *hydraulic jack* sudah tidak mampu lagi menekan benda uji. Hal yang harus diamati dan dicatat selama pengujian adalah beban, lendutan, dan retak yang terjadi pada balok.

Dalam penelitian ini akan dibatasi pada:

- Mutu beton yang direncanakan adalah beton dengan  $f'_c = 40$  MPa.
- Standart pengujian dan pengolahan data yang dilakukan adalah berdasarkan ASTM Standar (pemeriksaan beton, pengujian kuat tekan, pengujian tarik belah, pengujian kuat lentur).
- Pada perhitungan momen, berat sendiri balok diabaikan

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Pengujian Kuat Tekan

Hasil pengujian kuat tekan silinder beton disajikan pada tabel di bawah ini:

Tabel 1 Hasil Pengujian Kuat Tekan

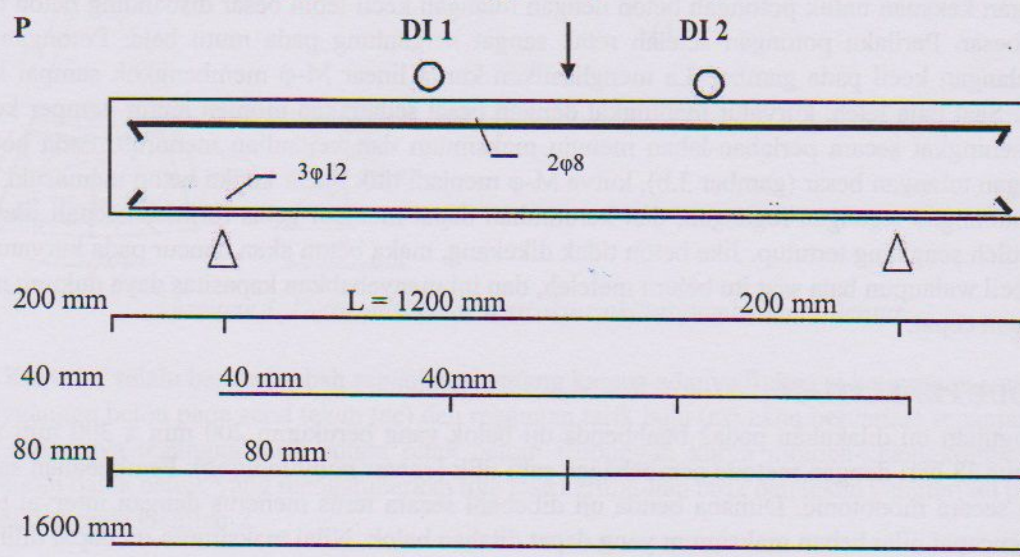
Benda Uji	Berat (Kg)	P (KN)	fc' (MPa)	Fc' rata-rata (MPa)
Silinder 1	11.898	750	42.463	41.104
Silinder 2	11.649	720	40.764	
Silinder 3	11.824	700	39.632	
Silinder 4	11.874	740	41.897	
Silinder 5	11.880	720	40.764	

Sumber : Hasil Perhitungan

##### Pengujian Lendutan

Pengujian lendutan dilakukan terhadap benda uji balok yang berukuran 200 mm x 300 mm x 1600 mm. Benda uji dipasang di atas dua tumpuan secara simetris sesuai dengan Gambar 4. Jarak tumpuan dari ujung balok masing-masing 200 mm. Pengujian dilakukan dengan metode pembebanan satu titik berjarak 600 mm dari tumpuan atau 800 mm dari ujung balok. Dial indicator (DI) dipasang pada dua titik sesuai posisi pada Gambar 4, yang berjarak 400 mm dari tumpuan atau 600 mm dari ujung balok. Karena tidak memungkinkan untuk meletakkan dial indicator pada  $\frac{1}{2}$  maka, nilai

lendutan untuk titik  $\frac{1}{2}$  di interpolasi dari nilai dial indicator 1 (DI 1) dan dial indicator 2 (DI 2). Pembebanan awal yang diberikan pada pengujian balok ini 50 kN, lalu beban dinaikan sebesar 50 kN hingga tercapai keruntuhan/kegagalan. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut ini:

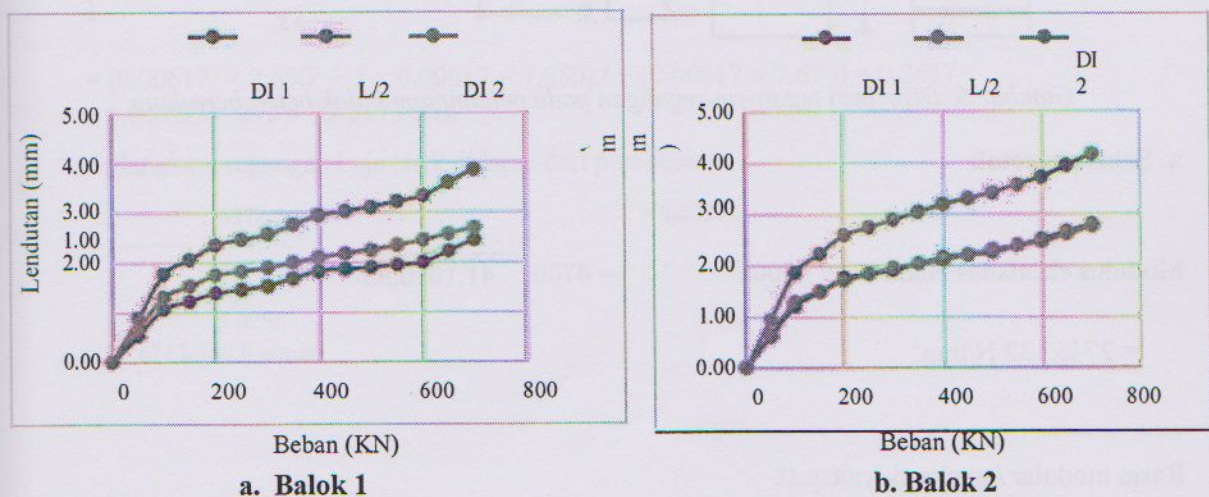


Gambar 4. Jarak bentang Balok yang ditinjau lendutannya

Tabel 2. Hasil Pengujian Lendutan Balok

Beban P (kN)	Lendutan Balok 1 (mm)			Ket	Lendutan Balok 2 (mm)			Ket
	DI 1 Kiri	Tengah	DI 2 Kanan		DI 1 Kiri	Tengah	DI 2 Kanan	
0	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00	0	
50	0.53	0.89	0.65		0.60	0.93	0.64	
100	1.06	1.77	1.30		1.20	1.86	1.28	
150	1.22	2.06	1.53		1.48	2.22	1.49	
200	1.38	2.35	1.75		1.75	2.59	1.7	
250	1.46	2.46	1.83		1.83	2.74	1.83	
300	1.53	2.57	1.9		1.90	2.89	1.95	
350	1.68	2.76	2.00		2.03	3.04	2.03	
400	1.83	2.95	2.10	Retak awal	2.15	3.19	2.1	Retak awal
450	1.87	3.03	2.18		2.20	3.30	2.20	
500	1.90	3.11	2.25		2.25	3.41	2.3	
550	1.95	3.23	2.35		2.38	3.56	2.38	
600	2.00	3.34	2.45		2.50	3.71	2.45	
650	2.23	3.60	2.58		2.65	3.94	2.60	
700	2.45	3.86	2.70	Failure	2.80	4.16	2.75	Failure

Sumber: Hasil Perhitungan



Gambar 5. Hubungan Beban-Lendutan

Pengukuran besarnya nilai lendutan (defleksi) dilakukan pada setiap tahap pembebanan dengan mencatat perubahan nilai yang terbaca pada dial gauge. Dari hasil penelitian yang dilakukan didapat bahwa lendutan maksimum pada masing-masing balok uji yaitu, balok 1 mampu menghasilkan lendutan sebesar 3.86 mm pada saat beban maksimum sebesar 700 kN. Balok 2 mampu menghasilkan lendutan sebesar 4.16 mm pada saat beban maksimum sebesar 700 kN. Dari grafik hubungan beban dengan lendutan pada gambar 5.a dan gambar 5.b, dapat dijelaskan bahwa semakin landai garis kurva, maka balok beton tersebut semakin berkurang kekakuannya.

**Perhitungan momen kurvatur secara teoritis**

Balok dengan karakteristik :

Tinggi balok (h) : 300 mm

Lebar balok (b) : 200 mm

Jarak pusat tulangan tarik ke ujung atas balok (d) : 275 mm

Jarak pusat tulangan tekan ke ujung atas balok (d') : 25 mm

Tulangan tarik 3  $\square 12$

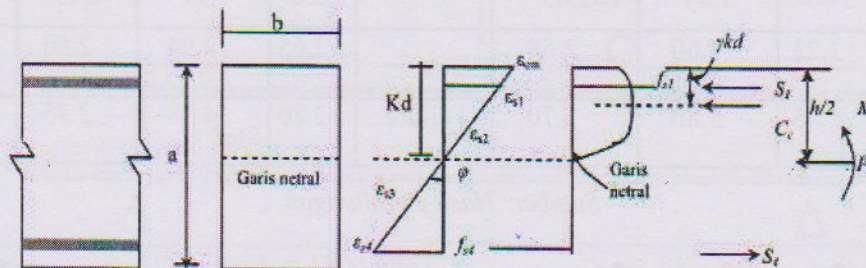
$\square$  Luas tampang ( ) =  $\frac{12^2}{4}$  : 339,12 mm<sup>2</sup>

$\square$  Rasio tulangan tarik ( ) = : 0,00617

Kuat tekan beton ( ) : 41.10 MPa

Kuat Leleh baja ( ) : 279,669 MPa

Modulus elastisitas baja ( ) :  $2,1 \times 10^5$  Mpa



Gambar 6. Distribusi tegangan-regangan pada penampang balok beton bertulang

**a. Sebelum retak**

$$\begin{aligned} \text{Modulus elastisitas beton ( )} &= 4700 \sqrt{f_{ct}} = 4700 \sqrt{41.10 \cdot 0,83} \\ &= 27452.32 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Rasio modular / angka ekivalen

$$= \frac{210000}{27452.32} = 7,650$$

Pusat transformasi tapan

$$\begin{aligned}
 & \frac{h}{(h) + (-1)} \\
 & = \frac{300}{(200 \times 300) + (7,650 - 1) \times 339,12} \\
 & = 154.53 \text{ mm}
 \end{aligned}
 \qquad
 \begin{aligned}
 & = h - \\
 & = 300 - 154.53 \\
 & = 145.47 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Momen inersia

$$\begin{aligned}
 & = \left( \frac{1}{12} \cdot h^3 \right) + (h(-h)^2) + ((-1) \cdot (-)^2) \\
 & = \left( \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 300^3 \right) + (200 \cdot 300 \cdot (154.53 - 300)^2) + ((7,754 - 1) \cdot 339,12 \cdot (275 - 154.53)^2) \\
 & = 483855262.2 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

Retak akan terjadi saat modulus pecah beton dicapai pada dasar serat Modulus pecah beton:

$$\begin{aligned}
 & = \sqrt{\frac{12043994.67 \text{ N.mm}}{41.10 \cdot 0.83}} \\
 & = 3,621 \text{ N/mm}^2 \\
 & = \left( \frac{3,621 \times 483855262.2}{145.47} \right) \\
 & = 5.144 \times 10^{-11} \text{ rad/mm}
 \end{aligned}$$

b. Setelah retak, saat pertama leleh:

Anggap beton berkelakuan elastis

$$\frac{1}{2} [2 \times 2 + 2] - ( \times )$$

$$\begin{aligned}
 & = [0.00617^2 \times 7.650^2 + 2 \times 0.00617 \times 7.650] - (0.00617 \times 7.650) = 0.2637 \\
 & = 0.2637 \times 275 = 72.5175 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan, regangan baja tarik didapat dari percobaan

$$= \frac{6372.5}{210000} = 0,00296$$

$$= \frac{1.0256}{6213.436} \text{ Kg/mm}^2$$

$$= \frac{6213,436}{210000} = 0,00296275 - 72.5175$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,00106 \\
 &= \frac{0,00106 \times 27452,32}{29.099 \text{ N/mm}^2}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0.85 \\
 &= \frac{0.85 \times 41.10 \times 200 \times 72.5175}{506679.7725 \text{ N}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= - \frac{275}{2} - \frac{72.5175}{2} \\
 &= 238.74 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka nilai M dan  $\phi$

$$\begin{aligned}
 &= 339,12 \times 279,669 \times 238.74 \\
 &= 22642542.76 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

c. Setelah retak, saat beban ultimate

$$\frac{1}{\phi} = 0.003$$

$$\frac{1}{\phi} = 0.003$$

$$= \frac{0,00296}{1}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(1 - 0,2637) \times 275 \times (1 - 0,2637)}{1,462 \times 10^{-3} \text{ rad/mm}} \\
 &\text{Karena, } \frac{1}{\phi} = 0.003
 \end{aligned}$$

Faktor  $\phi$  harus diambil sebesar 0.85 untuk beton dengan nilai kuat tekan  $f'_c \leq 30$  MPa. Untuk beton dengan nilai kuat tekan  $f'_c > 30$  MPa,  $\phi$  harus direduksi sebesar 0.05 untuk setiap kelebihan 7 MPa di atas 30 MPa, tetapi  $\phi$  tidak boleh diambil kurang dari 0.65. (SNI-03-2847-2002).

Jika  $f'_c = 41.10$ , maka nilai  $\phi$  adalah ;

$$\frac{1}{\phi} = 0.85 - \left\{ \frac{41.10 - 30}{7} \times 0.05 \right\} = 0.77$$

$$0.85 \phi =$$

$$0.85 \phi = 0.003$$

$$0.85 \phi$$

$$\left( \frac{0.003}{0.85 \phi} \right)^2 + \frac{275}{1} = 0$$

$$\begin{aligned}
 &\left( \frac{0.003 \times 210000}{8.987^2} + 275 - 0.77 \times 275^2 \right)^2 + 275 - 0.77 \times 275^2 = 0 \\
 &8.987^2 + 275 - 58231.25 = 0
 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan rumus abc, maka nilai a didapat:

$$= 66.64$$

$$66.64 = \frac{1}{0.77} = 86.55$$

Persamaan momen dan kurvatur saat ultimate adalah sebagai berikut:

$$= 0,85 \cdot \left( \frac{66.64}{275} \right)^2 = 0,85 \cdot 41.10 \cdot 66.64 \cdot 200 \cdot \left( \frac{66.64}{275} \right)^2$$

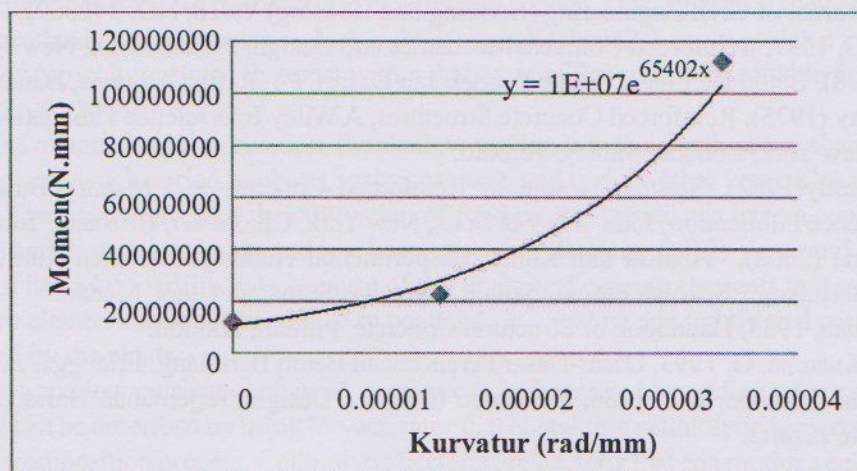
$$= 112529514.2$$

$$= \frac{0.003}{86.55} = 3.466 \cdot 10^{-5} /$$

Tabel 3. Hasil Perhitungan Momen-Kurvatur Balok Teoritis

	Momen (M) N.mm	Kurvatur ( $\phi$ ) Rad/mm
Saat Retak	12043994.67	$5.144 \times 10^{-11}$
Saat Leleh	22642542.76	$1.462 \times 10^{-5}$
Saat Ultimate	112529514.2	$3.466 \times 10^{-5}$

Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 7. Hubungan Momen-Kurvatur



Grafik hubungan momen – kurvatur penampang yang diperoleh dari hasil analisis balok beton bertulang, dapat dilihat pada Gambar 7. Bentuk kurva hubungan momen – kurvatur yang diperoleh, secara umum terbagi atas tiga fase, yaitu : (1) fase sebelum retak, (2) fase antara retak pertama dengan leleh pertama dan (3) fase antara leleh pertama dengan runtuh.

Pada kedua fase pertama, kenaikan nilai kurvatur penampang ( $\phi$ )  $5.144 \times 10^{-11}$  rad/mm selalu diiringi dengan kenaikan nilai momen ( $M$ ) sebesar 12043994.67 N.mm. Pada fase kedua momen mengalami kenaikan 22642542.76 N.mm, nilai kurvatur hanya mengalami kenaikan sebesar  $1.462 \times 10^{-5}$  rad/mm. Pada fase ketiga, kenaikan nilai momen sebesar 112529514.2 N.mm diiringi dengan kenaikan kurvatur yang sangat besar yaitu  $3.466 \times 10^{-5}$  rad/mm hingga penampang mengalami keruntuhan.

Dari gambar grafik hubungan momen-kurvatur pada balok beton mutu tinggi dapat disimpulkan bahwa semakin besar momen maka kurvturnya semakin besar pula, demikian sebaliknya. Persamaan momen-kurvatur cenderung mengikuti persamaan eksponensial.

## 5. PENUTUP

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- Hubungan momen-kurvatur pada balok beton mutu tinggi dapat disimpulkan bahwa semakin besar momen maka kurvturnya semakin besar, demikian pula sebaliknya.
- Pola persamaan hubungan momen-kurvatur balok mutu tinggi cenderung mengikuti pola persamaan eksponensial.
- Hubungan tegangan-regangan pada balok mutu tinggi dapat disimpulkan bahwa pada saat tegangan lentur maksimum 4 MPa, maka nilai regangan rata-rata 0.0087. Kemudian nilai tegangan mulai turun dengan bertambahnya nilai regangan sampai balok runtuh pada nilai regangan mencapai 0.0107.

## DAFTAR PUSTAKA

- ACI 318-95 / ACI 318R-95, 1995, Building Code Requirement for Structural Concrete and Commentary, Am Concrete Inst, Detroit, Michigan.
- Anonim, 1991, Tata Cara Penghitungan Struktur Beton Untuk Bangunan Gedung, Yayasan LPMB, Bandung.
- Amin Ghali and Rene Fazze, 1986, Concrete Structure, Stresses and Deformation, Chapman & Hall, New York.
- Dipohusodo Istimawan (1994), Struktur Beton Bertulang, PT.Gramedia, Jakarta.
- Gurki, JTS (2002), Beton Bertulang, Rekayasa Sains, Bandung
- M. Srikanth, G. Rajesh Kumar and S. Giri (2009) dengan topik penelitian : "Moment Curvature of Reinforced Concrete Beams Using Various Confinement Models and Experimental Validation", Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing) Vol. 8, NO. 3 (2009), Page 247-265.
- MacGregor, JG, 1997, Reinforced Concrete Mechanics and Design, Prentice Hall, New Jersey.
- Nawi, EG (1998), Beton Bertulang (Suatu Pendekatan Dasar), PT. Refika Aditama, Bandung.
- Park and Paulay (1975), Reinforced Concrete Structures, A Wiley Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York, London, Sidney, Toronto.
- Paulay & Priestly(1992), Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, A Wiley Interscience Publication, John Wiley & Sons, New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.
- Rahmi Karolina (2008), "Analisa dan Kajian Eksperimental Hubungan Momen-Kurvatur Pada Balok Beton Bertulang", Sekolah Pascasarjana, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Surendra, P. Shah, 1983, Handbook of Structural Concrete, Pitman, London.
- Vis, W.C and Kusuma, G, 1993, Dasar-Dasar Perencanaan Beton Bertulang, Erlangga, Jakarta.
- Wang, C.K dan Salmaon, CG, 1986, Reinforce Concrete Design, Terjemahan Hariandja, PT. Pradaya Paramita, Jakarta.

ISBN 978 602 99771 1 0



9 786029 997711 0