



# Pengaruh Sudut Tulangan Geser Terhadap Perilaku Geser Balok Beton Bertulang Dengan *Software ATENA 3D*

Deden Aris Munandar<sup>1</sup> dan Ahmad Zaki<sup>2</sup>

<sup>(1,2)</sup> Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta

## Abstrak

Keruntuhan geser terjadi secara tiba-tiba tanpa ada tanda-tanda terlebih dahulu, sehingga perencanaan untuk menahan gaya geser memerlukan perhatian khusus. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi sudut sengkang terhadap perilaku balok dan jenis keruntuhan balok. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan *software ATENA 3D*. Dari hasil penelitian didapatkan nilai kekakuan tertinggi terdapat pada benda uji BU 21 sebesar 9,2934, sedangkan nilai kekakuan terendah terdapat pada benda uji BU 5 sebesar 7,5405. Untuk nilai daktilitas tertinggi terdapat pada benda uji BU 20 sebesar 1,5007 dan nilai daktilitas terendah terdapat pada benda uji BU 1 sebesar 1,1958. Sudut tulangan sengkang berpengaruh terhadap pola retak, balok dengan sudut tulangan sengkang yang mendekati sudut 45° memiliki tipe keruntuhan geser yang ditandai dengan retakan-retakan pada balok dengan arah diagonal, sedangkan untuk balok dengan sudut tulangan sengkang yang menjauh dari sudut 45° memiliki tipe keruntuhan lentur yang ditandai dengan banyaknya retakan-retakan dengan arah vertikal.

Kata Kunci : Kekakuan, Daktilitas, Pola Retak Metode Elemen Hingga, *ATENA 3D*

## 1. Pendahuluan

Pada tahap perancangan beton sering dipilih menjadi material yang sering digunakan dilapangan. Beton merupakan suatu bahan konstruksi yang didapatkan melalui proses pencampuran pasir, batu, kerikil/batu pecah, semen serta air. Adakalanya beberapa bahan tambahan ditambahkan pada campuran beton tersebut untuk memperbaiki sifat-sifat beton, diantaranya untuk meningkatkan tingkat kelecakan, ketahanan, dan waktu pengerasan beton (Setiawan, 2016).

Pada saat mengkaji balok terlentur gaya geser akibat lentur juga harus dipertimbangkan karena disaat yang bersamaan balok juga menahan beban geser akibat lentur. Kondisi kritis geser akibat lentur ditandai dengan bertambahnya tegangan-tegangan tarik dibagian tertentu pada struktur balok. Pada struktur balok beton bertulang apabila terjadi gaya geser yang sudah tidak dapat dipikul oleh tahanan geser beton, maka harus diperkuat dengan memasang tulangan sengkang (Dipohusodo, 1994). Keruntuhan yang disebabkan gaya geser terjadi secara tiba-tiba tanpa peringatan terlebih dahulu, berbeda dengan keruntuhan yang disebabkan oleh lentur element struktural akan mengalami lelehnya tulangan tarik terlebih dahulu. Oleh karena itu analisis geser suatu element struktural memerlukan perhatian khusus (Alfisyahrin dkk., 2019).

Seiring berkembangnya teknologi perencanaan, desain balok beton bertulang dapat dilakukan melalui perangkat lunak. Pemodelan balok bertulang dengan perangkat lunak dilakukan

dengan mengevaluasi nilai hubungan beban dan defleksi pada balok beton bertulang. Banyak penelitian aplikatif yang menggunakan metode element hingga untuk analisis sifat mekanis balok beton bertulang. Hal ini dilakukan disebabkan balok beton bertulang sulit diprediksi, terkadang terjadi keadaan runtuh yang disebabkan oleh gaya yang berbeda dengan keruntuhan akibat lentur (Nawy, 1998).

Ilmu rekayasa dibidang teknik sipil mengalami perkembangan yang signifikan, hasil dari perkembangan tersebut salah satunya adalah metode element hingga. Perkembangan teknologi juga mendorong terciptanya program atau software berbasis element hingga seperti *ABAQUS*, *Atena ANSYS* dan lain-lain (Cervenka et al., 2002, Sucharda et al., 2014, Fajarianto et al., 2020, Zaki and Nugroho, 2021).

Sehingga dilakukan penelitian tentang pengaruh sudut tulangan geser terhadap perilaku geser balok beton bertulang dengan *software Atena 3D*. Analisis perilaku struktur menggunakan *software* lebih menghemat waktu, tenaga dan biaya. Hal ini karena pengujian menggunakan *software* tidak perlu membuat benda uji dalam bentuk fisik, menunggu umur beton siap uji dan tidak perlu memasang strain gauge dan melakukan instalasi mesin uji.

## 2. Metode

### 2.1. Pemodelan Balok Beton Bertulang

Pemodelan benda uji seluruhnya menggunakan *software ATENA 3D*. Pemodelan

benda uji yang dibuat berjumlah 21 benda uji dengan parameter mutu beton dan sudut tulangan sengkang. Untuk mutu beton yang digunakan adalah 20 MPa, 30 MPa, dan 40 MPa. Sedangkan untuk sudut tulangan yang digunakan yaitu 50°, 60°, 70°, 90°, 110°, 120° dan 130°. Benda uji pada penelitian ini disingkat dengan BU yang kemudian akan dimodelkan pada *software ATENA 3D* seperti yang ditampilkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Spesifikasi benda uji balok beton bertulang

Kode Balok	F'c (MPa)	Diameter Tulangan Longitudinal (mm)	Diameter Tulangan Sengkang (mm)	Sudut Tulangan Sengkang (mm)
BU1	20	12	10	50
BU2	20	12	10	60
BU3	20	12	10	70
BU4	20	12	10	90
BU5	20	12	10	110
BU6	20	12	10	120
BU7	20	12	10	130
BU8	30	12	10	50
BU9	30	12	10	60
BU10	30	12	10	70
BU11	30	12	10	90
BU12	30	12	10	110
BU13	30	12	10	120
BU14	30	12	10	130
BU15	40	12	10	50
BU16	40	12	10	60
BU17	40	12	10	70
BU18	40	12	10	90
BU19	40	12	10	110

BU20	40	12	10	120
BU21	30	12	10	130

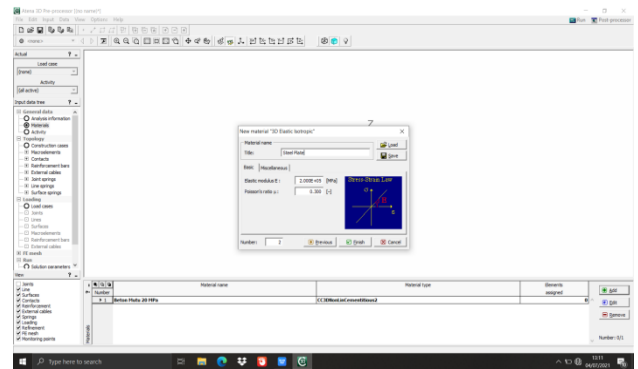
**2.2. Tahapan Pemodelan**

1. Input material

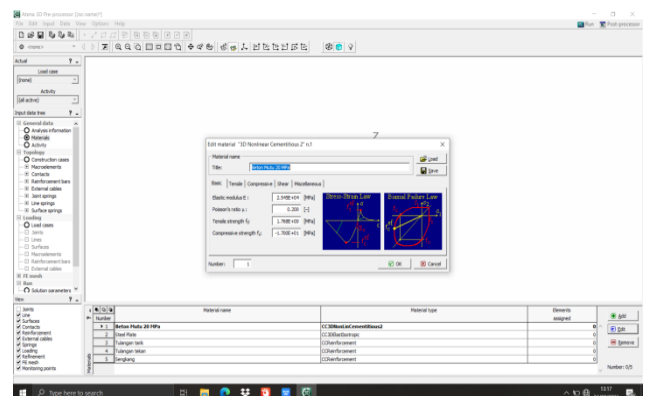
Proses input material dimaksudkan untuk mendefinisikan material sesuai dengan data yang telah ditentukan. Menginput material seperti pelat baja, beton, dan tulangan sesuai dengan data yang telah ditentukan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 1 sampai Gambar 3.

2. Membuat geometri

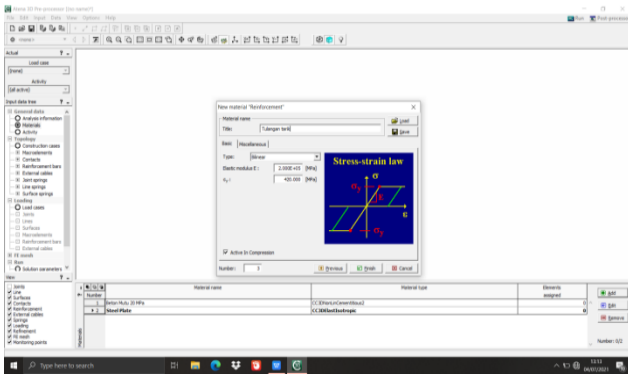
Tahap membuat geometri dimaksudkan untuk memodelkan balok dan tumpuan pelat sesuai dengan dimensi yang telah ditentukan sebelumnya. Seperti pada Gambar 4.



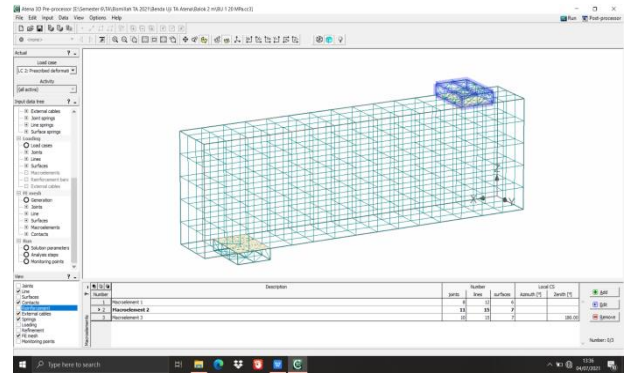
**Gambar 1.** Input material *steel plates*



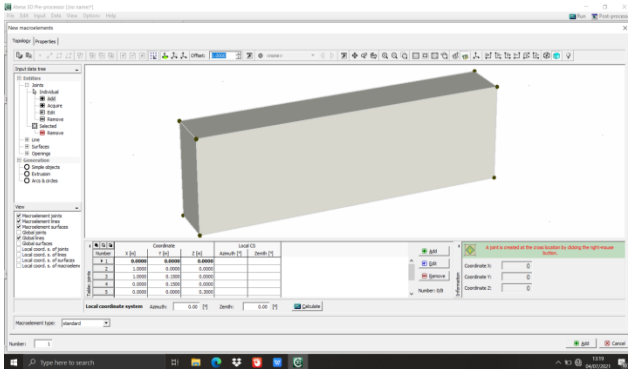
**Gambar 2.** Input material *concrete*



Gambar 3. Input material tulangan



Gambar 6. Tampak balok setelah di FE Mesh

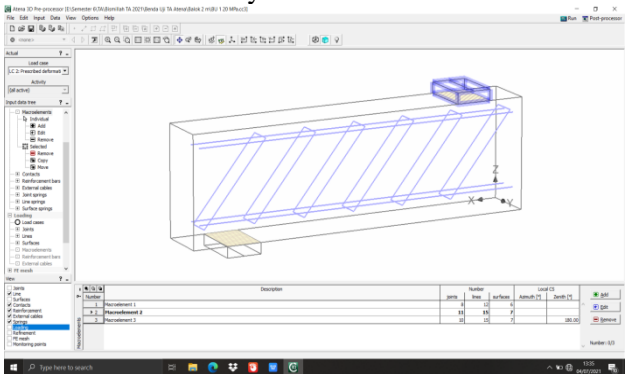


Gambar 4. Geometri balok

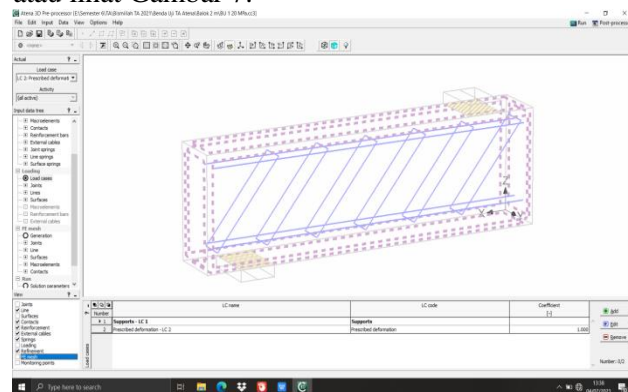
5. Memasukkan *support* dan beban  
 Pada langkah ini dibutuhkan dua *load case* yaitu *support* dan *prescribed deformation*. Untuk beban perpindahan akan diletakkan pada bagian atas balok. Proses pembebanan pada ATENA 3D yaitu dengan menjumlahkan setiap *step* dengan *step* sebelumnya. Oleh sebab itu, pada menu *Prescribed Deformation* dimasukan beban perpindahan sebesar 1 mm yang nantinya akan digunakan sebagai parameter jarak setiap stepnya, atau lihat Gambar 7.

3. Membuat penulangan

Tahap membuat penulangan dimaksudkan untuk membuat desain penulangan sesuai dengan diameter dan sudut penulangan yang telah ditentukan sebelumnya.



Gambar 5. Penulangan balok beton



Gambar 7. Memasukkan load

4. Membuat elemen hingga (*meshing*)

Langkah selanjutnya adalah membuat balok benda uji menjadi beberapa element hingga. Hal ini dimaksudkan agar proses analisis menjadi lebih teliti dan semakin akurat. Namun khusus untuk ATENA 3D versi *demo* jumlah element hingga tidak boleh lebih dari 300 buah. Untuk hasil *meshing* ditampilkan pada Gambar 6.

6. Menentukan parameter solusi

Tahap ini bertujuan untuk menentukan parameter ketika pemodelan balok mengalami pembebanan pada proses *running*. Parameter tersebut terdiri dari *displacement error multiple*, *residual error multiple*, *absolute residual error multiple*, dan *energi error multiple*.

7. Mengatur langkah analisis

Mengatur langkah analisis adalah tahap pengaturan ketelitian data setiap analisis. Pada tahap ini juga dilakukan penentuan jumlah *step* untuk analisis yang akan dilakukan.

8. Menentukan titik pantau

Tahap ini dimaksudkan untuk mengetahui nilai gaya dan perpindahan akibat beban yang terjadi pada pemodelan balok dengan melakukan pemantauan pada titik yang telah direncanakan.

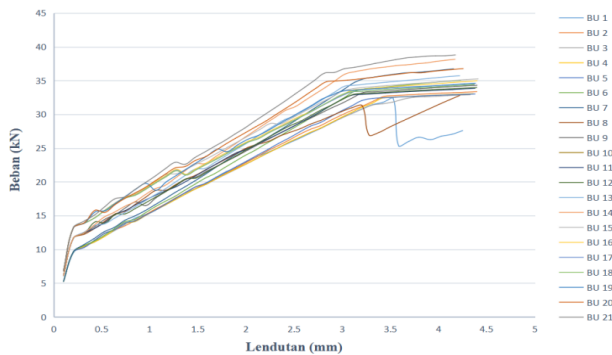
9. *Running* program

Setelah pemodelan balok selesai maka dilakukan *running* pada program. Pada proses *running* mula-mula tekan tombol *run* pada sudut atas kanan layar. Setelah itu tempatkan balok sesuai dengan layer pada ATENA 3D, lalu klik tombol *calculate* untuk menganalisis sifat mekanis balok yang telah dimodelkan. Grafik akan muncul setelah selesai *step analysis*. Untuk memunculkan grafik hubungan dan lendutan, grafik harus diatur terlebih dahulu dengan mengatur sumbu *x* sebagai lendutan dan sumbu *y* sebagai beban.

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Beban-lendutan

Perilaku balok beton sangat dipengaruhi oleh komposisi strukturnya. Berdasarkan data hasil penelitian zona hubungan beban - lendutan terbagi menjadi tiga zona, yaitu zona 1, zona 2, dan zona 3. Pada zona 1 struktur belum mengalami retak zona ini biasa disebut juga zona praretak. Pada zona 2 struktur mulai mengalami retak awal pada zona ini retak masih terkontrol dan terkendali. Pada zona 3 struktur mengalami retak yang disebabkan tulangan mulai meleleh karena tulangan tarik sudah mencapai tegangan lelehnya Nawy (2000).



Gambar 8. Grafik zona hubungan beban-lendutan

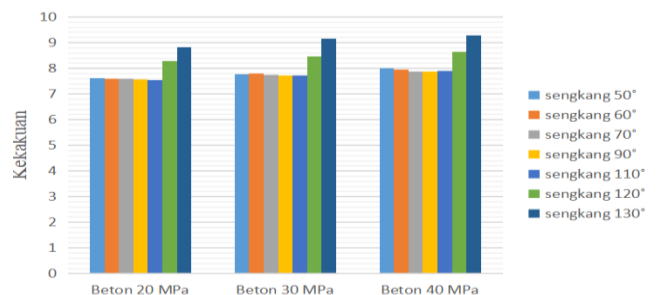
Tabel 2. Nilai lendutan-beban pada setiap zona

Benda Uji	Beban			Lendutan		
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 1	Zona 2	Zona 3
	BU 1	5.256	32.36	32.36	0.10	3.53
BU 2	5.244	32.65	33.35	0.10	3.432	4.398
BU3	5.238	31.37	32.89	0.10	3.314	4.328
BU 4	5.231	32.42	33.05	0.10	3.419	4.360
BU 5	5.232	32.04	33.02	0.10	3.204	4.379
BU 6	5.237	33.45	35.03	0.10	3.134	4.230
BU 7	5.247	34.72	36.73	0.10	3.126	4.157
BU 8	6.146	31.31	32.79	0.10	3.205	4.220
BU 9	6.134	33.23	34.31	0.10	3.219	4.400

BU 10	6.128	33.06	33.89	0.10	3.214	4.381
BU 11	6.122	32.82	33.85	0.10	3.096	4.379
BU 12	6.123	32.96	33.98	0.10	3.118	4.398
BU 13	6.127	34.17	35.72	0.10	3.027	4.219
BU 14	6.138	35.97	38.15	0.10	3.118	4.171
BU 15	6.819	33.40	35.25	0.10	2.999	4.411
BU 16	6.808	33.56	34.98	0.10	3.103	4.401
BU 17	6.802	33.30	34.44	0.10	3.095	4.371
BU 18	6.796	33.35	34.42	0.10	3.095	4.370
BU 19	6.797	33.45	34.61	0.10	3.000	4.384
BU 20	6.801	34.83	36.77	0.10	2.836	4.256
BU 21	6.812	35.04	38.80	0.10	2.816	4.175

#### 3.2. Kekakuan

Salah satu faktor yang mempengaruhi nilai kekakuan adalah beban dan lendutan. Berdasarkan hasil penelitian kekakuan pada balok beton bertulang dipengaruhi oleh sudut kemiringan tulangan sengkang dan mutu beton. Nilai kekakuan paling tinggi terjadi pada benda uji BU 21 yang memiliki nilai kekakuan 9,2934. Sudut kemiringan sengkang BU 21 yaitu 130° dengan mutu beton 30 MPa.



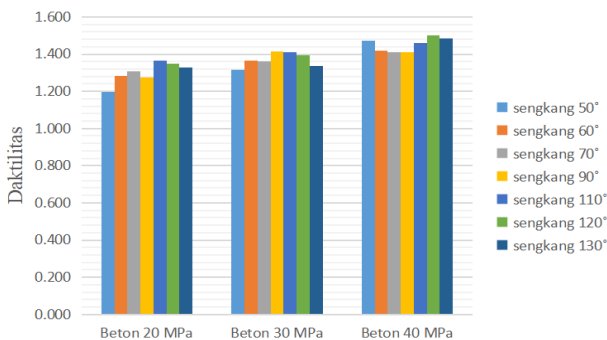
Gambar 9. Hasil kekakuan balok beton bertulang

Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai kekakuan tertinggi dihasilkan oleh balok dengan tulangan sengkang 130° dan nilai kekakuan terendah terjadi pada balok dengan sudut tulangan sengkang 110°, dan mutu beton juga bertambah terhadap nilai kekakuan. Semakin tinggi mutu beton maka struktur beton akan semakin kaku.



### 3.3. Daktilitas

Nilai daktilitas dipengaruhi oleh perbandingan lendutan maksimum dengan lendutan saat tulangan mulai leleh. Berdasarkan hasil penelitian didapatkan bahwa nilai daktilitas tertinggi didapat dari benda uji BU 20 yaitu 1,5394 dan nilai lendutan terendah terdapat pada BU 1 yaitu 1,1958. Berdasarkan penelitian didapatkan bahwa sudut sengkang dan mutu beton mempengaruhi nilai daktilitas. Nilai daktilitas tertinggi terdapat pada benda uji dengan sudut tulangan sengkang 120° dengan mutu beton 40 MPa, sedangkan nilai daktilitas terkecil terdapat pada benda uji dengan sudut tulangan sengkang 50° dengan mutu beton 20 MPa.

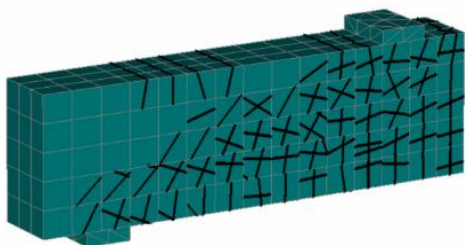


Gambar 10. Hasil nilai daktilitas balok beton bertulang

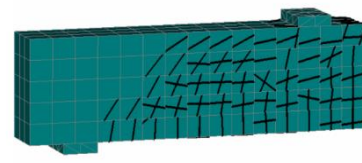
Berdasarkan grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai daktilitas dipengaruhi oleh variasi sudut sengkang. Mutu beton juga berpengaruh terhadap daktilitas, semakin tinggi mutu beton maka nilai daktilitas akan bertambah besar.

### 3.4. Pola Keretakan Balok

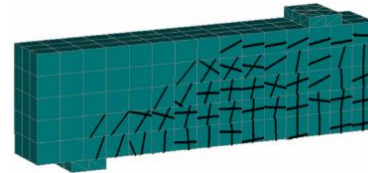
Menurut (Wicaksono, Suryanita, & Djauhari, 2019) jika elemen pada balok tidak dapat memikul gaya tarik dari resultan gaya yang terjadi maka elemen beton akan mengalami retak dengan arah miring, dan membentuk sudut 45°.



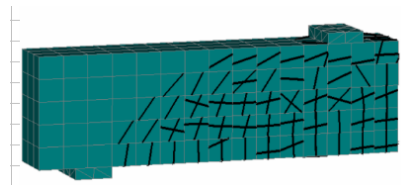
Gambar 11. Pola retak balok dengan sudut tulangan sengkang 50°



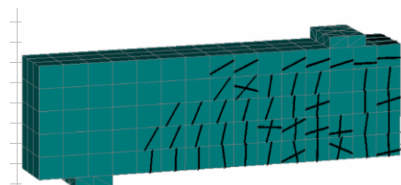
Gambar 12. Pola retak balok dengan sudut tulangan sengkang 60°



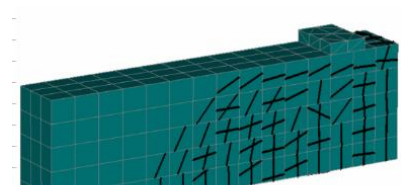
Gambar 13. Pola retak balok dengan sudut tulangan sengkang 70°



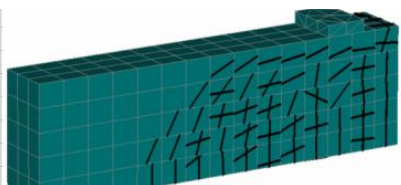
Gambar 14. Pola retak balok dengan sudut tulangan sengkang 90°



Gambar 15. Pola retak balok dengan sudut tulangan sengkang 110°



Gambar 16. Pola retak balok dengan sudut tulangan sengkang 120°



Gambar 17. Pola retak balok dengan sudut tulangan sengkang 130°

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh sudut tulangan sengkang terhadap perilaku balok beton bertulang dengan ATENA 3D dapat disimpulkan bahwa:

1. Sudut tulangan sengkang berpengaruh terhadap perilaku balok beton bertulang. Nilai kekakuan tertinggi terdapat pada benda uji BU 21 sebesar 9,2934, sedangkan nilai kekakuan terendah terdapat pada benda uji BU 5 sebesar 7,5405. Untuk nilai daktilitas tertinggi terdapat pada benda uji BU 20 sebesar 1,5007 dan nilai daktilitas terendah terdapat pada benda uji BU 1 sebesar 1,1958.
2. Sudut tulangan sengkang berpengaruh terhadap pola retak, balok dengan sudut tulangan sengkang yang mendekati sudut  $45^\circ$  memiliki tipe keruntuhan geser yang ditandai dengan retakan-retakan pada balok dengan arah diagonal, sedangkan untuk balok dengan sudut tulangan sengkang yang menjauh dari sudut  $45^\circ$  memiliki tipe keruntuhan lentur yang ditandai dengan banyaknya retakan-retakan dengan arah vertikal.

#### DAFTAR PUSTAKA

Penulisan pustaka harus diurutkan secara alpabet dengan sistematika urutan sebagai berikut :

- Alfisyahrin, A., Afifuddin, M., & Putra, R. (2019). Analisis Perilaku Geser Balok Beton Bertulang dengan Metode Elemen Hingga Non-Linear. *Journal of The Civil Engineering Student*, 1(3), 15-21.
- Anggarini, E., Hayati, F., & Setiawan, I. (2018). Pemodelan Balok Tinggi pada Beton Mutu Tinggi dengan Pengekangan Menggunakan Perangkat Lunak Berbasis Metode Elemen Hingga 3D. *Konstruksia*, 9(2), 31-40.
- Azwarman, A., & Zulfiati, R. (2021). Kontribusi Tulangan Memanjang Terhadap Kekuatan Geser Pada Penampang Balok Beton. *Jurnal Talenta Sipil*, 4(1), 13-22.
- Bastian, E. (2019). Analisis Pola Retak pada Struktur Balok Beton Bertulang dengan Perbandingan Bentang Geser. *Ensiklopedia of Journal*, 1(2).
- Cervenka J, Prochazkova Z (2013) ATENA Program Documentation. Part 4-2: Tutorial for Program ATENA 3D". *Cervenka Consulting, Prag*
- David, A. (2013). Pengaruh Ssudut Sengkang Miring Pada Balok Pendek Terhadap Pola Runtuh. *Jurnal Kajian Pendidikan Teknik Bangunan*, 2(1/JKPTB/13).
- Dipohusodo, I. (1994). *Struktur beton bertulang: berdasarkan SK SNI T-15-1991-03 departemen pekerjaan umum RI*. Jakarta: Gramedia Pustaka Utama.
- FAJARIANTO, M. F., ZAKI, A. & THAMRIN, R., 2020, "Pengaruh Geometri Balok Beton Bertulang Terhadap Perilaku Lentur Menggunakan Program Atena 3D dan RCCSA" dalam Prosiding of 1st UMY Grace 2020 (Bantul, Yogyakarta, 27 October 2020)
- Nur, O.F., *Kajian Eksperimental Perilaku Balok Beton Tulangan Tunggal Berdasarkan Tipe Keruntuhan Balok*. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 2009. 5(2): p. 39-52.
- McCormac JC (2001) *Desain Beton Bertulang Edisi Kelima Jilid 1 dan 2*. Jakarta: Erlangga
- Nawy E (2000) *Reinforced concrete: A fundamental approach*.
- Nawy EG (1998) *Beton Bertulang. Suatu Pendekatan Dasar(Terjemahan)*,
- Setiawan, A. (2016). *Perancangan Struktur Beton Bertulang Berdasarkan SNI 2847:2013*. Jakarta: Erlangga.
- Stefany, S., & Supartono, F. (2019). Pemodelan Zona Angkur Ganda Dengan Metode Elemen Hingga Dan Strut And Tie Model. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(1), 189-198.
- SNI (2013) *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung (SNI 2847: 2013)*. Jakarta: *Standar Nasional Indonesia*
- SNI (2017) *Baja tulangan beton. SNI 2052 - 2017*
- Timoshenko, S.P. and J.M. Gere, *Mekanika bahan*. 1987: Erlangga.
- Wicaksono, D. A., Suryanita, R., & Djauhari, Z. (2019). Studi Eksperimental Balok Beton Bertulang Dengan dan Tanpa Sengkang. *Sainstek (e-Journal)*, 7(1), 32-39.
- ZAKI, A. & NUGROHO, A. 2021. Pemodelan Perilaku Beton Berkarat Menggunakan ATENA 3D. *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, Vol. 7, No. 2, Hal. 175 -186,