



Pengaruh Korosi Tulangan Secara Alami pada Balok Beton Bertulang Terhadap Kuat Lentur dan Geser

Anggi Ahmad Mulyadi¹, Eko Walujodjati²

Jurnal Konstruksi
Institut Teknologi Garut
Jl. Mayor Syamsu No. 1 Jayaraga Garut 44151 Indonesia
Email : jurnal@itg.ac.id

¹1811020@itg.ac.id
²eko.walujodjati@itg.ac.id

Abstrak – Dalam pengaplikasian di lapangan, beton sering digunakan sebagai elemen struktur, salah satunya sering dibuat balok beton bertulang yang dikombinasikan dengan tulangan baja, balok beton bertulang peranannya cukup besar untuk menahan beban, terutama beban lentur dan geser. Balok Beton yang memiliki kemampuan menahan gaya lentur dan geser secara maksimal, bahan penyusun beton bertulangnya yaitu khususnya tulangan baja, banyak mengalami korosi sebelum digunakan, akibat penyimpanan yang tidak benar Metode yang dipakai dalam penelitian ini yaitu metode eksperimental (percobaan) yang dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Garut, Pengkorosian tulangan dilakukan ditempat terbuka terkena cahaya matahari, air hujan, suhu dan kelembaban selama 4 bulan. Selanjutnya dilaksanakan uji kuat tekan beton dengan umur 28 hari rata-rata 18,91 MPa, kuat tarik tulangan tidak korosi 8 (\emptyset)530,12 Mpa, tulangan korosi 8 (\emptyset)517,52 Mpa, tulangan tidak korosi 10 (\emptyset)586,84 Mpa, tulangan korosi 10 (\emptyset)569,00 Mpa. Nilai momen kuat lentur rata-rata balok tulangan korosi adalah 4,85 KNm dan nilai momen kuat lentur rata-rata balok tulangan tidak korosi adalah 3,90 KNm, nilai tegangan balok tulangan korosi rata-rata adalah 6,92 MPa, dan untuk balok tulangan tidak korosi adalah 5,53 MPa. Untuk nilai geser balok beton bertulang tidak korosi lebih tinggi dari pada balok beton bertulang korosi, balok beton bertulang dengan tulangan tidak korosi lebih besar 91,04 KN dari pada balok beton dengan tulangan korosi 89,23 KN.

Kata Kunci – Balok; Kuat Lentur; Korosi; Kuat Tarik Tulangan.

I. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur Indonesia yang sering dilakukan diantaranya gedung-gedung bertingkat, perumahan, jembatan, jalan, lapangan terbang, terowongan, stadion, bendungan dan lain-lainnya. Pada suatu pembangunan dibutuhkan bahan-bahan konstruksi agar pembangunan tersebut dapat terlaksana. Bahan konstruksi bangunan yang sering di jumpai dan salah satu bahan konstruksi yang sangat penting dalam bangunan adalah beton.

Dalam pengaplikasian di lapangan, beton sering digunakan sebagai elemen struktur, salah satunya sering dibuat balok beton bertulang yang dikombinasikan dengan tulangan baja ulir atau polos. Balok beton bertulang peranannya cukup besar untuk menahan beban, terutama beban lentur dan geser. Tulangan baja yang bisa digunakan untuk beton bertulang bisa berupa besi ulir maupun polos. Beban yang bekerja pada balok beton bertulang biasanya berupa beban lentur, beban geser, dan beban puntir sehingga perlu baja tulangan ulir ataupun polos untuk menahan beban-beban tersebut. Tulangan ini berupa tulangan memanjang atau longitudinal serta tulangan geser atau sengkang [1].

Sampai saat ini, dalam proyek yang melibatkan konstruksi gedung, waduk, jembatan dan yang lainnya sering menunjukkan komponen beton bertulang terutama tulangan baja sering menunjukkan korosi parah sebelum digunakan karena penyimpanan yang tidak baik (diluar ruangan) [2]. Pembangunan-pembangunan balok beton bertulang banyak dipakai terutama untuk bangunan gedung bertingkat tinggi ditemukan bahwa pemakaian tulangan baja banyak yang sudah mengalami korosi karena pihak jasa konstruksi yang tidak mau rugi dalam hal tersebut karena progres pekerjaan yang lambat [3].

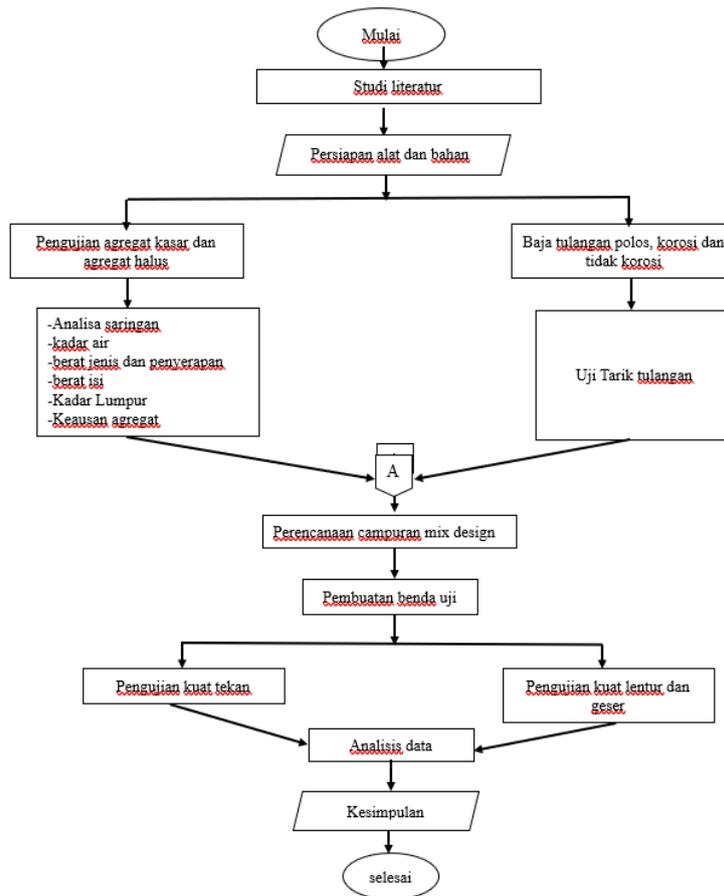
Indonesia memiliki iklim yang tropis menyebabkan setiap harinya perubahan temperatur dan kelembaban cukup besar. Kondisi seperti ini menyebabkan potensi kerusakan pada bahan bangunan. Kerusakan pada bahan bangunan yang mungkin terjadi salah satunya adalah korosi tulangan beton. Korosi pada tulangan beton disebabkan oleh perubahan kondisi tulangan baja dari basa menjadi asam dan kondisi lingkungan disekitarnya [4].

Korosi tulangan banyak terjadi disebabkan penurunan mutu logam akibat elektrokimia dengan lingkungan sekitar, sel korosi terbentuk di sekitar logam karena perbedaan konsentrasi ion dan gas normalnya proses korosi akan menghasilkan senyawa yaitu karat. Serangan korosi tidak hanya merusak bangunan yang menggunakan konstruksi saja, konstruksi beton bertulang yang nampaknya aman pun ternyata dalam kondisi tertentu baja tulangan didalamnya dapat mengalami korosi [5].

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Bagan Alir Penelitian

Supaya mendapatkan hasil yang rasional dan dapat dipertanggung-jawabkan, maka dalam suatu penelitian diharuskan adanya suatu langkah kerja yang runtut dan teratur. Langkah kerja tersebut disebut pula dengan metode penelitian. Metode yang dipakai dalam penelitian ini yaitu metode eksperimental (percobaan) yang dilaksanakan di laboratorium. Metode ini bertujuan untuk memperoleh hasil berupa data yang memungkinkan kita melihat hubungan variabel-variabel yang diselidiki. Secara skematis, langkah-langkah investigasi yang akan dilakukan diilustrasikan dalam diagram alir seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1: Bagan Alir Penelitian

B. Tempat Penelitian

Tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Garut untuk melakukan beberapa pengujian, seperti pengujian mutu bahan, pembuatan benda uji, perawatan, pengujian slump, uji tarik tulangan, uji kemampuan tekan beton dan uji kuat lentur geser.

C. Rancangan Penelitian

Dilakukan pengujian bahan terhadap agregat halus berupa pemeriksaan berat jenis, berat volume, kadar zat organik, kadar lumpur, kadar air dan analisa saringan. Untuk agregat kasar dilakukan pemeriksaan berat jenis, berat volume, analisa saringan, kadar air dan keausan menggunakan mesin Loss Angeles. Kemudian selanjutnya dilaksanakan uji kuat tekan, uji tarik tulangan uji kuat lentur dan geser. Pada penelitian ini dibuat 6 sampel balok beton berukuran $100 \times 200 \times 600$ mm.

Tabel 1: Kesimpulan dari parameter fisik

No Dimensi (mm)	Jenis Pengujian	Jumlah benda uji (buah)	Keterangan
Silinder 150×300	Uji tekan	3	Pengujian umur 28 hari
Balok $100 \times 200 \times 600$ Tulangan korosi	Uji lentur dan geser	3	Pengujian umur 28 hari
Balok $100 \times 200 \times 600$ Tulangan tidak korosi	Uji lentur dan geser	3	Pengujian umur 28 hari
Jumlah Total Benda Uji		9	

D. Bahan Penelitian

Bahan yang dipakai yaitu diantaranya; tulangan polos diameter 8 dan diameter 10, semen dan agregat dengan dimensi nominal maksimum yaitu 23,4 mm. Agregat halus berupa pasir dan agregat kasar dari garut [6].

E. Alat Penelitian

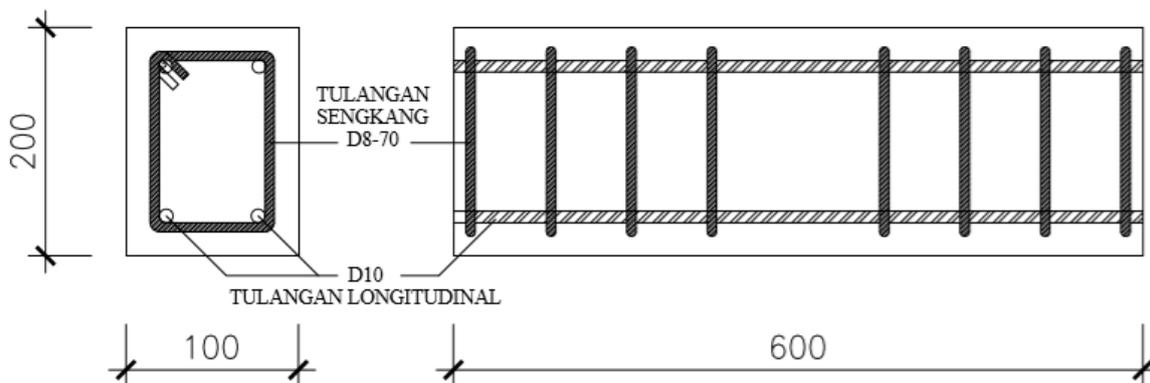
Alat pokok yang dipakai yaitu seperti: alat uji bahan, alat pengecoran, alat uji slump, alat uji tekan, alat uji tarik dan alat uji lentur dan geser.

F. Pengujian Bahan

Pengujian bahan yang dilakukan dalam penelitian ini diantaranya analisis saringan agregat; berat jenis *specific gravity*; kadar zat organik agregat halus; kadar lumpur agregat halus; kadar air agregat; keausan agregat kasar dan berat isi agregat [7]-[8].

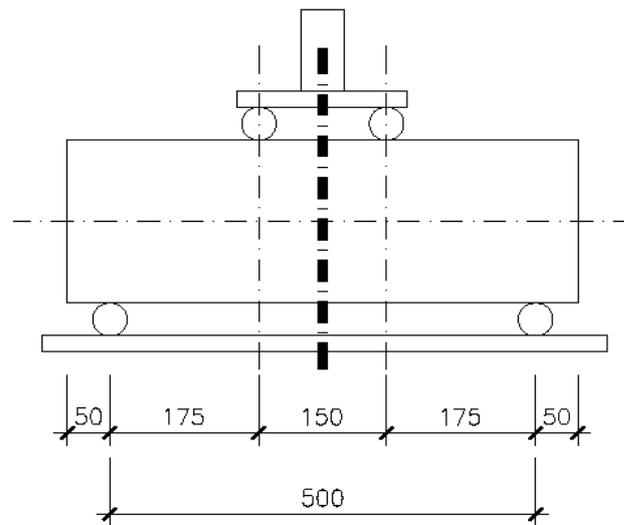
G. Pembuatan Benda Uji

Untuk memperoleh kekuatan beton yang seragam dan sesuai dengan perencanaan, maka diperlukan adanya perancangan campuran beton agar diketahui proporsi yang tepat untuk melaksanakan pengecoran, Pengkorosian tulangan beton dilakukan secara alami dan dibiarkan di tempat terbuka terkena air hujan, cahaya matahari, udara, suhu dan kelembaban dalam kurung waktu 4 bulan dengan tulangan longitudinal diameter 10 dan tulangan Sengkang diameter 8, untuk tingkat korosi tidak dilakukan karena keterbatasan alat uji. Ilustrasi benda uji balok beton dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2: Ilustrasi benda uji balok beton

Pengujian lentur dilakukan dengan menempatkan balok beton diatas perletakan tepat pada pusat tumpuan dari alat uji, kemudian mengatur pembebanan sehingga siap untuk pengujian. Hentikan pembebanan ketika beban maksimum yang mengakibatkan patahnya benda uji. Pengujian kuat lentur dilaksanakan pada umur 28 hari. Pengujian kuat lentur balok beton dilihat pada gambar 3.



Gambar 3: Pengujian Kuat Lentur Dengan Dua Titik Pembebanan

H. Perawatan Benda Uji

Setelah semua benda uji dibuat, maka tahap selanjutnya yaitu perawatan benda uji. Perawatan ini sangatlah penting dilakukan agar sampel beton tetap baik pada saat pengujian akan dilakukan. Sampel harus dirawat dalam kondisi basah dengan suhu $23^{\circ}\text{C} \pm 1,7^{\circ}\text{C}$ dimulai saat beton dicetak sampai dilakukannya pengujian dari pencetakan hingga ulasan pengujian[9].

I. Pengujian Benda Uji

Pengujian yang dilaksanakan pada penelitian ini yaitu pengujian uji tarik tulangan, uji tekan dan uji lentur dan geser pada beberapa benda uji. Pengujian ini merupakan prosedur paling utama, yaitu untuk mengetahui berapa besar beton dapat menerima beban aksial atau tekan

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Pengujian Bahan

Pengujian yang dilaksanakan yaitu pada agregat. Kemudian untuk semen, dalam penelitian eksperimen ini menggunakan jenis semen tipe 1 dengan nilai berat jenis yaitu $2,92 \text{ kg/m}^3$ diambil dari hasil pengujian sebelumnya yang dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa beton Teknik Sipil Politeknik Negeri Bandung dikarenakan terdapat merek semen yang sama yaitu semen tiga roda yang juga dipakai dalam penelitian tersebut.

Berikut adalah hasil pengujian bahan yang diteliti di laboratorium Teknik Sipil Institut Teknologi Garut dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3 berikut.

Tabel 2: Karakteristik Agregat Halus

No.	Jenis Penelitian	Hasil pengujian
1.	Kadar Air	7,87 %
2.	Berat isi	1,74 kg/ltr
3.	Berat jenis	
	a. Apparent specific gravity	2,61

No.	Jenis Penelitian	Hasil pengujian
	b. Bulk specific gravity (kering)	2,54
	c. Bulk specific gravity (SSD)	2,56
4.	Absorpsi	1,01 %
5.	Modulus kehalusan	3,08
6.	Kadar lumpur	2,22 %
7.	Kadar organik	No. 3

Tabel 3: Karakteristik Agregat Kasar

No.	Jenis Penelitian	Hasil pengujian
1.	Kadar Air	3,27 %
2.	Berat isi	1,53 kg/ltr
3.	Berat jenis	
	a. Apparent specific gravity	2,83
	b. Bulk specific gravity (kering)	2,50
	c. Bulk specific gravity (SSD)	2,61
4.	Absorpsi	4,63 %
5.	Modulus kehalusan	8,05
6.	Keausan	23,4 %

B. Desain Mix

Rancangan campuran beton dihitung dengan metode SNI 7656-2012 yang diadopsi dari ACI 211. Diketahui data bahan untuk campuran beton pada umur 28 hari dengan rencana kekuatan beton $F'c$ 20 MPa dengan nilai slump diambil 100 ± 20 mm. Semen yang digunakan memiliki berat jenis 2,92 gr/ml. Maka komposisi material untuk 1 m³ beton dan 6 sampel balok beton [10] ditunjukkan seperti pada tabel 4 dan tabel 5.

Tabel 4: Komposisi Campuran Silinder Beton

Jenis Bahan	Berdasarkan Volume	Kebutuhan 1 Sample Beton	Kebutuhan 3 Sample Beton
	Absolut		
Air Bersih	175.00	1.02	3.06
Semen	323.50	1.89	5.66
Ag. Kasar Kering	688.50	4.01	12.04
Ag. Halus Kering	1096.98	6.39	19.18
	2283.98	13.31	39.94

Tabel 5: Komposisi Campuran Balok Beton

Jenis Bahan	Berdasarkan Volume	Kebutuhan 1 Sample Balok Beton	Kebutuhan 6 Sampel Balok Beton
	Absolut		
Air Bersih	104.07	1.37	8.24
Semen	323.50	4.27	25.62
Ag. Kasar Kering	678.82	8.96	53.76
Ag. Halus Kering	1177.59	15.54	93.27
	2283.98	30.15	180.89

C. Hasil Uji Slump Beton (Slump Test)

Uji slump bertujuan untuk mengawasi kemudahan dalam pengerjaan (workability) juga sifat homogen pada adukan beton segar dengan kekentalan tertentu pada balok 75 mm-100 mm Hasil pengujian slump pada

percobaan pencampuran pertama, nilai slump menunjukkan nilai yaitu 95 mm yang masih memenuhi dengan rencana awal dalam mix design (100 ± 20). Nilai slump test dari beberapa campuran dapat diamati pada tabel 6 [11].

Tabel 6: Nilai *Slump Test*

Campuran	Nilai Slump (mm)	Keterangan
1	95	memenuhi
2	80	memenuhi
3	80	memenuhi

D. Hasil Pengujian Beton Segar

Hasil pengujian berat jenis beton segar untuk setiap sampel pada slump 75 sampai 100 mm menunjukkan rata-rata berat jenis 2270,33 kg/m³, hasil pengujian ini memenuhi kriteria SNI 7656 – 2012 dan berkisar antara 2200 kg/m³ hingga 2400 kg/m³ sampai dengan kg/m³, konsisten dengan berat beton yang direncanakan mendekati nilai 2380 kg/m³.

1. Kuat Tekan Beton Normal

Pada umur perawatan beton berbentuk silinder umur 28 hari, direncanakan kemampuan menahan tekanan di laboratorium (f_c') adalah 20 MPa. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai rata-rata kuat tekan beton campuran 28 hari kurang dari mutu beton rencana. Tidak tercapainya kekuatan beton yang ditargetkan dimungkinkan karena terdapat kesalahan dalam pelaksanaan pembuatan sampel. Berikut adalah tabel yang menunjukkan hasil dari pengujian kuat tekan beton. Hasil dari pengujian kuat tekan beton dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7: Hasil Uji Kuat Tekan (Beton Normal)

No	Benda Uji Silinder (mm)	P (KN)	A (mm ²)	Kuat Tekan (P/A) (Mpa)	Kuat Tekan (Rata-Rata) (Mpa)
1	300 × 150	294,7	17671,46	16,67	18,91
	300 × 150	367,1	17671,46	20,77	
	300 × 150	340,9	17671,46	19,29	

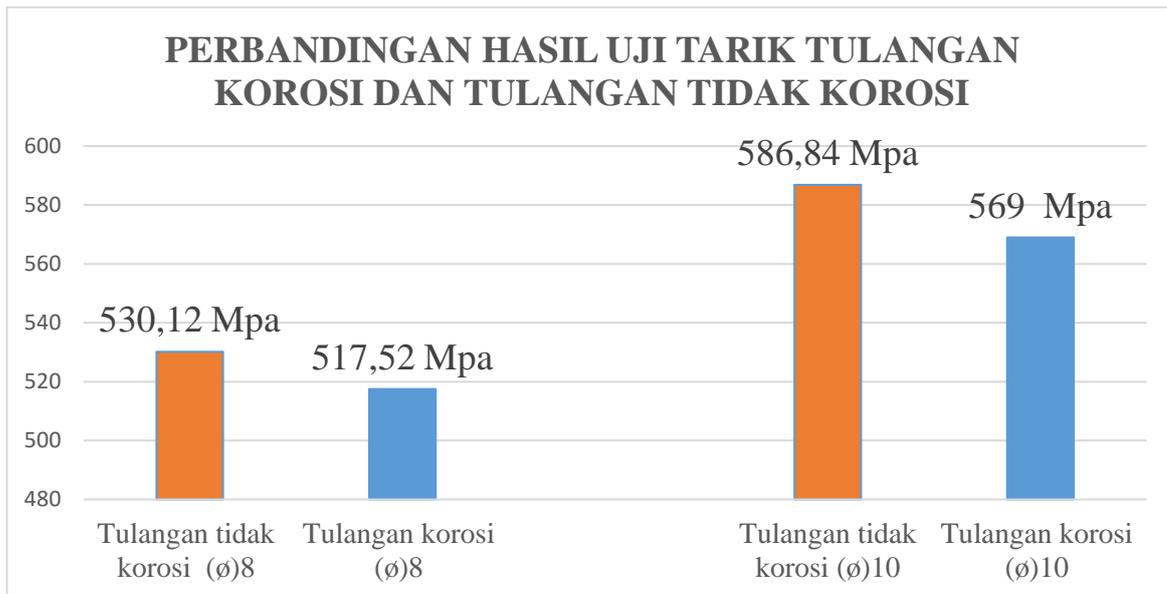
2. Hasil Uji Tarik Tulangan

Pengujian ini merupakan prosedur paling utama, yaitu untuk mengetahui berapa besar tulangan dapat menerima beban tarik [12] hasil uji tarik tulangan rata-rata dilihat pada tabel 8.

Tabel 8: Perbandingan Nilai Uji Tarik Tulangan

Jenis tulangan	Diameter (ϕ)	Fy (Mpa)
Tulangan korosi	8	517,52
	10	569
Tulangan tidak korosi	8	530,12
	10	586,84

Perbandingan hasil uji tarik tulangan rata-rata dilihat pada gambar 4.



Gambar 4: Perbandingan Hasil Uji Tarik Tulangan Korosi Dan Tulangan Tidak Korosi

Dari data yang didapat maka nilai uji tarik tulangan korosi dan tulangan tidak korosi diameter 8 dan diameter 10 adalah tulangan tidak korosi (ø) 8 sebesar 530,12 Mpa, tulangan korosi (ø) 8 517,52 Mpa, tulangan tidak korosi 10 (ø)586,84 Mpa, tulangan korosi 10 (ø)569,00 Mpa karena adanya permukaan tulangan yang terkikis atau kasar pada tulangan korosi mengakibatkan tulangan tidak korosi atau normal lebih besar dari pada tulangan korosi 4 bulan.

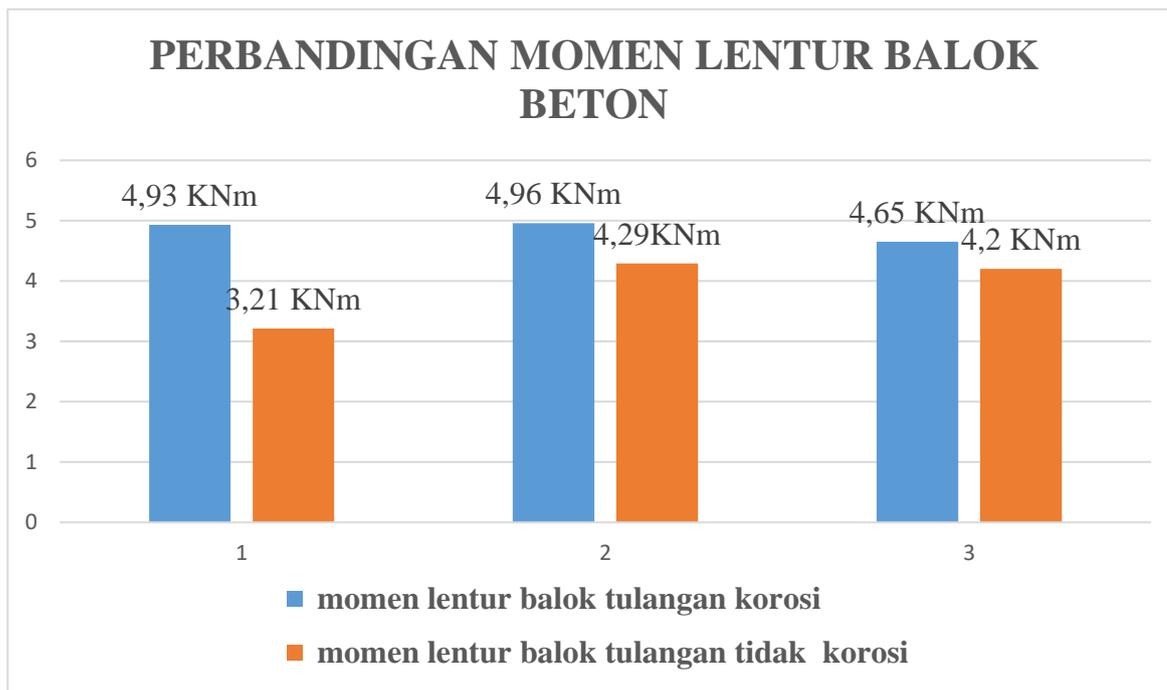
3. Hasil Kuat Lentur

Tujuan pengujian kuat lentur adalah untuk mengetahui kemampuan balok beton yang ditopang oleh dua penyangga untuk menahan gaya yang bekerja tegak lurus terhadap sumbu benda uji sampai benda uji runtuh [13].

Tabel 9: Nilai Perbandingan Momen Lentur

Jenis tulangan	No balok	½ P (KN)	a (m)	Momen lentur (KNm)
Tulangan korosi	1	56,4	0,175	4,93
	2	56,7	0,175	4,96
	3	53,2	0,175	4,65
Rata -rata				4,85
Tulangan tidak korosi	1	36,7	0,175	3,21
	2	49,1	0,175	4,29
	3	48	0,175	4,20
Rata- rata				3,90

Grafik Nilai perbandingan momen lentur balok beton dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5: Nilai Perbandingan Momen Lentur

Balok beton dengan tulangan korosi momen kuat lentur rata-rata balok tulangan korosi sebesar 4,85 KNm lebih tinggi dari nilai momen balok beton dengan tulangan tidak korosi sebesar 3,90 KNm karena disebabkan faktor korosi menambah kasar permukaan tulangan lentur /longitudinal dan menambah kuat lentur atau momen pada balok beton karena adanya ikatan kasar permukaan tulangan polos pada lekatan balok beton bertulang.

Tabel 10: Nilai Tegangan (Mpa)

Jenis tulangan	No balok	b (mm)	h (mm)	L(mm)	Kuat lentur (Mpa)
Tulangan korosi	1	100	200	600	7,05
	2	100	200	600	7,08
	3	100	200	600	6,65
Rata-rata					6,92
Tulangan tidak korosi	1	100	200	600	4,58
	2	100	200	600	6,13
	3	100	200	600	6
Rata-rata					5,53

Balok beton dengan tulangan korosi nilai tegangan rata-rata nya lebih tinggi dari balok beton dengan tulangan tidak korosi ,karena Faktor korosi menambah kasar permukaan tulangan lentur /longitudinal dan menambah ikatan pada balok beton bertulang.Nilai tegangan balok beton tulangan korosi adalah 6,92 MPa, dan untuk balok beton tulangan tidak korosi adalah 5,53 MPa.

4. Hasil Geser

Pengujian ini merupakan prosedur paling utama, yaitu untuk mengetahui berapa besar balok beton dapat menerima beban geser [14].

- a. Kekuatan geser yang diberikan oleh beton

$$V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'c} \cdot b_w \cdot d$$

- b. Kekuatan geser yang diberikan oleh tulangan geser

$$V_s = \frac{A_v \cdot F_y \cdot d}{s}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

1) Balok beton tulangan korosi

$$V_c = (1/6 \sqrt{18,91}) 100 \times 200 = 14495,20 \text{ N} = 14,95 \text{ KN}$$

$$V_s = \frac{50,24 \times 517,52 \times 200}{70} = 74286,29 \text{ N} = 74,28 \text{ KN}$$

$$V_n = 14,95 + 74,28 = 89,23 \text{ KN}$$

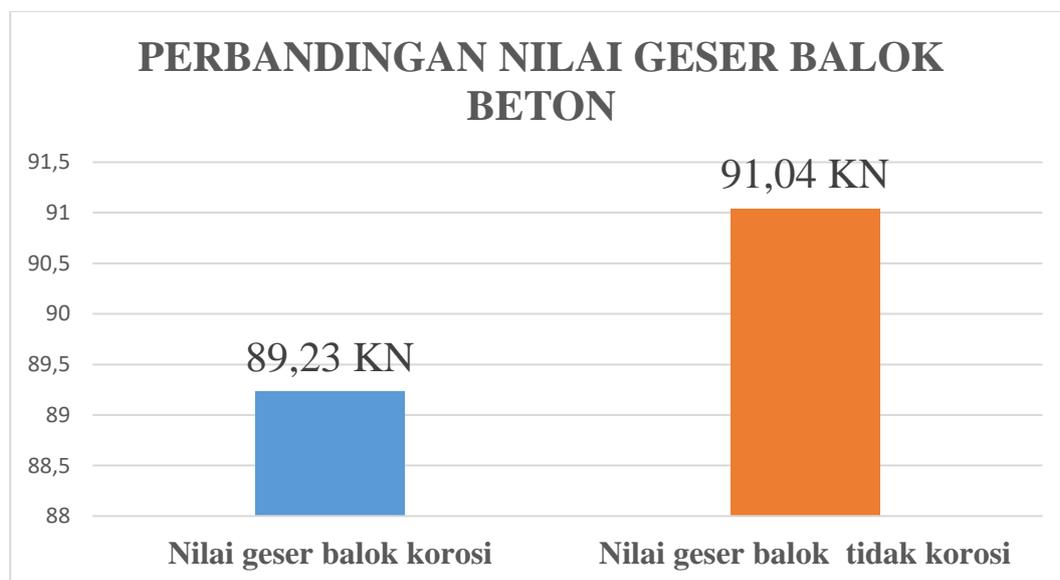
2) Balok beton tulangan tidak korosi

$$V_c = (1/6 \sqrt{18,91}) 100 \times 200 = 14495,20 \text{ N} = 14,95 \text{ KN}$$

$$V_s = \frac{50,24 \times 530,12 \times 200}{70} = 76094,93 \text{ N} = 76,09 \text{ KN}$$

$$V_n = 14,95 + 76,09 = 91,04 \text{ KN}$$

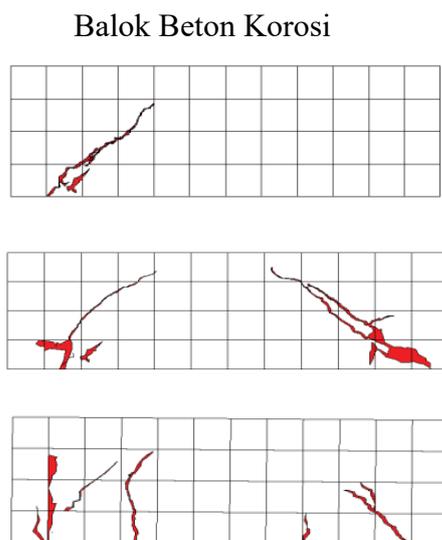
3) Grafik perbandingan nilai geser balok beton dapat dilihat pada gambar 6.



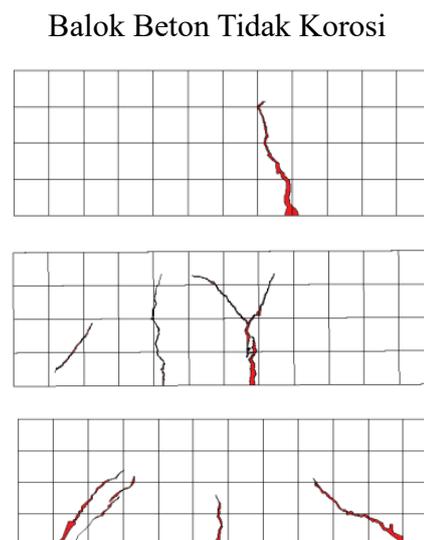
Gambar 6: Perbandingan Nilai Geser Balok Beton

Untuk nilai geser balok beton bertulang tidak korosi lebih tinggi dari pada balok beton bertulang korosi. Balok beton bertulang dengan tulangan tidak korosi lebih besar 91,04 KN dari pada balok beton dengan tulangan korosi 89,23 KN. Nilai geser balok beton bertulang tidak korosi lebih besar dari pada balok beton bertulang korosi dan Kegagalan geser balok beton bertulang korosi pengaruh nya lebih besar akibat menanggung beban beton pada tulangan Sengkang berkarat.

5. Retak Pada Balok Beton



Gambar 7: Retak Geser



Gambar 8: Retak Lentur Dan Geser

Dari pola retak yang terjadi pada balok beton bertulang tulangan tidak korosi terjadi retak pada daerah pusat atau retak lentur dan pola retak pada balok beton bertulang tulangan korosi banyak terjadinya retak geser. Karena kegagalan geser balok beton bertulang korosi pengaruh nya lebih besar akibat menanggung beban beton pada tulangan Sengkang berkarat.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan diskusi pembahasan, maka dapat ditarik kesimpulan nilai momen kuat lentur rata-rata balok tulangan korosi adalah 4,85 KNm dan nilai momen kuat lentur rata-rata balok tulangan tidak korosi adalah 3,90 KNm, nilai tegangan balok beton dengan tulangan korosi rata-rata adalah 6,92 MPa, dan untuk balok beton tulangan tidak korosi adalah 5,53 MPa. Untuk nilai geser balok beton bertulang tidak korosi lebih besar dari pada balok beton bertulang korosi dan kegagalan geser balok beton bertulang korosi pengaruh nya lebih besar akibat menanggung beban beton pada tulangan Sengkang berkarat. Balok beton dengan tulangan tidak korosi lebih besar 91,04 KN dari pada balok beton dengan tulangan korosi 89,23 KN. Dari hasil eksperimen yang telah dilakukan tulangan korosi selama 4 bulan pada balok beton bertulang berdasarkan perhitungan lentur masih bisa digunakan malah lebih kuat dari tulangan tidak korosi, tetapi berdasarkan perhitungan geser harus diwaspadai karena adanya kegagalan geser pada balok beton tulangan korosi.

Perlu dilakukan dengan komposisi tulangan yang beragam, dan jenis tulangan yang berbeda seperti tulangan ulir, Perlu dilakukan penambahan waktu pengerosian tulangan lebih dari 4 bulan. Perlu dilakukan penelitian perbedaan jarak sengkang pada tulangan begel korosi karena yang terjadi kegagalan geser.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Walujodjati, J. A. Tjondro, S. Permana, and G. J. Johari, "Study of flexural strength on concrete bundled bars beams," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 1098, no. 2, p. 022062, Mar. 2021, doi: 10.1088/1757-899x/1098/2/022062.
- [2] M. Rigga Arista, I. Komara, J. Propika, and E. Susanti, "Analisa Empiris Distribusi Korosi Tulangan Balok Beton Bertulang Berdasarkan Kuat Tekan Dan Selimut Beton," *Pros. Semin. Teknol. Perencanaan, Perancangan, Lingkung. dan Infrastruktur*, pp. 177–187, 2021.
- [3] Prihantono and Saefudin, "PENGARUH KOROSI BAJA TULANGAN TERHADAP KUAT LEKAT

- BETON BERTULANG Drs. Prihantono ST dan Saefudin,” *Menara, J. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 2, pp. 182–199, 2006.
- [4] U. S. Utara, U. S. Utara, and U. S. Utara, “Pengaruh Tulangan Baja yang Terkorosi HCL Terhadap Kapasitas dan Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang,” 2020.
- [5] Andres, “Kajian Kuat dan Perilaku Lentur Balok Beton Bertulang Akibat Besi yang Terkorosi NaCl,” p. 189, 2020.
- [6] SNI 03-2834-2000, “SNI 03-2834-2000: Tata cara pembuatan rencana campuran beton normal,” *Sni 03-2834-2000*, pp. 1–34, 2000.
- [7] Badan Standardisasi Nasional, “SNI ASTM C136:2012. Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar,” *Badan Stand. Nas.*, pp. 1–24, 2012.
- [8] SNI 1973, “Cara uji berat isi, volume produksi campuran dan kadar,” *Badan Standar Nas. Indones.*, no. 1, p. 6684, 2016.
- [9] SNI 2493-2011, “Tata Cara Pembuatan dan Perawatan Benda Uji Beton di Laboratorium,” *Badan Standar Nas. Indones.*, p. 23, 2011.
- [10] SNI 7656:2012, “Tata Cara Pemilihan Campuran untuk Beton Normal, Beton Berat dan Beton Massa,” *Badan Standarisasi Nas.*, p. 52, 2012.
- [11] Badan Standardisasi Nasional, “SNI 03-1972-1990 : Metode Pengujian Slump Beton,” *Badan Standar Nas. Indones.*, vol. 1, no. ICS 91.100.30, pp. 1–12, 1990.
- [12] P. B. PU, “SNI 07-2529-1991 Metode Pengujian Tarik Baja Beton,” *Sni 07-2529-1991*, pp. 1–9, 1991.
- [13] Badan Standardisasi Nasional Indonesia, “SNI 4431-2011 : Cara Uji Kuat Lentur Beton Normal dengan Dua Titik Pembebanan,” *Badan Standar Nas. Indones.*, p. 16, 2011.
- [14] 2847:2013 SNI, “Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung,” *Bandung Badan Stand. Indones.*, pp. 1–265, 2013.