

# PENGARUH KOROSI BAJA TULANGAN TERHADAP KUAT GESER BALOK BETON BERTULANG

**Wibowo**

Jurusan Teknik Sipil FT- Universitas Sebelas Maret Surakarta, e-mail : [wibowo@uns.ac.id](mailto:wibowo@uns.ac.id)

**Purnawan Gunawan**

Jurusan Teknik Sipil FT- Universitas Sebelas Maret Surakarta, e-mail : [purnawan\\_g@uns.ac.id](mailto:purnawan_g@uns.ac.id)

## **Abstract**

*In many projects of civil building, the corrosion of reinforcing bars occurs when they are placed in open area. The corrosion of steel is caused by  $O_2$ ,  $H_2SO_4$  and  $MgSO_4$ . The objective of this research is to observe the influence corrosion of reinforcing bars used in reinforced concrete beam in shear rupture. This research was an experimental method and used sulphate acid ( $H_2SO_4$ ) as a medium of corrosion process. The reinforcing bars used had a diameter of 6, 10 and 12 mm that were corroded for 2 weeks, 4 weeks and 6 weeks in sulphate acid solution. Preliminary test had been conducted to know the corrosion velocity, the weight and diameter reinforcing bar reductions. Then, the corroded reinforcing bars were casted into 12 concrete beams which had a dimension of 15 cm x 20 cm x 160 cm. The shear test was applied to these samples. The results show that corrosion velocity increase in 4 weeks; but it decreases in 6 weeks. The rate of weight and diameter reinforcing bars reductions also increases. The result of shear rupture test of reinforced are 6.41 % for 2 weeks, 8.97 % for 4 weeks and 9.40 % for 6 weeks. This research proves that corrosive reinforcing bar process can increase the shear rupture of reinforced concrete beam.*

## **Keywords:**

*corrosion,  $H_2SO_4$ , shear rupture.*

## **PENDAHULUAN**

Beton bertulang merupakan konstruksi yang sudah tidak asing dalam bidang teknik sipil. Hampir di setiap bangunan sipil baik itu gedung, jembatan maupun bangunan air, beton bertulang digunakan sebagai struktur utama maupun struktur pelengkap.

Seperti diketahui bahwa kuat geser dijumpai dalam semua unsur beton bertulang. Pada beton bertulang, keruntuhan geser terjadi tanpa ada tanda-tandanya secara pasti sebelumnya. Hal ini sangat berbahaya maka harus dihindarkan. Untuk itu perlu adanya perencanaan yang cermat dan teliti terhadap kuat geser pada beton yang akan digunakan. Besarnya kekuatan geser pada beton bertulang erat hubungannya dengan kondisi baja tulangan yang digunakan untuk menyusun beton tersebut. Kondisi baja adalah suatu keadaan yang memperlihatkan apakah baja tulangan tersebut masih dalam kondisi normal atau telah mengalami reaksi dengan lingkungan sekitarnya yang memungkinkan terjadinya penurunan kualitas baja tulangan tersebut. Salah satu hal yang dapat menurunkan kualitas dari baja tulangan adalah terjadinya korosi pada baja tulangan tersebut.

Dewasa ini sering kita lihat terutama pada proyek-proyek pembangunan gedung, waduk dan lain-lain, bahan-bahan penyusun beton bertulang yaitu baja tulangan khususnya banyak mengalami korosi

akibat penyimpanan yang tidak baik (dibiarkan begitu saja di alam terbuka), sehingga secara tidak langsung baja tulangan tersebut akan mudah terkena pengaruh kondisi lingkungan sekitar misal air laut, udara dan larutan yang mengandung garam sulfat, klorida, asam sulfat dan asam-asam lainnya.

Dari penelitian Agus Purwanto dijelaskan bahwa larutan garam Natrium Klorida (NaCl) pada baja tulangan dapat menyebabkan korosi karena larutan tersebut mampu mempercepat proses korosi. Karena baja tulangan merupakan logam yang mudah mengalami korosi maka jika konsentrasi larutan NaCl yang mengenai baja tulangan tersebut tinggi maka semakin besar pula laju korosinya. Hal ini berlaku untuk baja tulangan yang terkorosi asam sulfat, garam sulfat dan asam-asam lainnya. Apabila ini tidak dicegah tentu saja akan mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas dari baja tulangan tersebut.

Dengan menurunnya kualitas baja akibat korosi tersebut tentu saja akan mempengaruhi kekuatan beton yang diperkuatnya dalam menahan beban-beban yang nantinya didukung oleh beton tersebut. Permasalahan ini dapat dijadikan sebagai bahan penelitian dimana nantinya dapat diketahui seberapa besar kekuatan beton bertulang dalam menahan gaya-gaya yang mengenainya terutama untuk kekuatan gesernya yang menggunakan tulangan baja terkorosi asam sulfat.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh korosi baja tulangan terhadap kuat geser balok beton bertulang.

Agar penelitian berjalan secara sistematis, maka permasalahan yang ada perlu dibatasi dengan batasan-batasan sebagai berikut: rencana kuat desak beton yang digunakan adalah 20 MPa. Baja tulangan polos yang digunakan adalah tulangan tarik 3  $\phi$  12 mm, tulangan tekan 2  $\phi$  10 mm dan tulangan sengkang  $\phi$  6 – 300 mm. Larutan yang digunakan sebagai media dalam proses pengorosan adalah larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ). Waktu pengorosan baja tulangan direncanakan dalam 3 variasi yaitu 2 minggu, 4 minggu, dan 6 minggu.

### Korosi Baja Tulangan

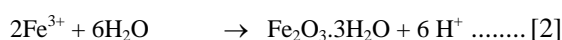
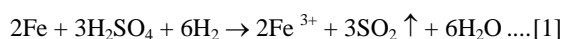
Korosi adalah penurunan mutu logam akibat reaksi elektrokimia dengan lingkungannya. Korosi berkaitan dengan logam, karena hampir semua logam merupakan bahan yang mudah mengalami korosi.

Baja tulangan merupakan suatu bahan yang mudah mengalami korosi. Korosi baja tulangan pada beton adalah sebuah proses elektrokimia. Sel korosi terbentuk karena perbedaan konsentrasi ion dan gas di sekitar logam. Secara normal, baja tulangan akan mempunyai lapisan film tipis  $FeO.OH$  pada permukaannya yang akan membuat baja pasif terhadap proses korosi.

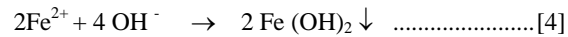
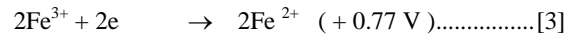
Pada proses korosi akan dihasilkan suatu senyawa baru yaitu karat ( $Fe_2O_3.nH_2O$ ). Untuk media korosi adalah air laut, perubahan baja menjadi karat akan menyebabkan pertambahan volumenya tergantung pada kondisi oksidasi besinya. Penambahan volume (kurang lebih 600 %) akan menyebabkan ekspansi beton dan keretakan. (Agus Purwanto, 2003).

Laju korosi atau kerusakan lapisan pelindung yang diberikan kepada logam akan dipengaruhi oleh perubahan-perubahan faktor: kelembaban relative, temperature, PH, konsentrasi oksigen, bahan pengotor padat/terlarut, konsentrasi larutan.

Pada proses korosi, baja tulangan dimasukkan dalam larutan asam sulfat, reaksi kimia yang terjadi pada proses korosi dapat dijelaskan dengan Persamaan 1 dan 2. Asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) bereaksi dengan besi (Fe) pada baja tulangan.



Pada proses korosi juga terjadi perpindahan elektron sehingga tidak semua  $Fe^{3+}$  yang dihasilkan berubah menjadi  $Fe_2O_3.3H_2O$ , akan tetapi sebagian mengalami reduksi membentuk  $Fe^{2+}$ . Reaksi tersebut dapat dilihat pada Persamaan 3 dan 4. Besi ( $Fe^{3+}$ ) mengalami reduksi membentuk  $Fe^{2+}$ .



$Fe(OH)_2$  merupakan endapan hijau kotor yang tampak sebagai hasil akhir yang menempel pada baja tulangan.

### Hal-hal yang terkait langsung pada korosi baja tulangan

Pengaruh agresi zat korosif ini menyebabkan perubahan pada baja tulangan, perubahan ini meliputi besar diameter dan berat. Hal ini akan mempengaruhi kekuatan pada struktur beton bertulang, khususnya pada kekuatan lekatan antara baja tulangan itu sendiri terhadap beton.

Persyaratan dasar dalam konstruksi beton bertulang adalah lekatan (*bond*) diantara batang tulangan dan beton yang mengelilingi berlangsung sempurna tanpa terjadi penggelinciran atau pergeseran. Kuat lekat merupakan kemampuan menahan tegangan leleh antara batang tulangan dan beton yang mengelilinginya dalam menahan gaya dari luar ataupun yang dapat mengakibatkan terlepasnya lekatan antara batang tulangan dan beton.

### Pengaruh penggunaan baja tulangan yang terkorosi berbagai medium karat terhadap kuat lekat pada beton.

Pengaruh medium karat terhadap kuat lekat berhubungan erat dengan kuat geser yang disumbangkan oleh baja tulangan. Hal ini terjadi karena dengan berubahnya diameter tulangan, berarti luas kontak beton-tulangan berubah sehingga luas bidang geser beton-tulangan berubah. Berikut perubahan perubahan kuat lekat pada masing-masing benda uji disebabkan adanya karat yang dihasilkan dari ketiga medium korosi. Perubahan yang terjadi pada proses korosi menggunakan medium air laut, terjadi peningkatan kuat lekat. Sedangkan perubahan yang terjadi pada proses korosi menggunakan medium asam sulfat dan garam Inggris, terjadi penurunan kuat lekat.

Peningkatan kuat lekat yang terjadi pada proses korosi dengan menggunakan medium air laut disebabkan karena karat yang dihasilkan dari proses korosi tersebut, berupa kerak hasil oksidasi besi

baja yang bersifat keras, membatu, dan melekat erat pada baja tulangan. Kerak ini membuat permukaan baja tulangan menjadi kasar. Permukaan kasar pada baja tulangan inilah yang menyebabkan gaya gesek antara permukaan baja dengan beton semakin besar dan hal inilah yang menyebabkan kuat lekat menjadi meningkat. Proses korosi dengan menggunakan medium ini berlangsung sangat cepat karena di dalam air laut mengandung ion klorida yang sangat reaktif yang akan mempercepat terjadinya reaksi elektrokimia pada baja tulangan karena ion klorida bertindak sebagai katalis. Disisi lain, proses korosi ini mengakibatkan penambahan volume kurang lebih sampai 600 %, sehingga pada beton struktur menyebabkan ekspansi beton dan keretakan akibat desakan dari karat yang dihasilkan dari proses korosi. Hal ini ditandai dengan adanya retakan pada beton yang sejajar dengan baja tulangannya yang mengakibatkan selimut beton terlepas seperti yang terjadi pada PT. Soda Indonesia di Waru, Sidoarjo. Terlepasnya selimut beton ini mengakibatkan pengurangan lekatan baja tulangan pada beton dan juga pengurangan luas nominal baja tulangan semakin meningkat.

Penurunan kuat lekat yang terjadi pada proses korosi dengan menggunakan medium asam sulfat dan garam Inggris. Hal ini disebabkan karena karat yang dihasilkan dari proses korosi tersebut, berupa butiran hasil oksidasi besi baja yang bersifat rapuh, halus, dan hanya menempel pada baja tulangan. Butiran karat yang hanya menempel pada baja tulangan inilah yang mengurangi gaya gesek antara baja tulangan dan beton. Hal inilah yang mengakibatkan kuat lekat beton menjadi turun (Wibowo dkk, 2004).

### Keruntuhan Pada Balok

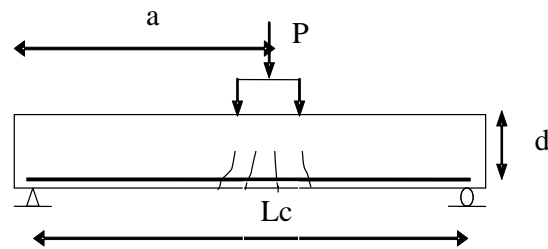
Suatu kegagalan geser kelihatannya tidak begitu rumit apabila ia terjadi jauh dari beban-beban dan titik-titik perletakan. Lebih mudah untuk menggolongkan kegagalan-kegagalan geser sehubungan dengan jarak antara beban pengujian dan titik perletakan. Jarak yang ditetapkan sebagai bentang geser disimbolkan dengan huruf  $a$  untuk beban terpusat dan  $l_c$  untuk beban terdistribusi.

Menurut Edward G. Nawy, 1990, pada dasarnya kegagalan pada balok ada 3 macam yaitu: keruntuhan lentur, keruntuhan diagonal, dan keruntuhan geser.

### Keruntuhan Lentur

Keruntuhan ini terjadi pada perbandingan  $(a/d)$  lebih besar dari 5,5 untuk beban terpusat dan  $L_c/d$  lebih besar dari 16 untuk beban terdistribusi. Apabila beban terus bertambah, retak awal yang

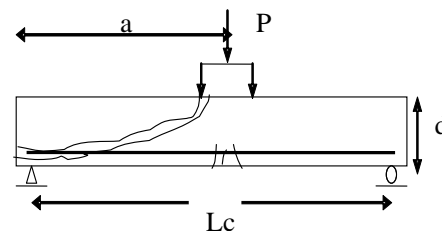
sudah terjadi akan semakin lebar dan semakin panjang. Hal ini bersamaan dengan semakin besarnya lendutan ditengah bentang. Untuk dapat mengetahui lebih jelas mengenai keruntuhan lentur yang terjadi pada balok, dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Keruntuhan lentur pada balok

### Keruntuhan Tarik Diagonal

Keruntuhan ini terjadi pada kekuatan balok dalam diagonal tarik lebih kecil daripada kekuatan lenturnya. Perbandingan antara bentang geser dengan tinggi penampang adalah sedang yaitu  $(a/d)$  bervariasi antara 2,5 – 5,5 untuk beban terpusat dan  $L_c/d$  bervariasi antara 11 – 16. Retak mulai terjadi di tengah bentang, berarah vertikal berupa retak halus yang diakibatkan oleh lentur. Hal ini diikuti dengan rusaknya lekatan antara tulangan dan beton di sekitarnya. Untuk mengetahui lebih jelas keruntuhan yang terjadi, dapat dilihat pada Gambar 2.

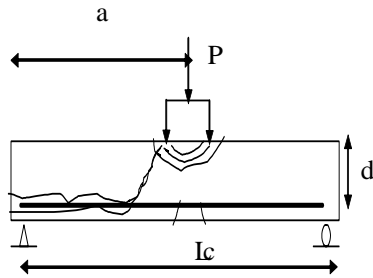


Gambar 2. Keruntuhan tarik diagonal pada balok

### Keruntuhan Tekan Geser

Keruntuhan ini terjadi pada balok yang mempunyai perbandingan  $(a/d)$  antara 1 – 2,5 untuk beban terpusat dan  $L_c/d$  kurang dari 5 untuk beban terdistribusi. Keruntuhan ini dimulai dengan timbulnya retak lentur halus vertikal di tengah bentang dan tidak terus menjalar, karena terjadi kehilangan lekatan antara tulangan longitudinal dengan beton di sekitarnya pada perletakan. Setelah itu, diikuti dengan retak miring yang lebih curam daripada retak diagonal tarik secara tiba-tiba dan menjalar menuju sumbu netral. Kecepatan penjaran ini semakin berkurang sebagai akibat hancurnya beton pada tepi tertekan dan terjadinya redistribusi tegangan pada daerah atas. Pada saat bertemunya retak miring ini beton yang tertekan,

terjadilah keruntuhan secara tiba-tiba. Untuk dapat mengetahui lebih jelas mengenai keruntuhan lentur yang terjadi pada balok, dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Keruntuhan tekan geser pada balok

Geser pada balok beton bertulang merupakan kerusakan yang terjadi di daerah sekitar tumpuan. Retak miring akibat geser di badan balok beton bertulang dapat terjadi tanpa disertai retak akibat lentur di sekitarnya, atau dapat juga sebagai kelanjutan proses retak lentur yang telah mendahuluinya. Retak balok yang sebelumnya tidak mengalami retak lentur dinamakan retak geser badan. Retak geser badan juga dapat terjadi di sekitar titik balik lendutan atau pada tempat terjadi penghentian tulangan balok struktur bentang menerus. (Dipohusodo, 1999).

Perilaku balok beton bertulang pada keadaan runtuh geser sangat berbeda dengan keruntuhan karena lentur. Balok tersebut akan hancur tanpa adanya peringatan terlebih dahulu. Juga retak diagonalnya lebih lebar dibandingkan retak lentur. (Edward G. Nawy, 1990).

Tarik diagonal merupakan penyebab utama dari retak miring. Dengan demikian keruntuhan di dalam balok yang lazimnya disebut sebagai keruntuhan geser (*shear failure*) sebenarnya adalah keruntuhan tarik di arah retak miring. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan geser dan pembentukan dari retak miring adalah begitu banyak dan rumit sehingga suatu kesimpulan yang pasti mengenai mekanisme yang betul dari retak miring akibat geser yang tinggi sangat sukar ditetapkan. (Chu Kia Wang dan Charles G. Salmon, 1990).

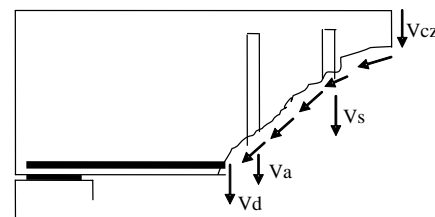
### Kuat Geser Balok

Perencanaan beton bertulang terhadap geser ternyata sesuai dengan lentur murni juga karena yang menentukan adalah perilaku struktur dalam stadium keruntuhan. Transfer dari geser di dalam unsur-unsur beton bertulang terjadi dengan suatu kombinasi dari beberapa mekanisme sebagai berikut :

- Perlawanan geser dari beton yang belum retak ( $V_{cz}$ ).

- Gaya ikat antara agregat (transfer geser antar permukaan)  $V_a$  dalam arah tangensial sepanjang retak.
- Aksi pasak (*double action*)  $V_d$  sebagai perlawanan dari penulangan longitudinal terhadap gaya transversal.
- Perlawanan tulangan geser dari  $V_s$  dari sengkang vertikal atau miring.

Untuk lebih jelasnya perlawanan terhadap geseran dapat dilihat pada Gambar 4



Gambar 4. Perlawanan terhadap geseran.

Kekuatan geser beton bertulang yang mengalami korosi merupakan sumbangan dari beton dan baja tulangan yang digunakan. Adapun besarnya kekuatan geser nominal dapat dihitung dengan Persamaan 5 sebagai berikut.

$$V_n = V_c + V_{s_c} \dots\dots\dots [5]$$

dimana :

$V_c$  = kekuatan geser nominal sumbangan beton.

$V_{s_c}$  = kekuatan geser nominal sumbangan tulangan geser yang sudah mengalami korosi.

Apabila tulangan geser yang lekatannya tidak sempurna atau lebih parahnya lolos, ini berarti sumbangan kekuatan penahan gaya geser berkurang atau mungkin tidak ada, sehingga gaya geser ditanggung sepenuhnya oleh beton dan sedikit tulangan baja. Balok beton yang  $V_s$  kecil atau tidak ada mempunyai kegagalan geser yang runtuh secara tiba tiba.

Untuk kekuatan geser dari beton dapat dicari dengan Persamaan 6.

$$V_c = 1/6 \sqrt{f_c'} b d \dots\dots\dots [6]$$

dimana :

$f_c'$  = mutu beton yang direncanakan (MPa).

$b$  = lebar penampang (mm).

$d$  = tinggi efektif penampang (mm).

Sedangkan untuk kekuatan geser dari tulangan geser dapat dicari dengan Persamaan 7.

$$V_{sc} = \frac{A_{vc} f_y d}{s} \dots\dots\dots [7]$$

dimana :

$A_{vc}$  = luas tulangan geser terkorosi/sengkan ( $\text{mm}^2$ ).

$f_y$  = mutu baja tulangan (MPa).

$d$  = tinggi efektif penampang (mm).

$S$  = jarak antar sengkan (mm).

Dari persamaan 7 kekuatan geser yang disumbangkan oleh baja tulangan berbanding lurus luas tulangan. Hal ini berarti kekuatan geser yang disumbangkan oleh baja tulangan berbanding lurus diameter tulangan. Penurunan persamaan ini dapat dilihat pada Persamaan 8.

$$V_{sc} = \frac{A_{vc} f_y d}{s} \rightarrow \frac{\pi D^2 f_y d}{4 s} \dots\dots\dots [8]$$

dengan  $D$  adalah diameter tulangan terkorosi

## METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen. Benda uji yang digunakan dalam penelitian ini berupa benda uji beton silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk uji kuat desak dan balok beton bertulang dengan dimensi  $15 \times 20 \times 160 \text{ cm}^3$  untuk uji kuat geser. Untuk proses pengorosan baja tulangan digunakan larutan asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) dan waktu pengorosan dilakukan dalam 3 variasi yaitu 2 minggu, 4 minggu, dan 6 minggu.

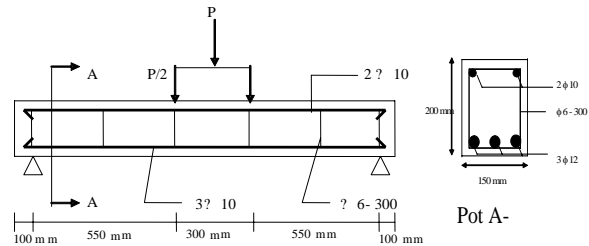
Setelah baja tulangan terkorosi sesuai rencana, maka dilakukan pengambilan data tentang laju korosi yang diukur dengan *Corrosion Rate Meter*, pengurangan berat dan pengurangan diameter pada baja tulangan tersebut. Kemudian baja tulangan terkorosi tadi sebagai baja tulangan balok uji geser. Jumlah balok uji geser 18 buah benda yang masing-masing terdiri dari 3 sampel kondisi normal, 3 sampel terkorosi 2 minggu, 3 sampel terkorosi 4 minggu dan 3 sampel terkorosi 6 minggu. Kode balok uji geser diperlihatkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kode balok uji geser

Kode balok	Waktu korosi (bulan)	Keterangan
BGN	0	Balok geser normal
BGK1	2	Balok geser korosi 2 bulan
BGK2	4	Balok geser korosi 4 bulan
BGK3	6	Balok geser korosi 6 bulan

Pada pengujian kuat geser yang dilakukan dengan menggunakan alat uji geser (*Loading Frame*, *Load cell*, *Tranducer*, *Hydrolic Jack*, *Dial Gauge* dan *Microcrack*) dengan jarak pembebanan 30 cm,

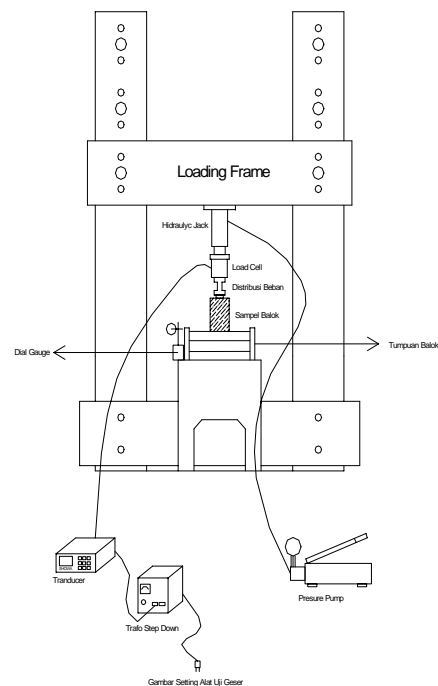
didapatkan data berupa besarnya beban maksimum yang mampu ditahan oleh tiap-tiap benda uji balok yang dibuat. Untuk sketsa gambar benda uji beserta penulangannya dapat dilihat pada Gambar 5. Untuk lebih jelasnya mengenai setting alat uji geser dapat dilihat pada Gambar 6.



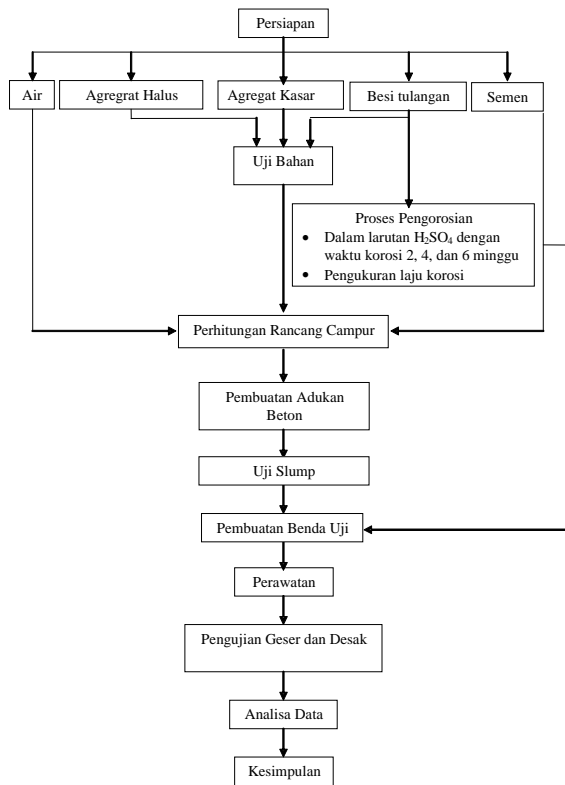
Gambar 5. Benda Uji Balok

## Tahap – Tahap Penelitian

Dengan urutan yang jelas dan teratur sehingga hasilnya menjadi penelitian ilmiah, penelitian harus dilaksanakan dalam sistematika dapat dipertanggungjawabkan. Secara keseluruhan tahapan penelitian sesuai bagan alir pada gambar 7.



Gambar 6. Setting alat uji geser



Gambar 7. Bagan Alir Tahap-tahap Penelitian

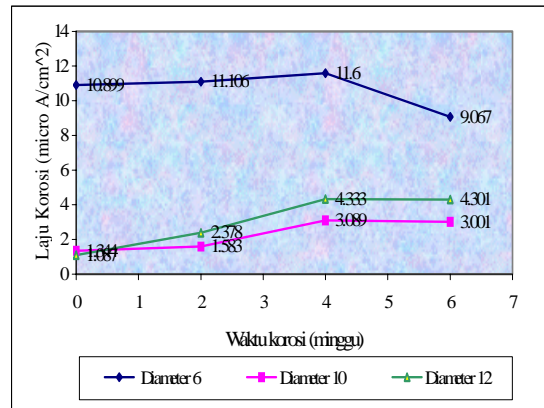
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan pada tiap baja tulangan yang telah mengalami proses korosi dengan media larutan asam sulfat. Pengukuran dilakukan pada tiap periode pengkorosian yaitu 2 minggu, 4 minggu dan 6 minggu. Pengukuran meliputi : pengukuran laju korosi, pengukuran diameter tulangan, pengukuran berat tulangan. Baja tulangan yang sudah terkorosi kemudian dijadikan sebagai tulangan balok beton yang kemudian diuji kuat geser balok.

### Laju Korosi Baja Tulangan

Pada Gambar 8 dapat dilihat bahwa laju korosi untuk korosi 2 minggu dan 4 minggu, mengalami kenaikan. Namun pada korosi 6 minggu laju korosi mengalami penurunan dari kondisi korosi sebelumnya. Grafik laju korosi tidak terus naik ke atas, melainkan naik yang kemudian mengalami penurunan, hal ini terjadi karena pada waktu yang sama akan dihasilkan laju korosi yang berbeda. Perbedaan ini disebabkan laju korosi dipengaruhi oleh hasil korosi atau karat itu sendiri. Karat yang dihasilkan untuk sementara waktu akan dapat menghambat laju korosi karena karat akan menutupi sebagian permukaan baja tulangan, hal ini akan dapat menghambat masuknya oksigen dan tentunya akan menghambat proses korosi untuk sementara waktu. Hal inilah yang menjadi alasan mengapa laju

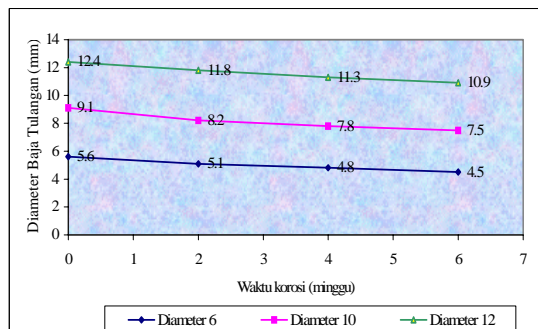
korosi berpola tidak terus naik keatas melainkan naik yang kemudian mengalami penurunan.



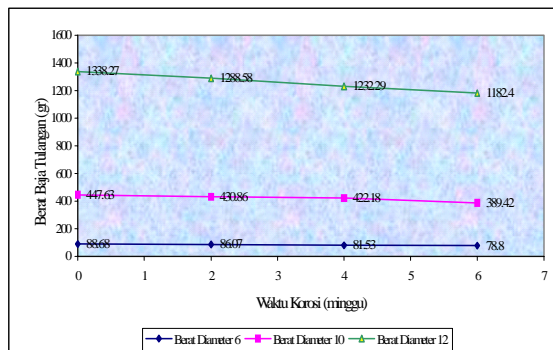
Gambar 8. Grafik Hubungan Laju Korosi dengan Waktu Korosi untuk Tiap Diameter Baja Tulangan.

### Diameter dan Berat Baja Tulangan

Perlakuan korosi pada baja tulangan dengan larutan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) ternyata mempengaruhi diameter dan berat baja tulangan tersebut, diperlihatkan pada Gambar 9 dan 10. Hal ini terjadi karena adanya proses elektrokimia antara baja tulangan yang mengandung unsur Fe dengan asam sulfat (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) sebagai media pada proses korosi yang mengakibatkan terjadi proses pelarutan yang hebat, hal ini ditandai adanya panas yang ditimbulkan dan terbentuk gelembung-gelembung gas H<sub>2</sub>. Proses pelarutan ini menghasilkan garam-garam besi (II) yang mengandung kation Fe<sup>2+</sup> yang berwarna sedikit hijau. kation Fe<sup>2+</sup> inilah yang kemudian akan membentuk larutan FeSO<sub>4</sub>. Semakin lama maka larutan FeSO<sub>4</sub> semakin pekat dan gelembung-gelembung gas H<sub>2</sub> semakin berkurang. Semakin lama kation Fe<sup>2+</sup> akan lepas dari baja tulangan dan akibatnya berat baja tulangan akan berkurang.



Gambar 9. Grafik hubungan pengurangan diameter dan waktu korosi



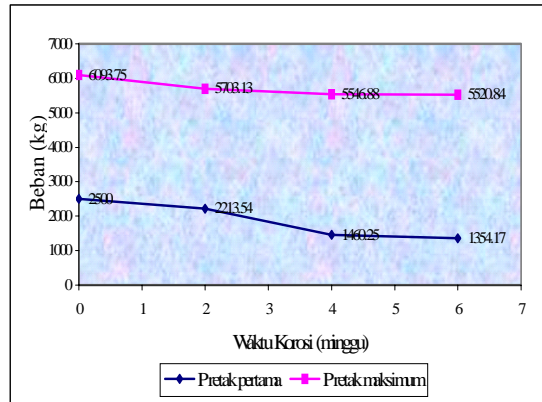
Gambar 10. Grafik Hubungan Pengurangan Berat Baja Tulangan dengan Waktu Korosi

Dari hasil pengujian terjadi penurunan diameter pada baja tulangan. Pengukuran dilakukan dengan cara membersihkan karat yang dihasilkan oleh proses korosi. Pembersihan dilakukan karena karat merupakan hasil oksidasi yang berupa serbuk besi yang bersifat rapuh.

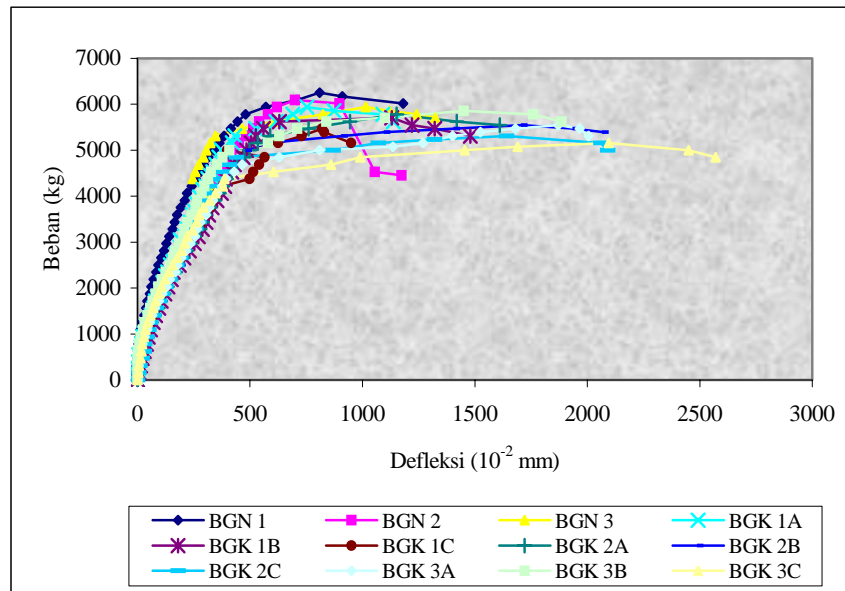
### Kuat Geser Balok Beton

Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa kuat geser balok beton bertulang hasil pengujian baik untuk retak pertama maupun retak maksimum dengan kondisi baja tulangan terkorosi mengalami

penurunan bila dibandingkan dengan kondisi normal (baja tulangan tidak terkorosi). Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan korosi pada baja tulangan dengan menggunakan larutan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) menyebabkan terjadinya penurunan kuat geser pada balok beton bertulang.



Gambar 11. Grafik Hubungan Beban Retak Hasil Uji Geser dengan Waktu Korosi.



Gambar 12. Grafik Hubungan Beban dengan Lendutan.

### Lendutan Benda Uji

Balok saat diberi beban dari atas akan mengalami tekanan ke bawah. Tekanan ke bawah ini sering disebut lendutan (*defleksi*). Besarnya lendutan yang terjadi karena adanya gaya dari atas saat penelitian dapat dilihat pada Gambar 12. Dapat dilihat bahwa lendutan yang terjadi pada saat balok mendapat beban retak pertama untuk balok korosi mengalami penurunan dari balok normal. Sedangkan untuk balok korosi pada saat balok mendapat beban maksimum, lendutannya mengalami

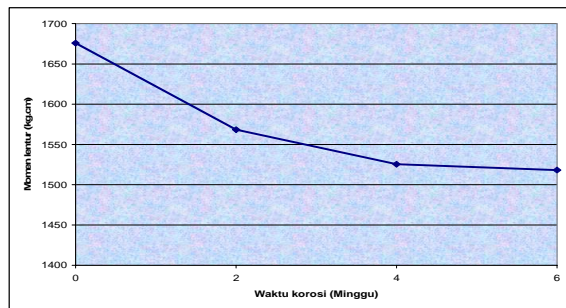
kenaikan dari balok normal. Hal ini disebabkan karena balok korosi tidak mampu menahan beban yang mengenainya sehingga lendutannya lebih besar dari balok normal.

### Momen pada Balok Beton Bertulang

Pada Gambar 13 dapat dilihat bahwa pada balok normal dan korosi, momen lentur geser rata-rata beton dengan baja tulangan tidak terkorosi lebih



tinggi dan cenderung terus menurun pada balok dengan baja tulangan terkorosi semakin lama. Penurunan momen hasil pengujian pada balok beton bertulang korosi sebesar 6,41 % untuk korosi 2 minggu, 8,97 % untuk korosi 4 minggu, dan 9,40 % untuk korosi 6 minggu bila dibandingkan dengan balok beton bertulang normal. Hal ini membuktikan bahwa adanya perlakuan korosi pada baja tulangan menyebabkan terjadinya penurunan momen pada balok beton bertulang.



Gambar 13. Grafik Momen lentur geser rata-rata hasil pengujian.

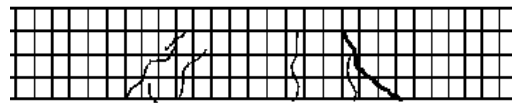
### Pola Retak Benda Uji

Pada beban yang relatif masih kecil, penampang balok secara efektif dapat menahan beban bersama dengan baja tulangan. Apabila beban meningkat terus sampai kekuatan tarik beton terlampaui, maka terjadi retak tarik.

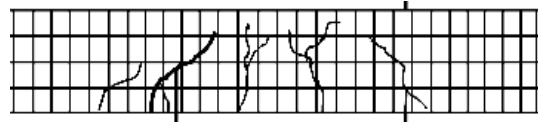
Pada Gambar 14 sampai 17 merupakan contoh pola retak dari sekian banyak pola retak dan semuanya hampir sama, dapat dilihat bahwa pola retak baik balok uji normal maupun yang terkorosi sebagian besar terjadi di tepi perletakan atau sekitar tumpuan dan kadang juga terjadi di tengah bentang. Hal ini menunjukkan bahwa pendistribusian beban di tengah bentang kurang merata pembagiannya. Lebar retakan maksimal yaitu pada akhir pembebanan pada balok normal lebih besar dibandingkan dengan balok korosi. Hal ini dapat dipahami karena beban maksimal yang bekerja pada balok korosi lebih kecil dibandingkan beban maksimal yang bekerja pada balok normal. Berdasarkan pola retak dan perbandingan ( $l_c/d$ ) keruntuhan yang terjadi merupakan keruntuhan geser.



Gambar 14. Pola retak beton normal



Gambar 15. Pola retak beton korosi 2 bulan



Gambar 16. Pola retak beton korosi 4 bulan



Gambar 17. Pola retak beton korosi 6 bulan

### SIMPULAN

Besarnya nilai laju korosi pada diameter baja tulangan yang satu dengan yang lain tidak sama. Laju korosi baja tulangan sesudah korosi mengalami kenaikan dan penurunan yang tidak dapat ditentukan naik turunnya. Perbedaan ini disebabkan laju korosi dipengaruhi oleh hasil korosi atau karat itu sendiri, faktor mutu baja tulangan ( $f_y$ ) dan konsentrasi larutan yang dipakai sebagai media korosi.

Terjadi pengurangan diameter dan berat baja tulangan antara balok normal dan balok korosi yang besarnya tidak dapat dipastikan tergantung jenis diameter baja tulangan. Penurunan ini terjadi karena adanya proses elektrokimia antara Fe dalam baja tulangan dengan asam sulfat ( $H_2SO_4$ ) sebagai medianya.

Pada balok beton bertulang normal terjadi penurunan kuat geser dan momen sebesar 6,41 % untuk korosi 2 minggu, 8,97 % untuk korosi 4 minggu, serta 9,40 % untuk korosi 6 minggu. Sehingga dapat disimpulkan terjadi penurunan kuat geser dan momen pada balok beton bertulang akibat korosi baja tulangan.

Retakan yang terjadi pada benda uji balok terletak di sekitar tepi balok dan kadang juga terjadi di tengah bentang. Hal ini menunjukkan bahwa pendistribusian beban ke masing-masing balok kurang merata. Lebar retakan maksimal yaitu pada akhir pembebanan pada balok normal lebih besar dibandingkan dengan balok korosi. Hal ini dapat dipahami karena beban maksimal yang bekerja pada balok korosi lebih kecil dibandingkan beban maksimal yang bekerja pada balok normal. Keruntuhan yang terjadi merupakan tipe keruntuhan geser.



Lendutan yang terjadi pada balok setelah korosi lebih besar dibandingkan dengan balok normal. Hal ini disebabkan karena balok korosi dengan beban maksimum lebih kecil dari balok normal tidak mampu menahan beban yang mengenainya sehingga balok tersebut mengalami lendutan yang besar.

### UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada BPI grant tahun 2003 yang telah membiayai penelitian ini.

### REFERENSI

- Anonim, 1971, Peraturan Beton Bertulang Indonesia 1971 N.I-2, 1979, Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Anonim, 1982, Persyaratan Umum Bahan Bangunan di Indonesia (PUBI-1982), 1985, Departemen Pekerjaan Umum, Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan, Bandung.
- Anonim, 1988, Annual Book of American Society of Testing and Materials Standard (ASTM), Philadelphia.
- Dipohusodo, Istimawan, 1999, Struktur Beton Bertulang, Gramedia, Jakarta.
- Ferguson, Phil M., 1991, Dasar-dasar Beton Bertulang, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.
- Gambhir, M.L., 1986, Concrete Technology, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, New Delhi.
- Kardiyono, Tjokrodinuljo, 1996, Teknologi Beton, Yogyakarta.
- Keenan, Kleinfelter, Wood, 1992, Kimia Untuk Universitas, Erlangga, Jakarta.
- Murdock, L.J. & Brook, K.M., (alih bahasa : Stepanus Hendarko), 1991, Bahan dan Praktek Beton, Erlangga, Jakarta.
- Nawy, E.G., (alih bahasa : Bambang Suryatmojo), 1990, Beton Bertulang Suatu Pendekatan dasar, Eresco, Bandung.
- Neville, A. M., 1975, Properties of Concrete, The English Language Book Society and Pitman Publishing, London.
- Nugraha, Paulus, 1989, Teknologi Beton, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Purwanto, Agus, 2003, Korosi Baja Tulangan Serta Penggunaan Aditif Untuk Proteksinya, *Jurnal Gema Teknik*, nomor 1, tahun VI, Januari, Surakarta.
- Rooseno, Prof. Dr, 1954, Beton Bertulang, Turagung, Jakarta.
- Trethewey, Kenneth R. & Chamberlain, John, (alih bahasa : Alex Tri Kantjono Widodo), 1991, Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa, PT Gramedia, Jakarta.
- Vish, W.C. & Kusuma Gideon, 1993, Dasar-dasar Perencanaan Beton Bertulang, Erlangga.
- Wang, C.K. & Salmon, C.G., (alih bahasa : Binsar Hariandja), 1986, Desain Beton Bertulang, Edisi Keempat, Erlangga, Jakarta.

