

**EXPERIMENTAL STUDY OF ADDITION  
SUPERPLASTICIZER IN REINFORCED CONCRETE  
RELATED WITH CORROSION ATTACK OF  
REINFORCED STEEL IN NATURAL AND FORCED  
METHOD**

Name : Esthi Kusumadewayanti  
NRP : 2110 100 047  
Supervisor : Dr. Ir. H.C. Kis Agustin, DEA

**ABSTRACT**

Reinforced concrete is modified concrete in building to improve the tensile strength of the concrete. If the reinforced steel is corroded, the strength of the concrete can decrease lower than the strength of unreinforced concrete. This corrosion can be caused by the entry of corrosive media to the reinforced steel. In order to prevent the entry of corrosive media, modifications of concrete is required. One of modification is concrete admixture (superplasticizer) to increase the compressive strength and reduce porosity.

In this research, it is observed the effect of 0.8% superplasticizer visocrete-10 accelerated corrosion in the media. The specimens are concretes that have water-cement ratio ( $w / c$  ratio) of 0.5 for specimens without the addition of superplasticizer and 0.4 for specimens with the addition of superplasticizer. The shape of concrete is solid cylindrical which is 120 mm in length and 50.8 mm in diameter. Plain steels with diameter 11 mm and length of 118 mm are chosen as the reinforced steel. Testing of compressive strength and porosity are done to determine the characteristics of the concrete. Furthermore, the conditioning is done by soaking reinforced concrete specimens in 12.5% NaCl solution with immersion concrete 45 mm for 60 days with natural and forced methods. In the forced method, stainless steel electrode is used as cathode, connected to the current 5 mA. Periodically, after 15 days of conditioning, the observation is

done in physical changes of reinforced concrete, contents of ion chloride changes on concrete cover at certain heights and depths, visualization of vertical cross-section reinforced steel, height of corrosion which is observed in reinforced steel, and thickness of reinforced steel reduction related corrosion attack.

The results of this experiment indicate that the corrosion attack on the radial direction of the superplasticizer concrete is greater than without superplasticizer because the composition of superplasticizer have already contained ion chloride. Corrosion attacks on the immersion area greatly because that area faces the cathode directly, related with the influence of the distance between reinforced steel and stainless steel. The process of capillaries in interface donot give the effect because the height of water in the concrete's skin is same with the height corrosion in steel.

**Keywords: reinforced concrete, ion chloride, corrosion, superplasticizer,**

# **STUDI EKSPERIMENTAL PENAMBAHAN SUPERPLASTICIZER PADA BETON BERTULANG TERKAIT SERANGAN KOROSI BAJA TULANG DENGAN METODE ALAMI DAN PAKSA**

Nama mahasiswa : Esthi Kusumadewayanti  
NRP : 2110 100 047  
Dosen : Dr. Ir. H.C. Kis Agustin, DEA

## **ABSTRAK**

*Beton bertulang merupakan modifikasi beton dalam bangunan untuk meningkatkan kekuatan tarik pada beton. Jika baja tulang terkorosi, kekuatan dari beton dapat turun hingga lebih rendah dibandingkan kekuatan beton tanpa tulangan. Korosi ini dapat disebabkan masuknya media korosif menuju baja tulang. Upaya perlambatan masuknya media korosif diperlukan modifikasi terhadap beton. Salah satu modifikasi beton adalah penggunaan admixture (superplasticizer) untuk meningkatkan kekuatan tekan dan mengurangi tingkat porositas.*

*Pada penelitian ini dipelajari pengaruh pemberian 0,8 % superplasticizer viscocrete-10 dalam media korosi yang dipercepat. Spesimen yang digunakan adalah beton yang mempunyai rasio air-semen (w/c ratio) 0,5 untuk spesimen tanpa penambahan superplasticizer dan 0,4 untuk spesimen dengan penambahan superplasticizer. Beton berbentuk silinder pejal berukuran panjang 120 mm dan diameter 50,8 mm. Baja polos berdiameter 11 mm dan panjang 118 mm dipilih sebagai tulangan beton. Pengujian kuat tekan dan pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui karakteristik beton. Selanjutnya dilakukan pengkondisian ialah perendaman spesimen beton bertulang di larutan NaCl 12,5 % dengan tinggi perendaman beton sebesar 45 mm dan lama waktu perendaman 60 hari dengan metode alami dan paksa. Pada metode paksa, digunakan elektroda stainless steel yang bertindak sebagai katoda yang dihubungkan dengan arus 5 mA. Secara periodik, setelah 15 hari pengkondisian dilakukan pengamatan yang meliputi perubahan fisik beton bertulang, perubahan kandungan ion klorida di selimut beton pada ketinggian dan kedalaman tertentu, visualisasi penampang vertikal baja tulang, tinggi korosi yang terlihat pada*

*baja tulang, dan ketebalan pengurangan baja tulang akibat serangan korosi.*

*Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa serangan korosi ke arah radial pada beton superplasticizer lebih banyak dibandingkan beton tanpa superplasticizer karena superplasticizer telah mengandung ion klorida. Serangan korosi pada daerah perendaman lebih banyak karena daerah tersebut berhadapan langsung dengan katoda (stainless steel), dimana ada pengaruh jarak antara stainless steel dengan baja tulang. Proses kapiler pada interface baja tulang dengan beton tidak berpengaruh jika dilihat dari ketinggian air pada kulit beton yang hampir sama dengan ketinggian korosi pada baja.*

***Kata kunci: beton bertulang, ion klorida, korosi, superplasticizer***

**STUDI EKSPERIMENTAL PENAMBAHAN  
SUPERPLASTICIZER PADA BETON BERTULANG  
TERKAIT SERANGAN KOROSI BAJA TULANG  
DENGAN METODE ALAMI DAN PAKSA**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Metalurgi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**ESTHI KUSUMADEWAYANTI**

NRP. 2110 100 047

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr.Ir. H.C. Kis Agustin, DEA. (Pembimbing)
2. Ir. Hari Subiyanto, M.Sc. (Penguji I)
3. Ir. Suwarmin, PE (Penguji II)
4. Ika Dewi Wijayanti, S.T., M.Sc. (Penguji III)



**SURABAYA, Juli 2014**

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

Dalam penelitiannya, Wirawan (Tesis, Teknik Mesin ITS, 2009) mempelajari pengaruh penambahan *fly ash* terhadap kekuatan beton di lingkungan klorida, dimana beton dikondisikan tercelup separuh dalam larutan 12,5% NaCl. Penambahan 10% *fly ash* memperbaiki komposisi beton dengan mengisi pori-pori dalam beton dan meningkatkan kekuatan tekan beton. Namun, penambahan *fly ash* di atas 10% memberikan penurunan kekuatan beton. Di sisi lain ketahanan beton terhadap masuknya media korosif meningkat yang ditunjukkan dengan persentase kadar pada beton, dimana cenderung menurun dengan bertambahnya kedalaman. Dari penelitian tersebut turut dilaporkan juga bahwa pada bagian spesimen beton yang tidak tercelup di dalam air juga ikut basah, bahkan pada hari ke-10 terdapat elektrolit berwarna coklat keruh yang keluar di antara *interface* beton dengan baja tulang.

Gunanto (Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS, 2009) mempelajari tentang pengaruh inhibitor terhadap korosi baja tulang di lingkungan klorida dengan metode dipercepat. Fenomena yang sama seperti pada penelitian Wirawan ditemukan bahwa bagian yang tidak tercelup ikut basah. Pada hari ke-10, beton berwarna coklat kemerahan disebabkan elektrolit telah masuk ke dalam beton dan mengenai baja sehingga bereaksi dan menghasilkan produk korosi. Elektrolit bercampur produk korosi ini keluar dan menjadi endapan pada selimut beton. Adanya inhibitor dalam beton dapat meningkatkan ketahanan korosi dari beton. Namun ketahanan korosi pada beton mampu bertahan dalam kurun waktu

tertentu (43 hari) yang ditunjukkan dengan nilai resistivitas dan *half-cell* pada spesimen yang diberi inhibitor yang hampir sama dengan spesimen tanpa inhibitor. Dari penelitian ini, juga diperoleh bahwa sisi baja tulang yang menghadap katoda lebih banyak terserang korosi dibandingkan dengan bagian yang lain, dimana bentuk korosi yang terjadi adalah korosi *pitting*.

Berdasarkan fenomena basahnya bagian beton yang tidak tercelup pada penelitian saudara Wirawan dan Gunanto, saudara Bernad (Tugas Akhir, Teknik Mesin ITS, 2010) mengungkapkan fenomena kapilaritas pada beton bertulang. Baja tulang beton terkorosi karena air masuk melalui selimut beton hingga mencapai *interface* antara baja tulang dengan beton dan bereaksi dengan baja tulang. Proses korosi yang terjadi disebabkan oleh fenomena kapilaritas fluida di *interface* baja tulang dengan beton karena pergerakan air dari selimut beton menuju *interface* baja tulang dengan beton. Dalam hal ini, air naik lebih cepat di dalam *interface* baja tulang dengan beton dibandingkan dengan air masuk dari selimut beton ke dalam *interface* baja tulang dengan beton.

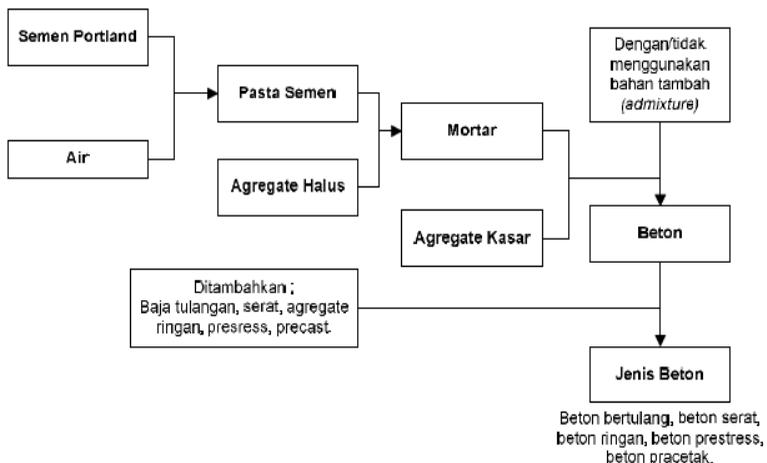
Andhika (Tugas Akhir, Teknik Sipil ITS, 2011) mempelajari tentang perilaku fisik dan mekanik *Self Compacting Concrete (SCC)* dengan pemanfaatan abu vulkanik sebagai bahan tambahan pengganti semen. Dalam penelitian tersebut, digunakan *superplasticizer* viscocrete-10 dan glenium C-351 sebagai *admixture* pada beton dengan perbandingan 0,8% dan 1 %. Dari penelitian tersebut diperoleh bahwa semakin besar jumlah *superplasticizer* yang diberikan tidak memberikan hasil yang diharapkan karena semakin jauh penurunan kekuatan. Hal ini disebabkan reaksi kimia yang terjadi mengakibatkan menurunnya ikatan antar partikel yang berdampak pada kekuatan tekan beton. Meskipun demikian, kekuatan tekan optimum diperoleh pada persentase 0,8% viscocrete-10.

## 2.2. Dasar Teori

### 2.2.1. Beton Bertulang

Beton merupakan bongkahan tiruan yang dibuat dari semen, pasir dan pecahan batu atau material sejenis sebagai *agregate* kasar atau halus. Bahan-bahan yang dicampur dengan air ini membentuk massa plastis yang akan berubah menjadi material padat yang keras, dimana proses tersebut disebut hidrasi. Beton relatif kuat terhadap gaya kompresi namun memiliki ketahanan terhadap gaya tarik yang relatif rendah. Untuk meningkatkan kekuatan tarik, baja tulang dimasukkan pada beton saat pengecoran sehingga membentuk material komposit yang dikenal dengan beton bertulang (Faber, 1965).

Pada aplikasinya, *admixture* (*chemical* dan *mineral admixture*) sering ditambahkan untuk memodifikasi sifat beton seperti memperbaiki kualitas beton, mengurangi panas hidrasi, dan menghambat atau mempercepat waktu pengikatan awal beton. Gambar 2.1 berikut menjelaskan proses terjadinya beton bertulang.



Gambar 2.1 Proses terbentuknya beton (Mulyono, 2004).

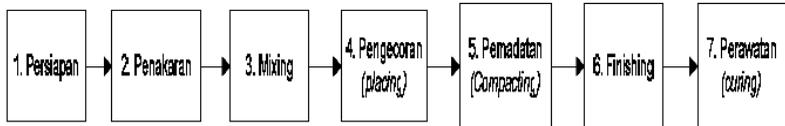
Proses awal terjadinya beton bermula dari proses hidrasi yaitu pencampuran semen *portland* dan air menjadi pasta semen. Penambahan agregat halus pada pasta semen akan membentuk mortar. Jika ditambahkan agregat kasar maka akan menghasilkan beton. Jenis beton akan ditentukan dari penambahan material lain, misalnya bila ditambahkan baja tulang akan terbentuk beton bertulang.

Semen *portland* terdiri dari kombinasi beberapa elemen  $3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ ,  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $4\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$ . Jika semen bereaksi dengan air maka salah satu reaksi hidrasinya adalah  $2(3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2) + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{Ca}(\text{OH})_2 + 3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Reaksi hidrasi ini menyebabkan beton memiliki pH antara 12 -13 yang membuat baja tulang akan mengalami pasivasi oleh film oksida ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) yang protektif terhadap korosi (*Handbook of Corrosion Engineering*, 2000).

Nilai pH pada beton akan turun perlahan-lahan selama waktu perawatan karena adanya karbonasi pada beton. Karbonasi adalah suatu proses dimana karbon dioksida dari udara masuk ke dalam beton sehingga akan menurunkan pH dari beton karena terbentuknya kalsium karbonat. Proses karbonasi terus berlangsung hingga beton mengeras dan akan membuat pH beton berada di kisaran 8 hingga 9. Pada kisaran pH tersebut, lapisan film oksida yang terbentuk pada baja tulang menjadi tidak stabil dan tidak dapat menjadi pelindung bagi baja tulang (Manuela).

*Agregate* kasar dapat diperoleh dari gravel silika atau pecahan batu sedangkan pasir silika biasanya digunakan sebagai *agregate* halus. *Agregate* pada beton berpengaruh terhadap *workability*, berat, modulus elastisitas, dan stabilitas dimensi. Sifat beton tersebut dapat ditingkatkan dengan menambahkan material khusus ke dalam campuran beton. Material ini biasa disebut *admixture* yang sekarang digunakan secara luas oleh industri beton.

Tahapan pengerjaan beton di lapangan yaitu meliputi persiapan, pengadukan (*mixing*), penuangan (*placing*), pembongkaran dan perawatan (*curing*) seperti gambar 2.2.



**Gambar 2.2 Tahapan pengerjaan beton (Mulyono, 2004).**

Keterangan:

- a. Persiapan  
Pada tahap ini dilakukan persiapan terhadap peralatan dan material beton yang meliputi pembersihan peralatan dan baja terhadap kotoran.
- b. Pengadukan (*mixing*)  
Pengadukan (*mixing*) dilakukan setelah diperoleh komposisi yang direncanakan untuk kuat tekan tertentu. Pengadukan dapat dilakukan secara manual bila volum adukan kurang dari  $10 \text{ m}^3$  atau dengan mesin bila lebih dari  $10 \text{ m}^3$ .
- c. Penuangan/pengecoran (*placing*)  
Penuangan harus diperhatikan agar tidak terjadi segregasi untuk menghasilkan beton dengan mutu yang diinginkan. Segregasi merupakan pemisahan butiran agregat kasar dari adukan dan dapat menyebabkan sarang kerikil sehingga kekuatan beton berkurang.
- d. Pematatan  
Pematatan dilakukan setelah adukan dituang untuk menghilangkan rongga udara pada beton segar. Pematatan bisa dilakukan dengan manual maupun menggunakan alat getar mekanis.

e. Pembongkaran

Pembongkaran merupakan proses mengeluarkan beton dari cetakan setelah beton segar dibiarkan dalam cetakan selama kurang lebih 24 jam untuk mendapatkan hasil yang maksimum.

f. Perawatan beton (*curing*)

Tahap perawatan beton (*curing*) bertujuan untuk mendapatkan kekuatan tekan beton yang tinggi, memperbaiki ketahanan terhadap air, ketahanan aus, dan stabilitas dari dimensi struktur. Metode perawatan dibagi menjadi dua yaitu metode perawatan basah (*wet cured*) dan metode perawatan kering (*air cured*). Masa perawatan dapat dilakukan selama 7 hari sampai 28 hari. Namun, perawatan umumnya dilakukan selama 14 atau 21 hari untuk efisiensi waktu karena mutu beton sudah mendekati mutu beton dengan umur 28 hari.

### 2.2.2. Durabilitas Beton

*American Concrete Institute* (ACI) mendefinisikan durabilitas dari beton semen *portland* sebagai kemampuan beton untuk tahan dalam berbagai kondisi cuaca, serangan kimia, abrasi dan proses perusakan lainnya. Hilsdorf, et.al.,(1995) menyatakan bahwa secara umum durabilitas beton adalah kemampuan beton untuk menahan penetrasi media yang agresif melalui beberapa mekanisme transport. Beton dengan durabilitas tinggi akan dapat mempertahankan bentuk, kualitas, dan daya layan (*serviceability*) ketika berada pada kondisi di atas (Mays,1992). Menurut Wilmot (2006), ada beberapa hal yang mempengaruhi durabilitas beton bertulang antara lain :

1. Lingkungan

Faktor lingkungan adalah hal yang perlu diperhatikan dalam perencanaan pembuatan beton. Beton pada media

yang banyak mengandung oksigen, klorida, dan sulfur dioksida cenderung mengalami kerusakan yang relatif lebih cepat. Struktur beton di daerah pantai akan cenderung lebih cepat rusak dibandingkan struktur di tengah kota. Daerah pantai kaya akan oksigen dan klorida, dimana keduanya cenderung bersifat korosif dan dapat merusak baja tulang sehingga beton akan mengalami penurunan sifat mekaniknya. Daerah industri juga merupakan lingkungan yang korosif bagi baja tulang di dalam struktur beton karena polutan yang berasal dari industri banyak mengandung sulfur dioksida.

## 2. Kualitas beton

Kualitas beton lebih dititikberatkan ke permeabilitas beton. Permeabilitas adalah kemampuan sesuatu material untuk menghantarkan fluida, dimana semakin tinggi permeabilitas beton dapat menyebabkan semakin banyak fluida yang akan dihantarkan masuk ke dalam beton. Fluida yang berpindah dapat bersifat korosif dan sangat tidak menguntungkan bagi beton bertulang. Baja tulang akan cenderung terkorosi akibat fluida tersebut. Permeabilitas beton dipengaruhi oleh beberapa hal, yaitu:

- Campuran beton  
Permeabilitas dipengaruhi oleh ikatan antara bahan agregat dengan semen, rasio air dengan semen, dan ukuran dari bahan agregat itu sendiri. Semakin erat ikatan antara bahan agregat dengan semen, semakin kecil rasio antara air dengan semen dan semakin homogen ukuran dari bahan agregat maka permeabilitas beton akan semakin kecil.
- Kepadatan beton  
Kepadatan beton atau *compaction* juga sangat berpengaruh pada sifat permeabilitas beton. Kepadatan

beton yang bertambah akan menurunkan permeabilitas beton.

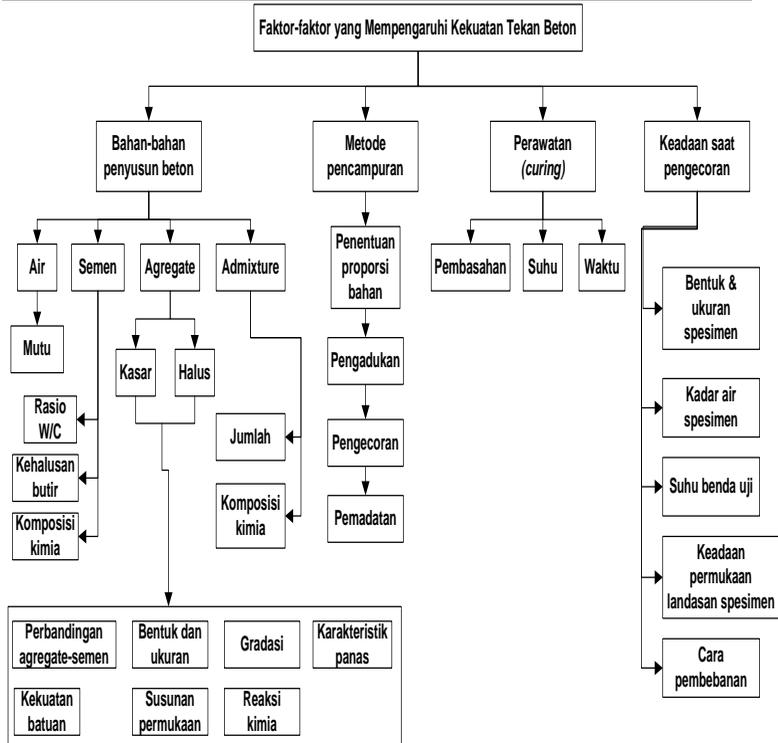
- Perawatan beton  
Perawatan beton harus sesuai standar agar dihasilkan beton dengan sifat mekanik dan kualitas beton yang diinginkan.
- Tebal beton  
Tebal beton yang menyelimuti baja tulang juga berpengaruh terhadap kualitas beton. Semakin tebal beton maka semakin susah bagi beton untuk menghantarkan fluida.

### **2.2.3. Karakteristik Beton**

Karakteristik yang baik akan membuat beton mempunyai durabilitas tinggi yang mampu menahan masuknya media korosif. Menurut Faber.et.al (1965) terdapat beberapa sifat beton yang harus diperhatikan, yaitu berat beton, impermeabilitas, kekuatan beton, elastisitas, *creep*, dan *shrinkage*.

#### **2.2.3.1. Kuat Tekan**

Kekuatan tekan adalah kemampuan beton untuk menerima gaya per satuan luas. Penentuan kekuatan tekan dapat dilakukan dengan menggunakan alat uji tekan dengan benda uji berbentuk silinder dengan prosedur uji ASTM C-39. Beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan beton dapat dilihat pada gambar 2.3. Kekuatan beton dipengaruhi empat faktor utama yaitu: proporsi bahan-bahan penyusunnya, metode perancangan, perawatan dan keadaan pada saat pengecoran dilaksanakan.



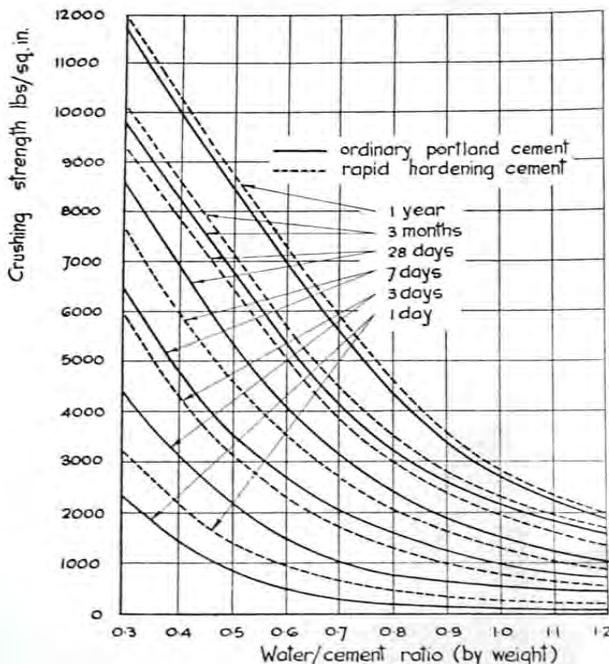
**Gambar. 2.3. Faktor-faktor yang mempengaruhi kekuatan tekan beton (Mulyono, 2004).**

Faktor yang sering diperhatikan di dalam praktek di lapangan dalam menentukan kuat tekan beton adalah rasio  $w/c$  (*water-cement*). Pada umumnya nilai rasio  $w/c$  minimum 0,3 dan maksimum 0,65. Gambar 2.4 menunjukkan hubungan antara kuat tekan beton, rasio  $w/c$ , dan umur beton pada usia 1, 3, 28, 90 dan 365 hari (Mulyono, 2004).

Air berpengaruh terhadap kuat tekan beton. Penggunaan air yang banyak akan mengakibatkan beton

## Tugas Akhir Metalurgi

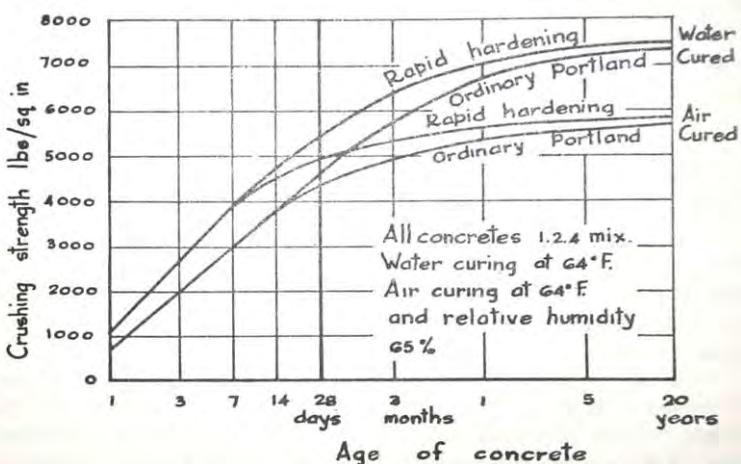
mengalami *bleeding*, yaitu air bersama-sama semen akan bergerak ke atas permukaan adukan beton segar yang dituang. Hal ini akan menyebabkan kurangnya lekatan beton antara lapis permukaan (akibat *bleeding*) dengan beton lapisan di bawahnya. Kurangnya lekatan antara dua lapisan tersebut merupakan area yang lemah sehingga kekuatan beton menurun. Air pada campuran beton akan berpengaruh terhadap sifat *workability* adukan beton, besar kecilnya nilai susut beton, kelangsungan reaksi dengan semen portland sehingga dihasilkan kekuatan selang beberapa waktu, dan peranan air sangat mendukung perawatan adukan beton diperlukan untuk menjamin pengerasan yang baik.



Gambar. 2.4. Hubungan antara rasio w/c dan *crushing strength* (Mulyono, 2004).

Dari gambar 2.4 dapat terlihat bahwa untuk beton dengan umur beton sama, kekuatan beton akan semakin berkurang dengan semakin tingginya rasio  $w/c$ . Untuk rasio  $w/c$  yang sama, semakin besar kekuatan beton maka semakin lama umur perawatan beton. (Faber et.al, 1995).

Pemilihan metode perawatan (*curing*) juga mempengaruhi kekuatan beton. Beton dengan metode *curing* di air akan memiliki kekuatan lebih tinggi dibandingkan dengan beton dengan metode *curing* di udara bebas seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.5.



Gambar. 2.5. Hubungan umur beton dengan kekuatan tekan (Faber et.al, 1995).

#### 2.2.4. Penetrasi Media Korosi

Media agresif penyebab korosi dapat berwujud gas atau cair. Media korosi tersebut bergerak ke dalam material dengan berbagai mekanisme yaitu permeasi, difusi, *capillary suction*, dan kombinasi dari beberapa mekanisme tersebut.

**a. Difusi**

Difusi adalah peristiwa berpindahnya partikel (molekul, ion atau atom) dalam pelarut yang disebabkan adanya perbedaan konsentrasi (gradien konsentrasi). Partikel dengan konsentrasi tinggi akan bergerak menuju konsentrasi yang lebih rendah. Difusi terus terjadi hingga seluruh partikel tersebar luas secara merata atau mencapai keadaan kesetimbangan, dimana pergerakan tetap terjadi walaupun tidak ada perbedaan konsentrasi. Kecepatan difusi ini ditentukan dengan koefisien difusi.

Koefisien difusi adalah suatu angka yang menunjukkan kecepatan suatu zat untuk berdifusi dalam suatu media. Koefisien difusi yang semakin tinggi menyebabkan suatu zat berdifusi semakin cepat ke dalam suatu media. Koefisien difusi ke dalam beton bertulang bergantung kepada rasio air semen. Rasio air semen yang semakin tinggi akan menyebabkan koefisien difusi semakin besar seperti tampak pada tabel 2.1.

**Tabel 2.1. Nilai koefisien difusi ion Cl<sup>-</sup> ke dalam pasta semen dan beton (Bentur et. al, 1997).**

<i>w/c ratio</i>	<i>Diffusion coefficient (×10<sup>-12</sup> m<sup>2</sup>/s)</i>		
	Ref. 4.26 <sup>a</sup>	Ref. 4.1 <sup>b</sup>	Ref. 4.17 <sup>b</sup>
0.4	2.6	0.8 - 5	2
0.5	4.5	-	11
0.6	12.4	8 - 12	-

<sup>a</sup> Pastes  
<sup>b</sup> Concretes

Selain rasio air semen, lama waktu perawatan juga berpengaruh terhadap koefisien difusi ke dalam beton bertulang. Beton dengan rasio air semen 0,5 dan dirawat selama 14 hari dengan sistem perawatan lembab dapat

mengurangi pori pada beton sehingga dapat menurunkan koefisien difusi (Lowe et.al, 1971).

Struktur yang mengalami siklus kering basah (*wet-dry cycle*), *life time* beton pada daerah yang terkena percikan air (*splash zone*) biasanya lebih pendek dibanding bagian lain. Hal ini terjadi akibat kecepatan penetrasi yang lebih besar karena adanya absorpsi kapiler dari bagian basah ke bagian kering (Bentur et. al, 1997).

### **b. Permeasi**

Permeasi adalah proses penetrasi suatu zat (cair, gas, dan uap) ke dalam zat padat terkait dengan permeabilitas zat padat tersebut. Permeasi pada beton dipengaruhi oleh prosedur perawatan yang dilakukan. Beton dengan perawatan di udara bebas akan memiliki kualitas selimut beton yang lebih rendah sehingga lebih mudah menyerap air dibandingkan dengan beton yang dirawat dengan cara kontak dengan air (Dhir, 1992).

Perawatan beton harus diikuti dengan pengeringan yang berpengaruh terhadap proses permeasi. Dalam hal ini, penggunaan oven akan cenderung menyerap air lebih banyak dibandingkan dengan beton yang diangin-anginkan di udara bebas (Martys et. al, 1997).

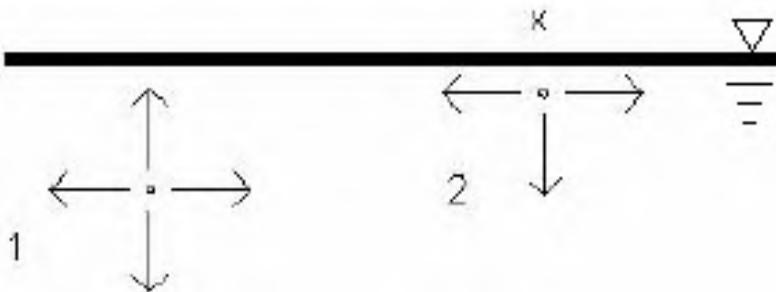
Penggantian sebagian bahan semen dengan PFA (*Pulverized-Fuel-Ash*) terbukti dapat menurunkan absorpsi air pada beton serta dapat menurunkan permeabilitas selimut beton sehingga permeasi yang terjadi pada beton dapat diminimalkan (Dhir, 1992).

### **c. Capillary Suction**

*Capillary suction* adalah suatu cara berpindahnya cairan ke dalam material karena adanya tegangan permukaan (*surface tension*) pada kapiler. Transportasi cairan dipengaruhi

oleh viskositas ( $\text{Ns/m}^2$ ), densitas ( $\text{kg/m}^3$ ), dan tegangan permukaan ( $\text{N/m}$ ).

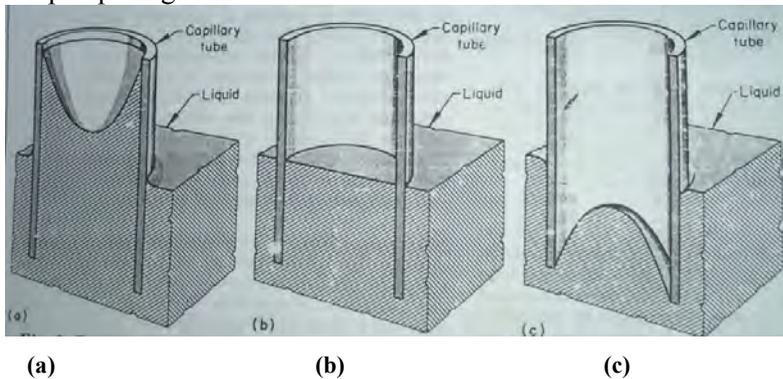
Tegangan permukaan terjadi akibat molekul zat cair saling tarik menarik sesamanya, dimana gaya berbanding lurus dengan massa, dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara pusat-pusat massa. Gaya tarik menarik tersebut setimbang, tetapi pada permukaan antara zat cair dan udara gaya tarik ke atas dan ke bawah tidak setimbang seperti pada gambar 2.6. Ketidaksetimbangan tersebut menyebabkan molekul-molekul pada permukaan melakukan kerja untuk membentuk permukaan zat cair. Kerja yang diperlukan untuk melawan gaya tarik ke bawah tersebut, dikenal dengan tegangan permukaan. Pengaruh tegangan permukaan pada tinggi kapilaritas adalah semakin besar tegangan permukaan suatu fluida maka tinggi kapilaritas pada celah akan semakin tinggi.



**Gambar 2.6. Gaya-gaya tarik menarik antar molekul yang terjadi di dalam fluida statik (Qudus).**

Kapilaritas juga disebabkan oleh gaya kohesi dan adhesi. Dalam suatu pipa kapiler yang dimasukkan ke dalam zat cair, jika kohesi lebih kecil dari adhesi maka zat cair akan naik ke

dalam pipa kapiler melebihi tinggi permukaan zat cair dan permukaan zat cair di dalam pipa kapiler akan berbentuk cekung. Kohesi yang lebih besar dari adhesi akan menyebabkan zat cair di dalam pipa kapiler akan turun dan lebih rendah dari permukaan zat cair di luar pipa kapiler dan permukaan zat cair di dalam pipa kapiler akan berbentuk cembung seperti kapilaritas akan membuat air naik melalui pipa kapiler, sementara air raksa akan turun. Hal ini seperti tampak pada gambar 2.7.

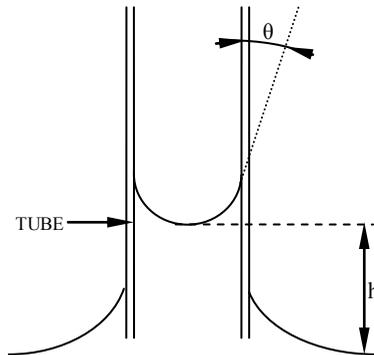


**Gambar 2.7. Pengaruh gaya kohesi dan adhesi pada daya kapilaritas (a) Gaya adhesi > gaya kohesi (b) Gaya adhesi = gaya kohesi (c) Gaya adhesi < gaya kohesi (*Metal Handbook*).**

Rapat massa atau densitas ( $\rho$ ) adalah ukuran konsentrasi massa zat cair dan dinyatakan dalam bentuk massa ( $m$ ) per satuan volume ( $V$ ). Viskositas ( $\text{Ns/m}^2$ ) adalah sifat dari zat cair untuk melawan tegangan geser ( $\tau$ ) pada waktu bergerak atau mengalir. Viskositas disebabkan adanya kohesi antara partikel zat cair sehingga menyebabkan adanya tegangan geser antara molekul yang bergerak. Viskositas juga dipengaruhi oleh densitas fluida. Peningkatan nilai densitas dan viskositas

akan menyebabkan cairan semakin susah untuk melakukan perpindahan dengan metode *capillary suction*.

Gambar 2.8 menjelaskan fenomena kapilaritas pada sebuah tube. Sudut kontak ( $\theta$ ) dapat digunakan untuk mengevaluasi *wetting characteristic* suatu fluida, jika besar sudut kontak  $\theta \geq 90^0$  maka kemampuan fluida untuk membasahi sangat rendah tetapi jika besar sudut  $\theta < 90^0$  maka kemampuan fluida untuk membasahi baik.



**Gambar 2.8. Sudut kontak fluida. (May, 1992)**

Pengaruh luas celah kapiler pada tinggi kapilaritas adalah semakin besar luas celah kapiler maka tinggi kapilaritas pada celah akan semakin kecil.

Beton bertulang dapat menyerap air karena adanya penyusutan jumlah air di dalam semen pada beton yang terjadi pada saat pengerasan beton. Kandungan air di dalam semen selama pengerasan beton mengalami penyusutan sebesar 25% karena proses hidrasi dimana proses hidrasi adalah suatu proses pengikatan air oleh semen. Penyusutan kandungan air di dalam semen tersebut tidak diikuti penyusutan beton sebanyak itu sehingga timbul perbedaan tegangan akibat laju

penyusutan yang berbeda. Hal inilah yang menyebabkan turunnya tekanan di dalam beton sehingga beton dapat menyedot air melalui fenomena kapilaritas (Martys, 1992).

Kapilaritas pada beton juga sangat dipengaruhi oleh metode perawatan yang digunakan. Perawatan diberikan kepada beton agar selama proses pengerasan beton, air di dalam semen tidak menyusut terlalu banyak. Beton yang dirawat dengan cara kontak dengan air dibandingkan dengan beton yang dirawat di udara bebas tanpa kontak dengan air pada temperatur yang sama akan menghasilkan kapilaritas yang berbeda pada masing-masing beton (Volkwein, 1991).

Selain metode perawatan, fenomena kapilaritas juga dipengaruhi rasio air semen. Semakin tinggi rasio air-semen maka air yang hilang selama proses hidrasi juga semakin besar sehingga akan terjadi perbedaan tekanan yang lebih besar antara beton dengan lingkungan sekitar yang mengakibatkan fenomena kapilaritas berlangsung semakin cepat (Hall, 1994).

Menurut C. Hall (1994) laju penyerapan kapiler juga dipengaruhi oleh seberapa jenuh media *porous* yang ada. Selain itu, penyerapan kapiler menjadi lebih kompleks lagi mengingat bahwa air dapat bereaksi dengan matriks solid, dimana ada kemungkinan dapat mengakibatkan perubahan struktur pori dengan berjalannya waktu.

Menurut M. Sosoro dan H. Reinhardt (1996) garam yang tidak larut di dalam elektrolit juga dapat menurunkan laju penyerapan kapiler yang terjadi. Garam yang tidak larut di dalam elektrolit tersebut tentunya akan menurunkan konsentrasi elektrolit. Pernyataan tersebut mendukung pernyataan C Hall bahwa transport fluida di beton bergantung pada besarnya konsentrasi dan kondisi lingkungan beton itu berada.

Dalam melakukan analisa terhadap mekanisme transport fluida di dalam beton perlu dipisahkan dengan jelas terlebih

dulu mengenai kontribusi dari difusi dan fenomena kapilaritas terhadap perpindahan massa yang terjadi sehingga penetrasi ion klorida atau ion-ion yang lain di dalam beton dapat diprediksi dengan lebih seksama (Sosoro, 1996).

### 2.2.5. Korosi pada Baja Tulang Beton

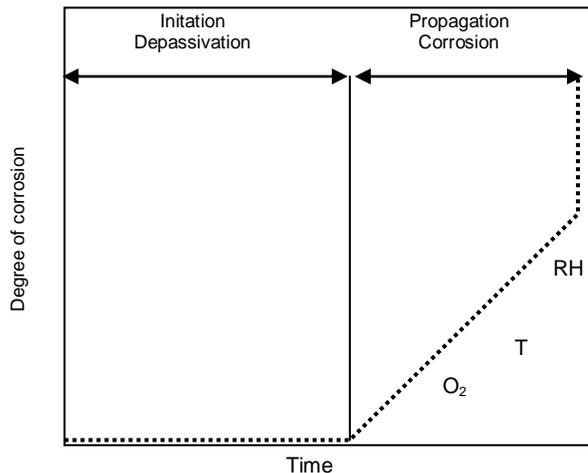
Penyebab utama kerusakan beton bertulang ada dua yaitu reaksi kimia yang melibatkan komponen beton dan *physical action* beserta reaksi kimia pada *interface* baja tulang dengan beton yang menyebabkan korosi pada baja tulang. Reaksi kimia merupakan reaksi alami seperti reaksi antara pasta semen dengan bahan kimia dari luar, kontaminasi air yang agresif atau hujan asam. *Physical action* yang menyebabkan perusakan beton antara lain abrasi atau erosi, siklus *frost/defrost*, retak (*crack*) akibat *thermal stress*, *overload*, *impact*, *structural settlement* atau kejadian yang tiba-tiba (ledakan, vibrasi, kebakaran).

Beton bukan merupakan material yang homogen baik pada skala mikroskopik maupun makroskopik. Ketidakhomogenan pada skala mikroskopik dihasilkan oleh penggunaan *agregate* dan proses hidrasi yang terjadi pada saat seting beton, terutama jika terjadi kelebihan air yang menghasilkan heterogenitas secara kimia dan fisik. Heterogenitas tersebut akan membuat beton memiliki sifat-sifat yang berbeda seperti difusivitas dan oksigen. Pada skala makroskopik, ketidakhomogenan terjadi karena adanya gradien temperatur, proses pengecoran dan fabrikasi dari semen.

Selimit beton dapat menjadi penghalang terjadinya korosi, baik sebagai penghambat kimia maupun fisik (*chemical and physical barrier*). Penghambat kimia yang dimaksud dalam konteks ini adalah tingkat kebasahan dari beton yaitu sekitar pH 13 yang membuat dan menjaga lapisan

film protektif yang terbentuk pada permukaan baja tulang sedangkan penghambat fisik adalah komposisi dari selimut beton.

Pada gambar 2.9, model korosi pada baja tulang terdiri dari dua tahap yaitu inisiasi dan propagasi (*propagation*). Inisiasi terjadi sebagai akibat depasivasi film oksida oleh dan penurunan pH karena pembentukan CO<sub>2</sub>. Tahap propagasi adalah tahapan dimana laju korosi dipengaruhi oleh ketersediaan oksigen, tahanan elektrik beton, dan kondisi lingkungan yang meliputi temperatur dan kelembaban relatif beton.



**Gambar 2.9. Model Korosi Pada Baja tulang (Bentur et. al, 1997).**

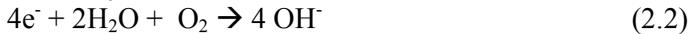
Secara umum mekanisme korosi pada beton bertulang seperti pada gambar 2.10 adalah sebagai berikut (*Handbook of Corrosion Engineering, 2000*):

- a. Pada anoda, reaksi oksidasi adalah :



## Tugas Akhir Metalurgi

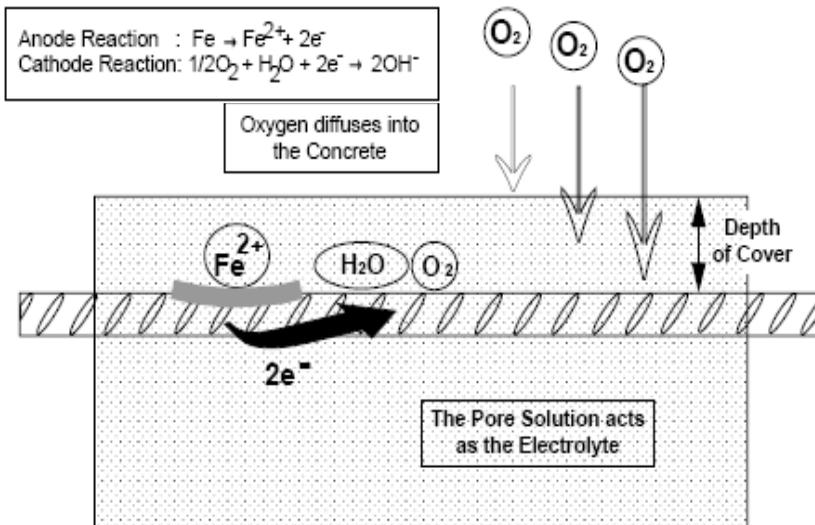
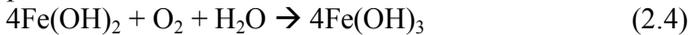
- b. Elektron mengalir menuju katoda melalui baja tulang dimana elektron tersebut akan berkombinasi dengan oksigen dan air membentuk ion *hydroxyl*. Adapun reaksi reduksinya adalah :



- c. Ion hidroksida dengan ion *ferrous* membentuk *ferrous hydroxide*

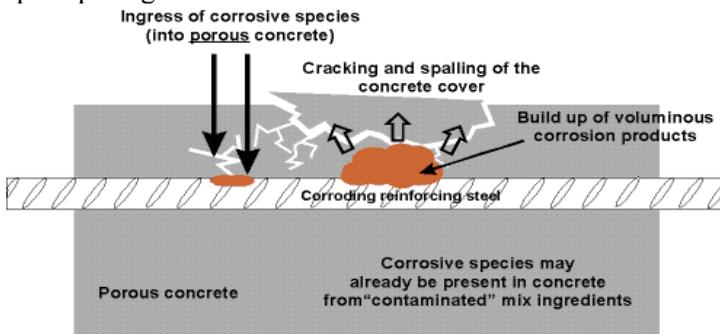


- d. Dengan hadirnya air (*water*) dan oksigen, *ferrous hydroxide* teroksidasi membentuk  $Fe_2O_3$  yang merupakan produk korosi



Gambar 2.10. Ilustrasi korosi pada baja tulang (*Handbook of Corrosion Engineering, 2000*).

Produk korosi yang dihasilkan menempati volum tiga sampai enam kali dari volum awal baja tulang. Peningkatan volum ini menyebabkan tegangan pada beton yang mengakibatkan retak, mengelupas (*delamination*) dan *spalling* (Wilmot, 2006). Hal ini akan mempercepat proses korosi dengan adanya jalan bagi untuk mencapai baja tulang seperti pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Gambar produk korosi yang menyebabkan keretakan pada beton (Wilmot, 2006).

## 2.2.6. Faktor-faktor penyebab korosi

Menurut Manuela, inisiasi korosi pada baja tulang terjadi akibat depasivasi film oksida seperti yang telah disebutkan di atas. Depasivasi tersebut dapat terjadi pada dua keadaan yaitu penurunan tingkat pH karena adanya reaksi dengan karbondioksida (karbonasi) dan penetrasi ke dalam pori beton menuju baja tulang.

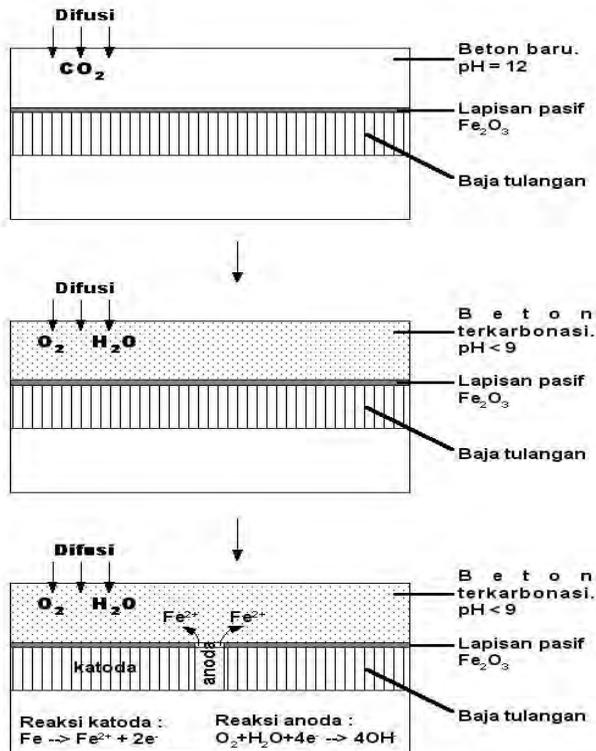
### 2.2.6.1. Depasivasi Akibat Karbonasi

Karbonasi adalah suatu proses dimana karbondioksida dari atmosfer berdifusi melalui pori-pori beton dan menetralkan alkalinitas dari beton dengan membentuk

kalsium karbonat, seperti yang dapat dilihat pada reaksi kimia berikut ini :



Proses karbonasi akan mengurangi pH beton menjadi 8 atau 9 dimana pada kondisi pH tersebut lapisan film oksida tidak stabil. Suplai oksigen dan uap lembab yang cukup akan mengakibatkan proses korosi terjadi (Metha, 1992). Proses korosi akibat karbonasi dapat dilihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12. Korosi akibat karbonasi pada beton bertulang (Manuela).

Laju difusi CO<sub>2</sub> pada struktur beton dipengaruhi oleh tekanan parsial CO<sub>2</sub> di lingkungan, *rasio w/c*, tipe semen dan kelembaban beton. Laju difusi CO<sub>2</sub> ke dalam beton yang kering (*dry-air concrete*) lebih besar dibanding dengan beton yang jenuh (*saturated*). Penetrasi dari karbonasi biasanya dinyatakan dengan unit panjang, yang mengindikasikan kedalaman karbonasi. Laju karbonasi dinyatakan dengan panjang per waktu. Laju karbonasi yang lambat sekitar 1 mm/tahun dialami pada beton dengan desain yang baik. Dengan selimut beton yang cukup tebal, kedalaman karbonasi tidak akan mencapai baja tulang sehingga lapisan film pasif tetap stabil. Hubungan antara kedalaman karbonasi dan waktu yang dibutuhkan adalah

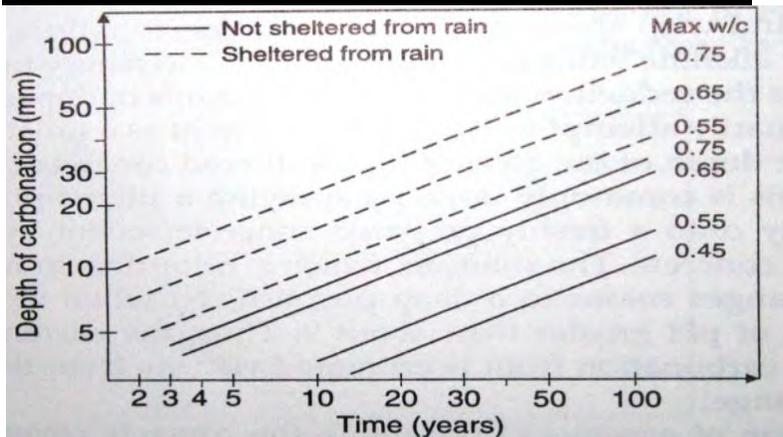
$$d = k\sqrt{t} \quad (2.7)$$

dimana :  $d$  = kedalaman karbonasi dalam milimeter (mm)

$t$  = waktu dalam tahun

$k$  = koefisien karbonasi (milimeter per  $\sqrt{\text{tahun}}$  )

Harga dari  $k$  mulai dari <1 untuk rasio air-semen rendah sampai >5 untuk rasio air-semen yang tinggi. Gambar 2.13 menunjukkan kedalaman karbonasi beton dengan beberapa variasi rasio w/c. Pada kondisi lingkungan yang terlindung dari hujan (*sheltered*) mempunyai kedalaman karbonasi yang lebih tinggi dibanding lingkungan yang tidak terlindung dari hujan (*not sheltered*). Untuk beton dengan rasio w/c 0,65 dan pada kurun waktu 20 tahun, kedalaman karbonasi pada beton yang terlindung (*sheltered*) sebesar 8 mm, sedangkan untuk beton yang tidak terlindung sebesar 20 mm.



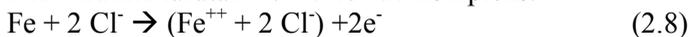
Gambar 2.13. Kedalaman karbonasi beton dengan variasi rasio w/c pada lingkungan terlindung (*sheltered*) dan tidak terlindung dari hujan (Manuela).

### 2.2.6.2. Depasivasi Akibat Penetrasi Ion Klorida

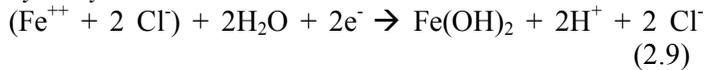
Depasivasi akibat serangan berlangsung dengan cara menyerang lapisan pasif baja tulang tetapi tidak menurunkan pH secara keseluruhan. Klorida berperan sebagai katalis terhadap korosi ketika terdapat konsentrasi yang cukup pada permukaan baja untuk merusak lapisan pasif. Klorida tidak dikonsumsi pada proses tetapi membantu untuk merusak lapisan pasif oksida pada baja dan membuat proses korosi berjalan cepat (*US Department of Transportation, 2000*).

Tahapan korosi karena adanya ion klorida (tanpa oksigen pada anoda) seperti gambar 2.14, adalah sebagai berikut (*US Department of Transportation, 2000*):

- a. Pada anoda, besi bereaksi dengan membentuk *intermediate* larutan *iron-chloride* kompleks.



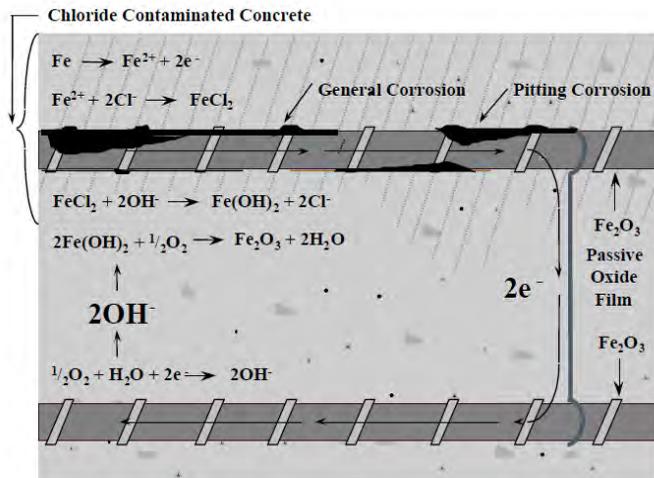
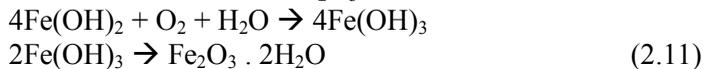
- b. *Iron-chloride* kompleks akan bereaksi dengan ion *hydroxyl* dan air.



- c. Ion hidrogen mengikat elektron membentuk gas hidrogen.



- d. Kehadiran air dan oksigen, *ferrous hydroxide* kemudian teroksidasi membentuk  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .



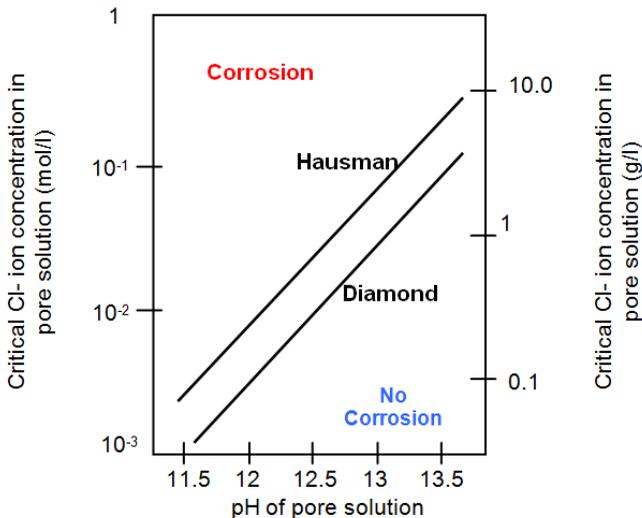
Gambar 2.14 Ilustrasi korosi baja tulang akibat penetrasi ion klorida

Sumber secara umum dibagi menjadi dua yaitu dari internal dan eksternal. Pada sumber internal, berasal dari material beton seperti semen, *agregate* dan air. dari sumber eksternal berasal dari air laut dan *deicing salt* (bahan kimia

untuk mencairkan salju yang diaplikasikan pada jalan atau jembatan).

Pengaruh dalam merusak film pasif, bahkan pada pH tinggi, dapat dilihat sebagai sebuah fungsi dari keseimbangan dua proses yang saling berkompetisi, yaitu proses stabilisasi lapisan pasif oleh ion  $\text{OH}^-$  dan proses perusakan oleh ion  $\text{Cl}^-$ . Konsentrasi harus melebihi nilai ambangnya sebelum melakukan depassivasi. Nilai ambang konsentrasi merupakan fungsi dari pH. Pada basis pengukuran pada larutan  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , Hausman menyatakan nilai ambang konsentrasi sekitar 0,6 kali dari konsentrasi  $\text{OH}^-$ , sementara Diamond menyatakan ambang konsentrasi sekitar 0,3 kali dari konsentrasi  $\text{OH}^-$  (gambar 2.15).

Persentase kandungan per berat kandungan semen digunakan untuk kondisi di lapangan. Menurut Diamond (gambar 2.15), jika pH beton 13 maka kandungan konsentrasi ion klorida maksimal dalam beton 1 g/l agar tidak terkorosi.



**Gambar 2.15. Hubungan antara konsentrasi dengan tingkat pH pada pori.**

### **2.2.7. Korosi Galvanik**

Korosi galvanik adalah korosi yang terjadi jika dua logam yang memiliki beda potensial terhubung secara elektrolit dan elektronik. Prinsip korosi galvanik sama dengan prinsip elektrokimia yaitu terdapat elektroda (katoda dan anoda), elektrolit dan arus listrik. Logam yang berfungsi sebagai anoda adalah logam yang sebelum dihubungkan bersifat lebih aktif atau mempunyai potensial korosi lebih negatif. Pada anoda akan terjadi reaksi oksidasi sedangkan pada katoda terjadi reaksi reduksi logam. Terdapat beberapa faktor yang berpengaruh terhadap korosi galvanik yaitu diantaranya (*Corrosion Engineering*, 1910):

#### **1. Lingkungan**

Tingkatan korosi galvanik tergantung pada keagresifan dari lingkungannya. Pada umumnya logam dengan ketahanan korosi yang lebih rendah dalam suatu lingkungan berfungsi sebagai anoda.

#### **2. Jarak**

Laju korosi pada umumnya paling besar pada daerah dekat pertemuan kedua logam. Laju korosi berkurang dengan makin bertambahnya jarak dari pertemuan kedua logam tersebut. Pengaruh jarak ini tergantung pada konduktivitas larutan dan korosi galvanik dapat diketahui dengan adanya serangan korosi lokal pada daerah dekat pertemuan logam.

#### **3. Luas Penampang**

Luas penampang elektroda terhadap korosi galvanik berkaitan dengan pengaruh perbandingan luas penampang katoda terhadap anoda. Jika luas penampang katoda jauh lebih besar daripada anoda, maka semakin besar rapat arus

pada daerah anoda mengakibatkan laju korosi semakin cepat.

### 2.2.8. Kontrol Korosi

Struktur bangunan berada pada kondisi lingkungan yang korosif, proteksi korosi dibutuhkan untuk memperpanjang umur layannya. Proteksi korosi tersebut dapat berupa strategi yang pasif dan atau aktif. Pemilihan beton dengan kualitas tinggi yang dihasilkan dengan penambahan *admixture* (*fly-ash, silica fume, slag, superplasticizer*), penggunaan baja tulang yang di-*coating* (*epoxycoated, galvanized*) merupakan contoh strategi pasif dalam memperlambat proses korosi. Sedangkan strategi aktif dalam mengontrol korosi antara lain dengan menggunakan proteksi katodik.

Dengan mengetahui mekanisme korosi pada beton bertulang, maka dilakukan kontrol korosi untuk meningkatkan umur sebuah struktur. Sesuai mekanisme korosi pada baja tulang, strategi umum yang dilakukan adalah melakukan kontrol terhadap karbonasi dan . Proteksi khusus untuk lingkungan korosif dengan tingkat yang tinggi dengan cara pemilihan beton mutu tinggi, pemakaian inhibitor, *coating* pada baja tulang dan proteksi katodik.

#### 2.2.8.1. *Superplasticizer* Sika Viscocrete-10

*Superplasticizers* merupakan bahan tambahan baru yang dapat disebut sebagai bahan tambahan kimia pengurang air. Bahan ini menambah kelecakan (kemampuan beton untuk dikerjakan dan dipadatkan) dari campuran dan digunakan terutama untuk beton mutu tinggi, karena dapat mengurangi air sampai 30%. Ada tiga jenis *superplasticizer* berdasarkan kandungan klorida, diantaranya : (Paulus Nugraha, 1989)

1. Kondensasi sulfonat melamin formaldehid dengan kandungan klorida sebesar 0.005%.

2. Sulfonat naftalin formaldehid dengan kandungan klorida yang dapat diabaikan.
3. Modifikasi lignosulfonat tanpa kandungan klorida.

Ketiga jenis bahan tambahan ini tersusun atas asam sulfonat yang berfungsi menghilangkan gaya permukaan pada partikel semen sehingga lebih menyebar, melepaskan air yang terikat pada kelompok partikel semen, untuk menghasilkan viskositas/kekentalan adukan pasta semen atau beton segar yang lebih rendah. Dengan pemakaian bahan ini diperoleh adukan dengan faktor air semen lebih rendah pada nilai kekentalan adukan yang sama, atau diperoleh kekentalan adukan lebih encer pada faktor air semen yang sama.

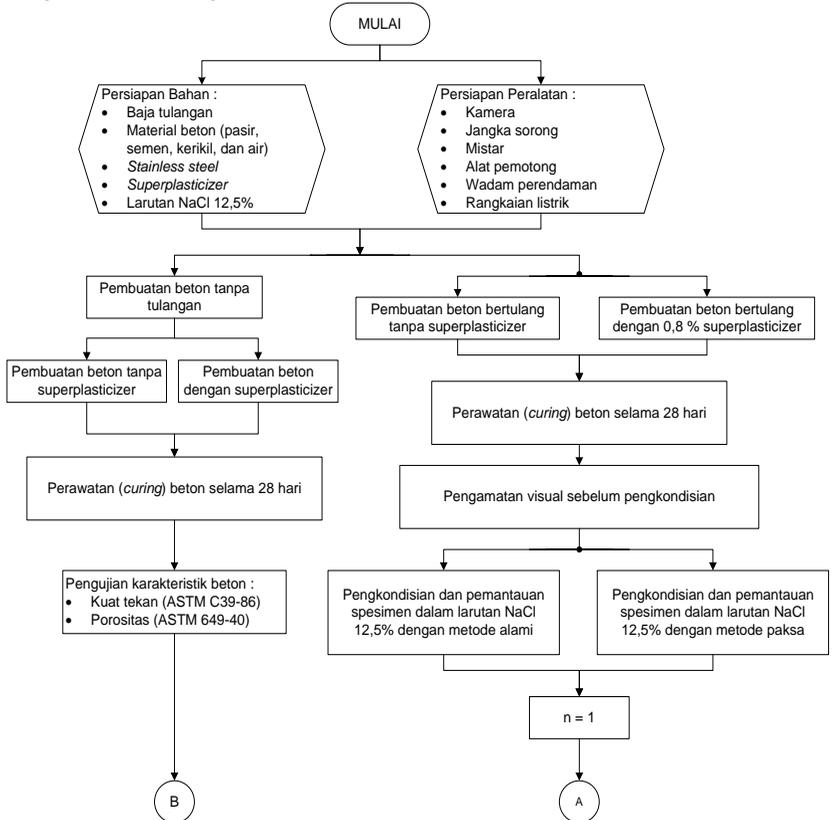
Sika Viscocrete-10 termasuk bahan tambah kimia (*chemical admixture*), yaitu bahan tambahan berupa cairan yang ditambahkan pada campuran beton dalam jumlah tertentu untuk memodifikasi beberapa sifat beton. Bahan tambahan Sika Viscocrete-10 termasuk Tipe F “*Water Reducing, High Range Admixtures*” yaitu bahan tambah yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air pencampur yang diperlukan untuk menghasilkan beton dengan konsistensi tertentu, sebanyak 12 % atau lebih, dan meningkatkan kelecakan beton sampai 8 inch (208 mm) atau lebih. Dosis yang disarankan adalah 0,5% - 1,8% dari berat semen (Sika, 2007).

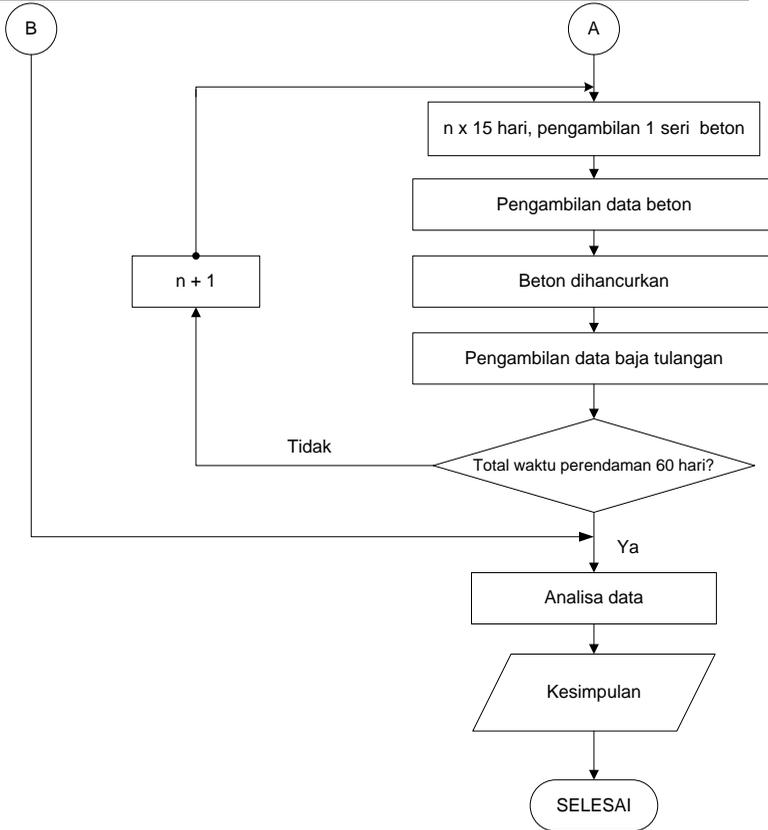
**“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”**

## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1. Diagram Alir Penelitian

Prosedur pelaksanaan percobaan dapat digambarkan dalam diagram alir sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

### 3.2. Persiapan Material

Beton direncanakan dengan standar perancangan SK. SNI-03-2834-1993 (tata cara pembuatan campuran beton normal). Spesifikasi beton yang digunakan pada percobaan kali ini adalah sebagai berikut:

- Rasio W/C : 0,5 (perbandingan antara berat air bebas, *water*, dan berat semen dalam beton) untuk benda uji tanpa penambahan *superplasticizer* dan 0,4 untuk benda uji dengan penambahan *superplasticizer*).
- Tipe Semen : *Pozzolan Portland Cement (PPC)*.
- Jenis *superplasticizer* : *visconcrete-10* dengan kadar 0,8 % dari berat semen.

Perbandingan pembuatan beton tiap 1 m<sup>3</sup> dapat dilihat pada tabel berikut :

**Tabel 3.1 Hasil rancangan campuran untuk 1 m<sup>3</sup> beton**

Kode	Komposisi Beton				
	Semen	Air	Pasir	Kerikil	<i>Superplasticizer</i>
TS	426 kg	213 kg	740 kg	980,9 kg	-
S	426 kg	170,4 kg	740 kg	980,9 kg	0,8 % berat semen

- Dimensi Beton
  - Bentuk : silinder pejal
  - Panjang : 120 mm
  - Diameter : 50,8 mm (2 inch)
  - Keterangan : cetakan terbuat dari PVC diameter 2 inch
- Dimensi baja tulang
  - Tipe : polos
  - Diameter : 11 mm (BJKU 11 mm standar SNI 7614:2010 dengan toleransi  $\pm 0,4$  mm)
  - Panjang : 118 mm

### 3.3. Persiapan peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah:

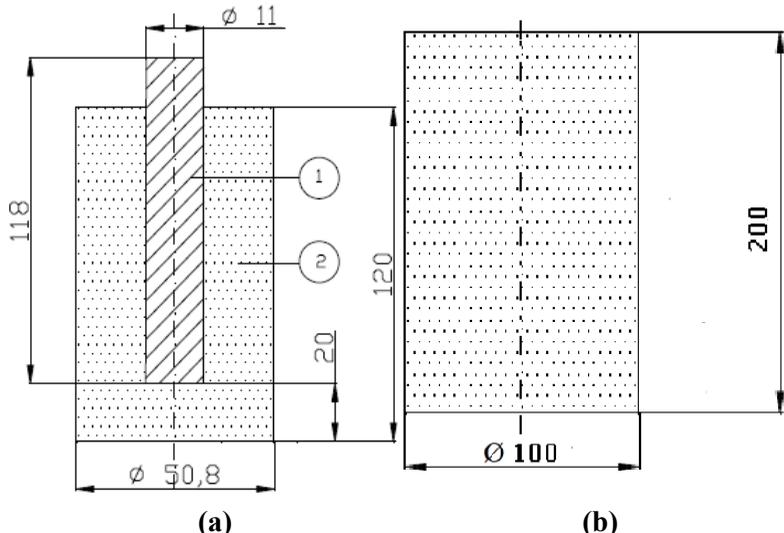
- Kamera
- Jangka sorong , mistar, timbangan
- Mikroskop optis

- Alat pemotong (*Wire Cut, Cutting wheel*)
- Alat uji tekan dan porositas
- Resin
- Bor listrik
- Wadah perendaman

### **3.4. Pembuatan Spesimen Beton**

Pembuatan spesimen beton meliputi pembuatan spesimen beton bertulang dan tanpa tulangan. Pembuatan spesimen beton ini dilakukan dengan beberapa tahap sebagai berikut:

1. Bahan-bahan pembuat beton, yaitu: semen, batu pecah dan pasir ditimbang sesuai rancangan campuran.
2. Bahan-bahan pembuat beton dimasukkan secara bertahap dalam pengaduk yang sebelumnya dibasahi air dengan urutan: pasir, semen, dan kerikil ketika molen dijalankan. Setelah tercampur secara homogen, air dimasukkan ke dalam molen.
3. PVC sebagai cetakan diolesi oli bagian dalamnya agar beton mudah dilepas.
4. Campuran no.2 dimasukkan dalam cetakan sebagai berikut:
  - a. Untuk beton bertulang, campuran no. 2 dimasukkan ke dalam cetakan dengan tinggi 20 mm dari dasar cetakan dengan ditusuk-tusuk dan dipukul-pukul pada sisi luar cetakan agar tidak ada udara yang terjebak di dalam cetakan. Kemudian baja tulang ditahan di tengah dan campuran no. 2 dimasukkan sehingga cetakan terisi semua.
  - b. Untuk beton tanpa tulang, campuran no.2 dimasukkan ke dalam cetakan hingga terisi penuh dengan ditusuk-tusuk dan dipukul-pukul pada sisi luar cetakan.



**Gambar 3.2** Dimensi spesimen beton bertulang (a) dan beton tanpa tulang (b) dalam satuan mm

5. Cetakan yang telah terisi penuh oleh adukan didiamkan selama 24 jam.
6. Pelepasan dari cetakan PVC dilakukan 24 jam setelah penuangan dengan cara mendorong beton keluar dari cetakan PVC searah sumbu.

### 3.5. Perawatan Spesimen (*Curing*)

Proses perawatan spesimen beton yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan cara perendaman beton dalam air. Proses perawatan spesimen ini akan dilakukan selama 28 hari. Proses perawatan dilakukan setelah spesimen beton bertulang dikeluarkan dari cetakannya. Tujuan perawatan spesimen untuk memelihara beton dalam kondisi tertentu pasca pembongkaran sebagai upaya untuk mencegah atau

mengurangi hilangnya air dari dalam beton karena proses hidrasi yang masih berlangsung.

### **3.6. Pengambilan Data Awal**

Pengambilan data awal dilakukan sebelum pengkondisian spesimen. Data-data ini akan digunakan sebagai pembanding sebelum dan sesudah spesimen dikondisikan sehingga dapat terlihat dengan jelas perubahan yang terjadi pada spesimen sesudah pengkondisian. Data yang diambil yaitu foto eksterior beton bertulang, foto eksterior baja tulang, foto penampang longitudinal baja tulang, dan foto penampang melintang baja tulang sebelum dan setelah pengkondisian.

### **3.7. Pengujian Karakteristik Beton**

#### **3.7.1 Pengujian Kuat Tekan Beton**

Pengujian kuat tekan beton bertujuan untuk mengetahui gaya yang dapat diterima beton per satuan luasan. Standar yang digunakan dalam pengujian ini adalah ASTM C39-86 dimana spesimen berbentuk silinder dengan perbandingan tinggi dengan diameter adalah 2 ( $L/D = 2$ ) sesuai dengan standar spesimen berdasarkan ASTM C-42, yaitu dengan dimensi  $\varnothing 100$  mm x 200 mm seperti gambar 3.2 (b).

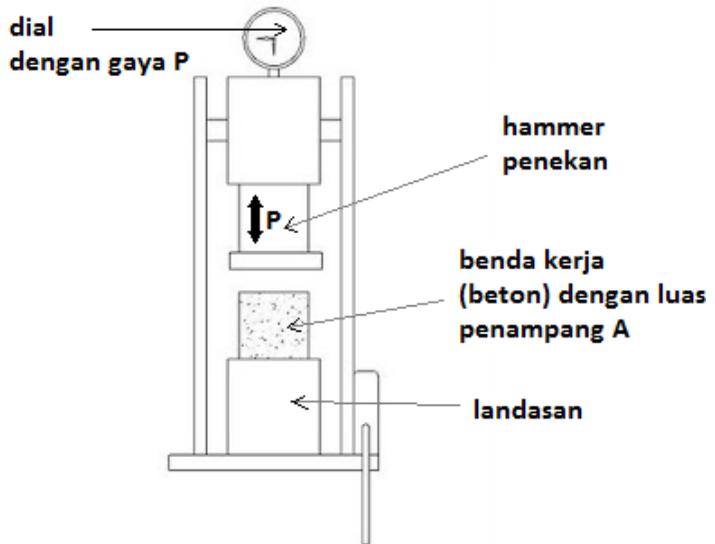
#### **Peralatan :**

- Alat uji tekan dengan kapasitas maksimal 100 ton. Pengujian dilakukan di Laboratorium Beton Jurusan Teknik Sipil ITS Surabaya.

#### **Urutan Pelaksanaan :**

1. Spesimen dikeluarkan dari tempat perawatan sehari sebelum dilakukan uji kuat tekan beton.
2. Permukaan spesimen diratakan dengan lelehan belereng agar diperoleh permukaan yang rata.

3. Spesimen diletakkan di bawah *hammer* penekan tepat di tengah seperti pada gambar 3.3.



Gambar 3.3 Ilustrasi uji tekan pada beton

4. Spesimen ditekan dengan alat uji tekan.
5. Beban tekan maksimum yang dapat diterima spesimen dicatat.
6. Nilai kuat tekan beton dapat dihitung berdasarkan persamaan:

$$F_c = P/A \quad (1)$$

dimana,

$F_c$  = Kuat tekan Beton ( $\text{kg/cm}^2$ )

$P$  = Beban tekan retak (kg)

$A$  = Luas permukaan benda uji ( $\text{cm}^2$ )

Adapun tabel data pengujian kekuatan tekan beton adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.2 Data pengujian kekuatan tekan beton**

Replika ke -	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rata- Rata(kg/cm <sup>2</sup> )
1	P <sub>1</sub>	P <sub>rata</sub>
2	P <sub>2</sub>	

Keterangan :

- P<sub>1</sub> : data kuat tekan pada replika ke 1  
P<sub>rata</sub> : data kekuatan rata-rata

### 3.7.2 Pengujian Porositas Beton

Pengujian porositas beton bertujuan untuk mendapatkan persentase rongga udara di dalam beton dimana nilai porositas merupakan salah satu parameter yang menunjukkan kemampuan suatu beton untuk melewatkan zat cair/permeabilitas beton. Pengujian porositas beton mengacu pada standar ASTM C 642-90.

#### Peralatan :

- Timbangan ketelitian 0,1 kg
- Keranjang kawat
- Oven

#### Urutan Pelaksanaan :

1. Spesimen beton tanpa baja tulang direndam di dalam air selama 18 jam hingga jenuh.
2. Spesimen dalam kondisi jenuh ditimbang beratnya di dalam air (D) dan kemudian ditimbang beratnya di udara (C).

3. Spesimen dimasukkan ke dalam oven dengan temperatur  $110 \pm 5$  °C selama 24 jam, kemudian ditimbang beratnya (A).
4. Nilai Porositas beton dapat dihitung berdasarkan persamaan:  

$$\text{Air Void} = [(C-A)/(C - D)] \times 100\% \quad (2)$$
 dimana,  
 A = Berat spesimen setelah di oven (gr)  
 C = Berat spesimen kondisi jenuh air ditimbang di udara (gr)  
 D = Berat spesimen kondisi jenuh air ditimbang di air (gr)

Adapun tabel data pengujian kekuatan tekan beton adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.3 Data pengujian porositas beton**

Replika ke-	A (gram)	C (gram)	D (gram)	Air Void (%)	Air Void Rata-Rata (%)
1	G <sub>A1</sub>	G <sub>C1</sub>	G <sub>D1</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>rata</sub>
2	G <sub>A2</sub>	G <sub>C2</sub>	G <sub>D2</sub>	A <sub>2</sub>	
3	G <sub>A3</sub>	G <sub>C3</sub>	G <sub>D3</sub>	A <sub>3</sub>	

Keterangan :

G<sub>A1</sub> : data berat replika ke-1 pada kondisi A ( kondisi setelah dioven)

G<sub>C1</sub> : data berat replika ke-1 pada kondisi C ( kondisi saat di udara)

G<sub>D1</sub> : data berat replika ke-1 pada kondisi D ( kondisi saat di air)

A<sub>1</sub> : data *air void* pada replika ke-1

A<sub>rata</sub> : data *air void* rata-rata

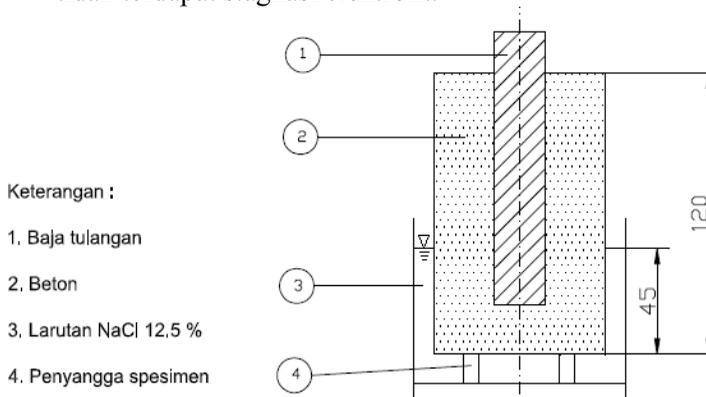
### 3.8. Pengkondisian Spesimen

Pengkondisian spesimen uji pada penelitian ini yaitu dengan metode perendaman (*immersion*) dengan metode alami dan dipercepat. Posisi spesimen uji tegak lurus dengan bidang horisontal sehingga dapat diketahui masuknya larutan ke dalam spesimen. Larutan yang digunakan pada perendaman yaitu 12,5 % larutan NaCl dengan komposisi 12,5 gr NaCl yang dilarutkan dalam 87,5 ml H<sub>2</sub>O. Pengambilan data dilakukan setiap lima belas (15) hari selama 60 hari.

#### 3.8.1. Metode alami

Pengkondisian spesimen dengan metode alami seperti gambar 3.4 adalah sebagai berikut:

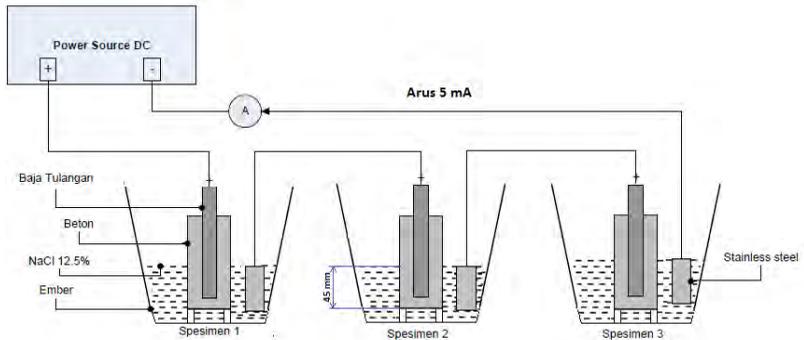
- Dua belas spesimen tanpa *superplasticizer* dan dua belas spesimen dengan *superplasticizer* direndam pada media NaCl.
- Perendaman sebagian pada spesimen. Spesimen terendam setinggi 45 mm dari dasar spesimen di sebuah wadah terbuka.
- Penopangan dilakukan agar bagian bawah spesimen uji tidak terdapat stagnasi elektrolit.



**Gambar 3.4** Pengkondisian spesimen uji yang direndam sebagian pada larutan NaCl

### 3.8.2. Metode paksa

Kondisi perendaman spesimen dengan metode paksa sama seperti metode alami yaitu perendaman spesimen (12 spesimen tanpa *superplasticizer* dan 12 spesimen dengan *superplasticizer*) dalam larutan NaCl di wadah terbuka setinggi 45 mm dari dasar spesimen yang diberi penopang. Pada metode ini, digunakan elektroda *stainless steel* sebagai katoda dan dialiri arus 5 mA. Rangkaian percobaan korosi dengan metode paksa ditunjukkan pada gambar 3.5.



**Gambar 3.5 Rangkaian percobaan uji korosi dengan metode paksa**

## 3.9. Pengujian Beton Sesudah Pengkondisian

### 3.9.1. Tes Kandungan Ion Klorida

Tes kandungan ion klorida pada beton dilakukan tiap interval 15 hari. Setelah dibersihkan dari kotoran yang menempel dan dibor pada kedalaman 0 mm (diambil di permukaan), 6 mm, 12 mm dan 18 mm pada ketinggian 20 mm, 45 mm, dan pada ketinggian yang berbeda-beda sesuai dengan kenaikan air pada eksterior beton seperti ditunjukkan pada gambar 3.6 dengan menggunakan bor diameter 4 mm.

## Tugas Akhir Metalurgi

Selanjutnya proses pengujian dilakukan di laboratorium Kualitas Lingkungan Teknik Lingkungan ITS untuk mendapatkan kandungan ion klorida pada beton.

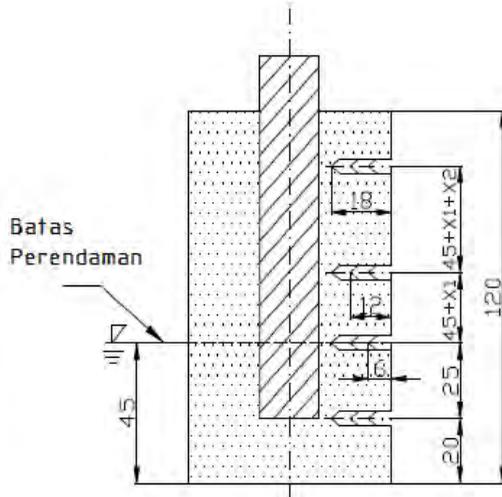
Keterangan:

$X_n$

Dimana

$X$  = kenaikan air pada eksterior beton saat pengukuran ke  $n$ .

$n$  = Pengukuran ke – (1 sampai dengan 6).



**Gambar 3.6 Lokasi pengambilan sampel untuk uji ion klorida**

Pengambilan data dilakukan secara manual. Data kandungan ion klorida diplot di dalam grafik untuk mengetahui distribusi ion klorida di dalam beton sehingga dapat diketahui pola perambatan elektrolit di dalam beton. Desain eksperimen persentase kandungan adalah seperti tabel berikut :



**Tabel 3.4 Persentase kandungan ion klorida**

Spesimen	Persentase Ion klorida (Cl) Beton (%)												
	metode waktu (hari)	alami				paksa				30	45	60	
		15	30	45	60	15	30	45	60				
Tanpa <i>superplasticizer</i>	20.00	CTA115	CTA130	CTA145	CTA160	CTP115	CTP130	CTP145	CTP160				
	20.06	CTA215	CTA230	CTA245	CTA260	CTP215	CTP230	CTP245	CTP260				
	20.12	CTA315	CTA330	CTA345	CTA360	CTP315	CTP330	CTP345	CTP360				
	20.18	CTA415	CTA430	CTA445	CTA460	CTP415	CTP430	CTP445	CTP460				
	45.00	CTA515	CTA530	CTA545	CTA560	CTP515	CTP530	CTP545	CTP560				
	45.06	CTA615	CTA630	CTA645	CTA660	CTP615	CTP630	CTP645	CTP660				
	45.12	CTA715	CTA730	CTA745	CTA760	CTP715	CTP730	CTP745	CTP760				
	45.18	CTA815	CTA830	CTA845	CTA860	CTP815	CTP830	CTP845	CTP860				
	45+xx-1.00	CTA915	CTA930	CTA945	CTA960	CTP915	CTP930	CTP945	CTP960				
	45+xx-1.06	CTA1015	CTA1030	CTA1045	CTA1060	CTP1015	CTP1030	CTP1045	CTP1060				
	45+xx-1.12	CTA1115	CTA1130	CTA1145	CTA1160	CTP1115	CTP1130	CTP1145	CTP1160				
	45+xx-1.18	CTA1215	CTA1230	CTA1245	CTA1260	CTP1215	CTP1230	CTP1245	CTP1260				
<i>superplasticizer</i>	20.00	CSA115	CSA130	CSA145	CSA160	CSA115	CSA130	CSA145	CSA160				
	20.06	CSA215	CSA230	CSA245	CSA260	CSA215	CSA230	CSA245	CSA260				
	20.12	CSA315	CSA330	CSA345	CSA360	CSA315	CSA330	CSA345	CSA360				
	20.18	CSA415	CSA430	CSA445	CSA460	CSA415	CSA430	CSA445	CSA460				
	45.00	CSA515	CSA530	CSA545	CSA560	CSA515	CSA530	CSA545	CSA560				
	45.06	CSA615	CSA630	CSA645	CSA660	CSA615	CSA630	CSA645	CSA660				
	45.12	CSA715	CSA730	CSA745	CSA760	CSA715	CSA730	CSA745	CSA760				
	45.18	CSA815	CSA830	CSA845	CSA860	CSA815	CSA830	CSA845	CSA860				
	45+xx-1.00	CSA915	CSA930	CSA945	CSA960	CSA915	CSA930	CSA945	CSA960				
	45+xx-1.06	CSA1015	CSA1030	CSA1045	CSA1060	CSA1015	CSA1030	CSA1045	CSA1060				
	45+xx-1.12	CSA1115	CSA1130	CSA1145	CSA1160	CSA1115	CSA1130	CSA1145	CSA1160				
	45+xx-1.18	CSA1215	CSA1230	CSA1245	CSA1260	CSA1215	CSA1230	CSA1245	CSA1260				

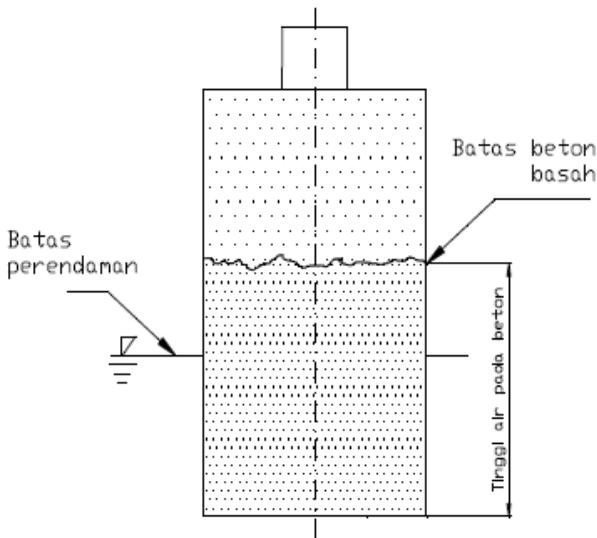
Keterangan:

C<sub>xx,yy,zz</sub> : persentase ion klorida pada pesimen xx dengan kode yy selama zz hari

### 3.9.2. Monitoring Korosi

#### a. Perubahan Fisik Spesimen Uji Sebelum Pembongkaran

Perubahan visual spesimen dapat diketahui dari perbedaan tampilan fisik antara spesimen awal dengan spesimen setelah pengkondisian. Perubahan visual yang diamati di sini adalah ketinggian air pada eksterior beton sesuai dengan gambar 3.7.



**Gambar 3.7 Tinggi air pada kulit beton yang diukur**

Perubahan visual ini terekam melalui foto makro pada setiap spesimen sehingga dalam pengambilan data sebelum dilakukan pembongkaran beton adalah meliputi foto fisik dan tinggi air pada beton. Desain eksperimen ketinggian air pada kulit beton adalah seperti tabel berikut :

**Tabel 3.5 Ketinggian air pada kulit beton**

Spesimen	Replika	Ketinggian air pada kulit beton (mm)							
		Metode							
		alami				paksa			
		Pengambilan ke-				Pengambilan ke-			
I	II	III	IV	I	II	III	IV		
Tanpa super-plasticizer	1	K <sub>11</sub> 1	K <sub>12</sub> 1	K <sub>13</sub> 1	K <sub>14</sub> 1	K <sub>31</sub> 1	K <sub>32</sub> 1	K <sub>33</sub> 1	K <sub>34</sub> 1
	2	K <sub>11</sub> 2	K <sub>12</sub> 2	K <sub>13</sub> 2	K <sub>14</sub> 2	K <sub>31</sub> 2	K <sub>32</sub> 2	K <sub>33</sub> 2	K <sub>34</sub> 2
	3	K <sub>11</sub> 3	K <sub>12</sub> 3	K <sub>13</sub> 3	K <sub>14</sub> 3	K <sub>31</sub> 3	K <sub>32</sub> 3	K <sub>33</sub> 3	K <sub>34</sub> 3
	rata-rata	K <sub>11</sub>	K <sub>12</sub>	K <sub>13</sub>	K <sub>14</sub>	K <sub>31</sub>	K <sub>32</sub>	K <sub>33</sub>	K <sub>34</sub>
super-plasticizer	1	K <sub>21</sub> 1	K <sub>22</sub> 1	K <sub>23</sub> 1	K <sub>24</sub> 1	K <sub>41</sub> 1	K <sub>42</sub> 1	K <sub>43</sub> 1	K <sub>44</sub> 1
	2	K <sub>21</sub> 2	K <sub>22</sub> 2	K <sub>23</sub> 2	K <sub>24</sub> 2	K <sub>41</sub> 2	K <sub>42</sub> 2	K <sub>43</sub> 2	K <sub>44</sub> 2
	3	K <sub>21</sub> 3	K <sub>22</sub> 3	K <sub>23</sub> 3	K <sub>24</sub> 3	K <sub>41</sub> 3	K <sub>42</sub> 3	K <sub>43</sub> 3	K <sub>44</sub> 3
	rata-rata	K <sub>21</sub>	K <sub>22</sub>	K <sub>23</sub>	K <sub>24</sub>	K <sub>41</sub>	K <sub>42</sub>	K <sub>43</sub>	K <sub>44</sub>

Keterangan :

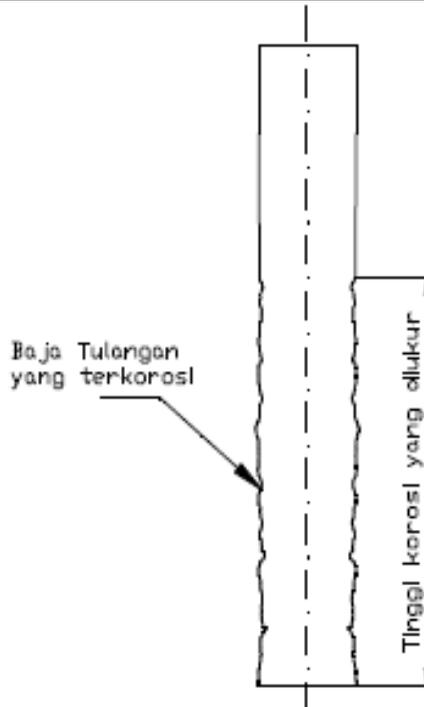
x (y) : Spesimen pada pengambilan ke-x dengan replika ke-y

K<sub>axy</sub> : Ketinggian spesimen a pada pengambilan ke-x dengan replika ke-y

K<sub>ax</sub> : Ketinggian rata-rata spesimen a pada pengambilan ke-n

**b. Perubahan Fisik Spesimen Uji Sesudah Pembongkaran - Serangan Korosi Dilihat Dari Tinggi Korosi pada Permukaan Baja Tulang**

Serangan korosi yang terlihat dari foto permukaan baja tulang dapat menjadi suatu acuan bahwa elektrolit sudah masuk melewati celah antara beton dengan baja tulang. Baja tulang yang terkorosi akan diukur tinggi korosi seperti gambar 3.8 berikut.



**Gambar 3.8** Tinggi korosi pada baja tulang yang diukur

Dari ketinggian korosi pada permukaan ini akan dibuat grafik tinggi korosi fungsi waktu sehingga dapat diketahui kenaikan air di dalam *interface* baja tulang dengan beton. Desain eksperimen ketinggian korosi pada baja tulang adalah sebagai berikut:

Tabel 3.6 Ketinggian korosi pada baja tulang

Jenis	Waktu	Replika	Ketinggian hasil korosi (mm)		
			Metode		
			Alami	Paksa	
			sisi menghadap katoda	sisi membelakangi katoda	
tanpa <i>superplasticizer</i>	15 hari	1	T <sub>111</sub>	T <sub>311A</sub>	T <sub>311B</sub>
		2	T <sub>112</sub>	T <sub>312A</sub>	T <sub>312B</sub>
		3	T <sub>113</sub>	T <sub>313A</sub>	T <sub>313B</sub>
		rata-rata	T <sub>11</sub>	T <sub>31A</sub>	T <sub>31B</sub>
	30 hari	1	T <sub>121</sub>	T <sub>321A</sub>	T <sub>321B</sub>
		2	T <sub>122</sub>	T <sub>322A</sub>	T <sub>322B</sub>
		3	T <sub>123</sub>	T <sub>323A</sub>	T <sub>323B</sub>
		rata-rata	T <sub>12</sub>	T <sub>32A</sub>	T <sub>32B</sub>
	45 hari	1	T <sub>131</sub>	T <sub>321A</sub>	T <sub>321B</sub>
		2	T <sub>132</sub>	T <sub>322A</sub>	T <sub>322B</sub>
		3	T <sub>133</sub>	T <sub>323A</sub>	T <sub>323B</sub>
		rata-rata	T <sub>13</sub>	T <sub>32A</sub>	T <sub>32B</sub>
60 hari	1	T <sub>141</sub>	T <sub>341A</sub>	T <sub>341B</sub>	
	2	T <sub>142</sub>	T <sub>342A</sub>	T <sub>342B</sub>	
	3	T <sub>143</sub>	T <sub>343A</sub>	T <sub>343B</sub>	
	rata-rata	T <sub>14</sub>	T <sub>34A</sub>	T <sub>34B</sub>	
<i>superplasticizer</i>	15 hari	1	T <sub>211</sub>	T <sub>411A</sub>	T <sub>411B</sub>
		2	T <sub>212</sub>	T <sub>412A</sub>	T <sub>412B</sub>
		3	T <sub>213</sub>	T <sub>413A</sub>	T <sub>413B</sub>
		rata-rata	T <sub>21</sub>	T <sub>41A</sub>	T <sub>41B</sub>
	30 hari	1	T <sub>221</sub>	T <sub>421A</sub>	T <sub>421B</sub>
		2	T <sub>222</sub>	T <sub>422A</sub>	T <sub>422B</sub>
		3	T <sub>223</sub>	T <sub>423A</sub>	T <sub>423B</sub>
		rata-rata	T <sub>22</sub>	T <sub>42A</sub>	T <sub>42B</sub>
	45 hari	1	T <sub>231</sub>	T <sub>431A</sub>	T <sub>431B</sub>
		2	T <sub>232</sub>	T <sub>432A</sub>	T <sub>432B</sub>
		3	T <sub>233</sub>	T <sub>433A</sub>	T <sub>433B</sub>
		rata-rata	T <sub>23</sub>	T <sub>43A</sub>	T <sub>43B</sub>
60 hari	1	T <sub>241</sub>	T <sub>441A</sub>	T <sub>441B</sub>	
	2	T <sub>242</sub>	T <sub>442A</sub>	T <sub>442B</sub>	
	3	T <sub>243</sub>	T <sub>443A</sub>	T <sub>443B</sub>	
	rata-rata	T <sub>24</sub>	T <sub>44A</sub>	T <sub>44B</sub>	

Keterangan :

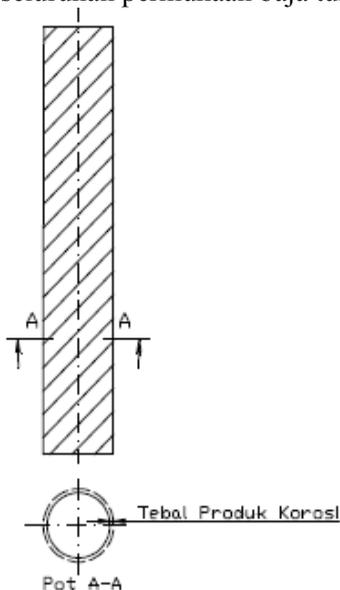
T<sub>axy</sub> : ketinggian spesimen a ( 1 untuk beton tanpa *superplasticizer* dan 2 untuk spesimen *superplasticizer*) pada pengambilan ke-x dengan replika ke-y.

T<sub>ax</sub> : ketinggian rata-rata spesimen a ( 1 untuk beton tanpa *superplasticizer* dan 2 untuk spesimen *superplasticizer* di metode alami) pada pengambilan ke-x.

- $T_{bxy}$  : ketinggian spesimen b ( 3 untuk beton tanpa *superplasticizer* dan 4 untuk spesimen *superplasticizer* di metode alami) pada pengambilan ke-x dengan replika ke-y.
- $T_{bx}$  : ketinggian rata-rata spesimen b ( 3 untuk beton tanpa *superplasticizer* dan 4 untuk spesimen *superplasticizer* di metode alami) pada pengambilan ke-x.

### - Serangan Korosi Dilihat Dari Potongan Melintang Baja Tulang

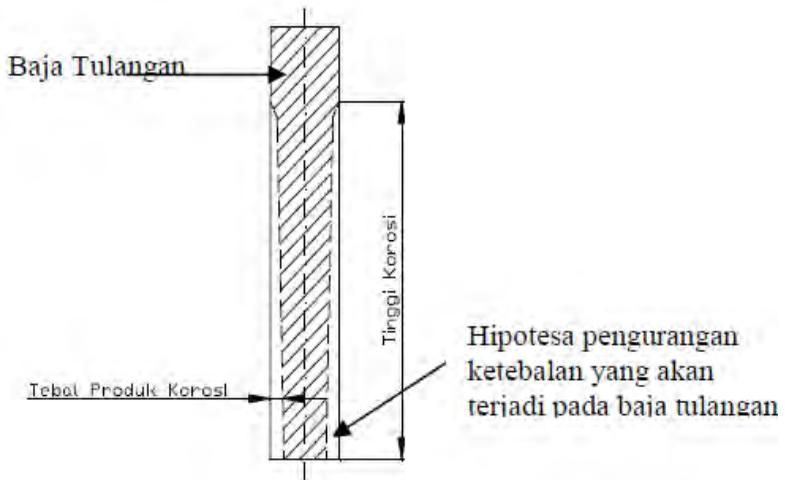
Serangan korosi dapat dilihat melalui potongan melintang seperti gambar 3.11. Potongan melintang ini dilakukan untuk mengamati bahwa serangan korosi terjadi pada semua bagian di sekeliling baja tulang. Potongan horizontal ini disertakan foto mikro mengitari baja tulang sehingga tampak dengan jelas profil korosi pada keseluruhan permukaan baja tulang.



**Gambar 3.9** Potongan melintang baja tulang dan hipotesa serangan korosi yang merata sekeliling pada baja tulang

- **Serangan Korosi Dilihat Dari Profil Korosi yang Tampak dari Potongan Longitudinal Baja Tulang**

Potongan longitudinal baja tulang dapat digunakan untuk mengukur tebal produk korosi pada baja tulang yang mengakibatkan pengurangan diameter baja tulang seperti gambar 3.10. Grafik yang akan diplotkan dari data tebal produk korosi adalah grafik ketebalan baja tulang fungsi waktu. Grafik ini akan menunjukkan perubahan ketebalan baja tulang akibat serangan korosi terhadap fungsi waktu.



**Gambar 3.10 Potongan longitudinal baja tulang dan hipotesa pengurangan ketebalan pada baja tulang**

Data yang diambil dari sini selain data tinggi dan tebal produk korosi juga disertakan foto mikro dari potongan vertikal baja tulang yang diambil secara runtut dari bawah ke atas sehingga dapat terlihat jelas profil korosi yang terbentuk pada baja tulang. Desain eksperimen ketebalan pada pengamatan potongan longitudinal adalah sebagai berikut:

Tabel 3.7 Ketebalan baja tulang

Ketinggian (mm)	Ketebalan baja tulang dari titik tengah ( $\mu\text{m}$ )							
	waktu pengkondisian (hari)							
	15		30		45		60	
	D	B	D	B	D	B	D	B
0	T <sub>00D15</sub>	T <sub>00B15</sub>	T <sub>00D30</sub>	T <sub>00B30</sub>	T <sub>00D45</sub>	T <sub>00B45</sub>	T <sub>00D60</sub>	T <sub>00B60</sub>
10	T <sub>10D15</sub>	T <sub>10B15</sub>	T <sub>10D30</sub>	T <sub>10B30</sub>	T <sub>10D45</sub>	T <sub>10B45</sub>	T <sub>10D60</sub>	T <sub>10B60</sub>
20	T <sub>20D15</sub>	T <sub>20B15</sub>	T <sub>20D30</sub>	T <sub>20B30</sub>	T <sub>20D45</sub>	T <sub>20B45</sub>	T <sub>20D60</sub>	T <sub>20B60</sub>
30	T <sub>30D15</sub>	T <sub>30B15</sub>	T <sub>30D30</sub>	T <sub>30B30</sub>	T <sub>30D45</sub>	T <sub>30B45</sub>	T <sub>30D60</sub>	T <sub>30B60</sub>
40	T <sub>40D15</sub>	T <sub>40B15</sub>	T <sub>40D30</sub>	T <sub>40B30</sub>	T <sub>40D45</sub>	T <sub>40B45</sub>	T <sub>40D60</sub>	T <sub>40B60</sub>
50	T <sub>50D15</sub>	T <sub>50B15</sub>	T <sub>50D30</sub>	T <sub>50B30</sub>	T <sub>50D45</sub>	T <sub>50B45</sub>	T <sub>50D60</sub>	T <sub>50B60</sub>
60	T <sub>60D15</sub>	T <sub>60B15</sub>	T <sub>60D30</sub>	T <sub>60B30</sub>	T <sub>60D45</sub>	T <sub>60B45</sub>	T <sub>60D60</sub>	T <sub>60B60</sub>
70	T <sub>70D15</sub>	T <sub>70B15</sub>	T <sub>70D30</sub>	T <sub>70B30</sub>	T <sub>70D45</sub>	T <sub>70B45</sub>	T <sub>70D60</sub>	T <sub>70B60</sub>
80	T <sub>80D15</sub>	T <sub>80B15</sub>	T <sub>80D30</sub>	T <sub>80B30</sub>	T <sub>80D45</sub>	T <sub>80B45</sub>	T <sub>80D60</sub>	T <sub>80B60</sub>
90	T <sub>90D15</sub>	T <sub>90B15</sub>	T <sub>90D30</sub>	T <sub>90B30</sub>	T <sub>90D45</sub>	T <sub>90B45</sub>	T <sub>90D60</sub>	T <sub>90B60</sub>
100	T <sub>100D15</sub>	T <sub>100B15</sub>	T <sub>100D30</sub>	T <sub>100B30</sub>	T <sub>100D45</sub>	T <sub>100B45</sub>	T <sub>100D60</sub>	T <sub>100B60</sub>

Keterangan :

T<sub>xyz</sub> : Ketebalan spesimen pada ketinggian x mm di daerah y selama z hari

D : spesimen yang menghadap katoda

B : spesimen yang tidak menghadap katoda

## BAB 4 DATA DAN ANALISA

### 4.1 Karakteristik Beton

Karakteristik beton, meliputi kuat tekan dan porositas beton, diambil dari spesimen beton yang telah dirawat selama 28 hari dengan cara merendam beton dalam air.

#### 4.1.1 Data Karakteristik Beton

##### A. Data Kuat Tekan Beton.

Pengujian kuat tekan beton dilakukan di Laboratorium Beton, Teknik Sipil, ITS sesuai dengan standar pengujian ASTM C-42. Data kuat tekan beton sesuai dengan tabel 4.1 yang tertera di bawah ini (lembar data hasil pengujian terlampir).

**Tabel 4.1. Kuat Tekan Beton**

Spesimen	Replika ke-	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Kuat Tekan Rata-Rata (kg/cm <sup>2</sup> )
tanpa <i>Superplasticizer</i>	1	320,23	289,9
	2	277,57	
dengan <i>Superplasticizer</i>	1	286,48	305,9
	2	325,31	

Kuat tekan beton rata-rata yang didapat dari hasil pengujian kuat tekan adalah sebesar 289,9 kg/cm<sup>2</sup> untuk spesimen tanpa *superplasticizer* dan 305,9 kg/cm<sup>2</sup> untuk spesimen dengan *superplasticizer*.

##### B. Data Porositas Beton.

Pengujian porositas dilakukan berdasarkan standar pengujian ASTM C 642-90 sehingga diperoleh nilai *air void*.



## Tugas Akhir Metalurgi

*Air void* merupakan pori-pori beton yang terisi udara yang dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$\text{Air Void} = [(C - A) / (C - D)] \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan :

A = Berat spesimen setelah di oven (gram).

C = Berat spesimen kondisi jenuh air ditimbang di udara (gram).

D = Berat spesimen kondisi jenuh air ditimbang di air(gram).

Dari persamaan di atas maka data berat beton dapat dirangkum seperti pada tabel 4.2 yang tertera di bawah ini (lembar data hasil pengujian terlampir).

**Tabel 4.2. Porositas Beton**

Spesimen	Replika ke-	A (gram)	C (gram)	D (gram)	Air void (%)	Air void rata-rata (%)
tanpa <i>superplasticizer</i>	1	3790	3899	2313	6,87	<b>7,03</b>
	2	3801	3940	2297	8,46	
	3	3820	3911	2329	5,75	
dengan <i>superplasticizer</i>	1	3872	3940	2322	4,20	<b>5,76</b>
	2	3800	3896	2351	6,21	
	3	3785	3893	2321	6,87	

Berdasarkan data berat beton dan perhitungan dengan persamaan 1 maka didapatkan *air void* rata-rata sebesar 7,03 % untuk spesimen tanpa *superplasticizer* dan 5,76 % untuk spesimen dengan *superplasticizer*.

#### 4.1.2 Pembahasan Data Karakteristik Beton

Pada studi eksperimental ini, beton dibuat dengan komposisi berdasarkan beton mutu K325 sesuai standar SNI DT 91-0008-2007. Beton K325 memiliki nilai sebanding dengan beton dalam bentuk silinder yang kuat tekan sebesar  $288 \text{ kg/cm}^2$ . Kekuatan tekan beton aktual yang didapat pada percobaan sesuai yang tertera pada tabel 4.1 yaitu sebesar  $282,88 \text{ kg/cm}^2$  untuk spesimen tanpa *superplasticizer* dan  $294,75 \text{ kg/cm}^2$  untuk spesimen dengan *superplasticizer*. Menurut SNI 03-2847-2002, kuat tekan mutu beton memenuhi syarat jika nilai rata-rata dari dua benda uji memiliki nilai di bawah nilai kuat tekan standar yang tidak melebihi 3,5 MPa. Dari hasil penelitian ini, nilai kuat tekan untuk spesimen tanpa *superplasticizer* 3,78 % dan spesimen dengan *superplasticizer* 6,21 % lebih tinggi dari nilai kuat tekan standar. Nilai kuat tekan dari kedua jenis spesimen ini memiliki nilai di atas nilai kuat tekan standar sehingga kuat tekan beton memenuhi syarat nilai kuat tekan standar beton. Salah satu penyebab perbedaan kuat tekan adalah komposisi penyusun beton (air, semen, kerikil, dan pasir) yang berbeda. Perbedaan jenis semen, pasir, dan kerikil ini menyebabkan perbedaan kebutuhan air dalam beton. Nilai kuat tekan pada spesimen *superplasticizer* lebih tinggi dibandingkan spesimen tanpa *superplasticizer*. Hal ini disebabkan pada spesimen *superplasticizer* tidak terjadi *bleeding*. Pada saat pembuatan beton tanpa *superplasticizer*, terjadi *bleeding*. *Bleeding* merupakan kecenderungan air untuk naik menuju permukaan beton setelah pengecoran. *Bleeding* ini menyebabkan jumlah air yang bereaksi dengan semen untuk mengikat pasir dan kerikil pada saat pembuatan berkurang. Hal ini berakibat pada perbedaan kemampuan pengikatan semen terhadap pasir dan kerikil pada bagian dasar dan bagian atas dalam beton sehingga kekuatan tekan beton menurun. Pada spesimen dengan *superplasticizer*, peningkatan



## *Tugas Akhir Metalurgi*

---

kekuatan tekan ini disebabkan adanya penambahan *superplasticizer* dimana *bleeding* tidak terjadi selama proses pembuatan beton. Hasil yang diperoleh sesuai dengan penelitian Pujiyanto (2011), dimana penambahan *superplasticizer* dapat meningkatkan kuat tekan.

Karakteristik beton yang lain adalah porositas beton. Beton yang digunakan pada studi eksperimental ini memiliki porositas rata-rata sebesar 7,03 % untuk spesimen tanpa *superplasticizer* sedangkan untuk spesimen dengan *superplasticizer* 5,76 %. Berdasarkan hasil penelitian Abolfazl (2012), nilai porositas ini dipengaruhi oleh rasio air semen. Nilai rasio air semen yang tinggi dapat menyebabkan porositas yang tinggi pada beton. Dalam penelitian Bernard (2010), penyebab lain adalah proses pemadatan beton. Proses ini tidak dapat menghilangkan 100% udara di dalam campuran beton sehingga udara yang terjebak di dalam campuran beton tersebut akan menimbulkan pori. Pada spesimen *superplasticizer*, rasio air semen lebih sedikit dibandingkan beton tanpa *superplasticizer* sehingga nilai porositasnya rendah. Penambahan *superplasticizer* dalam beton ini mengurangi jumlah air (nilai rasio air semen rendah) dalam beton tetapi tetap mudah dikerjakan.

Pada penelitian ini, nilai kuat tekan beton dengan *superplasticizer* lebih tinggi dibandingkan tanpa *superplasticizer* dan nilai porositas beton lebih rendah dibandingkan tanpa *superplasticizer*. Penambahan *superplasticizer* dapat meningkatkan kuat tekan dan memperbaiki porositas beton (Amri, 2005). Dalam hal ini, pengaruh kemampuan *superplasticizer* sebagai pengganti air perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

## 4.2 Pengamatan Visual Kulit Beton

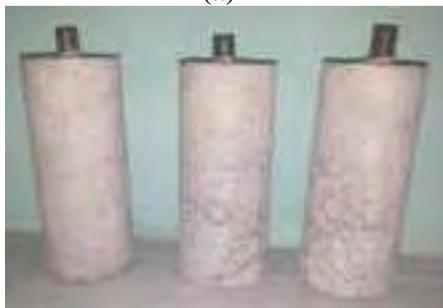
Spesimen diamati sebelum dan setelah pengkondisian untuk mengetahui perubahan pada kulit beton selama 60 hari. Perubahan ini meliputi visual kulit beton dan ketinggian kenaikan air pada kulit beton yang dikondisikan. Data ini akan digunakan untuk menentukan lokasi sampel pengujian ion klorida, dimana air yang naik membawa ion klorida.

### 4.2.1 Data Pengamatan Visual Kulit Beton

Data pengamatan visual sebelum dan setelah pengkondisian setiap 15 hari dapat dilihat pada gambar 4.1, tabel 4.3, 4.4 dan 4.5.



(a)



(b)

**Gambar 4.1** Spesimen beton tanpa *superplasticizer* (a) dan beton *superplasticizer* (b) sebelum pengkondisian. Beton memiliki warna abu-abu terang.

Tabel 4.3 Data pengamatan visual eksterior beton metode alami

Waktu	Jenis	
	beton tanpa <i>superplasticizer</i>	beton <i>superplasticizer</i>
15 hari		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bagian kulit beton yang basah berwarna abu-abu gelap.</li> <li>• Kenaikan air pada kulit beton tidak tampak signifikan dari pengondisian awal (45 mm).</li> </ul>	
30 hari		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peningkatan air pada kulit beton tidak tampak signifikan dari hari ke-15.</li> <li>• Tidak terdapat endapan korosi pada kulit beton.</li> </ul>	
45 hari		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perubahan ketinggian air pada kulit beton tampak signifikan dari hari ke-30.</li> <li>• Tidak terdapat endapan korosi pada kulit beton.</li> </ul>	
60 hari		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peningkatan ketinggian air pada kulit beton tampak tidak signifikan.</li> <li>• Tidak terdapat endapan korosi pada kulit beton.</li> </ul>	

**Tabel 4.4 Data pengamatan visual eksterior beton metode paksa**

Waktu	Jenis	
	beton tanpa <i>superplasticizer</i>	beton <i>superplasticizer</i>
15 hari		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peningkatan ketinggian air pada kulit beton tidak tampak signifikan dari kondisi awal perendaman (45 mm).</li> <li>• Ada bercak berwarna oren kecoklatan yang muncul dari bagian dasar beton hingga melebihi ketinggian air di kulit.</li> <li>• Ada bercak yang muncul hanya pada perbatasan bagian beton yang basah dan kering.</li> </ul>	
30 hari		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kenaikan air pada kulit beton tampak signifikan dari hari ke-15.</li> <li>• Endapan korosi yang berwarna oren kecoklatan bertambah banyak pada kulit beton dibandingkan hari ke-15.</li> </ul>	
45 hari		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Endapan korosi yang terbentuk semakin banyak dibandingkan hari ke-30.</li> </ul>	
60 hari		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ketinggian air pada kulit beton tidak tampak mengalami peningkatan signifikan.</li> <li>• Endapan korosi yang terbentuk semakin banyak dibandingkan hari ke-45.</li> </ul>	

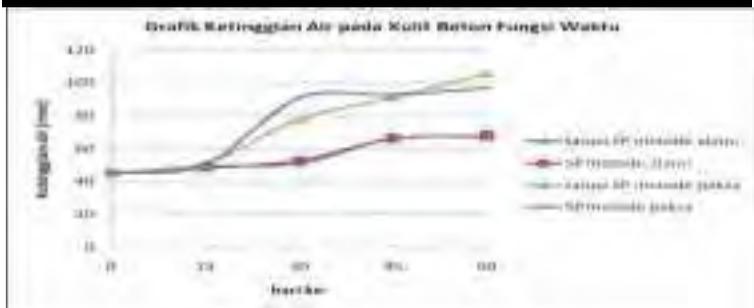


**Tabel 4.5 Ketinggian air pada kulit beton**

Spesimen	Replika	Ketinggian air pada kulit beton (mm)							
		Metode							
		alami				paksa			
		waktu (hari)				waktu (hari)			
		15	30	45	60	15	30	45	60
Tanpa <i>superplasticizer</i>	1	50	50	63	68	55	66	91	105
	2	48	51	66	66	49	83	90	105
	3	50	52	69	68	49	84	93	108
	rata-rata	<b>49,3</b>	<b>51</b>	<b>66</b>	<b>67,33</b>	<b>51</b>	<b>77,67</b>	<b>91,33</b>	<b>106</b>
<i>superplasticizer</i>	1	46	48	65	68	48	94	95	96
	2	51	52	65	68	50	88	95	95
	3	48	60	68	67	53	91	88	100
	rata-rata	<b>48,33</b>	<b>52,67</b>	<b>66</b>	<b>67,67</b>	<b>50,33</b>	<b>91</b>	<b>92,67</b>	<b>97</b>

#### 4.2.2 Pembahasan Data Pengamatan Visual Kulit Beton

Tabel 4.3 dan 4.4 merupakan data hasil pengamatan visual beton tanpa *superplasticizer* dan *superplasticizer* pada metode alami dan paksa secara periodik setiap 15 hari selama 60 hari. Dalam metode alami, produk korosi, yang berwarna orange kecoklatan, belum terlihat sedangkan produk korosi telah menempel di kulit beton pada metode paksa. Pada metode paksa, jumlah produk korosi meningkat diikuti dengan lamanya perendaman dalam larutan NaCl. Produk korosi berupa endapan pada kulit beton ini menunjukkan bahwa air telah menembus ke dalam pori beton hingga pada *interface* baja dengan beton. Air ini bereaksi dengan baja tulang sehingga membentuk produk korosi. Air yang bercampur produk korosi ini mencari jalan keluar lain yaitu melalui pori beton sehingga produk korosi ini membentuk endapan. Fenomena ini juga terjadi dalam penelitian Gunanto (2009), Wirawan (2009) dan Bernad (2010), dimana ada endapan yang terbentuk pada dinding beton.



**Gambar 4.2 Grafik ketinggian air pada kulit beton fungsi waktu**

Pengamatan lainnya adalah pengukuran ketinggian air pada kulit beton dilakukan terhadap empat seri beton yang meliputi beton tanpa *superplasticizer* metode alami, beton tanpa *superplasticizer* metode paksa, beton *superplasticizer* metode alami, dan beton *superplasticizer* metode paksa. Gambar 4.2 menunjukkan data ketinggian air pada tabel 4.5 yang dituangkan dalam 4 grafik ketinggian air pada kulit beton fungsi waktu. Keempat grafik ini dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu metode alami dan paksa. Dalam grafik tersebut, ketinggian air pada kulit beton meningkat seiring dengan waktu perendaman, dimana kenaikan air pada metode paksa lebih tinggi dibandingkan pada metode alami.

Pada 15 hari pertama, kenaikan air pada kulit dari keempat seri beton tidak tampak signifikan. Pada 30 hari berikutnya, beton yang dikondisikan dengan metode alami, peningkatan air di kulit beton terjadi secara landai. Dalam hal ini dapat disebut lambat. Di lain pihak, pada beton yang dikondisikan dengan metode paksa, peningkatan air pada kulit beton terjadi dengan cepat, ditunjukkan oleh gradien yang sangat besar. Secara umum, pada 15 hari terakhir, peningkatan air pada kulit beton kembali melambat. Pada 15 hari pertama diasumsikan air cenderung lebih merambat ke arah radial menuju ke pusat beton dibandingkan ke atas. Pada 30 hari selanjutnya, air pada kulit meningkat dengan lebih cepat,



disebabkan air telah cukup berdifusi pada ketinggian air yang direndam dalam beton sehingga kondisi ini cukup sebagai dasar bagi air untuk merambat ke atas. Pada 15 hari terakhir, peningkatan ketinggian air yang melambat diasumsikan karena energi potensial menurun.

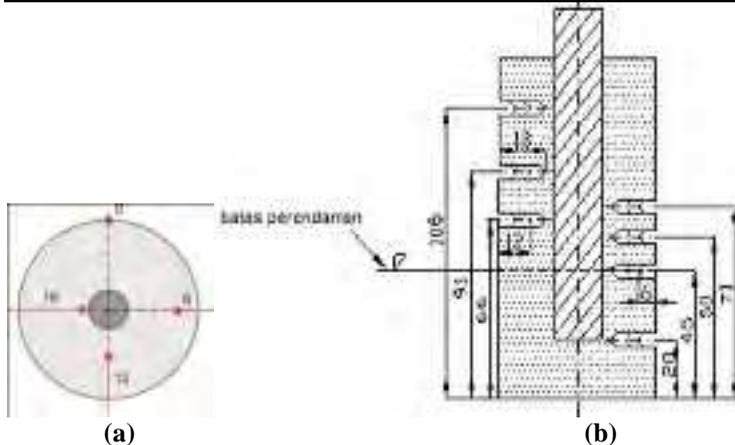
Berdasarkan pengamatan visual pada beton, produk korosi tampak pada metode paksa dan peningkatan ketinggian air pada kulit beton lebih cepat pada metode paksa dibandingkan metode alami.

### **4.3 Distribusi Ion Klorida Dalam Beton**

Dalam percobaan ini, larutan NaCl dalam air digunakan sebagai media korosif sehingga difusinya dalam beton dapat terlihat dari perubahan persentase klor di dalam beton. Peningkatan persentase klor terhadap kondisi awal dalam beton dapat digunakan sebagai acuan bahwa adanya air yang masuk ke dalam beton. Melalui pengujian kandungan ion klorida pada beton, maka pola perambatan air dalam beton ke arah radial (pada kedalaman berbeda) dan vertikal (pada ketinggian berbeda) dapat diketahui.

#### **4.3.1. Data Persentase Ion Klorida Dalam Beton**

Pengujian kandungan ion klorida dengan metode argentometri (Mohr) berdasarkan SNI 06-6989.19-2004 dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Teknik Lingkungan ITS, dimana spesimen uji berupa serbuk dari beton sebelum dan setelah pengkondisian. Serbuk beton diperoleh dari pengeboran pada 4 kedalaman yang berbeda yaitu pada permukaan, kedalaman 6 mm, 12 mm, dan 18 mm. Pengambilan data klor juga dilakukan pada ketinggian yang berbeda-beda yaitu pada 20 mm (di bawah permukaan perendaman), 45 mm (pada batas perendaman), dan pada setiap kenaikan air pada kulit beton yaitu ketinggian 50 mm, 66 mm, 71 mm, 91 mm dan 106 mm seperti pada gambar 4.3.



**Gambar 4.3** Lokasi pengambilan sampel untuk uji kandungan ion klorida pada ketinggian sama yang dipandang dari atas (a) dan pada ketinggian berbeda yang dipandang dari samping (b)

**Tabel 4.6** Persentase ion klorida pada beton sebelum pengondisian

Kode Sampel	Persentase Cl (%)	
	Beton Tanpa <i>Superplasticizer</i>	Beton <i>Superplasticizer</i>
20.00	0,421	0,540
20.06	0,383	0,480
20.12	0,431	0,490
20.18	0,401	0,483
45.00	0,421	0,473
45.06	0,480	0,630
45.12	0,341	0,570
45.18	0,391	0,495
50.00	0,384	0,476
50.06	0,373	0,440
50.12	0,421	0,534
50.18	0,415	0,533
<b>Rata-rata</b>	<b>0,405</b>	<b>0,512</b>

Keterangan kode sampel:

xx.yy : spesimen pada ketinggian xx mm dan kedalaman yy mm

# Tugas Akhir Metalurgi



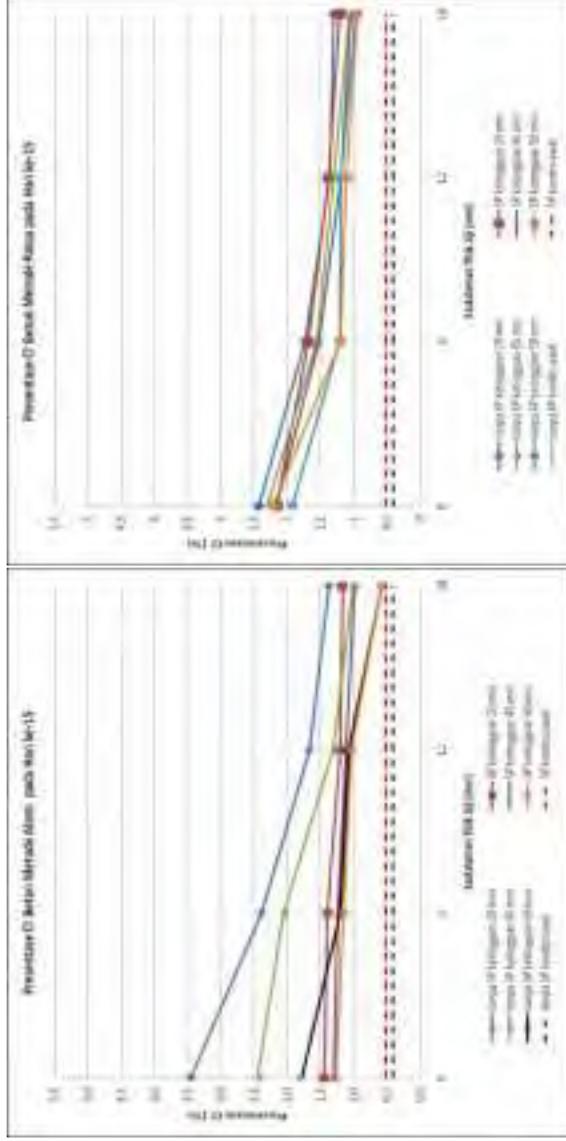
**Tabel 4.7 Persentase ion klorida pada beton setelah pengkondisian**

Spesimen Beton	Persentase Ion Klorida (%)								
	Metode	Alami				Paksa			
	Waktu (hari)	15	30	45	60	15	30	45	60
Tanpa superplasticizer	Kode								
	20.00	3,448	3,585	4,221	4,221	2,427	2,545	3,969	4,863
	20.06	2,392	3,147	3,292	3,292	1,736	2,695	3,778	3,595
	20.12	1,665	2,559	3,167	3,267	1,357	2,000	2,393	2,804
	20.18	1,372	1,427	2,748	2,748	1,296	1,765	2,167	2,430
	45.00	2,444	2,848	3,681	3,681	2,301	2,402	3,759	3,889
	45.06	2,055	2,099	3,011	3,011	1,553	2,391	2,691	3,450
	45.12	1,305	2,000	3,096	3,096	1,306	2,059	2,482	2,584
	45.18	1,004	1,087	2,457	2,457	1,062	1,495	2,352	2,691
	50.00	1,783	2,494	2,776	2,776	1,930	2,250	3,374	3,507
	50.06	1,201	1,221	2,101	2,101	1,213	2,144	2,211	3,268
	50.12	1,078	1,106	2,030	2,030	1,194	2,077	2,273	2,224
	50.18	0,570	0,667	0,778	0,778	0,956	1,444	2,219	2,200
	66.00		1,198	1,327	1,327		2,298	3,167	3,378
	66.06		1,009	1,237	1,237		2,144	2,772	3,162
	66.12		0,719	1,068	1,068		2,041	2,115	2,142
	66.18		0,467	0,691	0,786		1,116	2,170	2,105
	91.00						1,980	2,614	3,316
	91.06						1,802	1,861	2,762
	91.12						1,740	1,836	2,062
	91.18						0,926	1,651	1,965
	106.00								3,224
	106.06								2,466
	106.12								1,962
106.18								1,657	
superplasticizer	20.00	1,440	2,885	3,058	3,733	2,161	2,276	3,736	5,091
	20.06	1,394	2,498	2,547	2,710	1,685	1,808	3,374	4,509
	20.12	1,202	2,273	2,441	2,520	1,376	1,047	2,143	4,217
	20.18	1,166	1,505	1,743	1,832	1,206	1,408	1,762	3,947
	45.00	1,304	2,447	3,034	3,333	2,161	1,974	2,887	4,525
	45.06	1,240	2,232	2,396	3,152	1,528	1,618	2,507	4,448
	45.12	1,112	2,051	2,294	3,057	1,189	1,061	1,687	3,495
	45.18	0,991	1,391	1,808	2,484	1,040	1,332	1,831	3,422
	50.00	1,272	2,284	2,917	2,642	2,215	1,907	2,537	4,414
	50.06	1,150	2,131	2,364	2,906	1,204	1,185	2,404	4,244
	50.12	1,033	2,023	2,138	2,222	1,117	1,058	2,292	3,071
	50.18	0,570	1,212	1,635	1,956	0,950	0,965	1,528	3,244
	66.00		2,221	2,305	2,249		1,542	2,817	4,276
	66.06		2,118	2,290	2,291		1,138	2,312	4,243
	66.12		1,520	1,577	2,258		1,286	1,173	3,065
	66.18		1,209	1,222	1,582		0,947	1,132	3,174
	91.00						1,584	2,756	4,255
	91.06						1,576	2,319	4,162
	91.12						0,687	2,067	2,981
	91.18						0,723	1,017	3,267
	106.00								2,312
	106.06								2,118
	106.12								1,822
	106.18								1,351

Keterangan kode sampel:

xx.yy:jenis spesimen zz pada ketinggian xx mm dan kedalaman yy mm.

### 4.3.2. Pembahasan Data Persentase Ion Klorida yang Menunjukkan Distribusi Media Korosif yang Berdifusi dalam Beton

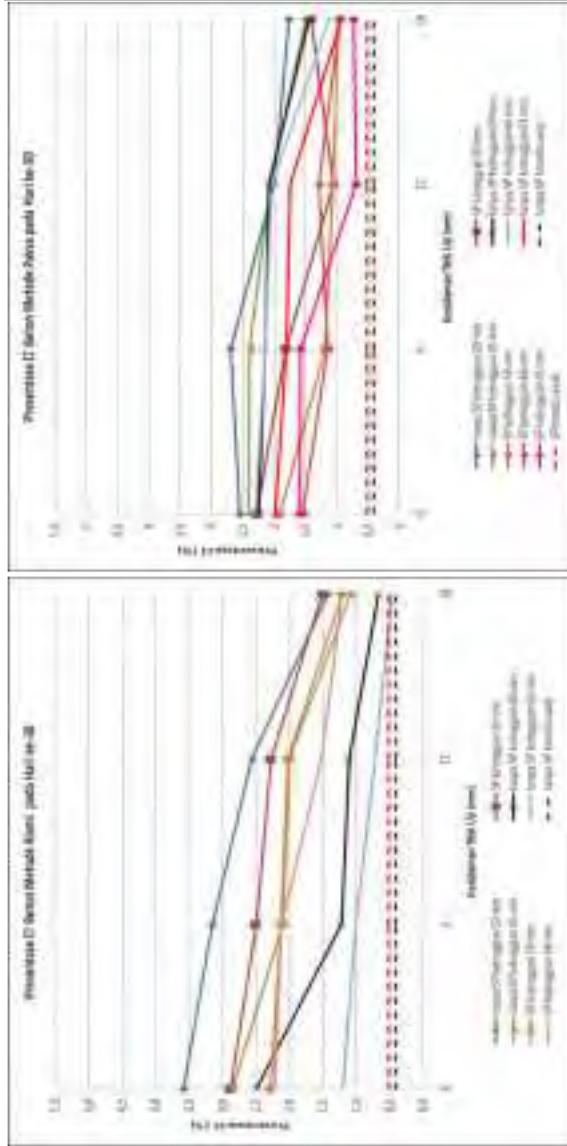


Gambar 4.4 Persentase ion klorida pada penampang beton vs kedalaman pada hari ke-15 dalam metode alami (a) dan paksa (b).

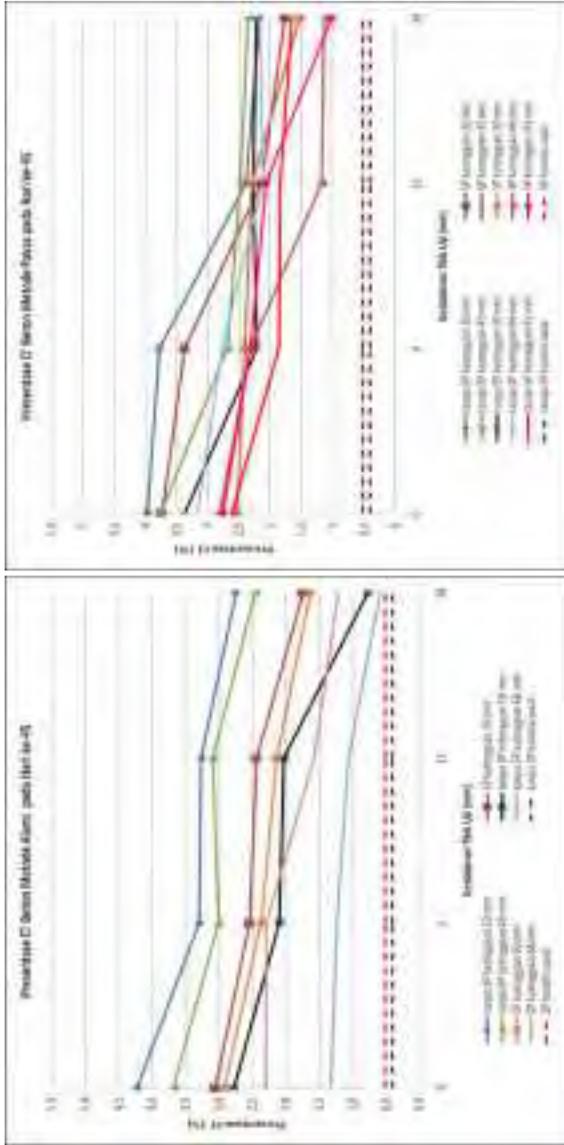


Pada 15-hari pertama, persentase ion klorida di kedalaman 18 mm pada beton tanpa *superplasticizer* dan dengan *superplasticizer* telah melebihi persentase rata-rata pada kondisi awal seperti pada gambar 4.4. Hal ini menunjukkan bahwa air telah menembus daerah *interface* baja dan beton, dimana *interface* baja tulang dengan beton berjarak 1,9 mm dari kedalaman 18 mm. Pada beton *superplasticizer*, persentase ion klorida lebih rendah dibandingkan beton tanpa *superplasticizer*. Hal ini berkaitan dengan nilai porositas pada beton *superplasticizer* lebih rendah dibandingkan beton tanpa *superplasticizer* sehingga jalan masuk media korosif yang membawa ion klorida ke dalam beton menjadi sedikit.

Pada 15-hari kedua (hari ke-30) dalam gambar 4.5 untuk ketinggian tertentu, persentase ion klorida dalam beton meningkat dari 15 hari pertama. Jika dilihat pada kedalaman yang sama, pada 15-hari kedua persentase ion klorida meningkat signifikan di beton *superplasticizer* dari 15-hari pertama. Hal ini menunjukkan bahwa ketinggian air semakin meningkat sehingga persentase ion klorida antara kulit beton dengan kedalaman tertentu cenderung rendah pada beton *superplasticizer* dibandingkan beton tanpa *superplasticizer*. Pada metode paksa, gradien persentase ion klorida masih relatif rendah dan perubahan persentase ion klorida masih cenderung acak dibandingkan dengan metode alami. Hal ini disebabkan adanya dorongan dari arus yang mempercepat ion klorida untuk bergerak menuju ke dalam beton.



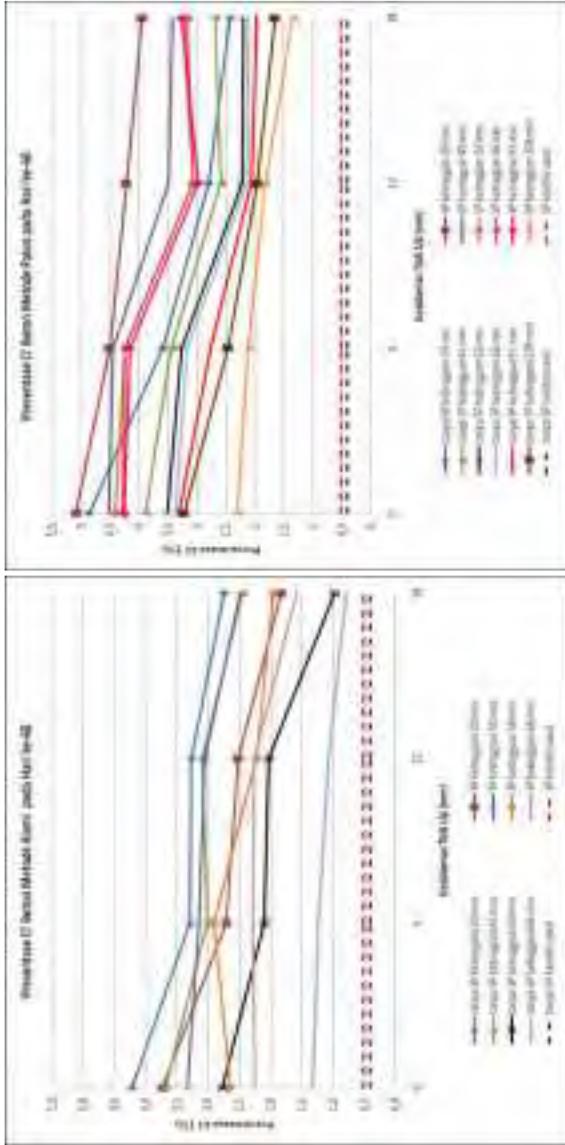
**Gambar 4.5** Persentase ion klorida pada penampang beton vs kedalaman pada hari ke-30 dalam metode alami (a) dan paksa (b).



(a) (b)  
**Gambar 4.6** Persentase ion klorida pada penampangan beton vs kedalaman pada hari ke-45 dalam metode alami (a) dan paksa (b).

Gradien persentase ion klorida pada 15-hari ketiga (hari ke-45) semakin landai dibandingkan pada 15-hari kedua. Hal ini menunjukkan bahwa air masih berdifusi ke arah radial dimana kandungan ion klorida pada kedalaman tertentu mulai bergerak mendekati kandungan ion klorida pada kulit beton. Jika dilihat pada kedalaman yang sama dalam gambar 4.6, persentase ion klorida tidak mengalami peningkatan yang signifikan dari pengamatan sebelumnya. Hal ini disebabkan beton yang telah basah cukup jenuh oleh media korosif sehingga kandungan ion klorida dari permukaan beton ke dalam beton tidak terlalu besar seperti semula. Perbedaan yang semakin kecil dari permukaan ke dalam beton ini akan menyebabkan proses difusi menjadi semakin lambat sehingga kenaikan persentase ion klorida pada beton menjadi kurang signifikan seperti sebelumnya.

Pada ketinggian yang telah ditentukan, kecenderungan ion klorida yang menurun terhadap kedalaman pada 15-hari keempat (hari ke-60) hampir sama dengan 15-hari ketiga untuk metode alami, dimana gradien yang ditunjukkan semakin landai seperti dalam gambar 4.7. Hal ini disebabkan di dalam beton relatif jenuh dengan air sehingga ion klorida tidak dapat naik ke atas secepat semula dan perbedaan kandungan ion klorida pada tiap kedalaman relatif kecil dibandingkan pada kulit beton. Pada ketinggian yang berbeda untuk metode paksa, pola distribusi ion klorida hampir sama sedangkan pada ketinggian yang sama, persentase ion klorida terus meningkat signifikan dibandingkan pengamatan sebelumnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengaruh pemberian arus pada beton meningkatkan persentase ion klorida dalam beton.



(a)

(b)

**Gambar 4.6** Persentase ion klorida pada penampang beton vs kedalaman pada hari ke-60 dalam metode alami (a) dan paksa (b).

Berdasarkan pengujian ion klorida untuk ketinggian yang telah ditentukan dalam penampang beton selama pengkondisian, media korosif (larutan NaCl 12,5%) telah berdifusi hingga kedalaman 18 mm. Kedalaman ini merupakan daerah yang mendekati *interface* baja tulang dengan beton. *Interface* baja tulang dengan beton berjarak 1,9 mm dari kedalaman 18 mm. Jika data pada ketinggian yang sama diekstrapolasi pada jarak 1,9 mm, maka ion klorida telah berada di atas rata-rata sebelum pengkondisian. Pada ketinggian tertentu selama pengkondisian, persentase ion klorida semakin rendah seiring dengan bertambahnya kedalaman. Ini diasumsikan jumlah media korosif yang masuk ke beton semakin sedikit. Semakin lama perendaman, persentase di kedalaman tertentu semakin mendekati persentase di permukaan. Pola penurunan kandungan ion klorida ini sesuai dengan penelitian Rehm (1988), dimana konsentrasi ion klorida terbesar terjadi pada permukaan dan cenderung menurun dengan bertambahnya kedalaman beton.

#### **4.4. Pengamatan Baja Tulang**

Untuk mengamati baja tulang, maka beton harus dibongkar tanpa merusak permukaan baja tulang untuk dilakukan observasi yang meliputi pengamatan visual, penampang melintang, dan penampang longitudinal.

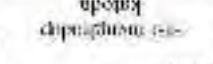
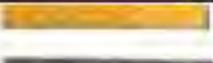
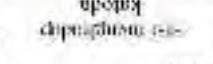
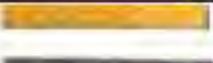
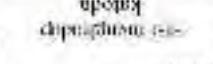
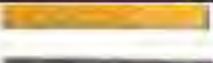
##### **4.4.1 Data Pengamatan Visual Baja Tulang**

Pengamatan visual baja tulang beton dilakukan sebelum pengkondisian dan setelah pengkondisian spesimen secara berkala yaitu setiap 15 hari. Beton dipecah dan dipisahkan dari baja tulang. Baja tulang yang terlepas dari beton diamati perubahan fisik (adanya korosi pada permukaan). Ketika baja tulang kontak dengan media korosif, maka terjadi reaksi antara baja tulang dengan lingkungan. Data pengamatan visual baja tulang beton sebelum dan setelah pengkondisian dapat dilihat pada tabel 4.8, 4.9, dan 4.10.

**Tabel 4.8** Data pengamatan visual baja tulang metode abasi waktu (hari)

spesimen beton kontrol jenis awal	15	30	45	60	keterangan
					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Baja tulang berwarna abu-abu gelap dan terang.</li> <li>• Beton tampak seringan biasa.</li> </ul>
					

**Tabel 4.9 Data pengamatan visual baja tulang setelah paksa Waktu (hari)**

Spesimen Beton	15	30	45	60	Keterangan
komposit awal					
tanpa pengalihan					<ul style="list-style-type: none"> <li>• Serangan beton terjadi dari dasar mesin tumbang hingga ketinggian tertentu.</li> <li>• Ketahanan krusial pada beton busa sangat dipengaruhi oleh busa.</li> <li>• ditandingkan pada beton dengan <i>superplasticizer</i>. (lihat tabel 4.11)</li> </ul>
katoda					
katoda					

Spesimen Beton	Waktu (hari)		Keterangan
Isolasi awal	15	30	
penyokan			
-distan			
sisi katoda			
sisi anoda			
sisi katoda			
sisi anoda			
sisi katoda			
sisi anoda			
sisi katoda			
sisi anoda			
sisi katoda			
sisi anoda			
sisi katoda			
sisi anoda			
sisi katoda			
sisi anoda			
sisi katoda			
sisi anoda			
sisi katoda			
sisi anoda			
sisi katoda			
sisi anoda			

**Tabel 4.10 Data ketinggian hasil korosi**

Jenis	Waktu	Replika	Ketinggian hasil korosi (mm)		
			Metode		
			Alami	Paksa	
sisi menghadap katoda	sisi membelakangi katoda				
tanpa <i>superplasticizer</i>	15 hari	1	0	35	30
		2	0	30	30
		3	0	45	25
		rata-rata	0	36,67	28,33
	30 hari	1	0	50	40
		2	0	55	45
		3	0	60	48
		rata-rata	0	55	44,33
	45 hari	1	0	80	74
		2	0	83	75
		3	0	81	73
		rata-rata	0	81,33	74,00
	60 hari	1	0	92	88
		2	0	88	85
		3	0	87	87
		rata-rata	0	89,00	86,67
<i>superplasticizer</i>	15 hari	1	0	30	25
		2	0	35	30
		3	0	40	25
		rata-rata	0	35	26,67
	30 hari	1	0	53	40
		2	0	54	40
		3	0	40	33
		rata-rata	0	49	37,67
	45 hari	1	0	80	74
		2	0	78	73
		3	0	79	70
		rata-rata	0	79,00	72,33
	60 hari	1	0	88	82
		2	0	85	80
		3	0	84	80
		rata-rata	0	85,67	80,67

#### 4.4.2. Pembahasan Pengamatan Visual Baja Tulang

Ketika air telah masuk ke dalam beton, air berdifusi menuju daerah yang memiliki konsentrasi lebih rendah. Pergerakan air ini akan bergerak terus hingga pada daerah perbatasan antara beton dan baja tulang. Air yang telah masuk hingga *interface* baja tulang dengan beton dapat terlihat dari korosi yang sudah terjadi pada baja tulang. Dari pengamatan ini maka dapat dibuat grafik ketinggian korosi pada baja tulang yang mengacu pada tabel 4. 10 seperti yang tampak pada gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik ketinggian air pada *interface* baja dengan beton fungsi waktu

Berdasarkan gambar 4.8, korosi terjadi pada metode paksa sedangkan pada metode alami, korosi belum tampak selama pengkondisian. Hal ini terlihat dari warna kulit baja tulang

dengan metode alami yang tetap berwarna abu-abu. Pada metode paksa, ketinggian korosi semakin meningkat seiring dengan lamanya waktu perendaman. Dalam hal ini, ketinggian korosi pada beton *superplasticizer* lebih rendah dibandingkan beton tanpa *superplasticizer*. Jika dilihat pada baja tulang yang sama, ketinggian korosi pada daerah yang menghadap katoda lebih tinggi dibandingkan pada daerah yang membelakangi katoda. Hal ini disebabkan penempatan katoda hanya pada satu sisi spesimen sehingga aliran elektron akibat adanya arus pemercepat hanya pada sisi tersebut. Adanya aliran elektron ini mengakibatkan ion klorida masuk pada sisi yang sama sehingga menimbulkan serangan korosi yang berbeda jika dilihat dari ketinggian korosi.

Dari pengamatan visual pada baja tulang, ketinggian korosi pada beton *superplasticizer* lebih rendah dibandingkan beton tanpa *superplasticizer* dan ketinggian korosi pada daerah yang menghadap katoda lebih tinggi daripada daerah yang membelakangi katoda.

#### **4.4.3. Data Penampang Melintang Baja Tulang**

Pengamatan potongan melintang baja tulang dengan pengambilan foto makro mengelilingi baja tulang dapat melihat serangan korosi yang terjadi pada baja tulang. Berikut adalah data pengamatan visual dari potongan melintang baja tulang.

**Tabel 4.11 Data Penampang Baja Tulang Metode Alami**

No	Waktu	Jenis	Pot A-A	Pot B-B	Pot C-C
1.	15 hari	TS			
		S			
2.	30 hari	TS			
		S			
3.	45 hari	TS			
		S			
4.	60 hari	TS			
		S			



**Gambar 4.9 lokasi pemotongan baja tulang metode alami**

Keterangan :

TS : Spesimen tanpa *superplasticizer*

S : Spesimen *superplasticizer*

**Tabel 4.12 Data Penampang Baja Tulang Metode Paksa**

No	Waktu	Jenis	Pot A-A	Pot B-B	Pot C-C
1.	15 hari	TS			
		S			
2.	30 hari	TS			
		S			
3.	45 hari	TS			
		S			
4.	60 hari	TS			
		S			



**Gambar 4.10**  
lokasi  
pemotongan  
baja tulang  
metode paksa

Keterangan :

TS : Spesimen tanpa *superplasticizer*

S : Spesimen *superplasticizer*



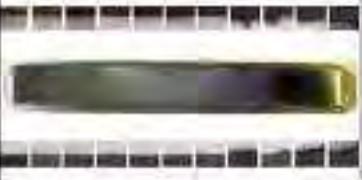
### **Pembahasan Penampang Melintang Baja Tulang**

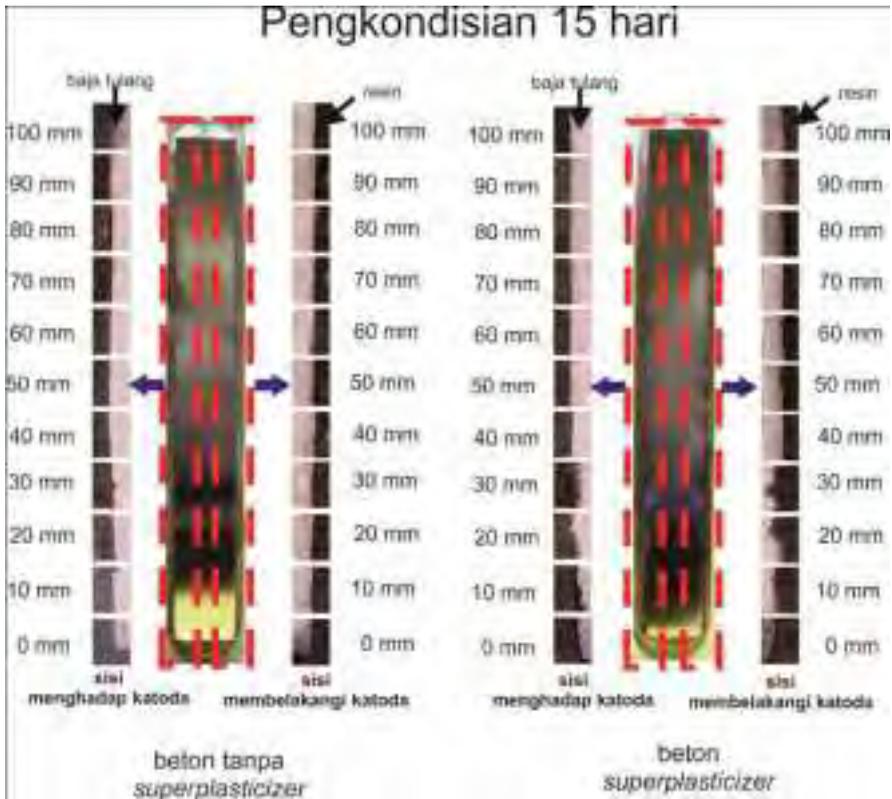
Dalam tabel 4.11 dan 4.12 menunjukkan gambar penampang melintang baja tulang. Dari gambar tersebut tampak bahwa serangan korosi pada baja tulang belum terjadi pada spesimen dengan metode alami sedangkan pada metode paksa, serangan korosi telah terjadi sejak 15-hari pertama. Pada spesimen dengan metode alami, serangan korosi belum terlihat karena air belum bereaksi dengan baja tulang. Kondisi ini menunjukkan bahwa air yang masuk hingga *interface* baja tulang dan beton belum tentu menimbulkan korosi. Pada spesimen dengan metode paksa, serangan korosi terjadi tidak merata karena bentuk katoda tidak mengikuti kontur dari spesimen sehingga daerah yang berhadapan dengan katoda lebih banyak mengalami korosi dibandingkan daerah yang membelakangi katoda. Berdasarkan perbedaan serangan korosi antara sisi yang menghadap dan membelakangi katoda, data potongan longitudinal dibutuhkan untuk mewakili keadaan baja tulang secara keseluruhan.

#### **4.4.4. Data Penampang Longitudinal Baja Tulang**

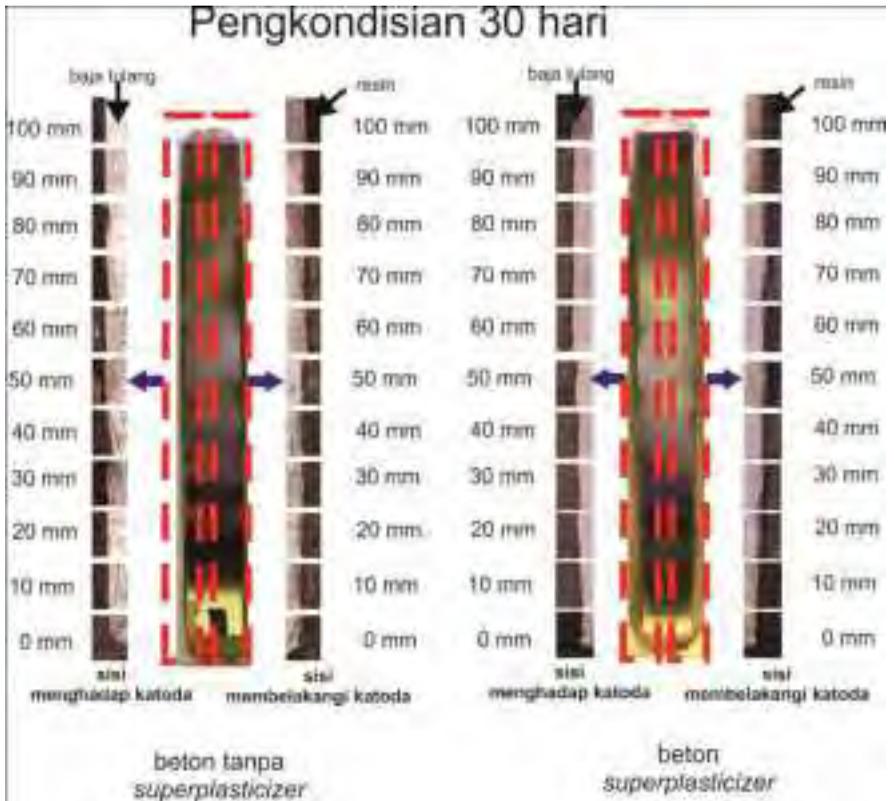
Pemotongan secara longitudinal pada baja tulang dilakukan untuk mengetahui serangan yang terjadi tidak merata pada metode paksa. Baja tulang dibelah secara memanjang dan dilakukan proses *grinding* hingga grit 2000. Kemudian baja tulang tersebut diamati menggunakan mikroskop optis dengan perbesaran 50 kali dimana pengamatan dilakukan dengan interval setiap 10 mm. Pengamatan dilakukan hanya sepanjang baja tulang yang berada di dalam beton. Data ketebalan baja tulang dapat dilihat pada tabel 4.13 dan 4.14 dan penampang longitudinal beton ditunjukkan pada tabel 4.15.

Tabel 4.13 Penampang Longitudinal Baja Tulang

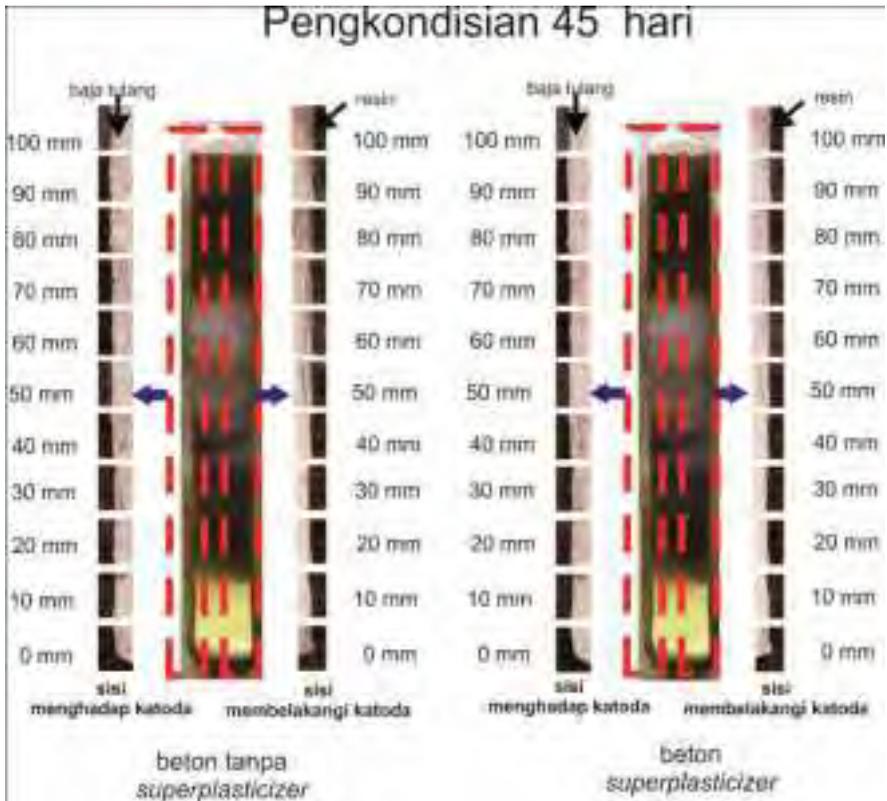
Spesimen Beton	Waktu (hari)			
	15	30	45	60
Tanpa <i>superplasticizer</i>				
Dengan <i>superplasticizer</i>				



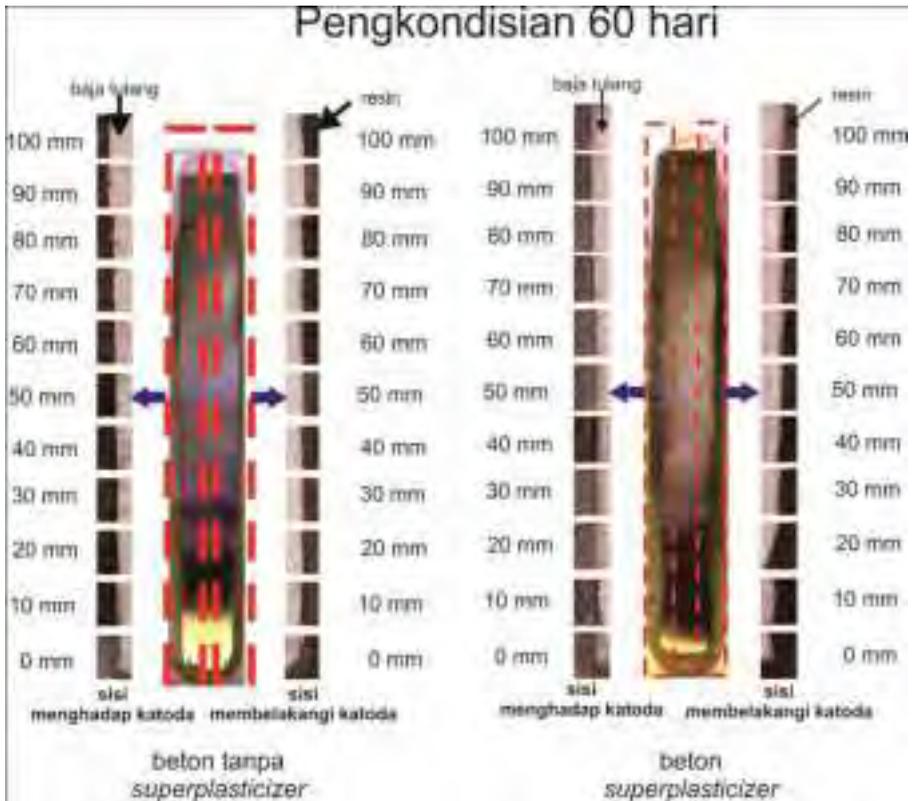
**Gambar 4.11** Potongan longitudinal baja tulang pada beton tanpa *superplasticizer* dan dengan *superplasticizer* selama 15 hari beserta foto mikro baja yang berada dalam beton dari bagian dasar baja dengan interval 10 mm.



**Gambar 4.12** Potongan longitudinal baja tulang pada beton tanpa *superplasticizer* dan dengan *superplasticizer* selama 30 hari beserta foto mikro baja yang berada dalam beton dari bagian dasar baja dengan interval 10 mm.



**Gambar 4.13** Potongan longitudinal baja tulang pada beton tanpa *superplasticizer* dan dengan *superplasticizer* selama 45 hari beserta foto mikro baja yang berada dalam beton dari bagian dasar baja dengan interval 10 mm.



**Gambar 4.14** Potongan longitudinal baja tulang pada beton tanpa *superplasticizer* dan dengan *superplasticizer* selama 60 hari beserta foto mikro baja yang berada dalam beton dari bagian dasar baja dengan interval 10 mm.

Tabel 4.14 Pengurangan ketebalan baja tulang spesimen tanpa *impregnasi* metode paksa

Ketebalan (mm)	Pengurangan ketebalan baja tulang dari titik tengah (mm)											
	waktu pengkondisian (hari)											
	15			30			45			60		
	D	B		D	B		D	B		D	B	
0	3875	3750	1500	5082	5000	5000	3875	15113	8770			
10	3375	2750	5125	4625	5750	4125	14750	4375				
20	3125	2125	1875	3750	6500	3500	16250	1000				
30	2500	1750	1375	3625	4375	1625	13750	3125				
40	0	0	5000	3375	3750	2750	2500	2875				
50	0	125	1375	0	3375	1875	6875	2500				
60	0	250	0	0	3125	1250	5000	2000				
70	125	0	125	125	1625	375	4000	1375				
80	250	0	0	0	1250	0	3125	1000				
90	0	0	0	0	0	0	750	0				
100	0	0	0	0	0	0	0	0				

Keterangan :

D : sisi yang menghadap katoda

B : sisi yang membalakangi katoda

Tabel 4.15 Pengurangan ketebalan baja mild spesimen superplastik dengan metode paksa

Ketebalan (mm)	Pengurangan ketebalan baja mild dari ring renghal (mm) waktu pengkondisian (hour)											
	15			30			45			60		
	D	B	R	D	B	R	D	B	R	D	B	R
0	13750	3750	13493	15625	13493	15625	2875	2875	2875	8714	8714	3052
10	13500	8125	12500	15000	12500	13500	2875	2875	2875	14250	14250	5625
20	13125	6875	8125	13750	8125	8375	3125	3125	3125	13750	13750	3375
30	12500	7500	6875	16250	6875	16625	3750	3750	3750	12500	12500	1750
40	0	0	6250	16250	6250	13750	5375	5375	5375	16250	16250	1750
50	0	125	9123	0	0	1790	125	125	125	15375	15375	1625
60	0	250	0	0	0	2375	375	375	375	8750	8750	1500
70	125	0	125	125	125	625	375	375	375	4375	4375	375
80	250	0	0	0	0	375	0	0	0	1625	1625	625
90	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Keterangan :

D : sisi yang menghadap katoda

B : sisi yang membelakangi katoda



#### 4.4.5. Pembahasan Penampang Longitudinal Baja Tulang

Dalam tabel 4.13, 4.14, dan 4.15, dapat dilihat gambar penampang longitudinal dan ketebalan baja tulang pada metode paksa. Serangan korosi terjadi pada beton tanpa *superplasticizer* dan dengan *superplasticizer*. Setelah perendaman dari 15-hari pertama hingga 15-hari keempat, ketebalan baja tulang berkurang dari kondisi awal sebelum perendaman. Semakin lama perendaman, pengurangan ketebalan baja tulang semakin besar.

Pada 15-hari pertama, ketebalan baja mulai berkurang dari dasar baja tulang. Hal ini menunjukkan bahwa serangan korosi dimulai dari dasar baja tulang menuju ke atas. Dasar baja tulangan terkorosi lebih dahulu karena mengalami kontak dengan media korosi lebih cepat. Hal ini pula yang menyebabkan pengurangan ketebalan baja tulangan di dasar lebih cepat dibandingkan dengan pengurangan ketebalan baja tulangan di titik observasi yang lebih tinggi. Pada 15-hari kedua hingga 15-hari keempat, ketebalan baja tulang berkurang dengan tidak teratur, dimana pada titik observasi yang tertentu memiliki ketebalan yang lebih kecil dibandingkan titik observasi di bawahnya. Hal ini menunjukkan bahwa serangan korosi tidak terjadi secara merata ke arah vertikal. Serangan korosi ini tidak sesuai dengan hipotesa awal, dimana serangan korosi terjadi secara merata. Kondisi ini dapat disebabkan oleh bentuk katoda yang tidak sesuai dengan kontur beton dan arus yang mengalir pada rangkaian yang tidak selalu stabil.

Jika dilihat dari pengurangan ketebalan baja, beton tanpa *superplasticizer* mengalami serangan korosi lebih sedikit dibandingkan beton *superplasticizer*. Hal ini disebabkan dalam komposisi *superplasticizer* sika viscocrete-10 mengandung 0,94% ion klorida sehingga bahan tambahan ini menambahkan persentase ion klorida dalam beton. Persentase ion klorida yang



besar ini menyebabkan baja tulang cenderung terkorosi lebih banyak.

Berdasarkan pengamatan longitudinal, terlihat serangan korosi tidak merata ke arah radial dan vertikal. Beton tanpa *superplasticizer* mengalami serangan korosi lebih sedikit dibandingkan beton *superplasticizer*. Pada umumnya, daerah yang berhadapan dengan katoda mengalami pengurangan ketebalan lebih besar dibandingkan daerah yang membelakangi katoda.

#### **4.5. Pembahasan Data Pengamatan Visual Kulit Beton dengan Baja Tulang**

Kenaikan air yang terjadi pada kulit beton ke arah vertikal dapat dihubungkan juga dengan kenaikan korosi yang terjadi di *interface* antara baja tulang dengan beton dimana ketinggian korosi ini diasumsikan sebagai ketinggian air pada *interface* baja tulang dan beton. Hubungan tersebut dapat dituangkan dalam dalam suatu grafik seperti tampak pada gambar 4.16 berikut.



**Gambar 4.15** Grafik ketinggian air pada kulit beton dan korosi pada baja tulang fungsi waktu

Dari gambar 4.15 terlihat bahwa pada 15-hari pertama ketinggian air pada *interface* baja tulang dengan beton lebih tinggi dibandingkan pada kulit beton untuk daerah yang menghadap katoda, sedangkan ketinggian air pada *interface* untuk daerah yang membelakangi katoda lebih rendah dibandingkan pada kulit beton. Dengan bertambahnya waktu (15-hari kedua atau hari ke-30) air pada kulit beton naik lebih tinggi dibandingkan air pada *interface* baja tulang dan beton. Pada 15-hari ketiga (hari ke-45), ketinggian air pada *interface* baja dengan beton melampaui ketinggian air pada kulit beton. Selanjutnya pada 15-hari keempat (hari ke-60), air pada *interface* baja dengan beton terus naik melebihi ketinggian air di kulit beton.

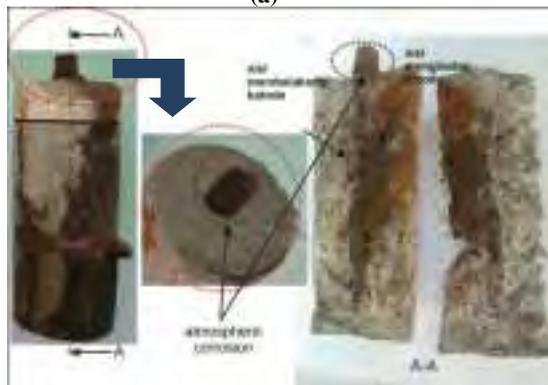
Jika dilihat dari ketinggian air pada beton dan pada baja tulang, pada 15-hari pertama telah menunjukkan bahwa

kapilaritas pada *interface* baja tulang dan beton lebih besar dibandingkan kapilaritas pori-pori beton. Selanjutnya kapilaritas pada *interface* baja tulang dan beton lebih rendah dibandingkan kapilaritas pori-pori beton pada 15-hari kedua (hari ke-30). Media korosif yang naik melalui *interface* baja tulang dan beton ini melawan gaya gravitasi. Menurut prinsip kekekalan energi, energi dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk lain. Ketika awal perendaman (15-hari pertama), energi kinetik yang dimiliki media korosif lebih besar dibandingkan energi potensial sehingga media korosif dapat naik hingga ketinggian yang melebihi batas ketinggian air pada kulit beton. Semakin lama waktu perendaman, kenaikan akan melambat karena energi kinetik yang timbul akibat pergerakan media korosif ke atas akan berubah menjadi energi potensial akibat gravitasi dan ketinggian.

Selama perendaman, perbedaan ketinggian di beton dan baja tulang tidak terlalu signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa naiknya air bersama dengan ion klorida dalam beton hampir sama dengan naiknya air pada *interface* baja tulang dan beton. Dalam hal ini, naiknya media korosif dalam beton disebabkan adanya fenomena kapiler dalam beton sendiri dan pada *interface* baja tulang dengan beton. Jika dilihat dari perbedaan ketinggian pada kulit beton dan baja yang hampir sama, kapiler pada *interface* baja tulang dengan beton tidak berpengaruh karena karakter beton yang baik. Hal ini terlihat ketika beton dikondisikan dalam metode alami, beton belum mengalami serangan korosi selama 60 hari.



(a)



(b)

**Gambar 4.16 Pengamatan visual beton *superplasticizer* sebelum dan setelah pembongkaran pada hari ke-15 (a) dan hari ke-60(b)**

Kenaikan ketinggian air pada kulit beton selama pengkondisian diikuti dengan adanya endapan korosi yang melebihi batas ketinggian air pada kulit beton seperti pada

gambar 4.16 (lihat tabel 4.4). Untuk mengetahui fenomena keluarnya produk korosi pada beton, maka dilakukan pembongkaran terhadap beton. Jika dilihat dari produk korosi pada bagian dalam beton, dapat diketahui bahwa produk korosi keluar dari *interface* baja tulang dan beton menuju ke atas beton. Reaksi antara media korosif dan lingkungan ini menyebabkan terbentuknya produk korosi yang menumpuk pada *interface* baja dan beton. Adanya gerakan media korosif pada *interface* baja/beton dan difusi media korosif melalui selimut beton memberikan tekanan terhadap produk korosi sehingga produk korosi bergerak menuju bagian atas beton. Di samping itu, produk korosi terdapat pada bagian ujung baja tulang yang tidak berada dalam beton. Hal ini disebabkan pada bagian tersebut mengalami kontak langsung dengan udara yang turut membawa uap air. Selanjutnya uap air ini menempel pada baja tulang sehingga bagian yang terekspose udara mengalami korosi (*atmospheric corrosion*).



**Halaman Ini Sengaja Dikosongkan?**

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka kesimpulan yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Pemberian *superplasticizer* pada beton dapat memberikan kuat tekan yang lebih tinggi dan nilai porositas yang lebih rendah dibandingkan beton tanpa penambahan *superplasticizer*.
2. Serangan korosi ke arah radial pada beton *superplasticizer* lebih banyak dibandingkan beton tanpa *superplasticizer*. Hal ini disebabkan komposisi *superplasticizer* telah mengandung ion klorida.
3. Serangan korosi pada daerah perendaman lebih banyak karena daerah tersebut berhadapan langsung dengan katoda, dimana ada pengaruh jarak antara *stainless steel* dengan baja tulang.
4. Proses kapiler pada *interface* baja tulang dengan beton tidak berpengaruh pada serangan korosi jika dilihat dari ketinggian air pada kulit beton yang hampir sama dengan ketinggian korosi pada baja.
5. Pengaruh hambatan dan posisi diindikasikan kecenderungan persentase ion klorida yang tidak teratur.

#### 5.2. Saran

Saran-saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. *Stabilizer* perlu ditambahkan dalam rangkaian metode paksa untuk menjaga arus yang masuk dalam rangkaian tetap stabil ketika hambatan berubah.

## *Tugas Akhir Metalurgi*

---



2. Geometri elektroda *stainless steel* perlu dibuat mengikuti kontur dari beton sehingga arus yang masuk ke dalam beton sama pada semua sisi.
3. Posisi elektroda *stainless steel* perlu dipertimbangkan terkait serangan korosi pada beton.

## LAMPIRAN

### 1. Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

#### TEST KOKOH TEKAN HANCUR SILINDER BETON

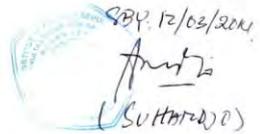
Dikirim oleh : Teknik Mesin bidang studi Metallurgi, FTI, ITS  
 Pekerjaan : Uji Kuat Tekan Beton  
 Banyaknya : 6 buah  
 Diterima tanggal : 04 Maret 2014

No	Tanggal Buat	Tanggal Test	Umur hari	Ukuran (d x t) cm	Berat kg	Tekanan Hancur ton	Tegangan hancur Kg/cm <sup>2</sup>	Keterangan Kode Benda uji
1.	04/02/2014	04/03/2014	28	10 x 20	3,9 <sup>s</sup>	25150	320,23	TS-01
2.	04/02/2014	04/03/2014	28	10 x 20	3,886	21800	277,57	TS-02
3.	04/02/2014	04/03/2014	28	10 x 20	3,915	22500	286,48	S-01
4.	04/02/2014	04/03/2014	28	10 x 20	3,996	25550	325,31	S-02
5.								
6.								
7.								
8.								
9.								
10.								
11.								
12.								
13.								
14.								
15.								
16.								
17.								
18.								
19.								
20.								

Keterangan :

Spesimen TS : spesimen tanpa *superplasticizer*

Spesimen S : spesimen dengan penambahan *superplasticizer*

984. 12/03/2014  
  
 (Su Hartono)



## 2. Hasil Pengujian Porositas Beton

### TEST POROSITAS SILINDER BETON

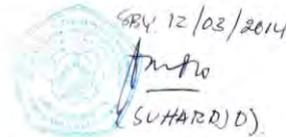
Dikirim oleh : Teknik Mesin bidang studi Metallurgi, FTI, ITS  
Pekerjaan : Uji Porositas Beton  
Banyaknya : 6 buah  
Diterima tanggal : 04 Maret 2014  
Beton dari : Esthi Kusumadewayanti / 2110 100 047

No	Kode spesimen uji	A (gram)	C (gram)	D (gram)	Air void (%)	Air void rata-rata (%)
1.	TS-01	3790	3899	2313	6,87263556	7,02832728
2.	TS-02	3801	3940	2297	8,4601339	
3.	TS-03	3820	3911	2329	5,75221239	
4.	S-01	3872	3940	2322	4,20271941	5,76218022
5.	S-02	3800	3896	2351	6,21359223	
6.	S-03	3785	3893	2321	6,87022901	

Keterangan :

Spesimen TS : spesimen tanpa *superplasticizer*

Spesimen S : spesimen dengan penambahan *superplasticizer*

SRV. 12/03/2014.  
  
(SUHARDJO)

### 3. Hasil Pengujian Ion Klorida



LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN  
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
KAMPUS ITS SUKOLILO SURABAYA  
TELEPON (031)5948886,FAX,(031)5928387

#### DATA ANALISA KHLORIDA

Dikirim Tanggal : 28 Maret 2014  
Dikirim Oleh : Sdri. Esthi Kusumadewayanti

No.	Kode Sampel	Khlorida (% Cl)
1	TSA-20-00	0,421
2	TSA-20-06	0,383
3	TSA-20-12	0,431
4	TSA-20-18	0,401
5	TSA-45-00	0,421
6	TSA-45-06	0,490
7	TSA-45-12	0,341
8	TSA-45-18	0,391
9	TSA-50-00	0,384
10	TSA-50-06	0,373
11	TSA-50-12	0,421
12	TSA-50-18	0,415
13	SA-20-00	0,540
14	SA-20-06	0,480
15	SA-20-12	0,490
16	SA-20-18	0,483
17	SA-45-00	0,473
18	SA-45-06	0,630
19	SA-45-12	0,570
20	SA-45-18	0,496
21	SA-50-00	0,476
22	SA-50-06	0,440
23	SA-50-12	0,534
24	SA-50-18	0,533

Surabaya, 04 April 2014  
Laboratorium Kualitas Lingkungan  
Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS



**DATA ANALISA KHLORIDA**

Dikirim Tanggal : 28 Maret 2014  
Dikirim Oleh : Sdri. Esthi Kusumadewayanti

No.	Kode Sampel	Khlorida (% Cl)	No.	Kode Sampel	Khlorida (% Cl)
1	TSA-20-00	3.448	25	SA-20-00	1.440
2	TSA-20-06	2.392	26	SA-20-06	1.394
3	TSA-20-12	1.965	27	SA-20-12	1.202
4	TSA-20-18	1.372	28	SA-20-18	1.166
5	TSA-45-00	2.444	29	SA-45-00	1.304
6	TSA-45-06	2.055	30	SA-45-06	1.240
7	TSA-45-12	1.305	31	SA-45-12	1.112
8	TSA-45-18	1.004	32	SA-45-18	0.991
9	TSA-50-00	1.783	33	SA-50-00	1.272
10	TSA-50-06	1.201	34	SA-50-06	1.150
11	TSA-50-12	1.078	35	SA-50-12	1.033
12	TSA-50-18	0.570	36	SA-50-18	0.570
13	TSP-20-00	2.427	37	SP-20-00	2.161
14	TSP-20-06	1.736	38	SP-20-06	1.685
15	TSP-20-12	1.357	39	SP-20-12	1.376
16	TSP-20-18	1.296	40	SP-20-18	1.206
17	TSP-45-00	2.301	41	SP-45-00	2.161
18	TSP-45-06	1.553	42	SP-45-06	1.528
19	TSP-45-12	1.306	43	SP-45-12	1.189
20	TSP-45-18	1.062	44	SP-45-18	1.040
21	TSP-50-00	1.930	45	SP-50-00	2.215
22	TSP-50-06	1.213	46	SP-50-06	1.204
23	TSP-50-12	1.194	47	SP-50-12	1.117
24	TSP-50-18	0.956	48	SP-50-18	0.950

Surabaya, 04 April 2014  
Laboratorium Kualitas Lingkungan  
Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS



**LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN  
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
KAMPUS ITS SUKOLOLO SURABAYA  
TELEPON (031)5948886.FAX.(031)5928387**

### DATA ANALISA KHLORIDA

Dikirim Tanggal : 10 April 2014  
Dikirim Oleh : Sdri. Esthi Kusumadewayanti

No.	Kode Sampel	Khlorida (% CF)	No.	Kode Sampel	Khlorida (% CF)
1	TSA-20-00	3,585	37	SA-20-00	2,885
2	TSA-20-06	3,147	38	SA-20-06	2,498
3	TSA-20-12	2,559	39	SA-20-12	2,273
4	TSA-20-18	1,427	40	SA-20-18	1,505
5	TSA-45-00	2,848	41	SA-45-00	2,447
6	TSA-45-06	2,099	42	SA-45-06	2,232
7	TSA-45-12	2,000	43	SA-45-12	2,051
8	TSA-45-18	1,087	44	SA-45-18	1,391
9	TSA-50-00	2,494	45	SA-50-00	2,284
10	TSA-50-06	1,221	46	SA-50-06	2,131
11	TSA-50-12	1,106	47	SA-50-12	2,023
12	TSA-50-18	0,667	48	SA-50-18	1,212
13	TSA-66-00	1,198	49	SA-66-00	2,221
14	TSA-66-06	1,009	50	SA-66-06	2,118
15	TSA-66-12	0,719	51	SA-66-12	1,520
16	TSA-66-18	0,467	52	SA-66-18	1,209
17	TSP-20-00	2,545	53	SP-20-00	2,276
18	TSP-20-06	2,695	54	SP-20-06	1,808
19	TSP-20-12	2,000	55	SP-20-12	1,047
20	TSP-20-18	1,785	56	SP-20-18	1,408
21	TSP-45-00	2,402	57	SP-45-00	1,974
22	TSP-45-06	2,391	58	SP-45-06	1,818
23	TSP-45-12	2,059	59	SP-45-12	1,061
24	TSP-45-18	1,495	60	SP-45-18	1,332
25	TSP-50-00	2,250	61	SP-50-00	1,907
26	TSP-50-06	2,144	62	SP-50-06	1,185
27	TSP-50-12	2,077	63	SP-50-12	1,058
28	TSP-50-18	1,444	64	SP-50-18	0,965
29	TSP-66-00	2,298	65	SP-66-00	1,542
30	TSP-66-06	2,144	66	SP-66-06	1,138
31	TSP-66-12	2,041	67	SP-66-12	1,286
32	TSP-66-18	1,116	68	SP-66-18	0,947
33	TSP-91-00	1,980	69	SP-91-00	1,584
34	TSP-91-06	1,802	70	SP-91-06	1,575
35	TSP-91-12	1,740	71	SP-91-12	0,687
36	TSP-91-18	0,926	72	SP-91-18	0,723

Surabaya, 28 April 2014

Laboratorium Kualitas Lingkungan  
Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS



**DATA ANALISA KHLORIDA**

Dikirim Tanggal : 28 April 2014  
Dikirim Oleh : Sdri. Esthi Kusumadewayanti

No.	Kode Sampel	Khlorida (% Cl)	No.	Kode Sampel	Khlorida (% Cl)
1	TSA-20-00	4,221	37	SA-20-00	3,058
2	TSA-20-06	3,292	38	SA-20-06	2,547
3	TSA-20-12	3,167	39	SA-20-12	2,441
4	TSA-20-18	2,748	40	SA-20-18	1,743
5	TSA-45-00	3,681	41	SA-45-00	3,034
6	TSA-45-06	3,011	42	SA-45-06	2,396
7	TSA-45-12	3,096	43	SA-45-12	2,294
8	TSA-45-18	2,457	44	SA-45-18	1,808
9	TSA-50-00	2,776	45	SA-50-00	2,917
10	TSA-50-06	2,101	46	SA-50-06	2,364
11	TSA-50-12	2,030	47	SA-50-12	2,138
12	TSA-50-18	0,778	48	SA-50-18	1,635
13	TSA-66-00	1,327	49	SA-66-00	2,305
14	TSA-66-06	1,237	50	SA-66-06	2,290
15	TSA-66-12	1,068	51	SA-66-12	1,577
16	TSA-66-18	0,691	52	SA-66-18	1,222
17	TSP-20-00	3,969	53	SP-20-00	3,736
18	TSP-20-06	3,778	54	SP-20-06	3,374
19	TSP-20-12	2,393	55	SP-20-12	2,143
20	TSP-20-18	2,167	56	SP-20-18	1,762
21	TSP-45-00	3,759	57	SP-45-00	2,887
22	TSP-45-06	2,691	58	SP-45-06	2,507
23	TSP-45-12	2,482	59	SP-45-12	1,687
24	TSP-45-18	2,352	60	SP-45-18	1,831
25	TSP-50-00	3,374	61	SP-50-00	2,537
26	TSP-50-06	2,211	62	SP-50-06	2,404
27	TSP-50-12	2,273	63	SP-50-12	2,292
28	TSP-50-18	2,219	64	SP-50-18	1,528
29	TSP-66-00	3,167	65	SP-66-00	2,817
30	TSP-66-06	2,772	66	SP-66-06	2,312
31	TSP-66-12	2,115	67	SP-66-12	1,173
32	TSP-66-18	2,170	68	SP-66-18	1,132
33	TSP-91-00	2,614	69	SP-91-00	2,756
34	TSP-91-06	1,861	70	SP-91-06	2,319
35	TSP-91-12	1,836	71	SP-91-12	2,067
36	TSP-91-18	1,651	72	SP-91-18	1,017

Surabaya, 05 Mei 2014  
Laboratorium Kualitas Lingkungan  
Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS



**DATA ANALISA KHLORIDA**

Dikirim Tanggal 05 Mei 2014  
Dikirim Oleh Sdri. Esthi Kusumadewyanti

No	Kode Sampel	Khlorida (% Cl)	No.	Kode Sampel	Khlorida (% Cl)
1	TSA-20-00	4,221	41	SA-20-00	3,733
2	TSA-20-06	3,292	42	SA-20-06	2,71
3	TSA-20-12	3,267	43	SA-20-12	2,52
4	TSA-20-18	2,748	44	SA-20-18	1,832
5	TSA-45-00	3,681	45	SA-45-00	3,333
6	TSA-45-06	3,011	46	SA-45-06	3,152
7	TSA-45-12	3,096	47	SA-45-12	3,057
8	TSA-45-18	2,457	48	SA-45-18	2,484
9	TSA-50-00	2,776	49	SA-50-00	2,642
10	TSA-50-06	2,101	50	SA-50-06	2,906
11	TSA-50-12	2,030	51	SA-50-12	2,222
12	TSA-50-18	0,778	52	SA-50-18	1,956
13	TSA-66-00	1,327	53	SA-66-00	2,249
14	TSA-66-06	1,237	54	SA-66-06	2,291
15	TSA-66-12	1,068	55	SA-66-12	2,258
16	TSA-66-18	0,796	56	SA-66-18	1,582
17	TSP-20-00	4,853	57	SP-20-00	5,091
18	TSP-20-06	3,585	58	SP-20-06	4,509
19	TSP-20-12	2,804	59	SP-20-12	4,217
20	TSP-20-18	2,43	60	SP-20-18	3,947
21	TSP-45-00	3,889	61	SP-45-00	4,525
22	TSP-45-06	3,450	62	SP-45-06	4,448
23	TSP-45-12	2,584	63	SP-45-12	3,495
24	TSP-45-18	2,691	64	SP-45-18	3,422
25	TSP-50-00	3,507	65	SP-50-00	4,414
26	TSP-50-06	3,268	66	SP-50-06	4,244
27	TSP-50-12	2,224	67	SP-50-12	3,071
28	TSP-50-18	2,200	68	SP-50-18	3,244
29	TSP-66-00	3,378	69	SP-66-00	4,276
30	TSP-66-06	3,162	70	SP-66-06	4,243
31	TSP-66-12	2,142	71	SP-66-12	3,065
32	TSP-66-18	2,105	72	SP-66-18	3,174
33	TSP-91-00	3,316	73	SP-91-00	4,255
34	TSP-91-06	2,762	74	SP-91-06	4,162
35	TSP-91-12	2,062	75	SP-91-12	2,981
36	TSP-91-18	1,965	76	SP-91-18	3,267
37	TSP-106-00	3,224	77	SP-106-00	2,312
38	TSP-106-06	2,466	78	SP-106-06	2,118
39	TSP-106-12	1,962	79	SP-106-12	1,822
40	TSP-106-18	1,657	80	SP-106-18	1,351

Surabaya, 12 Mei 2014  
Laboratorium Kualitas Lingkungan  
Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember



**LABORATORIUM KUALITAS LINGKUNGAN  
JURUSAN TEKNIK LINGKUNGAN  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**

KAMPUS ITS SUKOLOLO SURABAYA  
TELEPON (031)5948886, FAX. (031)5928387

### DATA ANALISA CUPLIKAN

Dikirim Oleh : Esthi Kusumadewayanti  
Dikirim Tanggal : 21 Juli 2014  
Sampel Dari : Cairan Super Plasticizer

Parameter	Satuan	Hasil Analisa	Metoda Analisa
Khlorida	% Cl	0,94	Argentometri

Surabaya, 23 Juli 2014  
Laboratorium Kualitas Lingkungan  
Jurusan Teknik Lingkungan FTSP ITS



Catatan :  
Laporan ini dibuat untuk cuplikan  
yang diterima laboratorium kami



#### 4. Foto Proses Pembuatan Beton



kerikil



pasir



semen



air



*superplasticizer*

#### Material pembuatan beton



**Pencampuran  
material dalam  
*mixer***



**pencetakan beton**



**pelepasan beton  
dari cetakan**

---

## 5. Foto Pengujian Kuat Tekan Beton



**pelehan  
belerang sebagai  
pelapis  
permukaan uji  
tekan beton**



**pelapisan  
permukaan uji  
tekan dengan  
lelehan belerang**



**pengujian kuat  
tekan beton**

---