

**PENGARUH TEBAL SELIMUT DAN LAMA PERENDAMAN
BALOK BETON BERTULANG DALAM AIR LAUT TERHADAP KUAT
LENTUR
SKRIPSI
KONSENTRASI STRUKTUR**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh :

ZARA ZAVIRA

NIM. 0710613050-61

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN SIPIL

MALANG

2012

LEMBAR PERSETUJUAN**PENGARUH TEBAL SELIMUT DAN LAMA PERENDAMAN
BALOK BETON BERTULANG DALAM AIR LAUT TERHADAP KUAT
LENTUR
SKRIPSI**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**



**Disusun oleh :
ZARA ZAVIRA
NIM. 0710613050-61**

Telah diperiksa dan disetujui oleh:

Pembimbing I

Pembimbing II

**Ir. Hendro Suseno, DEA
NIP.19641207 199002 1 001**

**Ir. Ristinah.S, MT
NIP.194809301 197403 2 001**

LEMBAR PENGESAHAN**PENGARUH TEBAL SELIMUT DAN LAMA PERENDAMAN BALOK BETON
BERTULANG DALAM AIR LAUT TERHADAP KUAT LENTUR****SKRIPSI**

**Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik**

Disusun oleh :

ZARA ZAVIRA

NIM. 0710613050-61

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada

Tanggal 22 Januari 2011

Penguji

Ir. Hendro Suseno, DEA

NIP.19641207 199002 1 001

Penguji

Ir. Ristinah.S, MT

NIP.194809301 197403 2 001

Penguji

Dr.Eng. Achfas Zacoeb, ST, MT

NIP. 19560412 198303 1005

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Sipil

Ir.Sugeng Prayitno Budio, MS

NIP. 19610125 198601 1001

DAFTAR ISI

Halaman	
DAFTAR ISI.....	i
DAFTAR TABEL.....	ii
DAFTAR GAMBAR.....	iii
DAFTAR LAMPIRAN.....	iv
DAFTAR NOTASI.....	v
RINGKASAN.....	vi
I.PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang Masalah.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Pembatasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
II.TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1. Beton.....	4
2.2. Beton Bertulang.....	6
2.3. Perilaku Sifat dan Karakteristik Beton Bertulang.....	8
2.4. Permeabilitas.....	10
2.5. Air.....	10
2.6. Air Laut.....	11
2.7. Ion Klorida.....	12
2.8. Pengaruh Ion Klorida Pada Tulangan.....	14
2.9. Korosi Baja Tulangan.....	14
2.10. Lentur pada Balok.....	16
2.11. Tebal Selimut Beton.....	17
2.12.Lama Perendaman dan Kuat Lentur.....	19
2.13. Penelitian - Penelitian Terdahulu.....	21
2.14 Hipotesis.....	22
III.METODE PENELITIAN.....	23

3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	23
3.2	Bahan dan Peralatan Yang Digunakan.....	23
3.3	Proses Pengadaan Bahan.....	24
3.4	Rancangan Penelitian.....	25
3.5	Prosedur Penelitian.....	26
3.6	Variabel penelitian.....	28
IV.HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....		29
4.1.	Analisa Bahan yang Digunakan.....	29
4.2	Pengujian Kuat Lentur Balok beton Bertulang dengan Pembebanan Awal..	33
4.3	Data Pengujian Kuat Lentur Balok dengan Pembebanan Awal.....	34
4.4.	Pengolahan Data Kuat Lentur Balok Bertulang dengan Pembebanan Awal.....	38
4.5	Hasil dan Pembahasan Balok Bertulang dengan Pembebanan Awal.....	38
4.6.	Pembahasan Kuat Lentur Balok dengan Pembebanan Awal.....	46
4.7	Pengujian Kuat Lentur Balok beton Bertulang tanpa Pembebanan Awal.....	52
4.8.	Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok Bertulang dengan Pembebanan Awal	52
4.9	Pengolahan Data Kuat Lentur Balok Bertulang dengan Pembebanan Awal...	57
4.10	Hasil dan Pembahasan Balok Bertulang Tanpa Pembebanan Awal.....	57
4.11.	Pembahasan Kuat Lentur Balok Bertulang Tanpa Pembebanan Awal.....	65
V.KESIMPULAN DAN SARAN.....		71
5.1	Kesimpulan.....	71
5.2	Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA.....		73

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Kelas dan Mutu Beton	6
Tabel 2.2.	Perbandingan sifat antara Beton dan Baja	7
Tabel 2.3.	Tebal Selimut Beton	18
Tabel 3.1	Karakteristik Benda Uji Jenis A	25
Tabel 3.2	Karakteristik Benda Uji Jenis B	25
Tabel 4.1	Pemeriksaan Gradasi Pasir	29
Tabel 4.2	Pemeriksaan Kadar Air Pasir	30
Tabel 4.3	Pemeriksaan Berat Isi Pasir	30
Tabel 4.4	Pemeriksaan Berat Jenis Pasir	31
Tabel 4.5	Pemeriksaan Gradasi Pasir	31
Tabel 4.6	Nilai Pembebanan Balok pada tebal selimut 2 cm	35
Tabel 4.7	Nilai Pembebanan Balok pada tebal selimut 3 cm	35
Tabel 4.8	Nilai Pembebanan Balok pada tebal selimut 4 cm	35
Tabel 4.9	Nilai Kuat Lentur Balok pada tebal selimut 2 cm	36
Tabel 4.10	Nilai Kuat Lentur Balok pada tebal selimut 3 cm	36
Tabel 4.11	Nilai Kuat Lentur Balok pada tebal selimut 4 cm	37
Tabel 4.12	Nilai Kuat Lentur Balok benda uji keseluruhan	37
Tabel 4.13	Nilai rata-rata Kuat Lentur Balok benda uji keseluruhan	38
Tabel 4.14	Ringkasan ANOVA Dua Arah	39

Tabel 4.15 Nilai Pembebanan balok pada tebal selimut 2 cm	53
Tabel 4.16 Nilai Pembebanan balok pada tebal selimut 3 cm	53
Tabel 4.17 Nilai Pembebanan balok pada tebal selimut 4 cm	54
Tabel 4.18 Nilai Kuat Lentur balok pada tebal selimut 2 cm	55
Tabel 4.19 Nilai Kuat Lentur balok pada tebal selimut 3 cm	55
Tabel 4.20 Nilai Kuat Lentur balok pada tebal selimut 4 cm	56
Tabel 4.21 Nilai Kuat Lentur balok benda uji keseluruhan	56
Tabel 4.22 Nilai rata-rata Kuat Lentur Balok benda uji keseluruhan	57
Tabel 4.23 Ringkasan ANOVA Dua Arah	58

DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	
Halaman		
Gambar 2.1	Gambar Momen Ultimit	17
Gambar 2.2	Grafik Hubungan Laju Korosi dengan Waktu Korosi untuk Tiap Diameter Baja Tulangan	
21		
Gambar 3.1	Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang	26
Gambar 4.1	Grafik lengkung agregat halus	30
Gambar 4.2	Grafik lengkung agregat kasar	32
Gambar 4.3	Proven Ring untuk pembebanan balok	
33		
Gambar 4.4	Skema Pembebenen Balok	34
Gambar 4.12	Grafik Hubungan Kuat Lentur dengan variasi tebal selimut 2 cm	
60		
Gambar 4.13	Grafik Hubungan Kuat Lentur dengan variasi tebal selimut 3 cm	
61		
Gambar 4.14	Grafik Hubungan Kuat Lentur dengan variasi tebal selimut 4 cm	
61		
Gambar 4.15	Grafik Hubungan Kuat Lentur dengan variasi tebal selimut dan Lama pembebanan	62

- Gambar 4.16** **Grafik Hubungan Kuat Lentur dengan lama perendaman 7 hari**
63
- Gambar 4.17** **Grafik Hubungan Kuat Lentur dengan lama perendaman 14 hari**
63
- Gambar 4.18** **Grafik Hubungan Kuat Lentur dengan lama perendaman 21 hari**
64
- Gambar 4.19** **Grafik Hubungan Kuat Lentur dengan variasi lama perendaman dan Tebal selimut** 65
- Gambar 4.20** **Grafik Perbandingan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang**
68

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



ABSTRAK

ZARA ZAVIRA, Jurusan Sipil. Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2012, *Pengaruh Tebal Selimut dan Lama Perendaman Balok Beton Bertulang Dalam Air Laut Terhadap Kuat Lentur*, Pembimbing: (I)Ir. Hendro Suseno. DEA (II) Ir.Ristinah MT

Beton Bertulang merupakan bahan konstruksi umum dipakai dalam suatu struktur bangunan. Pada bangunan laut, Intrusi air laut dapat memberikan efek yang merugikan untuk komponen struktural bangunan. Air laut dapat menyebabkan korosi. Korosi disebabkan oleh karbonasi dan penetrasi ion klorida akibat adanya micro crack yang timbul karena kandungan sulfat pada air laut. Ini menyebabkan kapasitas tulangan dalam menahan gaya tarik akan menurun karena mengecilnya penampang tulangan. Korosi juga akan menghasilkan produk oksidasi yaitu besi oksida yang besar volumenya akan menyebabkan terjadi penambahan volume dan menyebabkan beton retak atau pecah.

Untuk itu dilakukan penelitian untuk mengetahui tebal selimut yang efektif dan durasi lama perendaman yang berpengaruh terhadap kuat lentur balok. Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi tebal selimut beton dan waktu perendaman pada setiap benda uji sedangkan variabel terikatnya adalah kuat lentur pada balok. Benda uji penelitian ini berbentuk balok dengan ukuran 15 x 10 x 55 cm. Variasi tebal selimut yang digunakan adalah 2, 3 dan 4 cm sedangkan untuk lama perendamannya adalah 14, 22 dan 30 hari. Dikarenakan proses intrusi air laut membutuhkan jangka waktu yang lama, dikarenakan itu sesudah balok berumur 28 hari dilakukan pembebanan awal sebesar 25% dari beban maksimum terhitung yang dapat ditahan oleh balok, agar timbul retakan awal yang diharapkan sebagai jalan masuknya intrusi air laut. Pengujian dilakukan dengan memberikan beban terpusat di separuh bentang balok dengan tumpuan sederhana. Total benda uji berjumlah 27 buah dengan 3 sample untuk tiap variabel yang diteliti.

Berdasarkan data hasil penelitian maka dilakukan analisis data statistik yaitu analisis varian dengan membandingkan dua populasi yang berbeda. Dari pengujian hipotesis dengan mengambil resiko kesalahan dalam menarik kesimpulan sebesar 5% didapatkan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu dengan nilai $F_{hitung} = 4,1616$ dan nilai $F_{tabel} = 3,5546$ yang membuktikan bahwa waktu perendaman balok memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kuat lentur balok. Untuk nilai kuat lentur dengan variasi tebal selimut didapatkan nilai $F_{hitung} > F_{tabel}$ yaitu dengan nilai $F_{hitung} = 4,7769$ dan nilai $F_{tabel} = 3,5546$ yang menunjukkan tebal selimut pada balok memberikan pengaruh yang signifikan. Dan untuk pengaruh tebal selimut dan lama perendaman didapatkan nilai $F_{hitung} < F_{tabel}$ dengan nilai $F_{hitung} = 1,2647$ dan

nilai $F_{Tabel} = 2,9277$ sehingga lama perendaman dan tebal selimut tidak memiliki pengaruh yang signifikan secara langsung.

Kata Kunci: Tebal Selimut, Lama Perendaman, Intrusi, Kuat Lentur.



BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Beton merupakan campuran semen dengan agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan. Pada proses pencampurannya, bahan-bahan pembuat beton tersebut akan mengalami pengerasan dan membentuk suatu bahan yang dianggap homogen.

Beton merupakan bahan konstruksi yang sangat umum, mempunyai sifat yang khas yaitu mampu memikul gaya tekan yang besar, tetapi tidak kuat menahan gaya tarik. Dalam perkembangannya, beton digabungkan dengan bahan konstruksi lain untuk menutupi kelemahan-kelemahan beton seperti terhadap gaya tarik. Bahan tersebut adalah baja atau lebih dikenal dengan tulangan baja. Beton tersebut diberi nama beton bertulang.

Intrusi air laut dapat memberikan efek yang merugikan untuk komponen struktural konstruksi bangunan. Hal paling membahayakan adalah timbulnya korosi pada tulangan struktur akibat kandungan ion klorida dan sulfat pada air laut yang bereaksi terhadap unsur kimia baja tulangan. Air laut merupakan salah satu penyebab korosi yang terjadi pada tulangan yang ada di dalam beton. Korosi yang terjadi disebabkan oleh karbonasi dan penetrasi ion klorida akibat adanya micro crack pada beton karena kandungan sulfat dari air laut. Kondisi ini akan mengakibatkan kapasitas tulangan dalam menahan tarik akan menurun karena mengecilnya penampang tulangan. Selain itu, korosi pada tulangan juga akan menghasilkan produk oksidasi yaitu besi oksida yang besar volumenya yang akan menyebabkan terjadinya penambahan volume pada beton yang menyebabkan beton

retak atau pecah serta menurunkan kapasitas dari bangunan yang ada dalam menahan beban.

Kekuatan (mutu) dan daya tahan/keawetan (durabilitas) merupakan karakteristik utama dari beton yang harus diperhitungkan dalam perencanaannya. Semakin tinggi kekuatan yang direncanakan, semakin tinggi pula daya tahannya. Beton yang baik sangat penting untuk melindungi besi tulangan yang ada di dalam inti beton terhadap pengaruh dari luar, termasuk kondisi lingkungan yang mempunyai kadar garam tinggi (laut).

Lebar retak dan permeabilitas merupakan faktor yang menyebabkan peningkatan laju korosi. Semakin banyak retak yang terjadi akibat pembebanan dan semakin tinggi nilai permeabilitasnya, maka intrusi air laut yang terjadi juga semakin besar, sehingga tulangan akan semakin mudah terkorosi. Hal tersebut akan mempengaruhi kekuatan serta durabilitas (keawetan) struktur beton yang dibangun di dekat dan di dalam air, seperti konstruksi pelabuhan, jembatan, tiang pancang, dinding penyangga pelabuhan, konstruksi pemecah gelombang, dan sebagainya.

Penggunaan selimut beton (*concrete encasement*) merupakan salah bentuk perlindungan terhadap tulangan untuk mengurangi korosi. Semakin korosif lingkungan maka akan semakin tebal selimut beton yang dibutuhkan. Secara umum garam yang terkandung di dalam air laut dapat memberikan berbagai pengaruh. Natrium klorida dapat mengakibatkan korosi pada tulangan, apabila beton tidak mempunyai kualitas dan selimut beton yang mencukupi, karena air laut dapat memberikan pengaruh korosi pada tulangan. (Amri,2005)

Perencanaan mengenai ketebalan selimut beton sendiri terdapat pada SNI- 03-2847-2002, dimana nilai ketebalannya akan berbeda-beda tergantung dari tempat pelaksanaan konstruksinya. Durasi intrusi air laut sendiri untuk masuk kedalam suatu struktur juga tidak memerlukan waktu yang singkat, memakan waktu yang cukup lama. Dikarenakan itu dalam penelitian ini peneliti mencoba memberikan pembebanan awal pada benda uji, agar timbul retak dan intrusi air laut dapat cepat masuk ke dalam balok beton bertulang

Sehubungan dengan uraian diatas, maka peneliti ingin mengetahui pengaruh tebal selimut beton yang digunakan untuk melindungi tulangan beton dari korosi dengan kuat lentur balok, serta lama perendaman balok beton bertulang dalam air laut terhadap kuat lenturnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan diatas maka ada rumusan masalah yang jadi pokok teori ini

1. Adakah pengaruh tebal selimut dan lama perendaman balok beton bertulang dalam air laut terhadap kuat lentur balok beton bertulang dengan diberi pembebanan awal dan tanpa pembebanan awal
2. Bagaimana pengaruh tebal selimut dan lama perendaman balok beton bertulang dalam air laut terhadap kuat lentur balok beton bertulang dengan diberi pembebanan awal dan tanpa pembebanan awal

1.3 Pembatasan Masalah

Dalam penelitian ini, akan dibatasi beberapa masalah antara lain:

1. Pembuatan, curing dan pengujian tekan benda uji dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi, Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Brawijaya Malang
2. Tidak membahas secara lengkap unsur-unsur yang terbentuk akibat instruksi air laut, penetrasi air laut, mikrostruktur beton, tinjauan secara kimiawi, kecepatan instruksi air alut dan permeabilitas pada suatu benda uji

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui tebal selimut balok beton yang efektif untuk menahan laju intrusi air laut serta hubungan antara lama perendaman dalam air laut tererhaap kuat lentur dengan balok yang diberi pembebanan awal dan tidak diberi pembebanan.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat adanya penelitian ini adalah untuk mengetahui dan membandingkan perilaku lentur balok jika terjadi kontak dan instruksi air laut. Selain itu juga mengetahui seberapa besar pengaruh instruksi air laut pada masa perawatan beton tersebut. Dengan demikian dapat dilakukan pencegahan

terhadap kerusakan-kerusakan balok beton bertulang dan bangunan-bangunan yang mungkin terjadi akibat instruksi air laut

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

BAB II STUDI PUSTAKA

2.1. Beton

Menurut Peraturan Beton 1989, beton adalah campuran semen Portland atau sembarang semen hidrolis yang lain, agregat halus, agregat kasar, dan air dengan atau tanpa menggunakan bahan tambahan. Agregat halus dan agregat kasar berfungsi sebagai pengisi beton (*filler*) yang diikat oleh pasta yang merupakan campuran antara air dan semen melalui reaksi kimia.

Beton adalah suatu campuran semen, pasir, dan kerikil yang ditambahkan air secukupnya untuk membentuk aksi kimia semen dengan sempurna dan mampu dituang menjadi bentuk permukaan luar yang halus setelah kering. Karena kualitas kekuatan dan tahan api serta mudahnya dicampur dan dicetak menjadi bentuk yang diinginkan harus dimiliki oleh beton, dalam setengah abad yang silam beton telah menjadi salah satu bahan struktur yang sangat penting. Di samping itu, bahan tambahan yang dapat dijumpai dengan mudah di segala tempat pada permukaan bumi dalam jumlah yang sangat besar dan dengan biaya rendah. (Jensen, 1991) Pada umumnya, beton mengandung rongga udara sekitar 1% - 2%, pasta semen (semen dan

air) sekitar 25% - 40%, dan agregat (agregat halus dan agregat kasar) sekitar 60% - 75%.

Ada banyak keunggulan yang dimiliki oleh beton, diantaranya adalah ketersediaan (*availability*) material dasar sehingga biayanya relatif murah. Selain itu, beton juga mudah untuk digunakan (*versatility*) dan dikerjakan untuk berbagai jenis konstruksi, serta mudah beradaptasi (*adaptability*) dengan lingkungan di sekitarnya. (*durability*) dari beton juga tinggi, tahan karat, tahan api sehingga sehingga memperkecil kebutuhan pemeliharaan.

Perkembangan dalam bidang pembangunan yang cukup pesat menimbulkan berbagai inovasi dalam perkembangan teknologi semen dan beton. Ditemukannya berbagai tipe semen mengawali kemajuan perkembangan teknologi semen dan beton. Kemudian ditemukan penggunaan bahan tambah baik bahan tambah mineral maupun bahan tambah alami yang dapat meningkatkan mutu beton dan mempermudah pengerjaan di lapangan.

Pada Peraruran Beton Indonesia tahun 1991, klasifikasi beton menurut kekuatannya dapat dibedakan sebagai berikut :

- ▲ Beton Normal (*Normal Strength Concrete*) dengan kuat tekan antara 200-500 kg/cm².
- ▲ Beton Mutu Tinggi (*High Strength Concrete*) dengan kuat tekan antara 500-800 kg/cm².
- ▲ Beton Mutu Sangat Tinggi (*Very High Strength Concrete*) dengan kuat tekan diatas 800 kg/cm².

Kontrol kualitas sangat diperlukan agar variasi dari hasil tes atau variasi mutu beton ditekan sekecil mungkin. Ada beberapa penyebab adanya variasi mutu beton, diantaranya adalah :

- ▲ Variasi karena material :
 - perubahan gradasi terutama jika terjadi perubahan musim
 - kekerasan agregat halus dan agregat kasar
 - kebersihan agregat juga termasuk kadar lumpur
- ▲ Selama produksi :
 - kontrol slump
 - kontrol faktor air semen
 - kontrol temperatur udara saat pengecoran
- ▲ Pelaksanaan pengetesan :

- pembuatan benda uji harus sesuai dengan standar
- pengambilan sampel dan jumlahnya
- ketelitian cetakan
- umur beton
- curing atau perawatan benda uji
- bentuk benda uji (berupa kubus atau silinder)

Seperti yang telah diuraikan diatas, beton umumnya tersusun dari tiga bahan penyusun utama, yaitu semen, agregat dan air.

2.1.1 Kekuatan dan keawetan beton

Keunggulan yang dimiliki beton dibandingkan dengan material lainnya adalah mempunyai kuat tekan dan stabilitas volume yang baik dan biaya perawatannya relatif lebih murah. Selain itu, material beton lebih tahan terhadap pengaruh lingkungan, tidak mudah terbakar, dan lebih tahan terhadap suhu tinggi, sehingga banyak digunakan sebagai pelindung struktur baja terhadap pengaruh kebakaran pada bangunan gedung (Samsul Hidayat, 2009).

Keawetan (*durability*) beton merupakan salah satu persyaratan dalam dunia konstruksi, dimana beton harus mampu menghadapi segala kondisi dimana dia direncanakan tanpa mengalami kerusakan (*deteriorate*) selama jangka waktu layannya (*serviceability*). Berkurangnya durabilitas beton dapat disebabkan oleh pengaruh fisik, pengaruh kimia dari lingkungan di sekitarnya maupun pengaruh mekanis. Salah satu contoh dari pengaruh kimia adalah bangunan-bangunan yang berada di daerah pantai maupun bangunan yang langsung terkena pengaruh dari zat-zat kimia. Berdasarkan kondisi di lapangan, kerusakan struktur beton akibat korosif setiap tahunnya selalu bertambah. Oleh karena itu, perlu direncanakan beton dengan durabilitas tinggi (kepadatan struktur tinggi, porositas rendah, permeabilitas rendah, tahan terhadap pengaruh lingkungan, serta masa layan struktur panjang).

Sifat-sifat dan karakteristik material penyusun beton akan mempengaruhi kinerja beton yang dibuat. Kinerja beton ini harus disesuaikan dengan kelas dan mutu beton yang dibuat. Sehingga dalam penggunaannya dapat disesuaikan dengan bangunan ataupun konstruksi yang akan dibangun untuk mendapatkan hasil yang memuaskan dan sesuai dengan yang dibutuhkan.

Tabel 2.1. Kelas dan Mutu Beton

Kelas Beton	Mutu Beton	Kuat Tekan Minimum (f_c')	Tujuan Pemakaian beton
I	<i>Bo</i>	50-80	Non-Struktural
II	<i>B1</i>	100	Rumah Tinggal
	<i>K125</i>	125	Perumahan
	<i>K175</i>	175	Perumahan
	<i>K225</i>	225	Perumahan dan Bendungan
III	<i>K>225</i>	>225	Jembatan, Bangunan tinggi, Terowongan kereta api.

Sumber (Tri Mulyono, 2005)

2.2. Beton Bertulang

Beton tidak dapat menahan tarik melebihi nilai tertentu tanpa mengalami retak-retak. Untuk itu, agar beton dapat bekerja dengan baik dalam suatu sistem struktur, perlu dibantu dengan memberinya perkuatan tulangan yang terutama akan mengemban tugas menahan gaya tarik yang bakal muncul dalam sistem. (Istimawan Dipohusodo,1999).

Baja mempunyai kekuatan tarik yang tinggi, akan tetapi tidak tahan terhadap kondisi lingkungan di sekitarnya. Oleh karena itu, diperlukan tingkat pemeliharaan yang tinggi apabila dipakai sebagai bahan konstruksi. Dalam bidang konstruksi, beton yang dipadukan dengan material lain (misalnya tulangan baja) merupakan bahan konstruksi yang umum dipakai di lapangan. Pemakaian tersebut akan menghasilkan konstruksi yang dapat menahan beban tekan maupun tarik yang tinggi, sesuai dengan perencanaan.

Apabila sifat-sifat terbaik dari baja maupun beton dikombinasikan, diharapkan akan membentuk suatu bahan bangunan yang kuat, tahan lama, serta mudah dibentuk dalam berbagai rupa dan ukuran. Inilah yang kemudian kita kenal dengan istilah beton bertulang. Pengkombinasian ini diharapkan dapat menghasilkan kekuatan tarik beton, dimana besarnya sekitar 10%-15% dari kuat tekannya (Wang, 1986)

Beberapa sifat sangat berbeda dari kedua bahan tersebut adalah sebagai berikut:

Tabel 2.2. Perbandingan sifat antara beton dan baja

Kriteria Bahan	Beton	Baja
Kekuatan tarik	Jelek	Bagus
Kekuatan tekan	Bagus	Bagus, tetapi batang yang langsing akan menekuk
Kekuatan geser	Cukup	Bagus
Keawetan	Bagus	Berkarat bila tidak terlindung
Ketahanan akan kebakaran	Bagus (mengalami kehilangan kekuatan pada suhu sangat tinggi)	Jelek (mengalami kehilangan kekuatan secara cepat pada suhu tinggi)

Sumber (Wang, 1986)

Beton bertulang adalah suatu bahan bangunan yang kuat, tahan lama, dan dapat dibentuk menjadi berbagai bentuk dan ukuran, yang merupakan kombinasi dari beton dan tulangan baja. Beton kuat terhadap tekan, tetapi lemah terhadap tarik. Oleh karena itu, perlu tulangan untuk menahan gaya tarik untuk memikul beban-beban yang bekerja pada beton. Adanya tulangan ini sering kali digunakan untuk memeperkuat daerah tekan pada penampang balok. Tulangan baja tersebut perlu untuk beban-beban berat dalam hal untuk mengurangi lendutan jangka panjang

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa tiap-tiap bahan mempunyai kelebihan dan kekurangan. dengan demikian apabila keduanya dikombinasikan, baja akan dapat menyediakan kekuatan tarik dan barangkali sebagian kekuatan geser, sedangkan beton berfungsi untuk memikul tegangan tekan sekaligus melindungi baja supaya awet dan tahan akan kebakaran. Kombinasi beton dan tulangan baja akan menghasilkan aksi komposit, yang berarti beton dapat melekat dengan baik mengelilingi tulangan baja. Apabila pelekatan ini tidak mencukupi, tulangan baja akan tergelincir di dalam beton.

Baja tulangan untuk beton terdiri dari batang, kawat, dan jaring kawat baja las yang seluruhnya dirakit saesuai dengan standar ASTM. Sifat-sifat terpenting baja tulangan adalah sebagai berikut:

1. Modulus young (E_s)

2. Kekuatan leleh (f_y)
3. Kekuatan batas (f_u)
4. Mutu baja yang ditentukan
5. Ukuran atau diameter batang atau kawat

Walaupun dalam perhitungan tidak diperlukan adanya tulangan baja, suatu jumlah minimum dari tulangan ditempatkan pada elemen struktur tekan untuk melindungi terhadap efek dari momen lentur yang terjadi secara tiba-tiba yang dapat meretakkan bahkan meruntuhkan bagian yang tidak diberi tulangan.

2.3 Perilaku Sifat dan Karakteristik Beton Bertulang

Perilaku sifat dan karakteristik beton bertulang merupakan sifat mekanis dari beton yang dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Kekuatan Tekan (f'_c)

Kuat tekan beton diawali oleh tegangan tekan maksimum f'_c dengan satuan N/m^2 atau Mpa. Sebelum dibelakukannya sistem satuan SI di Indonesia, nilai tegangan menggunakan kg/cm^2 . Kekuatan tekan beton tergantung pada jenis campuran, sifat-sifat agregat, serta lama dan kualitas perawatan.

Kekuatan tekan beton (f'_c) ditentukan dengan silinder standar (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) yang dirawat di bawah kondisi standar laboratorium pada kecepatan pembebanan tertentu, pada umur 28 hari. Kuat tekan beton berkisar antara $\pm 10 - 65$ Mpa. Untuk struktur beton bertulang pada umumnya menggunakan beton dengan kuat tekan berkisar 17 – 30 Mpa. Kekuatan beton pada struktur aktual dapat saja tidak sama dengan kekuatan silinder karena perbedaan pemadatan dan kondisi perawatan.

2. Kekuatan Tarik (f'_ct)

Nilai kuat tekan dan tarik beton tidak berbanding lurus, setiap usaha perbaikan mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya. Suatu perkiraan kasar dapat dipakai, bahwa nilai kuat tarik beton normal adalah :

- 9% - 15% f'_c (Istimawan, 1999)
- 10% - 20% f'_c (Nawy, 1990)
- 10% f'_c (Mosley, 1989)

Kekuatan tarik beton yang tepat sulit untuk diukur. Suatu nilai pendekatan yang umum dilakukan dengan menggunakan *modulus of rupture*, adalah tegangan tarik lentur beton yang timbul pada pengujian hancur beton polos (tanpa tulangan), sebagai pengukur kuat tarik sesuai teori elastisitas. Kuat tarik beton juga ditentukan melalui *pengujian split cylinder* yang umumnya memberikan hasil yang lebih baik dan lebih mencerminkan kuat tarik yang sebenarnya.

3. Kekuatan Geser

Kekuatan geser lebih sulit diperoleh secara eksperimental dibandingkan dengan percobaan – percobaan kuat tekan dan tarik, karena sulitnya mengisolasi geser dari tegangan – tegangan yang lainnya. Banyak variasi kekuatan geser yang dituliskan dalam berbagai literatur, mulai 20% dari kekuatan tekan pada pembebanan normal sampai sebesar 85% dari kekuatan tekan, pada kombinasi geser langsung dan tekan. Desain struktural yang ditentukan oleh kekuatan geser seringkali diabaikan karena tegangan besar biasanya dibatasi sampai harga yang cukup rendah untuk mencegah terjadinya betonnya mengalami kegagalan tarik dengan arah diagonal.

4. Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas statis adalah kemiringan suatu garis lurus yang menghubungkan titik pusat dengan suatu harga tegangan (sekitar 0,4 f'c). Harga ini pada perhitungan desain disebut *modulus elastisitas*, modulus ini memenuhi asumsi praktik bahwa regangan yang terjadi selama pembebanan pada dasarnya dapat dianggap elastis. Terdapat sejumlah pilihan definisi, tetapi yang paling umum dipakai adalah E_c yang dikenal sebagai *modulus elastisitas sekan* atau *modulus elastisitas static*.

Penting untuk menentukan secara tepat besarnya harga yang akan diambil sebagai modulus elastisitas.

$$E = \frac{\text{Tegangan } (\sigma)}{\text{Regangan } (\epsilon)}$$

Modulus elastisitas selain dipengaruhi oleh beban, dipengaruhi juga oleh faktor - faktor lain seperti kelembaban, faktor air semen, umur beton dan

temperatur. Harga modulus elastisitas diperlukan untuk peninjauan lentur dan retak dari konstruksi. Harga ini mempengaruhi kekuatan dan mutu beton.

2.4. Permeabilitas

Permeabilitas beton adalah tingkat derajat kerapatan konstruksi balok beton untuk dapat ditembus oleh zat cair. Permeabilitas beton terhadap air merupakan faktor penting yang memberikan pengaruh terhadap kekuatan serta durabilitas (keawetan) struktur beton yang dibangun di dekat dan di dalam air, seperti konstruksi pelabuhan, jembatan, tiang pancang, dinding penyangga pelabuhan, konstruksi pemecah gelombang, dan sebagainya.

Jika balok beton tersebut dapat dilalui zat cair, maka balok tersebut dikatakan permeabel. Jika sebaliknya, maka mortar tersebut dikatakan impermeabel. Maka sifat permeabilitas yang penting pada balok adalah permeabilitas terhadap air.

2.5 Air

Air di alam dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti dari sungai, laut sumur artesis ataupun sumur terbuka, namun tidak semua air yang ada di permukaan bumi dapat digunakan untuk pembuatan beton yang dapat menghasilkan beton yang baik.

Dalam pekerjaan beton, air mempunyai beberapa fungsi yaitu:

1. Sebagai pembersih agregat dari kotoran yang melekat.
2. Merupakan media untuk pencampur.
3. Megecor memadatkan serta memelihara beton.

Air yang dapat digunakan untuk pembuatan beton harus air yang tidak mengandung zat yang dapat menghalangi proses pengikatan antara semen dan agregat. Kandungan zat yang dapat memberikan pengaruh yang kurang baik terhadap kualitas beton antara lain: lempung, clay, asam, alkali, beberapa jenis garam yang lainnya, air limbah dan zat organik.

2.5.1 Unsur-Unsur Merugikan Yang Terdapat Dalam Air

1. Kandungan Benda Padat

Pada air di dalamnya terdapat zat padat terlarut bila jumlahnya kurang dari 6% berat air dan pada umumnya cukup aman digunakan untuk pembuatan beton. Sedangkan pada air sumur di dalamnya mengandung jumlah padatan 5% hal ini disebabkan karena air yang berasal dari alam

belum tercemar sehingga konsentrasi lebih kecil. Untuk air laut berbeda karena pada air laut mengandung garam sehingga dapat dikatakan bahwa air yang diperoleh dari alam yang belum tercemar dapat digunakan sebagai air pencampur.

2. Ion-ion yang ditemukan

Air yang berasal dari alam didalamnya belum tercemar oleh limbah industri, awalnya mengandung ion positif (kation) dan ion negatif (anion) yang berasal dari larutan anorganik. Misalnya : golongan kation yaitu kalsium (Ca^{2+}), Magnesium (Mg^{2+}), Natrium (Na^+), dll., sedangkan golongan anion yaitu Sulfat (SO_4^-), Klorida (Cl^-), Nitrat (NO_3^-), dll.

2.6 Air Laut

kekuatan dan keawetan beton pada pencampuran air laut tidak berpengaruh karena pada air laut kandungan konsentrasi larutan garam 3,5%, namun menyebabkan timbulnya noda-noda pada beton, penggaramannya dan berkurangnya kekedapan terhadap air. Garam air laut mengandung 78% sodium klorida (NaCl), 15% klorida (Cl^-) dan magnesium sulfat (MgSO_4), sedangkan kandungan karbonat cukup rendah sekitar 75 ppm, dan apabila beton digunakan sebagai beton bertulang, air laut dapat menyebabkan proses korosi pada tulangnya. (Sjafei Amri, 2005).

Garam yang terkandung didalam air laut dapat membeikan tiga pengaruh yaitu:

- a. Kandungan unsur sodium klorida mempercepat waktu pengikatan dan pengerasan seperti halnya pengaruh kalsium klorida (CaCl) dalam kadar yang sama.
- b. Garam muncul kepermukaan beton sebagai lapisan tipis berwarna keputih-putihan ketika beton mengeras.
- c. Sodium klorida mengakibatkan korosi pada tulangan, apabila beton tidak memiliki kualitas dan selimut beton yang mencukupi, karena air laut dapat menyebabkan korosi pada tulangan.

Air laut memiliki kandungan garam yang tinggi yang dapat menggerogoti kekuatan dan keawetan beton. Hal ini disebabkan klorida (Cl) yang terdapat pada air laut yang merupakan garam yang bersifat agresif terhadap bahan lain, termasuk beton. Kerusakan dapat terjadi pada beton akibat reaksi antara air laut yang agresif

yang terpenetrasi kedalam beton dengan senyawa-senyawa didalam beton yang mengakibatkan beton kehilangan sebagian massa, kehilangan kekuatan dan kekakuannya serta mempercepat proses pelapukan (Mehta,1991).

2.7. Ion Klorida

Ion klorida yang berada dalam beton, dapat berasal dari bahan-bahan pembentuk beton ketika proses pembuatannya (misal dari agregat, air yang dipakai mencampur, atau zat additive) atau dari lingkungan luar beton, seperti air laut, Mekanisme masuknya ion klorida kedalam beton dapat berlangsung dengan berbagai cara seperti difusi, penghisapan kapiler, permeasi dan kondensasi/evaporasi/kristalisasi. Selain itu, yang dapat mendominasi masuknya ion klorida kedalam beton tergantung dari lingkungan beton berada. Misalnya pada lingkungan laut, beton dapat berda didaerah terendam, pasang surut, daerah pecahnya gelombang atau di udara terbuka.

Mekanisme masuknya ion klorida kedalam beton dapat dijelaskna sebagai berikut:

1. Permeasi

Didefinisikan sebagai proses mengalirnya aliran tiap unit volume per unit luas permukaan tiap satuan waktu pada temperatur yang tetap. Permeasi terjadi akibat tekanan hidrolis dan menyebabkan ion klorida yang terlarut pada air laut akan ikut ke dalam beton. Dalam kaitannya dengan permeasi, koefisien permeabilitas beton menjadi karakteristik penting, karena menunjukkan tingkat kenudahan suatu cairan dapat merembes melalui material tersebut

2. Penghisapan Kapiler

Didefinisikan sebagai mekanisme masuknya suatu cairan ke dalam material berpori akibat tegangan permukaan yang terjadi didalam lubang-lubang kapiler. Proses masuknya cairan dalam mekanisme ini dipengaruhi oleh karakteristik cairan seperti viskositas, densitas dan tegangan permukaan

3. Difusi

Didefinisikan sebagai perpindahan massa dengan gerakan acak dari molekul atau ion kedalam pori-pori larutan yang menghasilkan jaringan aliran dari daerah konsentrasi tinggi ke konsenentrasi rendah (Wayan Armaja, 2001).

Dari ketiga jenis mekanisme tersebut penetrasi tersebut, difusi merupakan mekanisme paling dominan dalam penetrasi klorida kedalam beton, terutama pada daerah *submerged* (terendam air). Dimana pada daerah tersebut, pori-pori pada beton terisi penuh oleh air.

2.7 Pengaruh Ion Klorida Pada Beton

Tidak ada ketentuan syarat air dari ASTM, namun pada BS 3148, ada dua metode untuk menilai kelayakan air untuk beton. Metode tersebut akan membandingkan waktu pengikatan dan kuat tekan dari benda uji yang dibuat dengan semen dan air yang dipertanyakan dengan air suling. Air dianggap memenuhi syarat jika waktu pengikatannya tidak lebih dari 30 menit atau kekuatannya tidak berkurang dari 20 % dibandingkan air suling (Paulus Nugraha, 2007)

Penggunaan air didaerah pantai untuk campuran beton akan memberikan beberapa pengaruh pada beton seperti *setting time* dan kuat tekan beton dalam jangka waktu tertentu. Senyawa klorida merupakan salah satu senyawa yang memiliki konsentrasi besar yang biasanya terkandung dalam air di daerah pantai (Neville,1981).

Air laut mengandung sekitar 3,5% garam yang terdiri dari 78% Sodium Chlorida (NaCl) dan 15% lainnya terdiri dari Magnesium Chlorida ($MgCl_2$) dan Magnesium sulfat ($MgSO_4$) Sn menghasilkan kekuatan awal yang tinggi tapi dalam jangka panjang, kekuatan akhirnya menurun (Neville,1981).

Garam-garam sodium yang terkandung dalam air laut dapat menghasilkan substansi yang bila berkombinasi dengan agregat alkali reaktif, sama seperti dengan kombinasi dengan semen alkali. Karena air laut tidak boleh dipakai untuk beton yang diketahui mempunyai potensi agregat alkali reaktif, bahkan bila kadar alkalinya rendah (Nugraha, 2007). Sebagian dari garam-garam ini akan bereaksi secara kimiawi dengan semen dan mengubah atau memperlambat proses pengikatan semen, dan jenis-jenis lainnya dapat mengurangi kekuatan beton. Selain reaksi kimia, kristalisasi garam dalam rongga beton dapat mengakibatkan kehancuran akibat tekanan kristalisasi tadi. Karena kristalisasi terjadi pada titik penguapan air, bentuk serangan terjadi di dalam beton di atas permukaan air. Garam naik didalam beton dengan aksi kapiler, jadi serangan terjadi hanya jika air dapat terserap dalam beton.

Karena itu walaupun kekuatan awalnya lebih tinggi dari beton biasa. Setelah 28 hari kuat tekannya akan lebih rendah. Pengurangan kekuatan ini dapat dikurangi dengan mengurangi faktor air semen.

2.8 Pengaruh Ion Klorida Pada Tulangan

Larutan garam Natrium Klorida (NaCl) pada baja tulangan dapat menyebabkan korosi karena larutan tersebut mampu mempercepat proses korosi. Karena baja tulangan merupakan logam yang mudah mengalami korosi maka jika konsentrasi larutan NaCl yang mengenai baja tulangan tersebut tinggi maka semakin besar pula laju korosinya. Hal ini berlaku untuk baja tulangan yang terkorosi asam sulfat, garam sulfat dan asam asam lainnya. Apabila ini tidak dicegah tentu saja akan mengakibatkan terjadinya penurunan kualitas dari baja tulangan tersebut. Dengan menurunnya kualitas baja akibat korositersebut tentu saja akan mempengaruhi kekuatan beton yang diperkuatnya dalam menahan beban yang nantinya didukung oleh beton tersebut. (Agus Purwanto,2003).

2.9. Korosi Baja Tulangan

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

Baja tulangan merupakan suatu bahan yang mudah mengalami korosi. Korosi baja tulangan pada beton adalah sebuah proses elektrokimia. Sel korosi terbentuk karena perbedaan konsentrasi ion dan gas di sekitar logam. Secara normal, baja tulangan akan mempunyai lapisan film tipis FeO.OH pada permukaannya yang akan membuat baja pasif terhadap proses korosi. Pada proses korosi akan dihasilkan suatu senyawa baru yaitu karat ($\text{Fe}_2\text{O}_3.n\text{H}_2\text{O}$). Untuk media korosi adalah air laut, perubahan baja menjadi karat akan menyebabkan pertambahan volumenya tergantung pada kondisi oksidasi besinya. Penambahan volume (kurang lebih 600 %) akan menyebabkan ekspansi beton dan keretakan. (Purwanto, 2003).Laju korosi atau perusakan lapisan pelindung yang diberikan kepada logam akan dipengaruhi oleh perubahan-perubahan faktor: kelembaban relative, temperature, PH, konsentrasi oksigen, bahan pengotor padat/terlarut, konsentrasi larutan. Pada proses korosi, baja tulangan dimasukkan dalam larutan asam sulfat, reaksi kimia yang terjadi pada proses korosi dapat dijelaskan dengan Persamaan 1 dan 2. Asam sulfat (H_2SO_4) bereaksi dengan besi (Fe) pada baja tulangan.



Pada proses korosi juga terjadi perpindahan electron sehingga tidak semua Fe^{3+} yang dihasilkan berubah menjadi $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, akan tetapi sebagian mengalami reduksi membentuk Fe^{2+} . Reaksi tersebut dapat dilihat pada Persamaan 3 dan 4. Besi (Fe^{3+}) mengalami reduksi membentuk Fe^{2+} .



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

2.9.1 Pengaruh Korosi pada Baja Tulangan

Pengaruh agresi zat korosif ini menyebabkan perubahan pada baja tulangan, perubahan ini meliputi besar diameter dan berat. Hal ini akan mempengaruhi kekuatan pada struktur beton bertulang, khususnya pada kekuatan lekatan antara baja tulangan itu sendiri terhadap beton. Persyaratan dasar dalam konstruksi beton bertulang adalah lekatan (bond) diantara batang tulangan dan beton yang mengelilingi berlangsung sempurna tanpa terjadi penggelinciran atau pergeseran. Kuat lekat merupakan kemampuan menahan tegangan leleh antara batang tulangan dan beton yang mengelilinginya dalam menahan gaya dari luar ataupun yang dapat mengakibatkan terlepasnya lekatan antara batang tulangan dan beton. (Anonim¹, 2003)

2.9.2 Pengaruh Korosi Tulangan Terhadap Kuat Lekat beton

Pengaruh medium karat terhadap kuat lekat berhubungan erat dengan kuat geser yang disumbangkan oleh baja tulangan. Hal ini terjadi karena dengan berubahnya diameter tulangan, berarti luas kontak beton-tulangan berubah sehingga luas bidang geser beton-tulangan berubah. Berikut perubahan perubahan kuat lekat pada masing-masing benda uji disebabkan adanya karat yang dihasilkan dari ketiga medium korosi.

Perubahan yang terjadi pada proses korosi menggunakan medium air laut, terjadi peningkatan kuat lekat. Sedangkan perubahan yang terjadi pada

proses korosi menggunakan medium asam sulfat dan garam Inggris, terjadi penurunan kuat lekat. Peningkatan kuat lekat yang terjadi pada proses korosi dengan menggunakan medium air laut disebabkan karena karat yang dihasilkan dari proses korosi tersebut, berupa kerak hasil oksidasi besi baja yang bersifat keras, membatu, dan melekat erat pada baja tulangan. Kerak ini membuat permukaan baja tulangan menjadi kasar. Permukaan kasar pada baja tulangan inilah yang menyebabkan gaya gesek antara permukaan baja dengan beton semakin besar dan hal inilah yang menyebabkan kuat lekat menjadi meningkat.

Proses korosi dengan menggunakan medium ini berlangsung sangat cepat karena di dalam air laut mengandung ion klorida yang sangat reaktif yang akan mempercepat terjadinya reaksi elektrokimia pada baja tulangan karena ion klorida bertindak sebagai katalis. Disisi lain, proses korosi ini mengakibatkan penambahan volume kurang lebih sampai 600 %, sehingga pada beton struktur menyebabkan ekspansi beton dan keretakan akibat desakan dari karat yang dihasilkan dari proses korosi. Hal ini ditandai dengan adanya retakan pada beton yang sejajar dengan baja tulangannya yang mengakibatkan selimut beton terlepas. Terlepasnya selimut beton ini mengakibatkan pengurangan lekatan baja tulangan pada beton dan juga pengurangan lekatan baja tulangan pada beton dan juga pengurangan luas nominal baja tulangan semakin meningkat. (Anonim¹, 2003)

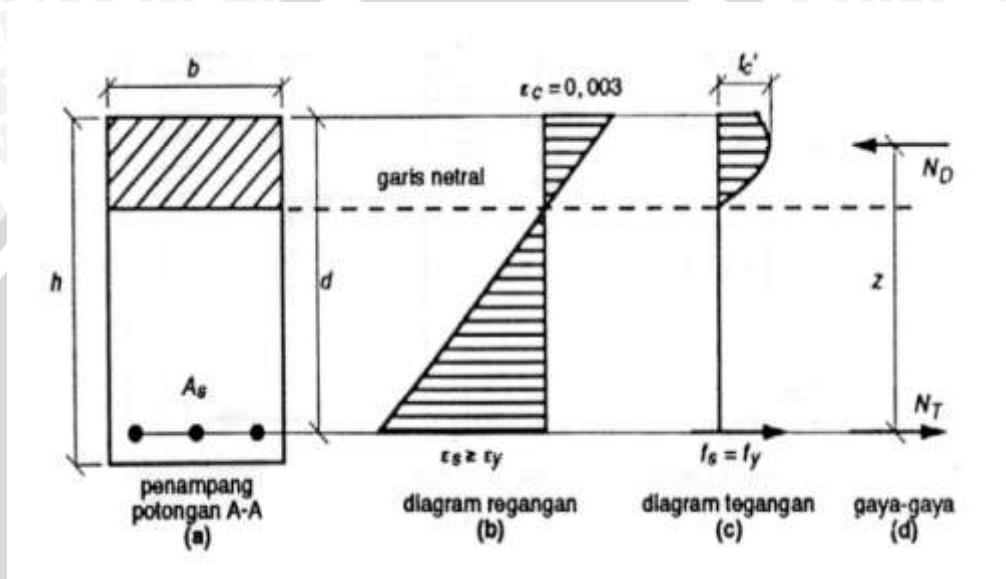
Penurunan kuat lekat yang terjadi pada proses korosi dengan menggunakan medium asam sulfat dan garam Inggris. Hal ini disebabkan karena karat yang dihasilkan dari proses korosi tersebut, berupa butiran hasil oksidasi besi baja yang bersifat rapuh, halus, dan hanya menempel pada baja tulangan. Butiran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

2.10 Lentur pada Balok

Lentur pada balok merupakan akibat dari adanya regangan yang timbul karena beban luar. Apabila bebannya bertambah, maka pada balok terjadi deformasi dan regangan tambahan yang mengakibatkan terjadinya retak lentur di sepanjang bentang balok. Bila bebannya semakin bertambah, pada akhirnya dapat terjadi keruntuhan elemen struktur, yaitu pada saat beban luarnya mencapai

kapasitas elemen. Oleh sebab itu, penampang elemen balok harus didesain sedemikian rupa sehingga tidak terjadi retak yang berlebihan pada saat beban kerja dan masih memiliki keamanan yang cukup dan kekuatan cadangan untuk menahan beban dan tegangan, tanpa mengalami keruntuhan (Nawy,1998). Kuat Lentur Penampang Balok Persegi

Distribusi tegangan beton tekan pada penampang bentuknya setara dengan kurva tegangan-regangan beton tekan. Seperti tampak pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.3. Gambar Momen Ultimit

Sumber (Istimawan Dipohusodo,1999)

Dan seperti yang diketahui, bahwa untuk balok dari sembarang bahan homogen (serba-sama) dan elastik berlaku rumus lenturan sebagai berikut (Istimawan Dipohusodo,1999) :

$$f = \frac{M c}{I}$$

Dimana, f = Tegangan lentur

M = Momen yang bekerja pada balok

C = Jarak serat terluar terhadap garis netral di daerah tekan atau tarik

I = Momen inersia penampang balok terhadap garis netral

2.11 Tebal Selimut Beton

Perencanaan beton harus diperhitungkan untuk kondisi lingkungan tertentu, termasuk nilai faktor air semen dan kuat tekan karakteristik beton. Selain itu, apabila beton berada di lingkungan yang mengandung klorida yang berasal dari air garam, air laut, atau cipratan dari sumber garam tersebut, maka persyaratan tebal selimut beton yang ada pada peraturan tersebut harus dipenuhi.

Berdasarkan SNI – 03 – 2847 – 2002, tebal selimut minimum yang harus disediakan untuk tulangan paa beton bertulang harus memenuhi ketentuan berikut:

Tabel 2.4. Tebal Selimut Beton

	Tebal selimut minimum (mm)
a) Beton yang dicor langsung di atas tanah dan selalu berhubungan dengan tanah	75
b) Beton yang berhubungan dengan tanah atau cuaca: Batang D-19 hingga D-56.....	50
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau kawat ulir D16 dan yang lebih kecil	40
c) Beton yang tidak langsung berhubungan dengan cuaca atau beton tidak langsung berhubungan dengan tanah: <u>Pelat, dinding, pelat berusuk:</u> Batang D-44 dan D-56.....	40
Batang D-36 dan yang lebih kecil.....	20
<u>Balok, kolom:</u> Tulangan utama, pengikat, sengkang, lilitan spiral.....	40
<u>Komponen struktur cangkang, pelat lipat:</u> Batang D-19 dan yang lebih besar	20
Batang D-16, jaring kawat polos P16 atau ulir D16 dan yang lebih kecil	15

(Sumber :SNI – 03 – 2847 – 2002)

Oleh karena itu apabila akan dibangun struktur beton bertulang di dalam lingkungan korosif (misalnya air laut) atau lingkungan lain yang merusak, perlu dilakukan proteksi untuk mengendalikan serangan korosi di lingkungan laut. Penggunaan selimut beton (*concrete encasement*) merupakan salah satu bentuk proteksi yang umum diterapkan pada beton bertulang. Semakin korosif lingkungan, semakin tebal selimut beton yang dibutuhkan, dimana ketebalannya harus ditingkatkan secukupnya. Langkah tersebut perlu dilakukan untuk menjaga durabilitas konstruksi beton agar tidak cepat rusak. Jika selimut beton terlalu tipis

tentu akan mudah dilewati oleh unsur-unsur perusak yang akan menyerang baja tulangan mau pun lapisan beton bagian dalam. Meskipun menggunakan mutu beton tinggi, akan tetapi jika selimut beton yang menutup baja tulangan terlalu tipis, tentu akan menjadi sia-sia.

2.11.1 Hubungan Tebal Selimut dan Kuat lentur

Apabila penampang balok beton bertulang mempunyai tebal selimut yang besar, maka menyebabkan tulangan mendekati garis netral, sehingga letak tulangan akan mendekati garis netral, dan menyebabkan kuat lentur menjadi kecil, karena tulangan seharusnya diletakkan di penampang bawah yang dekat dengan tarik dan menjauhi garis netral.

2.12. Lama Perendaman dan Kuat Lentur

Intrusi Air laut yang masuk kedalam balok salah satu faktor terbesar penentunya adalah durasi lama perendaman pada balok tersebut, karena semakin lama waktu perendaman maka intrusi air laut yang masuk kedalam balok beton tersebut juga akan besar.

Selain itu adalah faktor permeabilitas pada balok beton, tingkat derajat kerapatan konstruksi balok beton untuk dapat ditembus oleh zat cair, Permeabilitas beton terhadap air merupakan faktor penting yang memberikan pengaruh terhadap kekuatan serta durabilitas (keawetan) struktur beton yang dibangun di dekat dan di dalam air.

Masuknya Intrusi air laut sendiri pada balok dapat memberikan dampak negatif berupa pengisralan garam di dalam pori-pori beton dan apabila intrusi air laut tersebut telah mencapai tulangan, maka tulangan tersebut akan terkorosi akibat reaksi garam dan oksida besi.

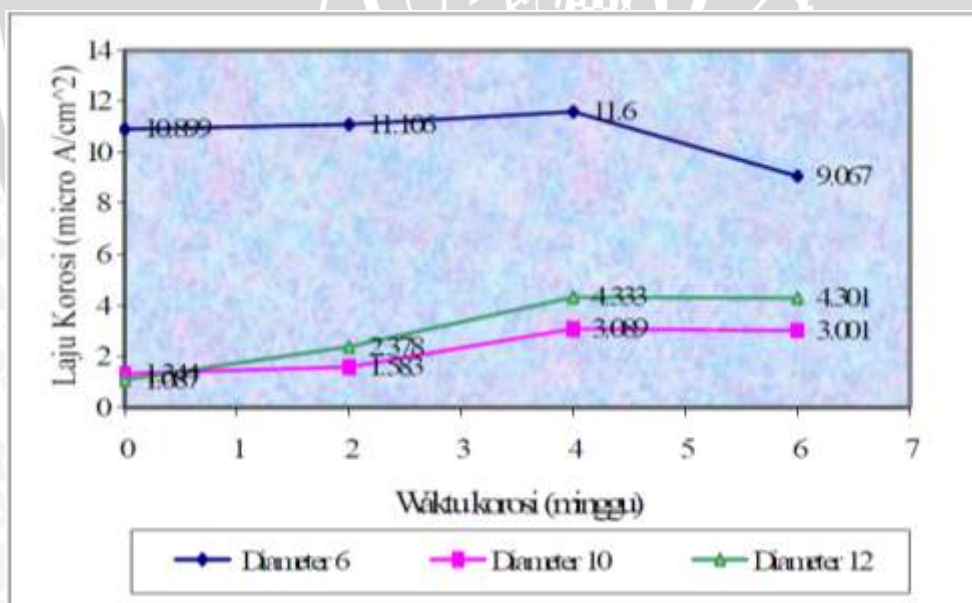
Tulangan yang mengalami proses pengurangan tersebut, tentunya akan mengurangi kemampuannya dalam menahan lentur. Dengan menurunnya kualitas baja akibat korosi tersebut tentu saja akan mempengaruhi kekuatan beton yang diperkuatnya dalam menahan beban yang nantinya didukung oleh beton tersebut. (Agus Purwanto,2003).

2.12.1. Lama Perendaman dan Laju Korosi

Di lapangan kita tahu bahwa masuknya air laut kedalam bangunan-bangunan yang berada di tepi pantai/dekat laut bisa dikatakan membutuhkan waktu yang cukup lama/ tahunan.

Pada Gambar 2.4 dilakukan penelitian pendekatan terhadap tulangan baja yang direndam air laut lalu diaplikasikan pada balok dan dapat dilihat bahwa laju korosi untuk korosi 2 minggu dan 4 minggu, mengalami kenaikan. Namun pada korosi 6 minggu laju korosi mengalami penurunan dari kondisi korosi sebelumnya. Grafik laju korosi tidak terus naik ke atas, melainkan naik yang kemudian mengalami penurunan, hal ini terjadi karena pada waktu yang sama akan dihasilkan laju korosi yang berbeda.

Perbedaan ini disebabkan laju korosi dipengaruhi oleh hasil korosi atau karat itu sendiri. Karat yang dihasilkan untuk sementara waktu akan dapat menghambat laju korosi karena karat akan menutupi sebagian permukaan baja tulangan, hal ini akan dapat menghambat masuknya oksigen dan tentunya akan menghambat proses korosi untuk sementara waktu. Hal inilah yang menjadi alasan mengapa laju korosi berpola tidak terus naik keatas melainkan naik yang kemudian mengalami penurunan.



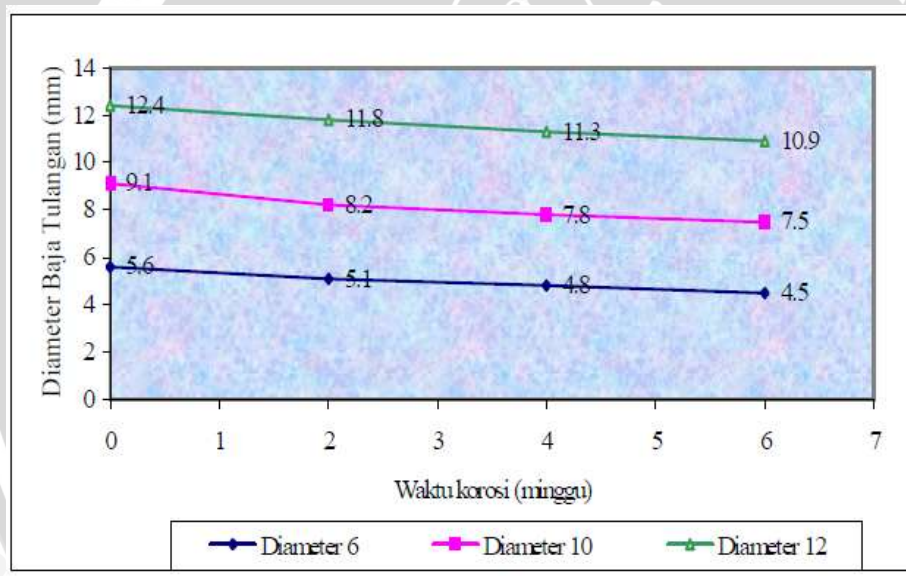
Gambar 2. 5. Grafik Hubungan Laju Korosi dengan Waktu Korosi untuk Tiap Diameter Baja Tulangan.

Sumber (Gunawan Wibowo,2007)

2.12.2. Diameter dan Berat Baja Tulangan Terhadap Proses korosi

Perlakuan korosi pada baja tulangan dengan larutan asam sulfat (H_2SO_4) ternyata mempengaruhi diameter dan berat baja tulangan tersebut, diperlihatkan pada Gambar 9 dan 10. Hal ini terjadi karena adanya proses elektrokimia antara baja tulangan yang mengandung unsur Fe dengan asam sulfat (H_2SO_4) sebagai media pada proses korosi yang mengakibatkan terjadi pro, hal ini ditandai adanya panas yang ditimbulkan dan terbentuk gelembung-gelembung gas H_2 .

Proses pelarutan ini menghasilkan garamgaram besi (II) yang mengandung kation Fe^{2+} yang berwarna sedikit hijau. kation Fe^{2+} inilah yang kemudian akan membentuk larutan $FeSO_4$. Semakin lama maka larutan $FeSO_4$ semakin pekat dan gelembung-gelembung gas H_2 semakin berkurang. Semakin lama kation Fe^{2+} akan lepas dari baja tulangan dan akibatnya berat baja tulangan akan berkurang. (Wibowo, 2007).



Gambar 2.5 Grafik hubungan pengurangan diameter dan waktu korosi
Sumber (Gunawan Wibowo, 2007)

2.13. Penelitian - Penelitian Terdahulu

2.13.1 Wachid Zaenal (1997)

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Wachid Zaenal (1997) tentang pengaruh umur perendaman beton dalam air laut terhadap nilai kuat tarik belah yang menggunakan semen tipe I dan *portland pozolan cement (PPC)* menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari hasil regresi yang ada, akibat perendaman dengan air laut pada semen tipe I memiliki nilai kuat tarik belah yang lebih tinggi dibandingkan dengan *portland pozolan cement (PPC)*.
2. Perawatan dengan cara perendaman pada pemakaian semen tipe I mengalami kenaikan tertinggi pada umur perendaman 3 sampai 7 hari yaitu sekitar 17,58% / hari. Sedangkan pada PPC kenaikan tertinggi terjadi pada umur 7 sampai 14 hari yaitu sekitar 6,25% / hari.
3. Perawatan dengan cara perendaman dalam air laut sampai umur 3 hari tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai kuat tarik belahnya. Tetapi antara umur 7 sampai 28 hari perbedaan itu akan tampak secara nyata.

2.13.2 Wibowo dan Purnawan Gunawan. (2009)

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Fauzan F. Dan Agung W. (2009) tentang pengaruh air laut pada tulangan balok terhadap keruntuhan pada balok dengan variasi lama perendaman dan diameter tulangan menghasilkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Besarnya nilai laju korosi pada diameter baja tulangan yang satu dengan yang lain tidak sama. Laju korosi baja tulangan sesudah korosi mengalami kenaikan dan penurunan yang tidak dapat ditentukan naik turunnya. Perbedaan ini disebabkan laju korosi dipengaruhi oleh hasil korosi atau karat itu sendiri, faktor mutu baja tulangan (f_y) dan konsentrasi larutan yang dipakai sebagai media
2. Pada balok beton bertulang normal terjadi penurunan kuat geser dan momen sebesar 6,41 % untuk korosi 2 minggu, 8,97 % untuk korosi 4 minggu, serta 9,40 % untuk korosi 6 minggu. Sehingga dapat disimpulkan terjadi penurunan kuat geser dan momen pada balok beton bertulang akibat
3. Retakan yang terjadi pada benda uji balok terletak di sekitar tepi balok dan kadang juga terjadi di tengah bentang. Hal ini menunjukkan bahwa pendistribusian beban ke masing-masing balok kurang merata. Lebar retakan maksimal yaitu pada akhir pembebanan pada balok normal lebih besar dibandingkan dengan balok korosi. Hal ini dapat dipahami karena beban maksimal yang bekerja pada balok korosi lebih kecil dibandingkan beban maksimal yang bekerja pada balok normal. Keruntuhan yang terjadi merupakan tipe keruntuhan geser.

2.14 Hipotesis

- 1. Ada pengaruh antara tebal selimut dan lama perendaman pada kuat lentur balok beton bertulang**
- 2. Pengaruh tebal selimut akan berbanding terbalik pada kuat lentur balok beton bertulang, dan lama perendaman beton bertulang akan berbanding terbalik pula dengan kuat lentur balok beton bertulang karena instruksi air laut akan berpengaruh pada peristiwa korosi tulangan beton.**

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan juni 2011 sampai dengan selesai. yang dilakukan di Laboratorium Struktur Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang.

- a. Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.**
- b. Curing air laut dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.**
- c. Pengamatan kedalaman intrusi air laut dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya Malang.**

3.2 Bahan dan Peralatan Yang Digunakan

Pada penelitian peralatan dan bahan yang digunakan sebagai berikut:

1. Peralatan yang digunakan:

a. Peralatan yang digunakan pada percobaan pemeriksaan gradasi agregat halus adalah sebagai berikut :

- 1) Timbangan dan neraca dengan ketelitian 2 % terhadap benda uji.**
- 2) Satu set saringan :4,75 mm (no.4); 2,36 mm (no.8);1,18 (no.16);0,6 mm (no.30); 0,3mm (no.50); 0,15 mm (no.100); 0,075 mm (no.200).**
- 3) Oven pengatur kapasitas suhu (110 ± 5)°C.**
- 4) Mesin pengguncangan saringan.**
- 5) Talam-talam dan kuas.**

b. Peralatan yang digunakan pada percobaan pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus adalah sebagai berikut:

- 1) Timbangan yang mempunyai kapasitas lebih dari 1 kg dengan ketelitian 0,1 gram.**
- 2) Piknometer kapasitas 500 ml.**
- 3) Kerucut terpancung diameter atas (40+3) diameter bawah (90+3) mm dan tinggi (75+3) mm dibuat dari logam dengan tebal 0,8 mm.**
- 4) Batang penumbuk dengan bidang penumbuk rata, berat (340+15) gram dan diameter (25+3) mm.**
- 5) Saringan no.4 (4,475 mm).**
- 6) Oven pengatur suhu kapasitas ($110+5$)°C.**

c. Peralatan yang digunakan pada pemeriksaan berat isi agregat halus sebagai berikut:

- 1) Timbangan kapasitas ≥ 1 kg dengan ketelitian 0,1 gram**
- 2) Tongkat pemadat baja dengan panjang masing-masing ± 600 mm dan berdiameter ± 16 mm**
- 3) Kotak takar atau ember**

d. Peralatan yang digunakan pada percobaan pemeriksaan kadar air agregat sebagai berikut:

- 1) Timbangan dengan ketelitian 0,1 % berat benda uji**
- 2) Oven pengatur suhu**
- 3) Talam.**

e. Peralatan yang digunakan pada pembuatan dan pengujian benda uji adalah sebagai berikut:

- 1) Cetakan dengan ukuran 15 x 30 cm
- 2) Tongkat pemadat baja yang bersih dan bebas karat.
- 3) Mesin pengaduk semen
- 4) Timbangan dengan ketelitian 0,3 % dari berat contoh
- 5) Peralatan tambahan : ember, sekop, sendok, perata, talam

f. Peralatan yang digunakan untuk curing air laut berupa bak perendaman yang diisi air laut.

2. Material yang digunakan :

- a) Semen
- b) Agregat halus yaitu pasir
- c) Air bersih
- d) Air laut
- e) Pewarna

3.3. Proses Pengadaan Bahan

Semen yang digunakan adalah semen Gresik tipe I. Agregat halus yang digunakan berasal dari Malang, Jawa Timur dan air yang digunakan adalah air PDAM dan air laut daerah pantai Jawa Timur.

3.4. Rancangan Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian untuk mengetahui pengaruh intrusi air laut terhadap karakteristik beton bertulang yang meliputi kuat lentur, lebar retak dan kedalaman intrusi air laut. Benda uji yang digunakan adalah balok beton bertulang. Variasi tebal selimut direncanakan berdasarkan SNI-03-2847-2002. Pengujian dilakukan dengan benda uji pada umur 28 hari, pada proses 27 benda uji yang pertama langsung direndam menggunakan air laut yang telah diberi warna tertentu selama 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Kemudian pada 27 benda uji yang lainnya diberikan pembebanan awal terlebih dahulu sampai 20% beban maksimum yang dapat ditahan balok, lalu dilakukan perendaman dengan lama 14, 22 dan 30 hari. Kemudian dilakukan pengujian kuat lentur beton memakai loading frame. Pembebanan dilakukan berdasarkan perhitungan kapasitas beton rencana, dengan interval pembebanan setiap 0.5 kN. Hasil pengujian kemudian dianalisa secara teoritis sehingga

dapat diketahui ketebalan selimut beton yang efektif untuk menahan laju intrusi air laut serta hubungan antara lama perendaman, tebal selimut, kuat lentur.

Tabel 3.1 Karakteristik Benda Uji jenis A (Dengan Pembebanan Awal)

Lama Perndaman (Hari)	Tebal Selimut (cm)		
	2	3	4
14	3	3	3
22	3	3	3
30	3	3	3
Jumlah keseluruhan	27		

Tabel 3.2 Karakteristik Benda Uji jenis B (Tanpa Pembebanan Awal)

Lama Perndaman (Hari)	Tebal Selimut (cm)		
	2	3	4
7	3	3	3
14	3	3	3
28	3	3	3
Jumlah keseluruhan	27		

3.5 Prosedur Penelitian

Adapun prosedur yang kami laksanakan adalah sebagai berikut :

a) Pengujian Bahan

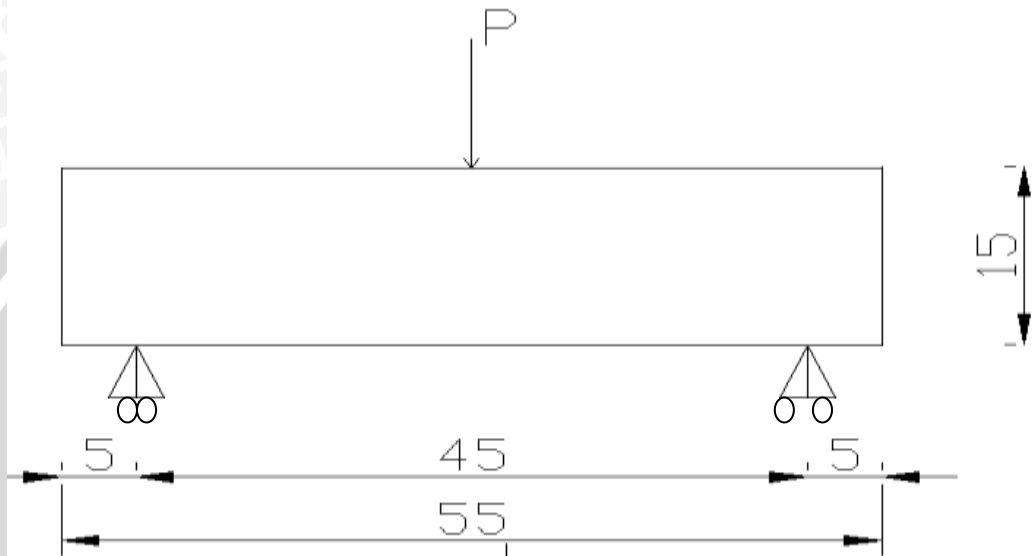
- Pengujian Agregat Halus (pasir) meliputi uji gradasi, berat jenis dan absorsi dll
- Pembuatan Benda Uji berbentuk silinder dengan ukuran (8 x 16) cm dengan mutu beton 22,5 Mpa dengan FAS 0,5. Sebanyak 5 buah untuk kontrol mutu beton pada balok beton bertulang nantinya.

b) Pembuatan Benda Uji

Benda Uji berupa balok ukuran 55 x 10 x 15 cm dengan memakai tulangan dengan diameter 10, yang dipasang dengan variasi tebal selimut 2,3 dan 4 cm. Dengan FAS sekitar 0,5 dan dengan perbandingan 1:2:3 pada saat mix design pembuatan balok.

c) Pengujian Balok

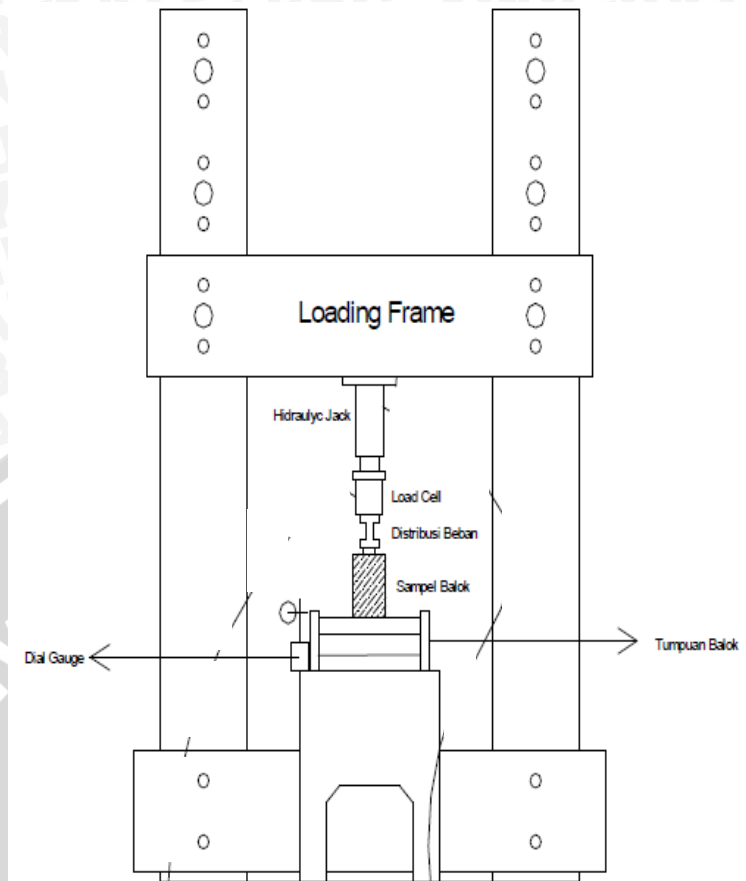
Pengujian dengan Benda Uji jenis A dilakukan pada saat balok umur 28 hari telah direndam lalu diberikan pembebanan awal terlebih dahulu sebesar 20% dari P maksimum yang dapat ditahan balok, kemudian direndam pada umur 14,22 dan 30 hari, setelah direndam selama 14, 22 dan 30 kemudian dilakukan pembebanan sampai maksimum/hancur Benda Uji jenis B setelah umur 28 hari langsung direndam selama 7, 14 dan 28 hari kemudian langsung diberikan pembebanan sampai maksimum/hancur.



Gambar 3.1 Dimensi Benda Uji dan Arah Pembebanan

d) Langkah-langkah Pengujiannya adalah :

- a. -Benda uji macam A yang telah berumur 28 hari ditempatkan pada frame uji struktural kapasitas 15 ton dengan tumpuan sendi rol pada kedua ujungnya. kemudian diberikan pembebanan sebanyak 25% dari beban P maksimum. Kemudian setelah sesuai dengan umur perendamannya diuji kembali sampai P maksimum/hancur



Gambar 3.2 Skema Pengujian Kuat Lentur Balok beton Bertulang

-Benda uji macam B yang telah berumur 28 hari ditempatkan pada frame uji struktur kapasitas 15 ton dengan tumpuan sendi rol pada kedua ujungnya. setelah umur perendamannya langsung dibebani sampai maksimum/hancur.

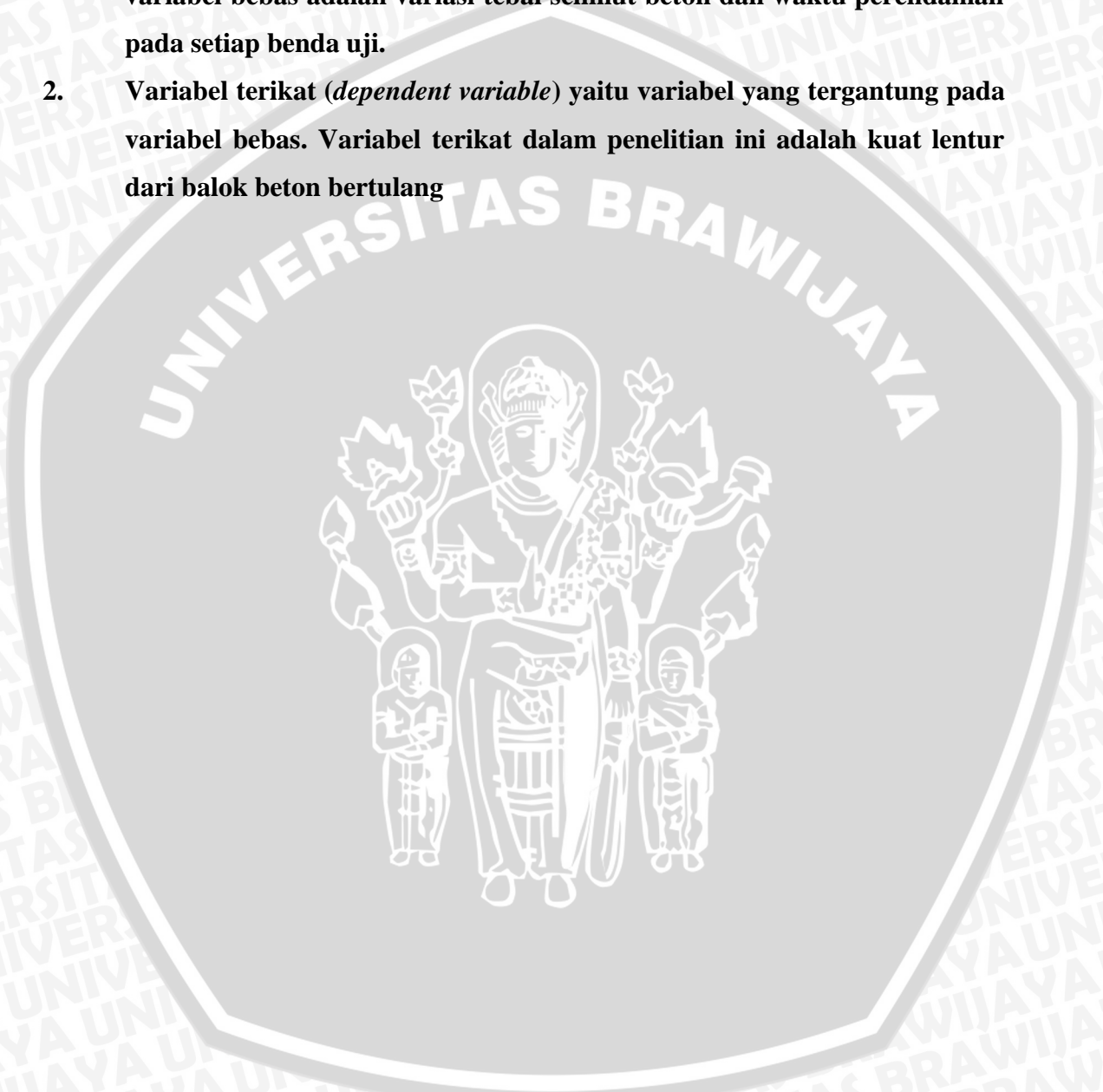
-Pengujian alat lentur dilakukan dengan bantuan alat dongkrak hidrolik dengan kapasitas 25 ton.

- b. Pemasangan dial dengan pemasangan jarum bacaan dibawah permukaan benda uji
- c. Pemasangan alat proven ring dengan kapasitas 10 ton diatas benda uji dengan posisi dipusat massa dari benda uji.
- d. Penambahan beban yang dilakukan sampai didapatkan beban maksimum yang dapat dirahan benda uji/ benda uji mengalami perubahan bentuk (runtuh).

3.6 Variabel penelitian

Variabel dalam penelitian ini adalah :

1. Variabel bebas (*independent variable*) yaitu variabel yang perubahannya bebas ditentukan oleh peneliti. Dalam penelitian ini yang merupakan variabel bebas adalah variasi tebal selimut beton dan waktu perendaman pada setiap benda uji.
2. Variabel terikat (*dependent variable*) yaitu variabel yang tergantung pada variabel bebas. Variabel terikat dalam penelitian ini adalah kuat lentur dari balok beton bertulang



BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisa Bahan yang Digunakan

4.1.1. Semen

Dalam penelitian ini semen yang dipakai adalah semen portland tipe 1 yang diproduksi oleh PT. Semen Gresik. Semen ini dianggap telah memenuhi syarat Standart Industri Indonesia (SII) sebagai bahan pengikat dalam campuran mortar sehingga dalam penelitian ini tidak dilakukan analisis lagi.

4.1.2. Pasir

Pasir yang digunakan dalam penelitian ini adalah pasir alam. Dari data analisis pasir sebagai berikut :

A. Pemeriksaan Gradasi Pasir

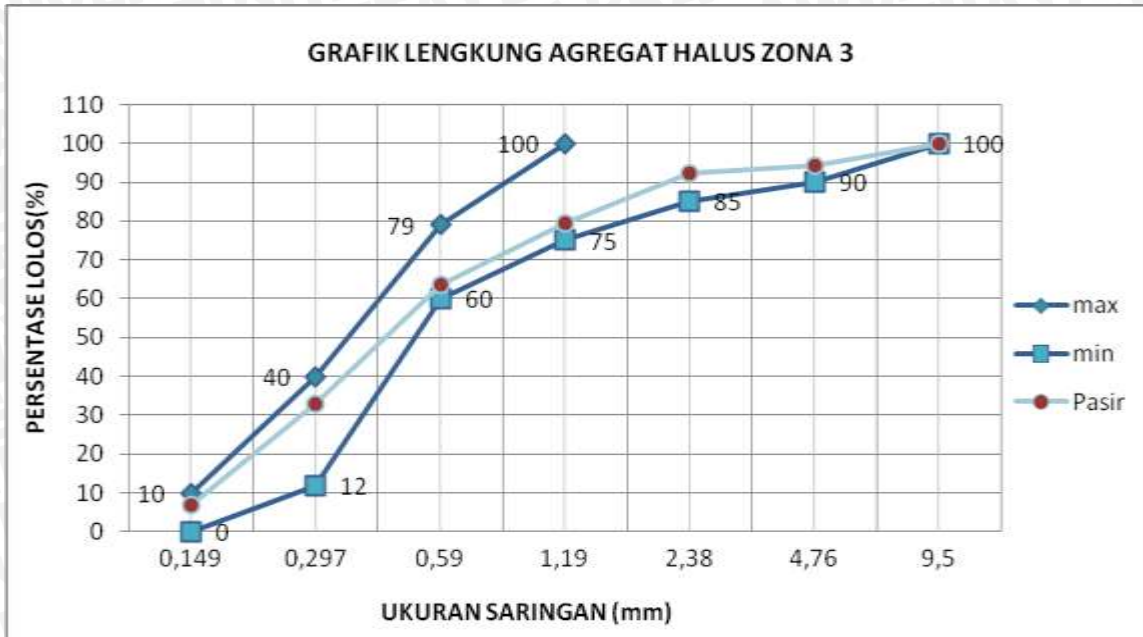
Tabel 4.1 Pemeriksaan gradasi pasir

Lubang Saringan		Pasir Tertinggal		Persentase Kumulatif	
no	mm	Gram	Persen	Tertinggal	Lolos
3"	76.2	-	-	-	-
2.5"	63.5	-	-	-	-
2"	50.8	-	-	-	-
1.5"	38.1	-	-	-	-
1"	25.4	-	-	-	-
3/4"	19.1	-	-	-	-
1/2"	12.7	-	-	-	-
3/8"	9.5	-	-	-	100
4	4.76	55.4	5.75	5.75	94.25
8	2.38	18.2	1.89	7.64	92.36
16	1.19	122.8	12.75	20.40	79.60
30	0.59	154.8	16.08	36.48	63.52
50	0.297	293	30.43	66.91	33.09
100	0.149	250.8	26.05	92.96	7.04
200	0.075	45.8	4.76	97.71	2.29
Pan		22	2.29	100.00	0.00
Jumlah		962.8	100		

$$\text{Modulus halus pasir} = \frac{\Sigma \% \text{ yang tertahan ayakan no } 3/8" \text{ sampai no } 100}{100}$$

$$\text{Modulus halus pasir} = \frac{230.14}{100} = 2.3014$$

$$\text{Zona Gradasi Agregat Halus} = \text{Zona } 3$$



Gambar 4.1 Grafik lengkung agregat halus

B. Pemeriksaan Kadar Air Pasir

Tabel 4.2 Pemeriksaan kadar air pasir

Nomor Contoh			1	
Nomor Talam			A	B
1	Berat Talam + Contoh basah	(gr)	112	110
2	Berat Talam + Contoh kering	(gr)	111.5	109.5
3	Berat Air = (1)-(2)	(gr)	0.5	0.5
4	Berat Talam	(gr)	36.2	34.4
5	Berat Contoh Kering = (2)-(4)	(gr)	75.3	75.1
6	Kadar Air = (3)/(5)	(%)	0.0066	0.0067
7	Kadar Air rata-rata	(%)	0.6649	

C. Pemeriksaan Berat Isi Pasir

Tabel 4.3 Pemeriksaan berat isi pasir

1	Berat takaran	(gr)	1061.4	1061.4
2	Berat takaran + air	(gr)	3075	3075
3	Berat air = (2)-(1)	(gr)	2013.6	2013.6
4	Volume air = (3) / 1	(cc)	2013.6	2013.6
	CARA		RODDED	SHOVELED
5	Berat Takaran	(gr)	1061.4	1061.4
6	Berat takaran + benda uji	(gr)	4188.6	3548.8
7	Berat benda uji = (6)-(5)	(gr)	3127.2	2487.4
8	Berat isi agregat halus = (7)/(4)	(gr/cc)	1.5530	1.2353
9	Berat isi agregat kasar rata-rata	(gr/cc)	1.3942	

A. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Pasir

Tabel 4.4 Pemeriksaan berat jenis pasir

NOMOR CONTOH			A
Berat benda uji kering permukaan jenuh	500	(gr)	500
Berat benda uji kering oven	Bk	(gr)	495.2
Berat benda uji dalam air	B	(gr)	652.4
Berat piknometer + benda uji (ssd) + air (pd suhu kamar)	Bt	(gr)	957.2
Berat Jenis Curah (Bulk Specific Gravity)	$Bk/(B+500-Bt)$		2.54
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Bulk Specific Gravity Saturated Surface Dry)	$500/(B+500-Bt)$		2.56
Berat Jenis Semu Apparent Specific Gravity	$Bk/(B+Bk-Bt)$		2.60
Penyerapan (%) (Absorption)	$(500-Bk)/Bk \times 100\%$		0.969

Agregat kasar / kerikil yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar dari alam. Dari data analisis agregat kasar sebagai berikut :

Tabel 4.5 Pemeriksaan gradasi kerikil

Lubang Saringan		Pasir			
		Tertinggal		%Kumulatif	
no	Mm	gram	%	Tertinggal	Lolos
3"	76,2	-	-	-	100
2,5"	63,5	-	-	-	100
2"	50,8	-	-	-	100
1,5"	38,1	0	0	0	100
1"	25,4	247,2	4,94	4,94	95,06
0,75"	19,1	1477	29,54	34,48	65,52
0,5"	12,7	1615	32,30	66,78	33,22
0,375"	9,5	1414	28,28	95,06	4,94
4	4,76	172,6	3,45	98,51	1,49
8	2,38	-	-	0	-
16	1,19	-	-	0	-
30	0,85	-	-	0	-
50	0,297	-	-	0	-
100	0,149	-	-	0	-
200	0,075	-	-	0	-
Pan		74,6	1,49188065	1,49	-
$\Sigma =$		5000,4	98,5	228,05	

$$\text{Modulus halus agregat kasar} = \frac{\sum \% \text{ yang tertahan ayakan no } 3/4'' + 3/8'' \text{ sampai } 100}{100}$$

Modulus halus agregat kasar = 2,28

Zona Gradasi Agregat Kasar = Zona 2



Gambar 4.2 Grafik lengkung agregat halus

4.1.3. Air

Air yang digunakan dalam pencampuran dan pembuatan benda uji adalah air bersih dari Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Pemerinrah Kota Malang, maka air ini dianggap telah memenuhi syarat sebagai bahan pelumas dan pencampur semen dengan agregat, sehingga dalam penelitian ini tidak dilakukan analisis lagi.

4.1.4. Air Laut

Air laut yang dipakai dalam penelitian untuk perendaman benda uji ini berasal dari daerah Bajul Mati.

4.1.5. Tulangan Baja

Tulangan Baja yang digunakan adalah tulangan baja berstandart SNI yang dijual dipasaran, untuk tulangan pada balok memakai baja polos ϕ 8 mm sedangkan untuk sengkang memakai baja polos ϕ 6 mm.

4.2 Pengujian Kuat Lentur Balok Beton Bertulang dengan Pembebanan Awal

Pada penelitian ini setelah benda uji direndam sesuai waktu yang ditentukan kemudian dilakukan pengujian lentur balok beton bertulang. Uji kuat lentur dilakukan dengan pembebanan awal dengan beban terpusat dari 25% beban maksimumnya, kemudian diberikan pembebanan maksimum/hancur secara terpusat ditengah balok. Total benda uji sebanyak 27 buah untuk masing-masing variasi selimut dari 9 buah tersebut dibagi menjadi 3 buah benda uji untuk masing-masing variasi lama perendaman dengan air laut.

Untuk mengetahui nilai P maksimum pada pembebanan di laboratorium pada balok digunakan pembebanan melalui *proven ring*, maksimum (ultimate) pada balok telah dihitung terlebih dahulu, lalu diperkirakan berapa strip pembebanan yang diberikan, disini kita memakai per 3 strip pembebanan. Karena, telah dihitung bahwa maksimum beban pada teoritisnya untuk balok dengan dimen 55x10x15 sebanyak ± 3 ton.

Kuat lentur balok merupakan kekuatan tarik material pada benda balok yang dibebani sampai maksimum dibagian melintang pada benda uji balok tersebut. Nilai Kuat lentur Balok beton bertulang dengan Variasi tebal selimut dan Lama Perendaman (Hari). Data Kuat lentur termaksimum dapat dilihat pada tabel



Gambar 4.3. Proven Ring untuk Pembebanan Balok

4.3. Data Pengujian Kuat Lentur Balok beton Bertulang dengan Pembebanan Awal

Pada Gambar 4.1 tampak balok yang telah diuji dengan pembebanan secara terpusat pada tengah-tengah bentang balok.



Gambar 4.4. Skema Pembebanan pada Balok

Pengujian penelitian ini adalah pengujian lentur balok beton bertulang. Uji kuat lentur dilakukan dengan pembebanan awal dengan beban terpusat dari 25% beban maksimumnya, kemudian diberikan pembebanan maksimum/hancur secara terpusat ditengah balok. Total benda uji sebanyak 27 buah untuk masing-masing variasi selimut dari 9 buah buah tersebut dibagi menjadi 3 buah benda uji untuk masing-masing variasi lama perendaman dengan air laut. Pengujian kuat lentur pada balok dilakukan dengan urutan tebal selimut 2,3 dan 4. Balok yang direndam dengan durasi perendaman 14,22, dan 30 hari. Berikut disajikan nilai P pada balok yang telah diuji :

Tabel 4.6 .Nilai Pembebanan balok pada tebal selimut 2 cm

No Sampel	Lama Perendaman (hari)	Berat (gram)	P Bacaan (Kg)	P (kg)	M Kgcmm	W cm ³
A1R14	14	21,46	23	3061,3	34439,63	375
A2R14	14	21,92	23	3061,3	34439,63	375
A3R14	14	20,96	22	2928,2	32942,25	375
A1R22	22	20,98	21	2795,1	31444,88	375
A2R22	22	21,38	23	3061,3	34439,63	375
A3R22	22	20,64	22	2928,2	32942,25	375
A1R30	30	21,16	22	2928,2	32942,25	375
A2R30	30	21,08	19	2528,9	28450,13	375
A3R30	30	21,17	20	2662	29947,5	375

Tabel 4.7 Nilai Pembebanan balok pada tebal selimut 3 cm

No Sampel	Lama Perendaman (hari)	Berat (gram)	P Bacaan (Kg)	P (kg)	M Kgcmm	W cm ³
B1R14	14	21,26	23	3061,3	34439,63	375
B2R14	14	21,4	24	3194,4	35937	375
B3R14	14	21,23	22	2928,2	32942,25	375
B1R22	22	21,68	24,5	3260,95	36685,69	375
B2R22	22	20,74	24	3194,4	35937	375
B3R22	22	21,42	23	3061,3	34439,63	375
B1R30	30	21,12	21	2795,1	31444,88	375
B2R30	30	20,86	22	2928,2	32942,25	375
B3R30	30	21,98	23	3061,3	34439,63	375

Tabel 4.8. Nilai Pembebanan balok pada tebal selimut 4 cm

No Sampel	Lama Perendaman (hari)	Berat (gram)	P Bacaan (Kg)	P (kg)	M Kgcmm	W cm ³
C1R14	14	21,14	23	3194,4	35937	375
C2R14	14	21,22	23	3061,3	34439,63	375
C3R14	14	20,87	22	2928,2	32942,25	375
C1R22	22	21,78	23	3061,3	34439,63	375
C2R22	22	21,26	22	2928,2	32942,25	375
C3R22	22	20,98	24	3194,4	35937	375
C1R30	30	22,78	24,5	3260,95	36685,69	375

C2R30	30	21,87	23	3061,3	34439,63	375
C3R30	30	22,16	21	2795,1	31444,88	375

Dari hasil pengujian diatas maka dapat dihitung nilai kuat lentur balok beton bertulang dengan rumus:

$$\sigma = \frac{M}{W}$$

Sebagai contoh perhitungan kuat lentur balok dari tabel 4.1 untuk tebal selimut 2 cm da lama perendaman 14 hari

$$\gamma = \frac{34439,63}{375} = 91,839 \text{ kg/cm}^2$$

Tabel 4.9. Nilai Kuat lentur balok pada tebal selimut 2 cm

No Sampel	Lama Perendaman (hari)	Nilai P (kg)	M (kgcm)	W (cm ³)	Kuat Lentur (kg/cm ²)
A1R14	14	3061,3	34439,63	375	91,839
A2R14	14	3061,3	34439,63	375	91,839
A3R14	14	2928,2	32942,25	375	87,846
A1R22	22	2795,1	31444,88	375	83,853
A2R22	22	3061,3	34439,63	375	91,839
A3R22	22	2928,2	32942,25	375	87,846
A1R30	30	2928,2	32942,25	375	87,846
A2R30	30	2528,9	28450,13	375	75,867
A3R30	30	2662	29947,5	375	79,86

Tabel 4.10. Nilai Kuat lentur balok pada tebal selimut 3 cm

No Sampel	Lama Perendaman (hari)	Nilai P (kg)	M (kgcm)	W (cm ³)	Kuat Lentur (kg/cm ²)
B1R14	14	3061,3	34439,63	375	91,839
B2R14	14	3061,3	35937	375	95,832
B3R14	14	2928,2	32942,25	375	87,846
B1R22	22	3260,95	36685,69	375	95,832

B2R22	22	3194,4	35937	375	95,832
B3R22	22	3061,3	34439,63	375	91,839
B1R30	30	2795,1	31444,88	375	83,853
B2R30	30	2928,2	32942,25	375	87,846
B3R30	30	3061,3	34439,63	375	91,839



Tabel 4.11. Nilai Kuat lentur balok pada tebal selimut 4 cm

No Sampel	Lama Perendaman (hari)	Nilai P (kg)	M kgcm	W cm ³	Kuat Lentur (kg/cm ²)
C1R14	14	3061,3	35937	375	91,839
C2R14	14	3061,3	34439,63	375	91,839
C3R14	14	2928,2	32942,25	375	87,846
C1R22	22	3061,3	34439,63	375	91,839
C2R22	22	2928,2	32942,25	375	87,846
C3R22	22	3194,4	35937	375	95,832
C1R30	30	3260,95	36685,69	375	97,8285
C2R30	30	3061,3	34439,63	375	91,839
C3R30	30	2795,1	31444,88	375	83,853

Tabel 4.12 Nilai Kuat lentur balok benda uji keseluruhan

Waktu Perendaman	TEBAL SELIMUT		
	2	3	4
14 hari	91,8390	91,8390	91,8390
	91,8390	95,8320	91,8390
	87,8460	87,8460	87,8460
rata-rata			
22 hari	83,8530	91,8390	91,8390
	91,8390	95,8320	87,8460
	87,8460	91,8390	87,8460
rata-rata			
30 hari	83,8530	91,8390	95,8320
	75,8670	91,8390	91,8390
	79,8600	91,8390	83,8530

Tabel 4.13 Nilai rata-rata Kuat Lentur balok benda uji keseluruhan

Waktu Perendaman	TEBAL SELIMUT			Total
	2	3	4	
14 hari	91,8390	92,000	91,000	275,6780
22 hari	90,8460	92,000	91,8390	272,8527
30 hari	80,0000	87,8460	91,1735	259,0195
Total	259,8460	272,8527	274,8515	807,5502

4.4. Pengolahan Data Balok Bertulang dengan Pembebanan Awal

Data pengujian kuat lentur diolah dengan menggunakan uji statistik dengan analisis regresi sesuai dengan trend data pengamatan dan pendekatan tertentu. Selanjutnya persamaan regresi diuji dengan koefisien determinasi R^2 . Serta analisis statistik dengan metode analisis Varian dua arah yang digunakan untuk menguji hipotesis

4.5 Hasil dan Pembahasan Balok Bertulang dengan Pembebanan Awal

4.5.1. Analisa Statistik dengan Menggunakan Pengujian Hipotesis

Untuk mengetahui seberapa besar air laut terinstruksi pada balok beton bertulang maka dilakukan analisa statistik dengan menggunakan metode pengujian hipotesis. Pengujian hipotesis dilakukan dengan teknik analisis statistik anova dua arah. Hipotesis yang diambil untuk pengaruh durasi waktu perendaman dan perbandingan tebal selimut terhadap kuat lentur balok sebagai berikut :

H_{0A} : Tidak Ada pengaruh yang signifikan antara waktu perendaman terhadap kuat tekan mortar

H_{0B} : Tidak Ada pengaruh yang signifikan antara perbandingan spesi terhadap kuat tekan mortar

H_{0AB} : Tidak Ada interaksi yang signifikan antara waktu perendaman dan perbandingan spesi

Hasil perhitungan dari analisis statistik anova dua arah untuk pengaruh durasi waktu perendaman terhadap kuat tekan mortar dapat dilihat pada tabel 4.9, dan untuk perhitungan yang selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 1.

Tabel 4.14 Ringkasan ANOVA dua arah

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	f Hitung	f Tabel
Nilai tengah baris	143,7720	2	71,8860	4,1616	3,5546
Nilai tengah kolom	165,0308	2	82,5154	4,7769	3,5546
Interaksi	87,3856	4	21,846407	1,2647	2,9277
Galat	310,9276	18	17,2738		

Berdasarkan Tabel 4.9 didapatkan bahwa :

1. Untuk pengaruh waktu perendaman mortar terhadap kuat lentur balok, maka $F_{hitung} > F_{Tabel}$. Dengan hasil perhitungan F_{hitung} sebesar 4,1616 lebih besar dari nilai F_{Tabel} sebesar 3,5546, maka diambil keputusan untuk menolak H_{0A} dan menerima H_{1A} untuk resiko kesalahan 5 % sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel waktu perendaman balok memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kuat lentur balok.
2. Untuk pengaruh variabel perbandingan spesi terhadap kuat lentur balok, maka $F_{hitung} > F_{Tabel}$. Dengan hasil perhitungan F_{hitung} sebesar 4,7769 lebih besar dari nilai F_{Tabel} sebesar 3,5546, maka diambil keputusan untuk menolak H_{0B} dan menerima H_{1B} untuk resiko kesalahan 5 % sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel perbandingan tebal selimut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kuat lentur balok.
3. Untuk pengaruh variabel interaksi antara variabel waktu perendaman balok dan variabel perbandingan tebal selimut terhadap kuat lentur balok, maka $F_{hitung} < F_{Tabel}$. Dengan hasil perhitungan F_{hitung} sebesar 1,2647 lebih kecil dari nilai F_{Tabel} sebesar 2,9277, maka diambil keputusan untuk menerima H_{0AB} dan menolak H_{1AB} untuk resiko kesalahan 5 % sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat interaksi antara waktu perendaman dengan perbandingan tebal selimut.

4.5.2 Analisa Regresi

Dari data penelitian kemudian dapat digambarkan grafik hubungan antara kuat lentur balok dengan waktu perendaman air laut dan grafik hubungan antara kuat lentur balok dengan perbandingan tebal selimut. Analisa data pada penelitian ini menggunakan analisis regresi sesuai dengan trend data pengamatan dan pendekatan tertentu. Selanjutnya persamaan regresi diuji dengan koefisien determinasi R^2 .

Proses penentuan suatu fungsi pendekatan yang menggambarkan kecenderungan data dengan simpangan minimum antara nilai fungsi dan data disebut regresi. Jika pengujian hipotesis dilakukan untuk mengetahui adakah pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel tak bebas, maka analisis regresi dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kedua variabel tersebut. Regresi dilakukan terhadap mortar untuk mendapatkan hubungan antara variasi waktu perendaman mortar di air laut dengan nilai kuat tekan mortar dan variasi perbandingan spesi dengan nilai kuat lentur balok. Jika absis (x) menyatakan variasi waktu perendaman balok di air laut sedangkan ordinat (y) menyatakan nilai kuat lentur balok maka $f(x)$ merupakan suatu fungsi polinomial untuk menyatakan hubungan x dan y.

Data primer yang diperoleh dalam bentuk sekumpulan nilai. Maka perlu dilakukan pengujian statistik serta mencari bentuk kurva yang dapat mewakili data primer tersebut. Dalam upaya mencari persamaan regresi yang paling tepat (dengan nilai galat terkecil) pendugaan parameter regresi dapat dibayangkan sebagai upaya memilih model yang membuat jumlah kuadrat simpangan/galat terhadap pengamatan sekecil-kecilnya. Misal data : $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ dengan x_n adalah variabel bebas dan y_n adalah variabel terikat maka persamaan regresi yang terbentuk :

$$Y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n$$

n : derajat dari polinomial yang dipergunakan

Apabila :

$Y = a_0 + a_1 x$ merupakan bentuk kurva linier

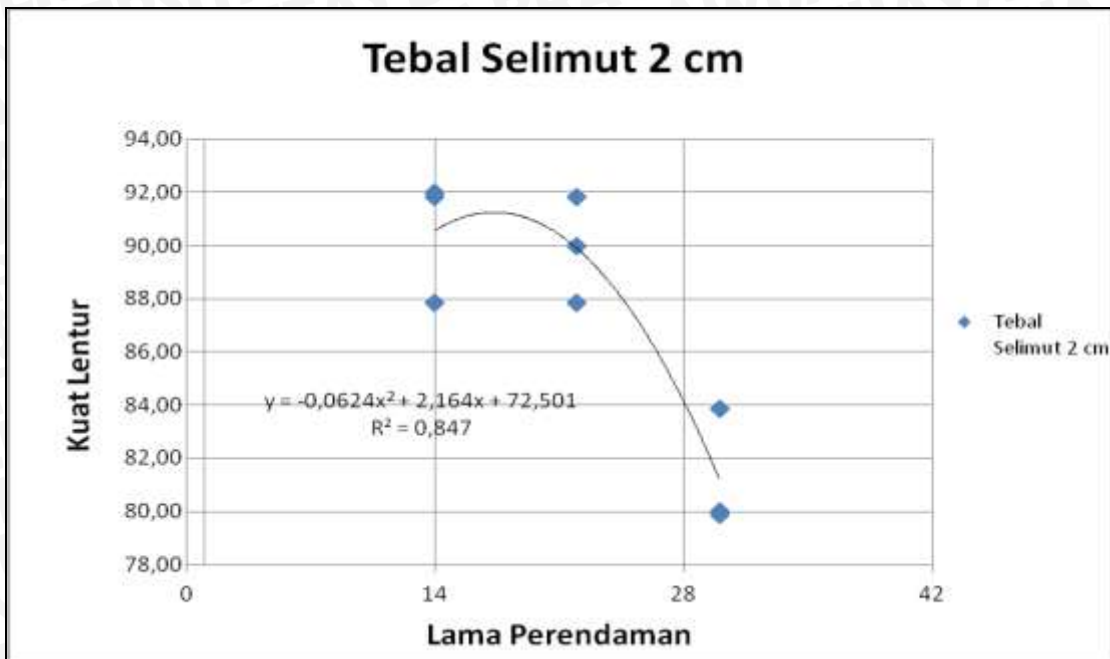
$Y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2$ merupakan bentuk kurva derajat dua

Pada penelitian ini regresi dilakukan untuk mendapatkan hubungan antara variasi perbandingan spesi dan variasi waktu perendaman dalam air laut terhadap nilai kuat tekan mortar. Tingkat ketepatan dari fungsi regresi yang

diperoleh diukur dari nilai koefisien determinasinya (R^2). Koefisien determinasi (R^2) merupakan nilai yang menyatakan besarnya nilai keterandalan model yaitu menyatakan besarnya variabel Y (nilai kuat tekan mortar) yang dapat diterangkan oleh variabel bebas X menurut persamaan regresi yang diperoleh. Besarnya nilai koefisien determinasi berkisar antara 0 sampai 1. Jika nilai koefisien determinasi (R^2) mendekati nilai 1 maka model yang digunakan semakin tinggi keterandalannya dan jika mendekati nilai 0 derajat keterandalannya rendah.

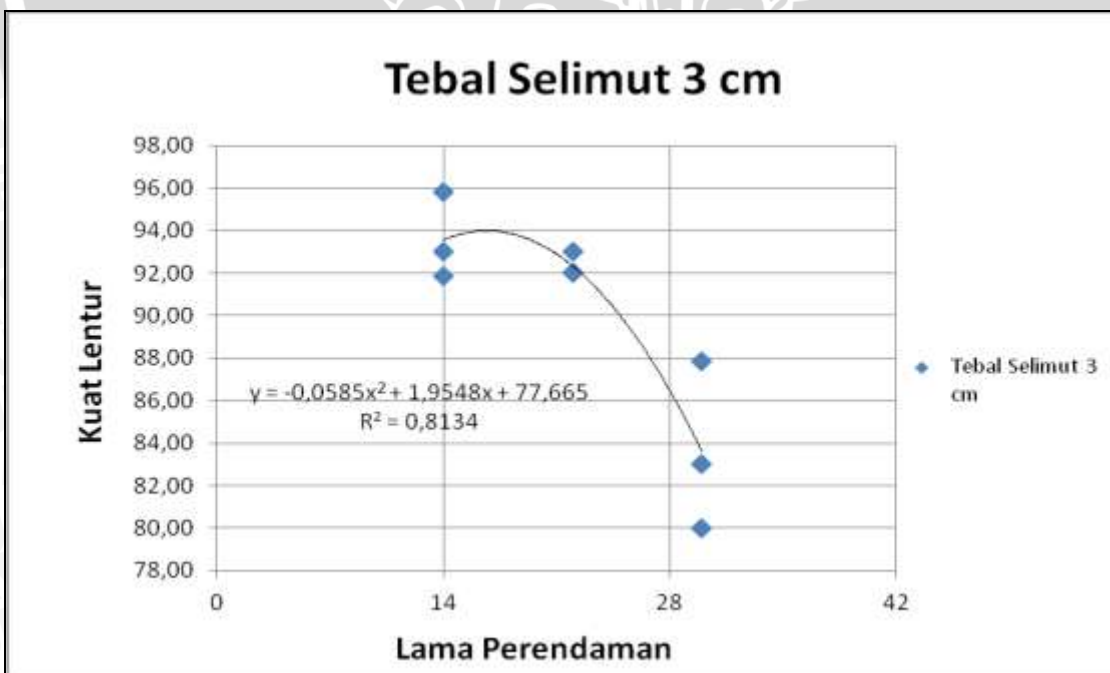
Hubungan pada setiap kejadian dalam penelitian ini dapat dinyatakan dengan perhitungan korelasi antara dua variabel. Koefisien korelasi (R) adalah suatu ukuran asosiasi (linier) relatif antara dua variabel yang menyatakan besarnya derajat keeratan hubungan antar variabel. Koefisien korelasi dapat bervariasi dari -1 sampai 1. Jika $0 < R < 1$ maka dua variabel dikatakan berkorelasi positif dan jika $-1 < R < 0$ maka dua variabel dikatakan berkorelasi negatif. Nilai 0 (nol) menunjukkan tidak adanya hubungan antar variabel sedangkan nilai 1 atau -1 menunjukkan adanya hubungan sempurna antar variabel. Hasil analisa regresi akan ditampilkan pada grafik (4.1-4.6).

Hubungan kuat lentur pada balok terhadap lama perendaman untuk tebal selimut 2 cm disajikan pada Grafik 4.5, tampak bahwa nilai $R^2 = 0,847$, ini menyatakan bahwa variabel tebal selimut terhadap lama perendaman berpengaruh terhadap kuat lentur. Sebaran data nilai kuat lentur pada saat lama perendaman 30 hari semakin kecil nilainya yang berarti pada saat umur tersebut terdapat pengaruh lama perendaman terhadap kuat lentur pada mortar tebal selimut 2 cm.



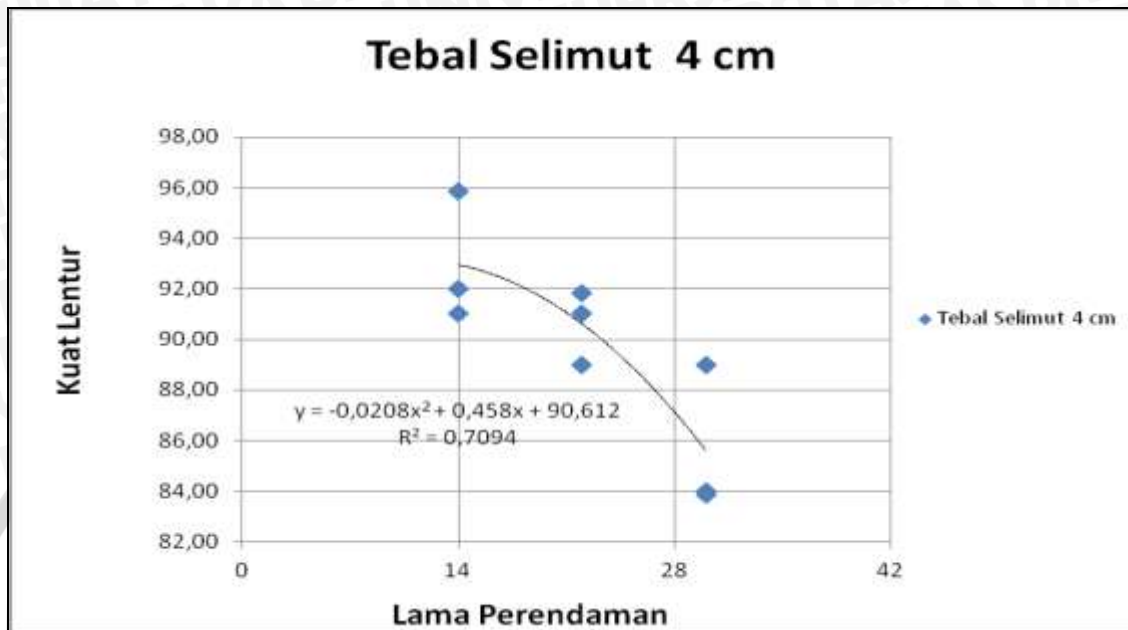
Gambar 4.5 Hubungan Kuat Lentur Dengan Lama Perendaman Pada Selimut 2 cm

Hubungan kuat lentur terhadap lama perendaman untuk tebal selimut 3 cm disajikan pada Gambar 4.6. tampak bahwa nilai $R^2 = 0,8134$, ini menyatakan bahwa variabel lama perendaman berpengaruh terhadap tebal selimut 3 cm.



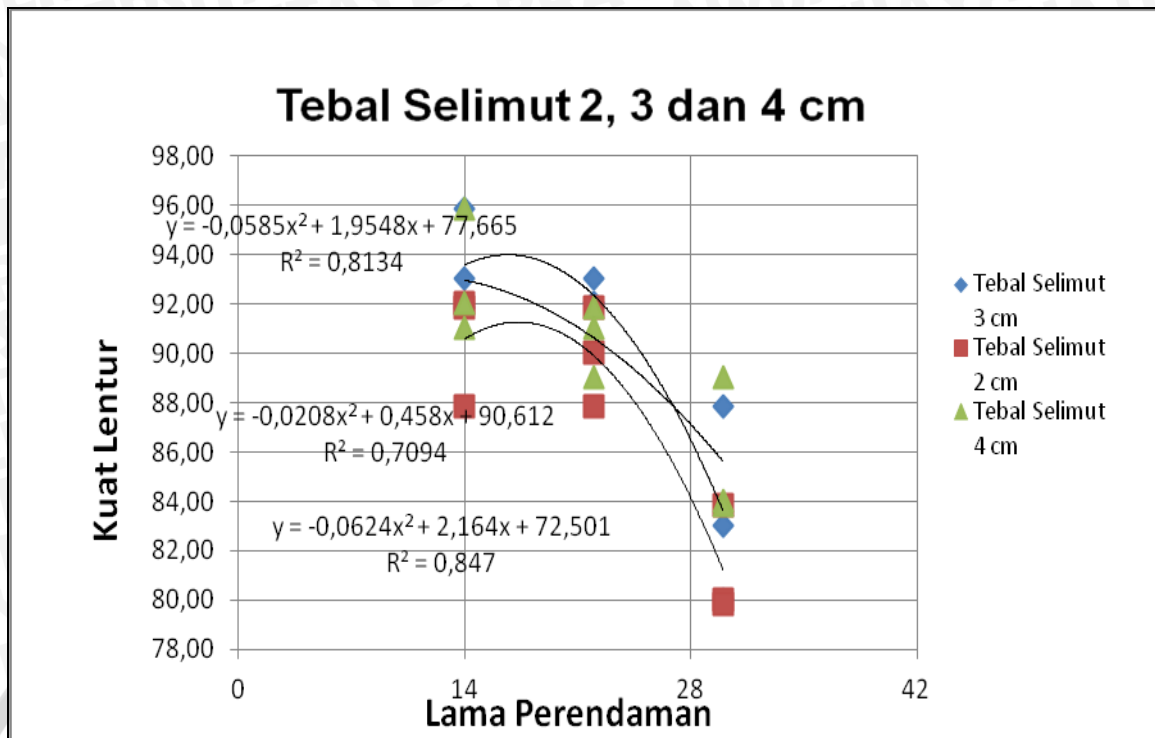
Gambar 4.6 Hubungan Kuat Lentur Dengan Lama Perendaman Pada Selimut 3 cm

Hubungan kuat lentur terhadap lama perendaman untuk tebal selimut 4 cm disajikan pada Gambar 4.7 tampak bahwa nilai $R^2 = 0,7094$, ini menyatakan bahwa variabel lama perendaman berpengaruh terhadap kuat lentur.



Gambar 4.7 Hubungan Kuat Lentur Dengan Lama Perendaman Pada Selimut 4 cm

Untuk mengetahui pengaruh tebal selimut terhadap kuat lentur, grafik pada Grafik 4.5, Grafik 4.6, Grafik 4.7 digabung sehingga didapatkan hubungan kuat lentur terhadap variasi tebal selimut dan variasi lama perendaman yang disajikan pada Grafik 4.8.

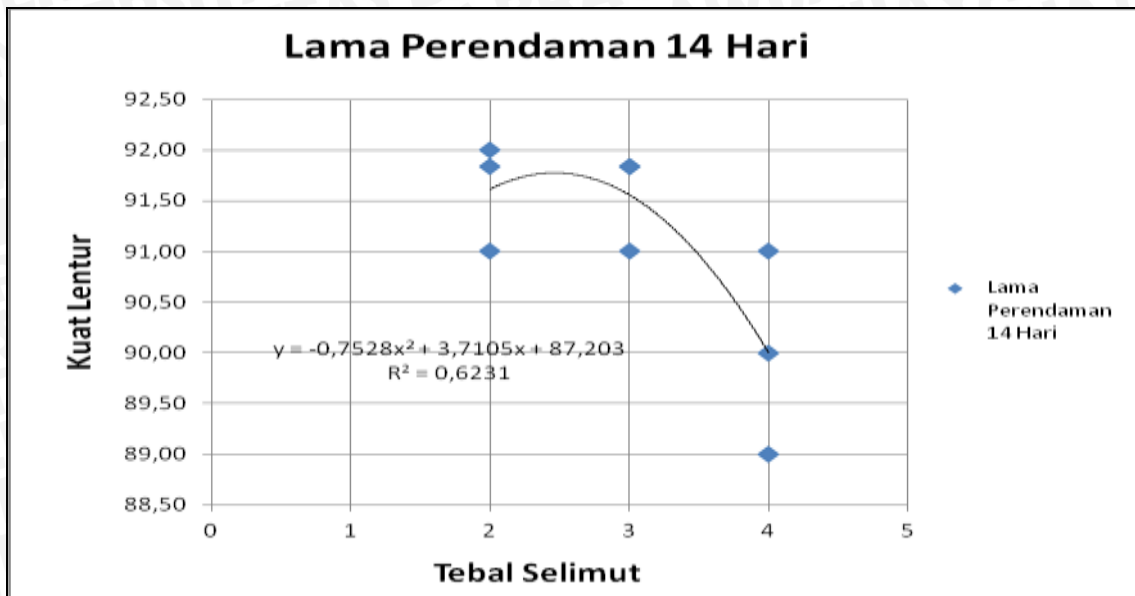


Gambar 4.8 Hubungan Kuat Lentur Dengan Lama Perendaman Pada Selimut 4 cm

Berdasarkan Gambar 4.8 dapat terlihat bahwa hasil pengujian kuat lentur balok dengan variasi tebal selimut balok bertulang memberikan pengaruh terhadap lentur balok. Dapat dilihat dari grafik secara keseluruhan bahwa semakin lama durasi perendaman berpengaruh pada semakin turunnya nilai kuat lentur balok

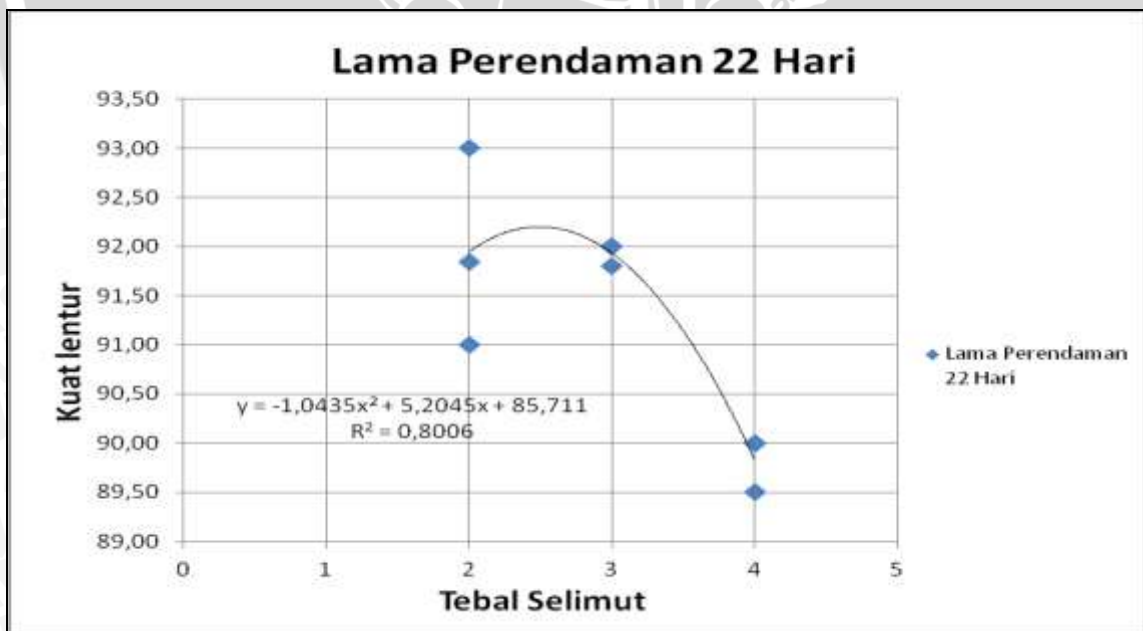
Hubungan kuat lentur pada balok terhadap lama perendaman pada tebal selimut disajikan pada Grafik 4.9- 4.12.

Pada Grafik 4.9 tampak bahwa nilai $R^2 = 0,6231$, ini menyatakan bahwa variabel lama perendaman terhadap tebal selimut berpengaruh terhadap kuat lentur. Pada grafik, semakin tebal selimut maka semakin kecil nilainya berarti terdapat pengaruh tebal selimut terhadap kuat lentur pada balok dengan lama perendaman 14 hari.



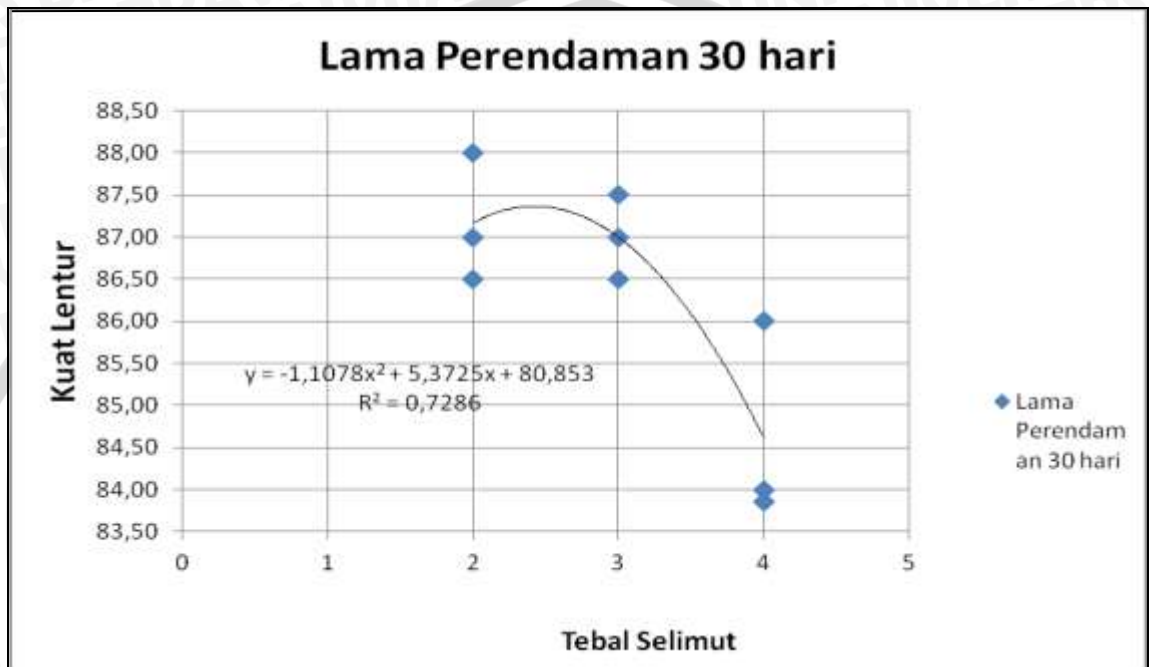
Gambar 4.9 Hubungan Kuat Lentur Dengan Tebal Selimut Pada Lama Perendaman 14 hari

Hubungan kuat lentur terhadap tebal selimut dengan lama perendaman 22 hari disajikan pada Gambar 4.10. tampak bahwa nilai $R^2 = 0,8006$, ini menyatakan bahwa variasi tebal selimut berpengaruh terhadap lama perendaman 22 hari.



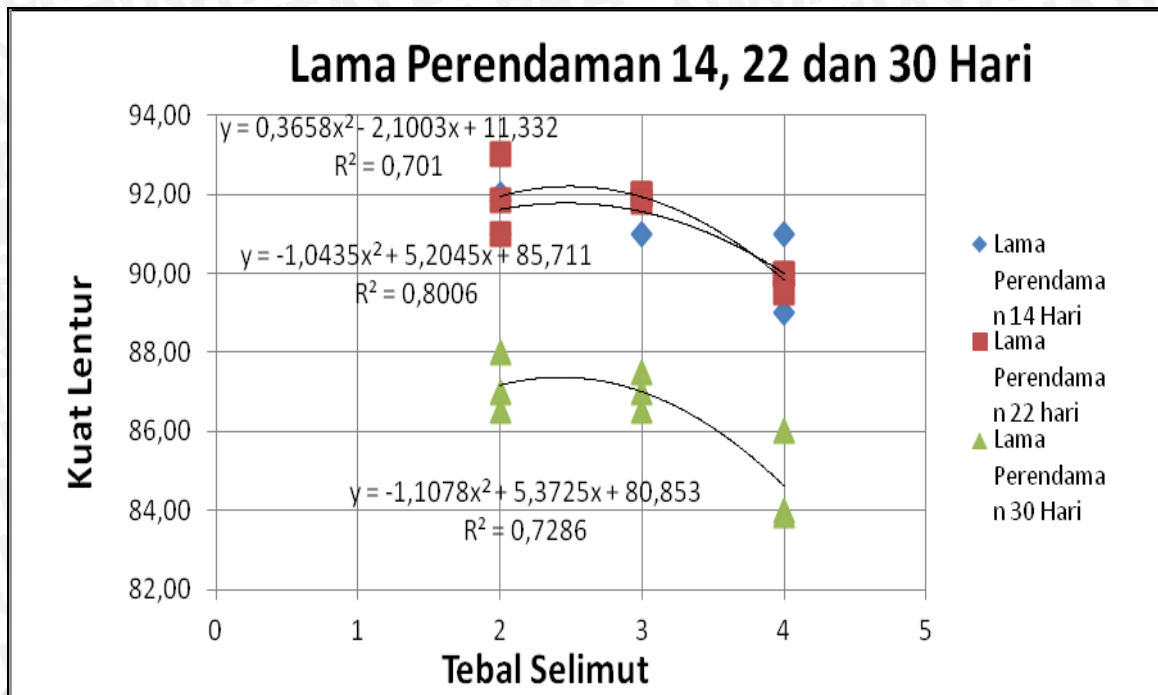
Gambar 4.10 Hubungan Kuat Lentur Dengan Tebal Selimut Pada Lama Perendaman 22 hari

Hubungan kuat lentur terhadap tebal selimut dengan lama perendaman 30 hari disajikan pada Gambar 4.10. tampak bahwa nilai $R^2 = 0,7286$, ini menyatakan bahwa variasi tebal selimut berpengaruh terhadap lama perendaman 30 hari, nilai grafik pada tebal selimut 4 cm pun menunjukkan penurunan daripada nilai grafik pada tebal selimut 4 cm pada lama perendaman yang berbeda.



Gambar 4.10 Hubungan Kuat Lentur Dengan Tebal Selimut Pada Lama Perendaman 30 hari

Untuk mengetahui pengaruh tebal selimut terhadap kuat lentur, grafik pada Grafik 4.9, Grafik 4.10, Grafik 4.11 digabung sehingga didapatkan hubungan kuat lentur terhadap variasi lama perendaman dan variasi tebal selimut yang disajikan pada Gambar 4.12.



Gambar 4.10 Hubungan Kuat Lentur Dengan Tebal Selimut dan Lama Perendaman

Berdasarkan Gambar 4.12 dapat terlihat bahwa hasil pengujian kuat lentur balok dengan variasi lama perendaman bertulang memberikan pengaruh terhadap lentur balok. Dengan tebal selimut balok 2 cm, 3 cm dan 4 cm, terlihat semakin tebal selimut balok maka kuat lenturnya pun semakin kecil

4.6. Pembahasan untuk Balok Bertulang dengan Pembebanan Awal

4.6.1. Pengaruh Variasi Tebal Selimut terhadap Kuat Lentur Balok

Dari hasil uji statistik dengan menggunakan ANOVA 2 arah maka diperoleh hasil bahwa $F_{hitung} > F_{Tabel}$, hal ini menunjukkan bahwa H_0 ditolak dan H_1 diterima yang artinya variasi tebal selimut berpengaruh terhadap nilai kuat lentur balok dengan resiko kesalahan 5 %..

Dari persamaan regresi diperoleh hasil sebagai berikut :

$$\text{Tebal Selimut 2 cm } y = -0,0624x^2 + 2,164x + 72,501$$

$$R^2 = 0,847 \quad R = 0.92$$

$$\text{Tebal Selimut 3 cm } y = -0,0585x^2 + 1,9548x + 77,665$$

$$R^2 = 0,8134 \quad R = 0.901$$

$$\text{Tebal Selimut 4 cm } y = -0,0208x^2 + 0,458x + 90,612$$

$$R^2 = 0,7094 \quad R = 0.842$$

Dengan :

x = Tebal Selimut (cm)

y = Nilai kuat lentur balok (kg/cm²)

Dari analisa regresi diatas dapat diketahui besarnya nilai koefisien determinasi (R^2) pada balok dengan tebal selimut 2 cm adalah 0,847 yang artinya sebanyak 84.7 % nilai kuat lentur balok (variabel y) dipengaruhi oleh besarnya waktu perendaman balok di air laut (variabel x) sedangkan sisanya sebanyak 15.3 % nilai kuat lentur balok dipengaruhi oleh faktor-faktor yang lain. Demikian pula dengan nilai koefisien determinasi pada variasi perbandingan tebal selimut yang lainnya.

Koefisien determinasi (R^2) dan derajat keeratan hubungan variabel (R) yang paling tinggi yaitu pada balok dengan tebal selimut 2 cm. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada balok dengan dengan tebal selimut 2 cm memiliki tingkat keterandalan yang tinggi. Sedangkan nilai koefisien determinasi (R^2) dan koefisien korelasi (R) yang terkecil yaitu pada balok dengan dengan tebal selimut 4 cm, sehingga dapat dikatakan bahwa pada balok dengan tebal selimut 4 cm memiliki tingkat keterandalan yang rendah.

4.6.2. Pengaruh Perbandingan Lama Perndaman terhadap Kuat Lentur Balok

Dari hasil uji statistik dengan menggunakan ANOVA 2 arah maka diperoleh hasil bahwa $F_{hitung} > F_{Tabel}$, hal ini menunjukkan bahwa H_0 ditolak dan H_1 diterima yang artinya variasi perbandingan spesi berpengaruh terhadap nilai kuat lentu balok dengan resiko kesalahan 5 %..

Dari persamaan regresi diperoleh hasil sebagai berikut :

$$\text{Lama Perendaman 14 Hari } y = -0,7528x^2 + 3,7105x + 87,203$$

$$R^2 = 0,6231 \quad R = 0.789$$

$$\text{Lama Perendaman 22 Hari } y = -1,0435x^2 + 5,2045x + 85,711$$

$$R^2 = 0,8006 \quad R = 0.895$$

$$\text{Lama Perendaman 30 Hari } y = -1,1078x^2 + 5,3725x + 80,853$$

$$R^2 = 0,645 \quad R = 0.803$$

Dengan :

- x = Perbandingan lama perendaman
y = Nilai kuat lentur balok (kg/cm^2)

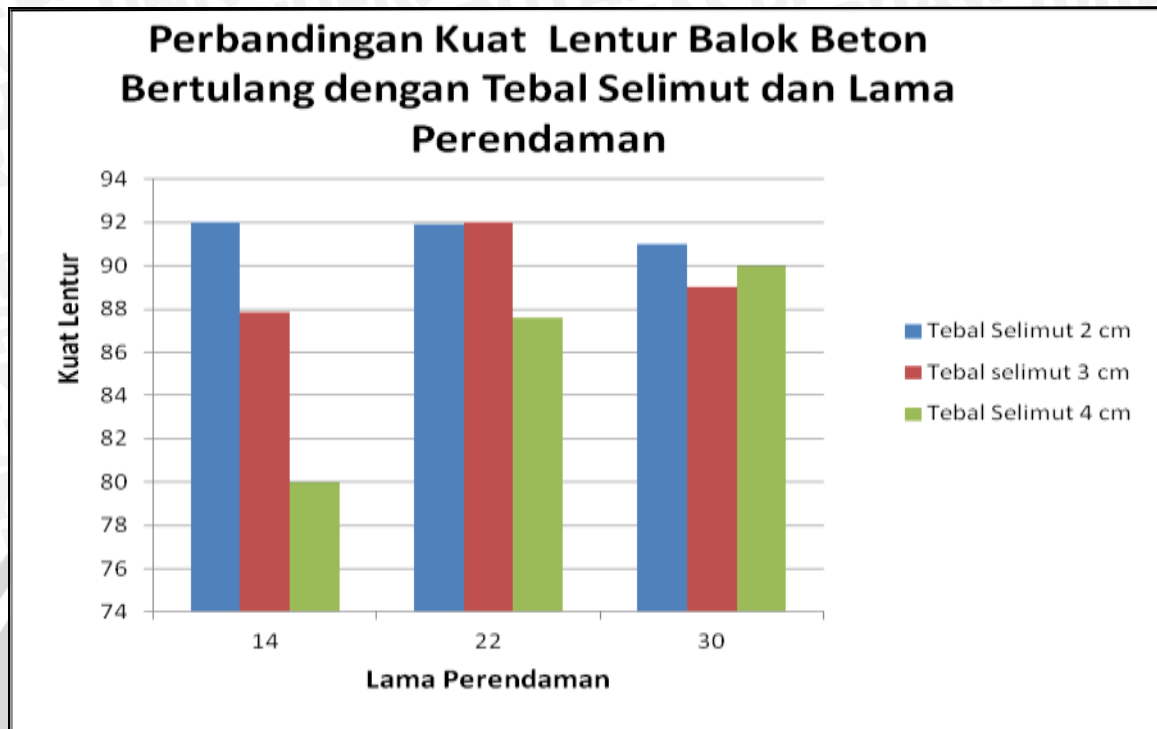
Dari analisa regresi diatas dapat diketahui besarnya nilai koefisien determinasi (R^2) pada balok dengan lama perendaman 14 Hari adalah 0,6231 yang artinya sebanyak 62.31 % nilai kuat lentur balok (variabel y) dipengaruhi oleh besarnya perbandingan tebal selimut (variabel x) sedangkan sisanya sebanyak 37.69 % nilai kuat lentur balok dipengaruhi oleh faktor-faktor yang lain. Demikian pula dengan nilai koefisien determinasi pada variasi perbandingan lama perendaman yang lainnya.

Koefisien determinasi (R^2) dan derajat keeratan hubungan variabel (R) yang paling tinggi yaitu pada balok dengan lama perendaman 22 hari. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada balok dengan lama perendaman 22 hari memiliki tingkat keterandalan yang tinggi. Sedangkan nilai koefisien determinasi (R^2) dan koefisien korelasi (R) yang terkecil yaitu pada balok dengan lama perendaman 14 hari dengan nilai 0,6231, sehingga dapat dikatakan bahwa pada balok dengan lama perendaman 14 hari memiliki tingkat keterandalan yang rendah.

4.6.3. Hubungan Antara Waktu Perendaman dan Tebal selimut terhadap Nilai Kuat Lentur Balok

Dari nilai f hitung dapat disimpulkan bahwa variasi waktu perendaman balok di air laut dan variasi perbandingan tebal selimut tidak berpengaruh terhadap nilai kuat lentur balok. Dari hasil analisis varian dua arah diperoleh nilai F_{hitung} lebih kecil dari F_{Tabel} yaitu dengan nilai f hitung 1,2647 dengan nilai f tabel 2,9277 dapat diambil kesimpulan untuk menolak H_0 dan menerima H_1 . Berdasarkan Grafik 4.4 dapat terlihat bahwa pada hasil pengujian kuat lentur balok dengan variasi lama perendaman dan variasi tebal selimut, perbandingan lama perendaman di air laut dan tebal selimut di air laut memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat lentur. Balok dengan tebal selimut 2 cm memiliki nilai kuat lentur lebih tinggi dari pada balok dengan perbandingan tebal selimut 2 cm dan 3 cm. Selanjutnya setelah dilakukan analisa regresi, pengujian tersebut memperlihatkan adanya pengaruh positif antara perbandingan tebal selimut dengan nilai kuat lentur.

Berdasarkan pada gambar 4.13, dapat digambarkan perbandingan nilai kuat lentur balok rata-rata antara tebal selimut dan lama perendaman



Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Kuat lentur Balok beton bertulang

Berdasarkan Gambar 4.11, Nilai kuat lentur balok beton bertulang secara signifikan mengalami penurunan. Nilai kuat lentur balok pada tebal selimut 2 cm diumur 14, 22 dan 30 hari mengalami penurunan dari nilai 92, kemudian 91,839 dan terakhir bernilai 91. Tetapi pada nilai rata-rata keseluruhan nilai kuat lentur, pada umur 22 hari mempunyai nilai lebih tinggi sedikit daripada nilai kuat lentur diumur 14 dan 30 hari yaitu dengan nilai 92 di tebal selimut 3 cm.

Nilai kuat lentur antara tebal selimut 2,3 dan 4 juga menunjukkan penurunan nilai di lama perendamn 14 dan 22 hari, yang berarti secara signifikan tebal selimut berpengaruh pada kuat lentur. Tetapi, pada tebal selimut 3 cm pada umur 30 hari terjadi kenaikan nilai kuat lentur daripada balok perendaman berumur 14 dan 22 hari dengan nilai kuat lentur yang signifikan turun bila dibandingkan dengan besaran nilai pada tebal selimut 2 cm.

Pada tebal selimut 4 cm juga ditemukan kenaikan nilai kuat lentur di tiap nilai lama perendamannya, nilai kuat lentur tebal selimut 2 cm pada saat

lama 22 hari juga mengalami kenaikan daripada lainnya, yang mungkin dikarenakan kesalahan pencampuran pada saat pembuatan balok.

Dari hasil ini dapat terlihat bahwa faktor lama perendaman memberikan pengaruh terhadap penurunan kuat lentur yang cukup besar. Hal ini disebabkan setelah dilakukan pembebanan awal pada balok, intrusi air laut dapat masuk lebih dalam dan mempengaruhi daya dukung tulangan dalam menerima beban lentur. Hal ini disebabkan air laut memiliki kandungan garam yang tinggi dan dapat menggerogoti kekuatan tulangan sehingga ion-ion klorida yang terdapat di air laut yang merupakan garam dengan sifat agresif terhadap bahan lain, yang dapat masuk dengan mudahnya kecelah balok yang telah mengalami retakan akibat pembebanan awal. Sehingga, semakin lama perendaman balok dalam air laut maka semakin turun nilai kuat lenturnya.

Sedangkan faktor tebal selimut di air laut juga memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan kuat lentur balok. Kerusakan dapat terjadi akibat reaksi antara air laut yang terpenetrasi ke dalam balok sehingga mengakibatkan selimut balok kehilangan kemampuan untuk menyelubungi balok secara maksimal, lagipula kinerja selimut balok sudah tidak maksimal dikarenakan sudah adanya retakan yang timbul akibat pembebanan awal yang terjadi.



Gambar 4.14 Pembebanan Dengah Bentang Hingga Mencapai Maksimum

Dan dari data-data perbandingan rata-rata kuat lentur dapat terlihat bahwa kapasitas balok dalam memikul beban ada yang mengalami penurunan seiring semakin besarnya perbandingan tebal selimut, tetapi ada pula yang tidak mengalami penurunan secara langsung.

Pada balok yang direndam air laut selama 14 hari dengan tebal selimut 2 cm didapat kuat lentur rata-rata $92,000 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan pada balok dengan tebal selimut 3 cm didapat kuat lentur rata-rata 87.846 kg/cm^2 , dan pada balok dengan tebal selimut 4 cm didapat kuat lentur rata-rata $80,000 \text{ kg/cm}^2$. Jika dibandingkan dengan kuat lentur rata-rata balok dengan perbandingan tebal selimut 2 cm maka balok dengan perbandingan tebal selimut 3 cm mengalami penurunan kuat lentur dengan selisih sebesar 22,14 %, sedangkan lentur balok dengan tebal selimut 3 cm jika dibandingkan dengan kuat tekan rata-rata balok dengan perbandingan tebal selimut 4 cm mengalami penurunan kuat lentur sebesar 11,19 %. Dan selisih nilai rata-rata keseluruhan dari nilai kuat lentur pada umur 14 hari adalah 1,62 %

Pada balok yang direndam air laut selama 22 hari dengan tebal selimut 2 cm didapat kuat lentur rata-rata $87,84 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan pada balok dengan tebal selimut 3 cm didapat kuat lentur rata-rata 92 kg/cm^2 , dan pada balok dengan tebal selimut 4 cm didapat kuat lentur rata-rata 91.839 kg/cm^2 . Jika dibandingkan dengan kuat lentur rata-rata balok dengan perbandingan tebal selimut 2 cm maka balok dengan perbandingan tebal selimut 3 cm mengalami kenaikan kuat lentur dengan selisih sebesar 22.11 %, sedangkan lentur balok dengan tebal selimut 3 cm jika dibandingkan dengan kuat tekan rata-rata balok dengan perbandingan tebal selimut 4 cm mengalami penurunan kuat lentur sebesar 8,6 %. Dan selisih nilai rata-rata keseluruhan dari nilai kuat lentur pada umur 22 hari adalah 6,38 %

Pada balok yang direndam air laut selama 30 hari dengan tebal selimut 2 cm didapat kuat lentur rata-rata 80 kg/cm^2 , sedangkan pada balok dengan tebal selimut 3 cm didapat kuat lentur rata-rata $87,84 \text{ kg/cm}^2$, dan pada balok dengan tebal selimut 4 cm didapat kuat lentur rata-rata 91.137 kg/cm^2 . Jika dibandingkan dengan kuat lentur rata-rata balok dengan perbandingan tebal selimut 2 cm maka balok dengan perbandingan tebal selimut 3 cm mengalami kenaikan kuat lentur dengan selisih sebesar 12.42 %, sedangkan lentur balok dengan tebal selimut 3 cm jika dibandingkan dengan

kuat tekan rata-rata balok dengan perbandingan tebal selimut 4 cm mengalami penurunan kuat lentur sebesar 22,9 %%. Dan selisih dari nilai kuat lentur pada umur 22 hari adalah 1,6 %

4.7. Pengujian Kuat Lentur Balok Bertulang Tanpa Pembebanan Awal

Pada penelitian ini setelah benda uji direndam sesuai waktu yang ditentukan kemudian dilakukan pengujian lentur balok beton bertulang. Uji kuat lentur dilakukan dengan memberikan beban terpusat ditengah bentang setelah balok berumur 28 hari, hingga hancur/mencapai P maksimum yang dapat diterima.Total benda uji sebanyak 27 buah untuk masing-masing variasi selimut dari 9 buah buah tersebut dibagi menjadi 3 buah benda uji untuk masing-masing variasi lama perendaman dengan air laut.

4.8. Hasil Pengujian Kuat Lentur Balok beton Bertulang Balok Bertulang Tanpa Pembebanan Awal

Pengujian penelitian ini adalah pengujian lentur balok beton bertulang. Uji kuat lentur dilakukan dengan diberikan pembebanan maksimum/hancur secara terpusat ditengah balok. Total benda uji sebanyak 27 buah untuk masing-masing variasi selimut dari 9 buah buah tersebut dibagi menjadi 3 buah benda uji untuk masing-masing variasi lama perendaman dengan air laut. Pengujian kuat lentur pada balok dilakukan dengan urutan tebal selimut 2,3 dan 4.

Untuk mengetahui nilai kuat lentur pada balok digunakan pembebanan melalui *proven ring*, maksimum (ultimate) pada balok telah dihitung terlebih dahulu, lalu diperkirakan berapa strip pembebanan yang diberikan, disini kita memakai per 3 strip pembabanan.Karena, telah dihitung bahwa maksimum beban pada teoritisnya untuk balok dengan dimensi 55x10x15 sebanyak ± 3 ton.

Kuat lentur balok merupakan kekuatan tarik material pada benda balok yang dibebani sampai maksimum dibagian melintang pada benda uji balok tersebut. Nilai Kuat lentur Balok beton bertulang dengan Variasi tebal selimut dan Lama Perendaman (Hari) disjikan pada tabel berikut:

Tabel 4.15 Nilai Pembebanan balok pada tebal selimut 2 cm

No Sampel	Lama Perendaman (hari)	Berat (gram)	P Bacaan (Kg)	P (kg)	M kgcm	W cm ³
A1R7	7	21,76	30	3993	44921,25	375

A2R7	7	22,16	26	3460,6	38931,75	375
A3R7	7	22,1	28	3726,8	41926,5	375
A1R14	14	23,46	30	3993	44921,25	375
A2R14	14	21,76	26	3460,6	38931,75	375
A3R14	14	21,88	24	3194,4	35937	375
A1R21	21	21,14	30	3993	44921,25	375
A2R21	21	21,24	30	3993	44921,25	375
A3R21	21	22,1	28	3726,8	41926,5	375

Tabel 4.16 Nilai Pembebanan balok pada tebal selimut 3 cm

No Sampel	Lama Perendaman (hari)	Berat (gram)	P Bacaan (Kg)	P (kg)	M (kgcm)	W (cm ³)
B1R7	7	22,62	32	4259,2	47916	375
B2R7	7	21,46	28	3726,8	41926,5	375
B3R7	7	23,46	30	3993	44921,3	375
B1R14	14	21,56	30	3993	44921,3	375
B2R14	14	21,38	32	4259,2	47916	375
B3R14	14	23,96	32	4259,2	47916	375
B1R21	21	22,14	30	3993	44921,3	375
B2R21	21	21,84	28	3726,8	41926,5	375
B3R21	21	23,22	28	3726,8	41926,5	375

Tabel 4.17 Nilai Pembebanan balok pada tebal selimut 4 cm

No Sampel	Lama Perendaman (hari)	Berat (gram)	P Bacaan (Kg)	P (kg)	M (kgcm)	W (cm ³)
C1R7	7	22,24	28	3726,8	41926,5	375
C2R7	7	22,94	26	3460,6	38931,8	375
C3R7	7	21,84	22	2928,2	32942,3	375
C1R14	14	22,2	24	3194,4	35937	375

C2R14	14	21,4	32	4259,2	47916	375
C3R14	14	21,38	26	3460,6	38931,8	375
C1R21	21	23,04	28	3726,8	41926,5	375
C2R21	21	22,74	32	4259,2	47916	375
C3R21	21	21,58	32	4259,2	47916	375

Dari hasil pengujian diatas maka dapat dihitung nilai kuat lentur balok beton bertulang dengan rumus:

$$F = \frac{M}{W}$$

Sebagai contoh perhitungan kuat lentur balok dari tabel 4.1 untuk tebal selimut 2 cm da lama perendaman 14 hari

$$f = \frac{44921,3}{375} = 119,7$$

Tabel 4.18 Nilai Kuat lentur balok pada tebal selimut 2 cm

No Sampel	Lama Perendaman (hari)	Berat (gram)	Nilai (kg)	M (kgcm)	W (cm ³)	Kuat Lentur (kg/cm ²)
A1R7	7	21,76	3993	44921,3	375	119,79
A2R7	7	22,16	3460,6	38931,8	375	103,818
A3R7	7	22,1	3726,8	41926,5	375	111,804
A1R14	14	23,46	3993	44921,3	375	119,79
A2R14	14	21,76	3460,6	38931,8	375	103,818
A3R14	14	21,88	3194,4	35937	375	95,832
A1R21	21	21,14	3993	44921,3	375	119,79
A2R21	21	21,24	3993	44921,3	375	119,79
A3R21	21	22,1	3726,8	41926,5	375	111,804

Tabel 4.19 Nilai Kuat lentur balok pada tebal selimut 3 cm

No Sampel	Lama Perendaman (hari)	Berat (gram)	Nilai (kg)	M kgcm	W cm ³	Kuat Lentur (kg/cm ²)
B1R7	7	22,62	4259,2	47916	375	127,776
B2R7	7	21,46	3726,8	41926,5	375	111,804
B3R7	7	23,46	3993	44921,3	375	119,79
B1R14	14	21,56	3993	44921,3	375	119,79
B2R14	14	21,38	4259,2	47916	375	127,776
B3R14	14	23,96	4259,2	47916	375	127,776
B1R21	21	22,14	3993	44921,3	375	119,79
B2R21	21	21,84	3726,8	41926,5	375	111,804
B3R21	21	23,22	3726,8	41926,5	375	111,804

Tabel 4.20 Nilai Kuat lentur balok pada tebal selimut 4 cm

No Sampel	Lama Perendaman (hari)	Berat (gram)	Nilai (kg)	M kgcm	W cm ³	Kuat Lentur (kg/cm ²)
C1R7	7	22,24	3726,8	41926,5	375	111,804
C2R7	7	22,94	3460,6	38931,8	375	103,818
C3R7	7	21,84	2928,2	32942,3	375	87,846
C1R14	14	22,2	3194,4	35937	375	95,832
C2R14	14	21,4	4259,2	47916	375	127,776
C3R14	14	21,38	3460,6	38931,8	375	103,818
C1R21	21	23,04	3726,8	41926,5	375	111,804
C2R21	21	22,74	4259,2	47916	375	127,776
C3R21	21	21,58	4259,2	47916	375	127,776

Tabel 4.21. Nilai Kuat lentur balok benda uji keseluruhan

Waktu Perendaman	TEBAL SELIMUT		
	2	3	4
7 hari	119,7900	127,7760	111,8040
	103,8180	111,8040	103,8180
	111,8040	119,7900	87,8460

14 hari	119,7900	119,7900	95,8320
	103,8180	119,7900	103,8180
	95,8320	127,7760	103,8180
21 hari	119,7900	119,7900	111,8040
	119,7900	111,8040	127,7760
	111,8040	111,8040	111,8040
rata-rata			

Tabel 4.22. Nilai rata-rata Kuat Lentur balok benda uji keseluruhan

Waktu Perendaman	TEBAL SELIMUT			Total
	2	3	4	
7 hari	111,8040	119,7900	101,1560	332,7500
14 hari	106,4800	122,4520	101,1560	330,0880
21 hari	117,1280	114,4660	117,1280	348,7220
Total	335,4120	356,7080	319,4400	1011,5600

4.9 Pengolahan Data untuk Balok Bertulang Tanpa Pembebanan Awal

Data pengujian kuat lentur diolah dengan menggunakan uji statistik dengan analisis regresi sesuai dengan trend data pengamatan dan pendekatan tertentu. Selanjutnya persamaan regresi diuji dengan koefisien determinasi R^2 . Serta analisis statistik dengan metode analisis Varian dua arah yang digunakan untuk menguji hipotesis

4.10 Hasil dan Pembahasan untuk Balok Bertulang Tanpa Pembebanan Awal

4.10.1. Analisa Statistik dengan Menggunakan Pengujian Hipotesis

Untuk mengetahui seberapa besar air laut terinstruksi pada balok beton bertulang maka dilakukan analisa statistik dengan menggunakan metode pengujian hipotesis. Pengujian hipotesis dilakukan dengan teknik analisis statistik anova dua arah. Hipotesis yang diambil untuk pengaruh durasi waktu

perendaman dan perbandingan tebal selimut terhadap kuat lentur balok sebagai berikut :

H_{0A} : Tidak Ada pengaruh yang signifikan antara waktu perendaman terhadap kuat tekan mortar

H_{0B} : Tidak Ada pengaruh yang signifikan antara perbandingan spesi terhadap kuat tekan mortar

H_{0AB} : Tidak Ada interaksi yang signifikan antara waktu perendaman dan perbandingan spesi

Hasil perhitungan dari analisis statistik anova dua arah untuk pengaruh durasi waktu perendaman terhadap kuat tekan mortar dapat dilihat pada tabel 4.17, dan untuk perhitungan yang selengkapnya dapat dilihat pada lampiran 2.

Tabel 4.23 Ringkasan ANOVA dua arah

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	f Hitung	f Tabel
Nilai tengah baris	205,6492	2	102,8246	1,2372	3,5546
Nilai tengah kolom	603,7211	2	301,8605	3,6321	3,5546
Interaksi	320,7300	4	80,182497	0,9648	2,9277
Galat	1495,9659	18	83,1092		

Berdasarkan Tabel 4.17 didapatkan bahwa :

1. Untuk pengaruh waktu perendaman mortar terhadap kuat tekan mortar, maka $F_{hitung} > F_{Tabel}$. Dengan hasil perhitungan F_{hitung} sebesar 1,2372 lebih besar dari nilai F_{Tabel} sebesar 3,5546, maka diambil keputusan untuk menolak H_{0A} dan menerima H_{1A} untuk resiko kesalahan 5 % sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel waktu perendaman tidak balok memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kuat lentur balok.
2. Untuk pengaruh variabel perbandingan spesi terhadap kuat tekan mortar, maka $F_{hitung} > F_{Tabel}$. Dengan hasil perhitungan F_{hitung} sebesar 3,6321 lebih besar dari nilai F_{Tabel} sebesar 3,5546, maka diambil keputusan untuk menolak

H_{0B} dan menerima H_{1B} untuk resiko kesalahan 5 % sehingga dapat disimpulkan bahwa variabel perbandingan tebal selimut memiliki pengaruh yang signifikan terhadap nilai kuat lentur balok.

3. Untuk pengaruh variabel interaksi antara variabel waktu perendaman balok dan variabel perbandingan tebal selimut terhadap kuat tekan mortar, maka $F_{hitung} < F_{Tabel}$. Dengan hasil perhitungan F_{hitung} sebesar 0,9648 lebih kecil dari nilai F_{Tabel} sebesar 2,9277, maka diambil keputusan untuk menerima H_{0AB} dan menolak H_{1AB} untuk resiko kesalahan 5 % sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat interaksi antara waktu perendaman dengan perbandingan tebal selimut.

4.10.2 Analisa Regresi

Dari data penelitian kemudian dapat digambarkan grafik hubungan antara kuat lentur balok dengan waktu perendaman air laut dan grafik hubungan antara kuat lentur balok dengan perbandingan tebal selimut. Analisa data pada penelitian ini menggunakan analisis regresi sesuai dengan trend data pengamatan dan pendekatan tertentu. Selanjutnya persamaan regresi diuji dengan koefisien determinasi R^2 .

Proses penentuan suatu fungsi pendekatan yang menggambarkan kecenderungan data dengan simpangan minimum antara nilai fungsi dan data disebut regresi. Jika pengujian hipotesis dilakukan untuk mengetahui adakah pengaruh dari variabel bebas terhadap variabel tak bebas, maka analisis regresi dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kedua variabel tersebut. Regresi dilakukan terhadap mortar untuk mendapatkan hubungan antara variasi waktu perendaman mortar di air laut dengan nilai kuat tekan mortar dan variasi perbandingan spesi dengan nilai kuat lentur balok. Jika absis (x) menyatakan variasi waktu perendaman balok di air laut sedangkan ordinat (y) menyatakan nilai kuat lentur balok maka $f(x)$ merupakan suatu fungsi polinomial untuk menyatakan hubungan x dan y.

Data primer yang diperoleh dalam bentuk sekumpulan nilai. Maka perlu dilakukan pengujian statistik serta mencari bentuk kurva yang dapat mewakili data primer tersebut. Dalam upaya mencari persamaan regresi yang paling tepat (dengan nilai galat terkecil) pendugaan parameter regresi dapat dibayangkan sebagai upaya memilih model yang membuat jumlah kuadrat simpangan/galat

terhadap pengamatan sekecil-kecilnya. Misal data : $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$ dengan x_n adalah variabel bebas dan y_n adalah variabel terikat maka persamaan regresi yang terbentuk :

$$Y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n$$

n : derajat dari polinomial yang dipergunakan

Apabila :

$Y = a_0 + a_1 x$ merupakan bentuk kurva linier

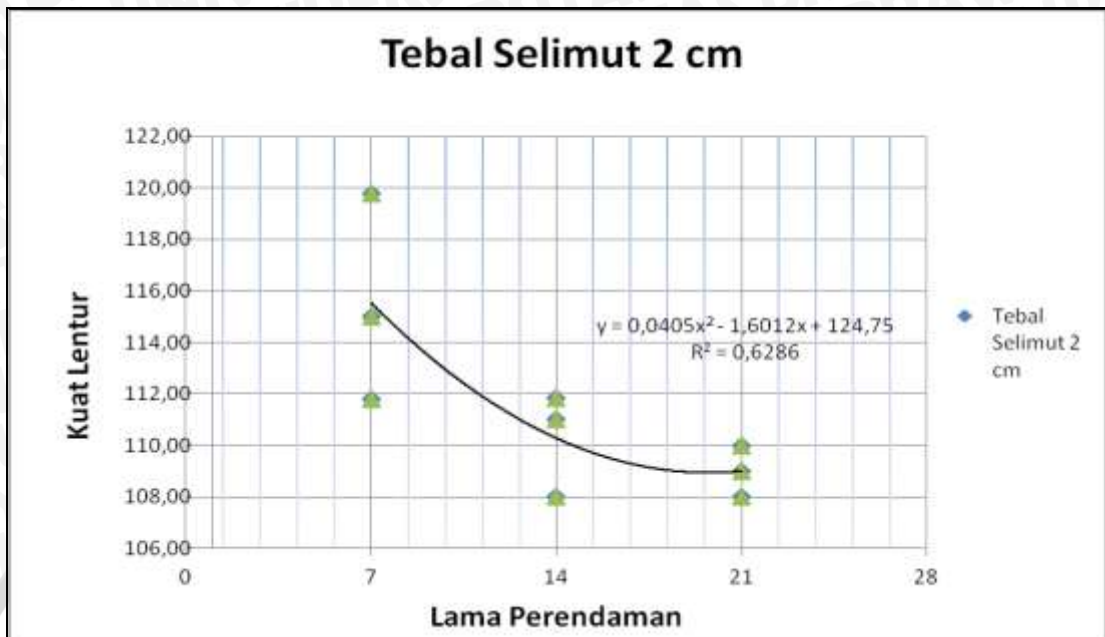
$Y = a_0 + a_1 x + a_2 x^2$ merupakan bentuk kurva derajat dua

Pada penelitian ini regresi dilakukan untuk mendapatkan hubungan antara variasi perbandingan spesi dan variasi waktu perendaman dalam air laut terhadap nilai kuat tekan mortar. Tingkat ketepatan dari fungsi regresi yang diperoleh diukur dari nilai koefisien determinasinya (R^2). Koefisien determinasi (R^2) merupakan nilai yang menyatakan besarnya nilai keterandalan model yaitu menyatakan besarnya variabel Y (nilai kuat tekan mortar) yang dapat diterangkan oleh variabel bebas X menurut persamaan regresi yang diperoleh. Besarnya nilai koefisien determinasi berkisar antara 0 sampai 1. Jika nilai koefisien determinasi (R^2) mendekati nilai 1 maka model yang digunakan semakin tinggi keterandalannya dan jika mendekati nilai 0 derajat keterandalannya rendah.

Hubungan pada setiap kejadian dalam penelitian ini dapat dinyatakan dengan perhitungan korelasi antara dua variabel. Koefisien korelasi (R) adalah suatu ukuran asosiasi (linier) relatif antara dua variabel yang menyatakan besarnya derajat keeratan hubungan antar variabel. Koefisien korelasi dapat bervariasi dari -1 sampai 1. Jika $0 < R < 1$ maka dua variabel dikatakan berkorelasi positif dan jika $-1 < R < 0$ maka dua variabel dikatakan berkorelasi negatif. Nilai 0 (nol) menunjukkan tidak adanya hubungan antar variabel sedangkan nilai 1 atau -1 menunjukkan adanya hubungan sempurna antar variabel. Hasil analisa regresi akan ditampilkan pada grafik (4.1-4.6).

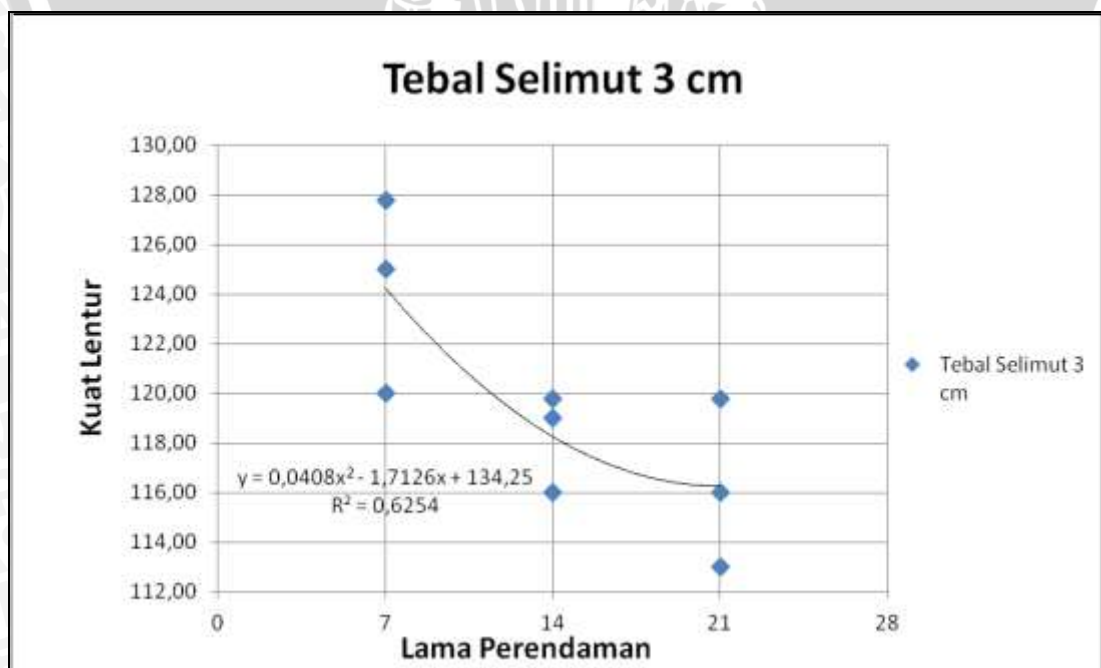
Hubungan kuat lentur pada balok terhadap lama perendaman untuk tebal selimut 2 cm disajikan pada Grafik 4.15, tampak bahwa nilai $R^2 = 0,628$, ini menyatakan bahwa variabel tebal selimut terhadap lama perendaman berpengaruh terhadap kuat lentur. Sebaran data nilai kuat lentur pada saat lama perendaman 30 hari semakin kecil nilainya yang berarti pada saat umur

tersebut terdapat pengaruh lama perendaman terhadap kuat lentur pada mortar tebal selimut 2 cm.



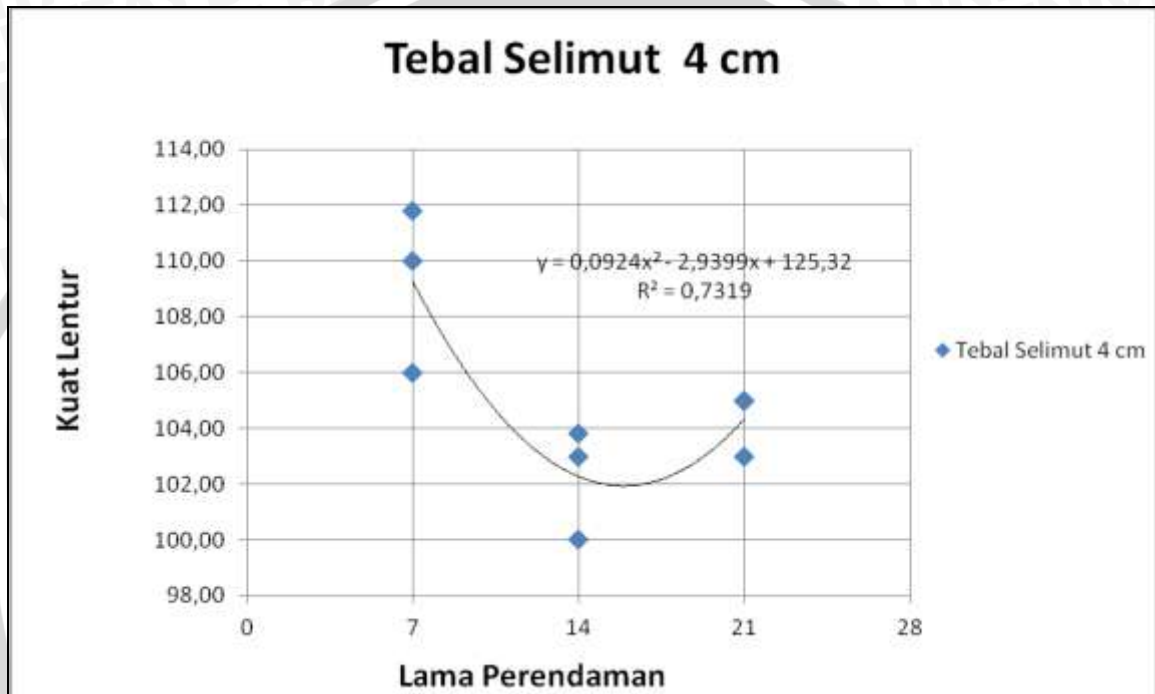
Gambar 4.15 Hubungan Kuat Lentur Dengan Lama Perendaman Pada Selimut 3 cm

Hubungan kuat lentur terhadap lama perendaman untuk tebal selimut 3 cm disajikan pada Gambar 4.16. tampak bahwa nilai $R^2 = 0,6254$, ini menyatakan bahwa variabel lama perendaman berpengaruh terhadap tebal selimut 3 cm.



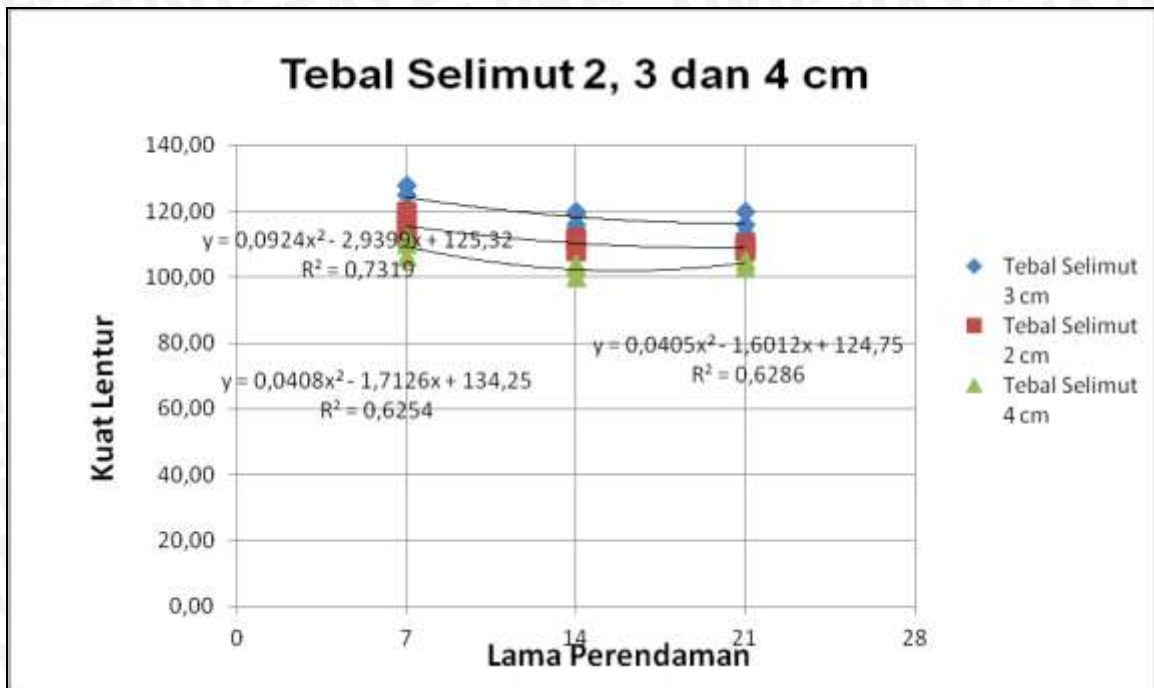
Gambar 4.16 Hubungan Kuat Lentur Dengan Lama Perendaman Pada Selimut 3 cm

Hubungan kuat lentur terhadap lama perendaman untuk tebal selimut 4 cm disajikan pada Gambar 4.17 tampak bahwa nilai $R^2 = 0,7319$, ini menyatakan bahwa variabel lama perendaman berpengaruh terhadap kuat lentur.



Gambar 4.17 Hubungan Kuat Lentur Dengan Lama Perendaman Pada Selimut 4 cm

Untuk mengetahui pengaruh tebal selimut terhadap kuat lentur, grafik pada Grafik 4.15, Grafik 4.16, Grafik 4.17 digabung sehingga didapatkan hubungan kuat lentur terhadap variasi tebal selimut dan variasi lama perendaman yang disajikan pada Grafik 4.18

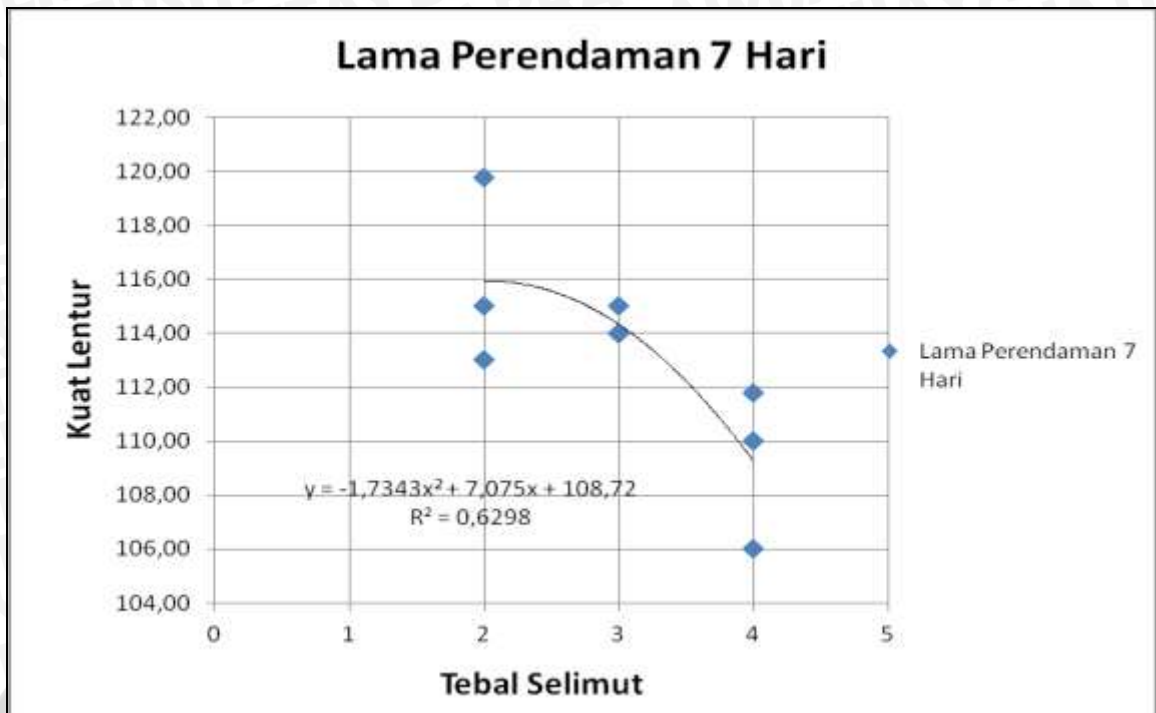


Gambar 4.18 Hubungan Kuat Lentur dan Tebal Selimut Dengan Variasi Lama Perendaman

Berdasarkan Gambar 4.18 dapat terlihat bahwa hasil pengujian kuat lentur balok dengan variasi tebal selimut balok bertulang memberikan pengaruh terhadap lentur balok. Dapat dilihat dari grafik secara keseluruhan bahwa semakin lama durasi perendaman berpengaruh pada semakin turunnya nilai kuat lentur balok

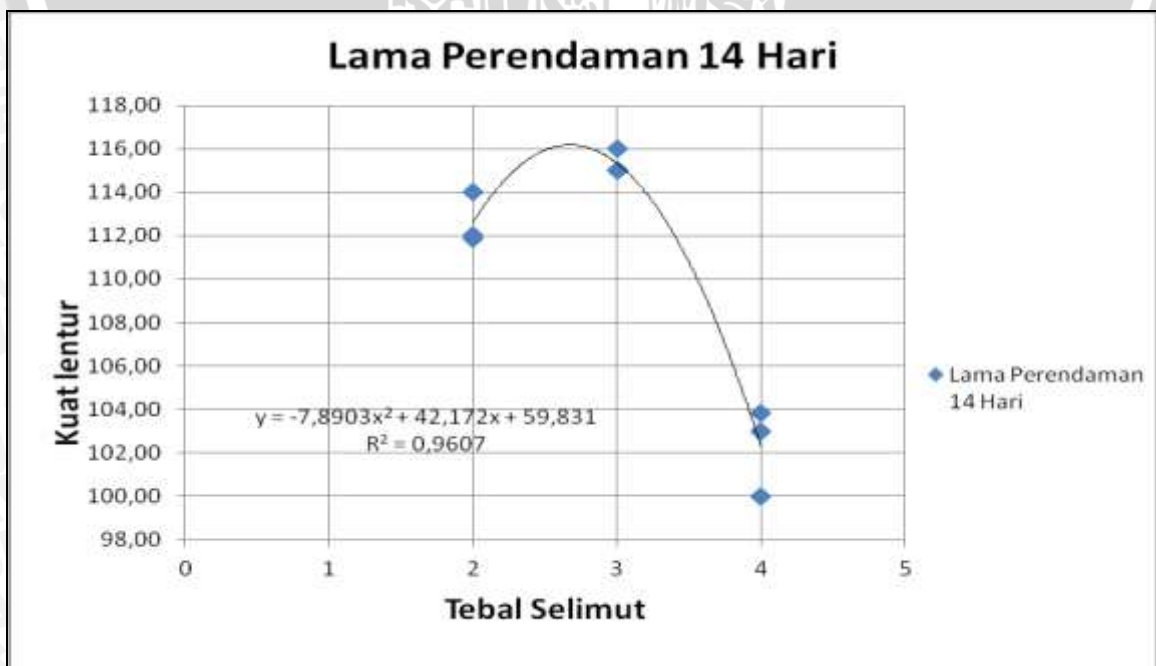
Hubungan kuat lentur pada balok terhadap lama perendaman pada tebal selimut disajikan pada Grafik 4.19- 4.22.

Pada Grafik 4.19 tampak bahwa nilai $R^2 = 0,6298$, ini menyatakan bahwa variabel lama perendaman terhadap tebal selimut berpengaruh terhadap kuat lentur. Pada grafik, semakin tebal selimut maka semakin kecil nilainya berarti terdapat pengaruh tebal selimut terhadap kuat lentur pada balok dengan lama perendaman 7 hari.



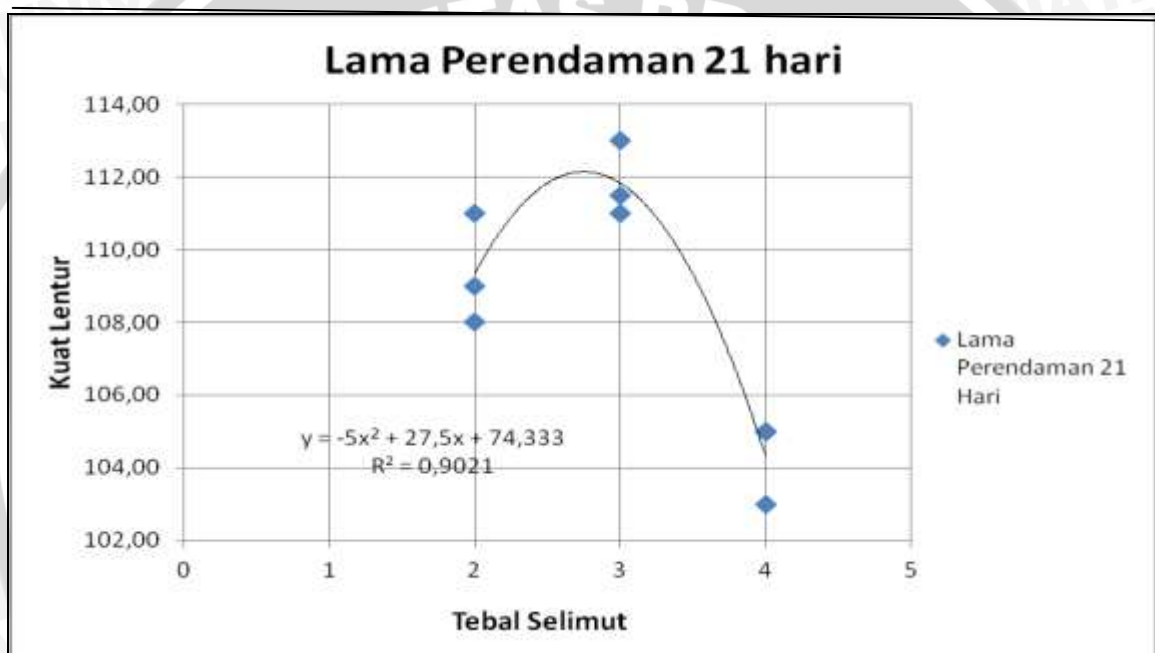
Gambar 4.19 Hubungan Kuat Lentur Dengan Tebal Selimut Pada Lama Perendaman 7 hari

Hubungan kuat lentur terhadap tebal selimut dengan lama perendaman 14 hari disajikan pada Gambar 4.20. tampak bahwa nilai $R^2 = 0,9607$, ini menyatakan bahwa variasi tebal selimut berpengaruh terhadap lama perendaman 14 hari.



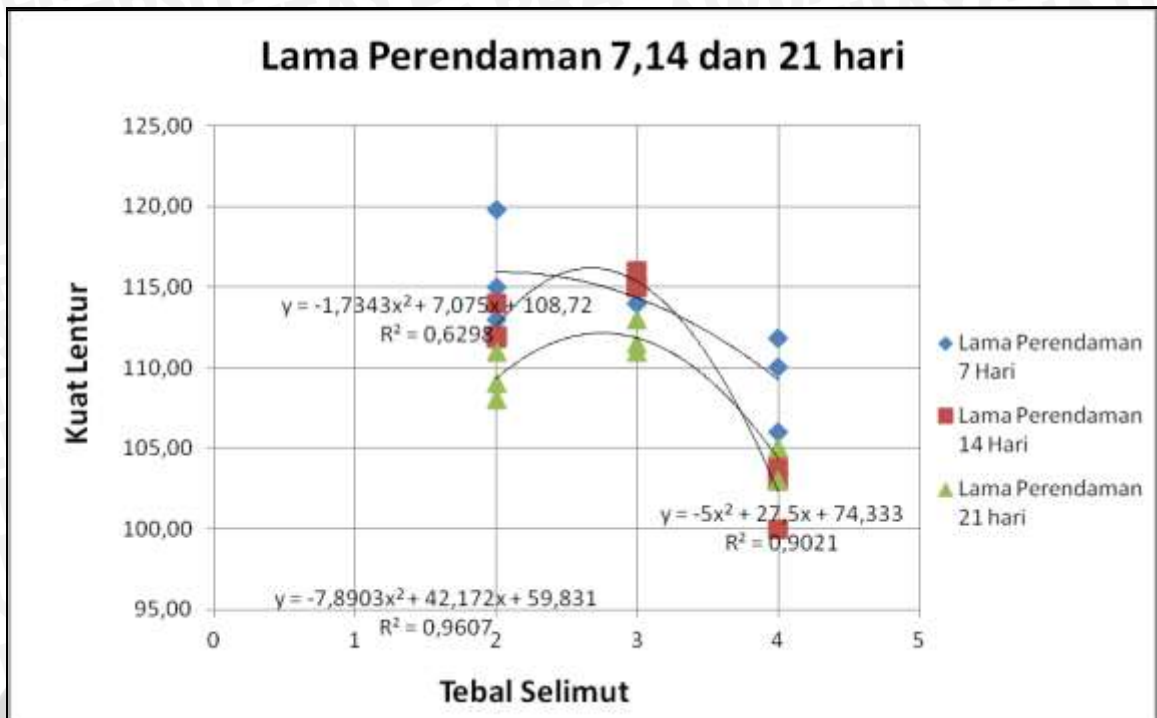
Gambar 4.20 Hubungan Kuat Lentur Dengan Tebal Selimut Pada Lama Perendaman 14 hari

Hubungan kuat lentur terhadap tebal selimut dengan lama perendaman 21 hari disajikan pada Gambar 4.21. tampak bahwa nilai $R^2 = 0,9021$, ini menyatakan bahwa variasi tebal selimut berpengaruh terhadap lama perendaman 21 hari, nilai grafik pada tebal selimut 4 cm pun menunjukkan penurunan daripada nilai grafik pada tebal selimut 4 cm pada lama perendaman yang berbeda.



Gambar 4.21 Hubungan Kuat Lentur Dengan Tebal Selimut Pada Lama Perendaman 21 hari

Untuk mengetahui pengaruh tebal selimut terhadap kuat lentur, grafik pada Grafik 4.19, Grafik 4.20, Grafik 4.21 digabung sehingga didapatkan hubungan kuat lentur terhadap variasi lama perendaman dan variasi tebal selimut yang disajikan pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Hubungan Kuat Lentur Dengan Variasi Lama Perendaman dan Tebal Selimut

Berdasarkan Gambar 4.22 dapat terlihat bahwa hasil pengujian kuat lentur balok dengan variasi lama perendaman bertulang memberikan pengaruh terhadap lentur balok. Dengan tebal selimut balok 2 cm, 3 cm dan 4 cm, terlihat semakin tebal selimut balok maka kuat lenturnya pun semakin kecil

4.11. Pembahasan Balok Bertulang Tanpa Pembebanan Awal

4.11.1. Pengaruh Variasi Tebal Selimut terhadap Kuat Lentur Balok

Dari hasil uji statistik dengan menggunakan ANOVA 2 arah maka diperoleh hasil bahwa $F_{hitung} > F_{Tabel}$, hal ini menunjukkan bahwa H_0 ditolak dan H_1 diterima yang artinya variasi tebal selimut berpengaruh terhadap nilai kuat lentur balok dengan resiko kesalahan 5 %..

Dari persamaan regresi diperoleh hasil sebagai berikut :

$$\text{Tebal Selimut 2 cm } y = 0,045x^2 - 1,6012x + 124,75$$

$$R^2 = 0,6286 \quad R = 0,793$$

$$\text{Tebal Selimut 3 cm } y = 0,0408x^2 - 1,7126x + 134,25$$

$$R^2 = 0,6254 \quad R = 0,79$$

$$\text{Tebal Selimut 4 cm } y = 0,0924x^2 - 2,9399x + 125,32$$

$$R^2 = 0,7319 \quad R = 0.856$$

Dengan :

x = Tebal Selimut (cm)

y = Nilai kuat lentur balok (kg/cm²)

Dari analisa regresi diatas dapat diketahui besarnya nilai koefisien determinasi (R^2) pada balok dengan tebal selimut 2 cm adalah 0,6286 yang artinya sebanyak 62.86 % nilai kuat lentur balok (variabel y) dipengaruhi oleh besarnya waktu perendaman balok di air laut (variabel x) sedangkan sisanya sebanyak 37.14 % nilai kuat lentur balok dipengaruhi oleh faktor-faktor yang lain. Demikian pula dengan nilai koefisien determinasi pada variasi perbandingan tebal selimut yang lainnya.

Koefisien determinasi (R^2) dan derajat keeratan hubungan variabel (R) yang paling tinggi yaitu pada balok dengan tebal selimut 4 cm. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada balok dengan dengan tebal selimut 4 cm memiliki tingkat keterandalan yang tinggi. Sedangkan nilai koefisien determinasi (R^2) dan koefisien korelasi (R) yang terkecil yaitu pada mortar dengan dengan tebal selimut 3 cm, sehingga dapat dikatakan bahwa pada balok dengan tebal selimut 3 cm memiliki tingkat keterandalan yang rendah.

4.11.2. Pengaruh Perbandingan Lama Perndaman terhadap Kuat Lentur Balok

Dari hasil uji statistik dengan menggunakan ANOVA 2 arah maka diperoleh hasil bahwa $F_{hitung} > F_{Tabel}$, hal ini menunjukkan bahwa H_0 ditolak dan H_1 diterima yang artinya variasi perbandingan spesi berpengaruh terhadap nilai kuat lentur balok dengan resiko kesalahan 5 %..

Dari persamaan regresi diperoleh hasil sebagai berikut :

$$\text{Lama Perendaman 7 Hari } y = -1,7343x^2 + 7,075x + 108,72$$

$$R^2 = 0,6298 \quad R = 0.793$$

$$\text{Lama Perendaman 14 Hari } y = -7,8903x^2 + 42,172x + 59,831$$

$$R^2 = 0,8006 \quad R = 0.895$$

$$\text{Lama Perendaman 21 Hari } y = -5x^2 + 27,5x + 74,333$$

$$R^2 = 0,9021 \quad R = 0.949$$

Dengan :

x = Perbandingan lama perendaman

y = Nilai kuat lentur balok (kg/cm^2)

Dari analisa regresi diatas dapat diketahui besarnya nilai koefisien determinasi (R^2) pada balok dengan lama perendaman 7 Hari adalah 0,6298 yang artinya sebanyak 62.98 % nilai kuat lentur balok (variabel y) dipengaruhi oleh besarnya perbandingan tebal selimut (variabel x) sedangkan sisanya sebanyak 37.02 % nilai kuat lentur balok dipengaruhi oleh faktor-faktor yang lain. Demikian pula dengan nilai koefisien determinasi pada variasi perbandingan lama perendaman yang lainnya.

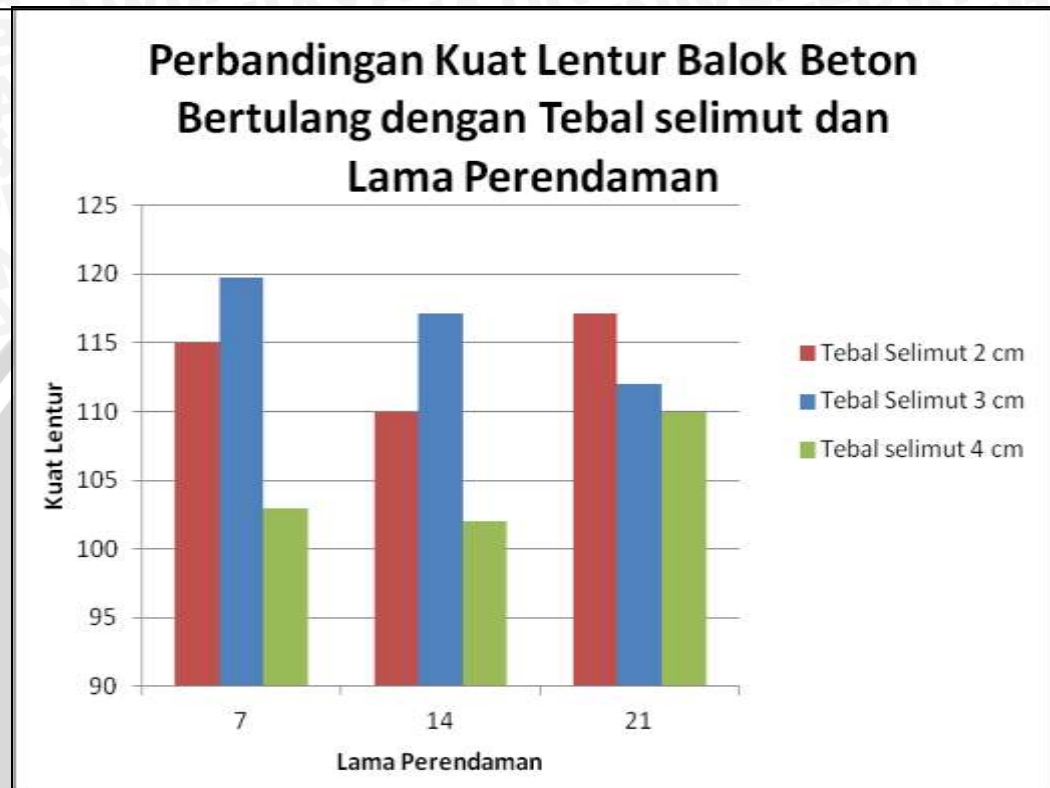
Koefisien determinasi (R^2) dan derajat keeratan hubungan variabel (R) yang paling tinggi yaitu pada balok dengan lama perendaman 21 hari. Sehingga dapat dikatakan bahwa pada balok dengan lama perendaman 21 hari memiliki tingkat keterandalan yang tinggi. Sedangkan nilai koefisien determinasi (R^2) dan koefisien korelasi (R) yang terkecil yaitu pada balok dengan lama perendaman 7 hari dengan nilai 0,6298, sehingga dapat dikatakan bahwa pada balok dengan lama perendaman 7 hari memiliki tingkat keterandalan yang rendah.

4.11.3. Hubungan Antara Waktu Perendaman dan Tebal selimut terhadap Nilai Kuat Lentur Balok

Dari nilai f hitung dapat disimpulkan bahwa variasi waktu perendaman balok di air laut dan variasi perbandingan tebal selimut tidak berpengaruh terhadap nilai kuat lentur balok. Dari hasil analisis varian dua arah diperoleh nilai F_{hitung} lebih kecil dari F_{Tabel} yaitu dengan nilai f hitung 0,9648 dengan nilai f tabel 2,9277 dapat diambil kesimpulan untuk menolak H_0 dan menerima H_1 . Berdasarkan Grafik 4.4 dapat terlihat bahwa pada hasil pengujian kuat lentur balok dengan variasi lama perndaman dan variasi tebal selimut, perbandingan lama perendaman di air laut dan tebal selimut di air laut memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kuat lentur. Balok dengan tebal selimut 2 cm memiliki nilai kuat lentur lebih tinggi dari pada balok dengan perbandingan tebal selimut 2 cm dan 3 cm. Selanjutnya setelah dilakukan

analisa regresi, pengujian tersebut memperlihatkan adanya pengaruh positif antara perbandingan tebal selimut dengan nilai kuat lentur.

Berdasarkan pada gambar 4.23, dapat digambarkan perbandingan nilai kuat lentur balok rata-rata antara tebal selimut dan lama perendaman



Gambar 4.23 Perbandingan Kuat Lentur Dengan Variasi Lama Perendaman dan Tebal Selimut

Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Kuat lentur Balok beton bertulang Berdasarkan Gambar 4.20, nilai kuat lentur balok beton bertulang secara rata-rata nilai kuat lentur keseluruhan signifikan mengalami penurunan. Nilai kuat lentur balok pada tebal selimut 2 cm diumur 7 dan 14 hari mengalami penurunan nilai dan nilai kuat lentur pada umur 21 hari mempunyai nilai lebih tinggi daripada nilai kuat lentur diumur 7 dan 14 hari yaitu dengan nilai rata-rata 117.

Nilai kuat lentur antara tebal selimut 2, 3 dan 4 juga menunjukkan penurunan nilai secara signifikan di umur 21 hari, yang berarti secara signifikan tebal selimut berpengaruh pada kuat lentur. Tetapi, pada umur perendaman 14 hari terjadi kenaikan pada tebal selimut 3 cm, dan diumur

perendaman 7 hari pun demikian pada tebal selimut 3 cm yang bernilai lebih besar daripada nilai di 2 cm

Nilai kuat lentur balok perendaman berumur 21 hari memiliki nilai kuat lentur rata-rata yang mengalami p dibandingkan dengan besaran nilai pada umur 14 hari. Tetapi dilama perendaman tersebut nilai kuat lentur di tiap tebal selimutnya signifikan turun.

Pada tebal selimut 4 cm juga ditemukan kenaikan nilai kuat lentur yang signifikan pada tiap lama perendaman daripada nilai tebal selimut lainnya, tetapi bila dirata-rata keseluruhan dari lama perendaman 7,14 dan 21 hari secara rata-rata mengalami penurunan.

Pada balok yang direndam air laut selama 7 hari dengan tebal selimut 2 cm didapat kuat lentur rata-rata 110 kg/cm^2 , sedangkan pada balok dengan tebal selimut 3 cm didapat kuat lentur rata-rata $117,128 \text{ kg/cm}^2$, dan pada balok dengan tebal selimut 4 cm didapat kuat lentur rata-rata 102 kg/cm^2 . Jika dibandingkan dengan kuat lentur rata-rata balok dengan perbandingan tebal selimut 2 cm maka balok dengan perbandingan tebal selimut 3 cm mengalami penurunan kuat lentur dengan selisih sebesar 16,41 %, sedangkan lentur balok dengan tebal selimut 3 cm jika dibandingkan dengan kuat tekan rata-rata balok dengan perbandingan tebal selimut 4 cm mengalami penurunan kuat lentur sebesar 7,6 %. Dan selisih nilai rata-rataa keseluruhan dari nilai kuat lentur pada umur 14 hari adalah 14,625 %

Pada balok yang direndam air laut selama 14 hari dengan tebal selimut 2 cm didapat kuat lentur rata-rata 115 kg/cm^2 , sedangkan pada balok dengan tebal selimut 3 cm didapat kuat lentur rata-rata $119,79 \text{ kg/cm}^2$, dan pada balok dengan tebal selimut 4 cm didapat kuat lentur rata-rata 103 kg/cm^2 . Jika dibandingkan dengan kuat lentur rata-rata balok dengan perbandingan tebal selimut 2 cm maka balok dengan perbandingan tebal selimut 3 cm mengalami kenaikan kuat lentur dengan selisih sebesar 12,18 %, sedangkan lentur balok dengan tebal selimut 3 cm jika dibandingkan dengan kuat tekan rata-rata balok dengan perbandingan tebal selimut 4 cm mengalami penurunan kuat lentur sebesar 22,18 %. Dan selisih nilai rata-rataa keseluruhan dari nilai kuat lentur pada umur 14 hari adalah 7,2 %

Pada balok yang direndam air laut selama 21 hari dengan tebal selimut 2 cm didapat kuat lentur rata-rata $117,128 \text{ kg/cm}^2$, sedangkan pada

balok dengan tebal selimut 3 cm didapat kuat lentur rata-rata 112 kg/cm^2 , dan pada balok dengan tebal selimut 4 cm didapat kuat lentur rata-rata 110 kg/cm^2 . Jika dibandingkan dengan kuat lentur rata-rata balok dengan perbandingan tebal selimut 2 cm maka balok dengan perbandingan tebal selimut 3 cm mengalami kenaikan kuat lentur dengan selisih sebesar 20.42 %, sedangkan lentur balok dengan tebal selimut 3 cm jika dibandingkan dengan kuat tekan rata-rata balok dengan perbandingan tebal selimut 4 cm mengalami penurunan kuat lentur sebesar 2,1 %%. Dan selisih dari nilai kuat lentur pada umur 21 hari adalah 1,3 %

Dari hasil ini dapat terlihat bahwa faktor lama perendaman memberikan pengaruh terhadap penurunan kuat lentur yang tidak terlalu besar.. Hal ini disebabkan intrusi air laut tidak dapat masuk secara sempurna karena durasi waktu perendaman di laboratorium yang singkat. Sehingga, kandungan garam yang tinggi dari air laut tidak masuk sempurna pada pori-pori balok beton bertulang. Sehingga, dapat disimpulkan dalam penelitian ini, bahwa durasi lama perendaman balok dalam air laut tidak terlalu mempengaruhi kuat lentur balok, dikarenakan durasi lama perendaman yang singkat menyebabkan air laut tidak dapat masuk secara maksimal pada selimut dan tidak mencapai tulangan secara penuh, sehingga tidak secara maksimal mempengaruhi tulangan dan menyebabkan korosi

Sedangkan faktor tebal selimut di air laut cukup memberikan pengaruh yang signifikan terhadap penurunan kuat lentur balok. Kerusakan dapat terjadi akibat reaksi antara air laut yang terpenetrasi kedalam balok pada selimut penyelubung balok, sehingga mengakibatkan selimut balok beraksi dengan garam dan menggerogoti selimut selubung balok, bahkan garam yang ada cenderung mengkristal di selimut beton, yang dapat mempengaruhi kuat lekat beton, sehingga beton dapat dengan mudah mengalami proses crack/retak. Yang kemudian dapat menyebabkan kehilangan kemampuan untuk menyelubungi balok secara maksimal.

Dan dari data-data perbandingan rata-rata kuat lentur dapat terlihat bahwa kapasitas balok dalam memikul beban ada yang mengalami penurunan seiring semakin besarnya perbandingan tebal selimut, tetapi ada pula yang tidak mengalami penurunan secara langsung.

Dari hasil tersebut mungkin diakibatkan kesalahan ketika pencampuran/mix design, pembacaan dial atau perlakuan pada balok yang mungkin ada tidak kesesuaian.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa yang diuraikan pada bab sebelumnya, maka dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari Hasil Penelitaian untuk Balok Beton Bertulang dengan Pembebanan awal:

- a). Dari hasil analisis statistik dapat disimpulkan variasi tebal selimut menunjukkan adanya pengaruh signifikan terhadap kuat lentur balok, semakin besar tebal selimut maka semakin kecil nilai kuat lentur pada balok
- b). Variasi waktu perendaman di air laut menunjukkan adanya pengaruh terhadap kuat lentur balok, semakin lama waktu perendaman balok di air laut maka nilai kuat lenturnya juga semakin kecil
- c). Tidak ada pengaruh yang signifikan antara hubungan tebal selimut dan lama perendaman

2. Dari Hasil Penelitaian untuk Balok Beton Bertulang tanpa Pembebanan awal:

- a). Dari hasil analisis statistik dapat disimpulkan variasi tebal selimut menunjukkan adanya pengaruh signifikan terhadap kuat lentur balok, karena semakin besar tebal selimut maka semakin kecil nilai kuat lentur pada balok
- b). Variasi waktu perendaman di air laut menunjukkan tidak adanya pengaruh yang nyata terhadap kuat lentur balok, karena semakin

lama waktu perendaman balok di air laut maka nilai kuat lenturnya juga semakin kecil

- c). Tidak ada pengaruh yang signifikan antara hubungan tebal selimut dan lama perendaman

5.2 Saran

Skripsi masih belum sempurna sehingga perlu adanya beberapa perbaikan metode saat penelitian sebagai berikut:

1. Hendaknya perendaman balok dilakukan secara langsung di laut, karena perbedaan suhu, PH antara air laut yang dibawa ke laboratorium dan di laut berbeda
2. Hendaknya gunakan pewarna cair pada pencampuran air laut untuk penelitian sehingga air laut lebih mudah masuk.
3. Sebaiknya perendaman benda uji dilakukan langsung dilaut, dikarenakan agar kita dapat melihat pula pengaruh ombak dan pergerakan air laut
4. Perlu diteliti lebih lanjut mengenai pengaruh kedalaman bak rendaman terhadap kuat lentur air laut
5. Perlu diteliti lebih lanjut mengenai permeabilitas balok beton bertulang terhadap tebal selimut
6. Dalam pembuatan benda uji sebaiknya dibuat dalam jumlah yang lebih banyak sehingga jika ada benda uji yang tidak terlalu baik hasilnya dapat dibuang dan diganti benda uji lain.
7. Perlu diteliti lebih lanjut mengenai pengaruh lama perendaman diatas 30 hari terhadap kuat lentur.



UNIVERSITAS BRAWIJAYA

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim1, 1982. Persyaratan Umum Bahan Bangunan Indonesia 1982 (PUBI-1982). Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman. Balitbang Dep. PU**
- Anonim2, 1989. Spesifikasi Bahan Bangunan A (Bahan Bangunan Bukan Logam) (SK SNI S-04-1989-F). Bandung**
- Anonim3, 1971. Peraturan Beton Bertulang Indonesia. Bandung : Departemen Pekerjaan Umum dan Tenaga Listrik.**
- Anonim4, 2004. Semen Portland (SNI 15-2049-2004). Jakarta : Badan Standarisasi Nasional**
- Anonim5, 2011. Kamus Besar Bahasa Indonesia. (Online), (<http://www.ilmusipil.com/tebal-selimut-%C5wln-bangunan-air-laut>, diakses 20 Juni 2011)**
- Anonim6, 1983. Pengujian Bahan. Bandung : PEDC**
- Anonim7, 1988, Annual Book of American Society of Testing and Materials Standard (ASTM), Philadelpia.**
- Amri, Sjafei. 2005. Teknologi Beton A-Z. Jakarta: Yayasan John Hi-Tech Idetama.**

- Dipohusodo, Istimawan. 1994. *Struktur Beton Bertulang*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- Mulyono, Tri. 2004. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : ANDI
- Neville, A. M., 1975, *Properties of Concrete*, The English Language Book Society and Pitman Publishing, London.
- Nugraha, Paulus, 1989, *Teknologi Beton*, Universitas Kristen Petra, Surabaya.
- Purwanto, Agus, 2003, *Korosi Baja Tulangan Serta Penggunaan Aditif Untuk Proteksinya*, Jurnal Gema Teknik, nomor 1, tahun VI, Januari, Surakarta.
- Rooseno, Prof. Dr, 1954, *Beton Bertulang*, Turagung, Jakarta.
- Suharlinah, Lien & Sonjaya, Hadi Gunawan. 2009. *Pengaruh Penggunaan Fly Ash dan Mikrosilika terhadap Korosifitas Beton Jembatan*. Kolokium Hasil Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan TA.
- Tjokrodimoeljo, K. 1996. *Teknologi Beton*. Yogyakarta : Nafiri
- Trethewey, Kenneth R. & Chamberlain, John, (alih bahasa : Alex Tri Kantjono Widodo), 1991, *Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa*, PT Gramedia, Jakarta.
- Wibowo, Gunawan. 2009. *Pengaruh Korosi Baja Tulangan Terhadap kuat geser Balok*. Jurnal Jurusan Teknik Sipil FT- Universitas Sebelas Maret Surakarta.
- Wicaksono, Agung & Faizirin, Fauzan. 2009. *Pengaruh Air Laut pada Perawatan (Curing) Beton Terhadap Kuat Tekan dan Absorpsi Beton dengan Variasi Fas dan Durasi Perawatan*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya
- Winter, G dan Nilson, A H. 2003. *Perncaanaan Struktur Beton Bertulang*. Terjemahan oleh Besari, M.S., Mangkoesobroto, S.P., dan Suprobo, P. 1993. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Wiryasa, Ngk. Md. Anom, Giri, I.B. Dharma & Muliarta, I Dewa Gede. 2006. *Pengaruh Nacl dan MgSO4 Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik Belah Batu Padas Buatan*. (Online), (<http://www.google.com>, diakses 10 Mei 2011)

