

Degradasi Kekuatan Beton Akibat Intrusi Mikroorganismen

Hanafi Ashad¹⁾
Amrinsyah Nasution²⁾
Iswandi Imran²⁾
Saptahari Soegiri²⁾

Abstrak

Makalah ini merupakan hasil studi eksperimental perilaku degradasi kekuatan beton di bawah kondisi intrusif mikroorganismen. Media intrusi yang digunakan berupa air kelapa dengan proses fermentasi alamiah. Produksi dominan mikroorganismen dengan media ini adalah dari golongan jamur dan ragi. Mikroorganismen dapat berkembang di dalam beton karena tersedianya nutrisi berupa kapur bebas dari hasil sampingan proses reaksi. Mikroorganismen dalam aktivitasnya memproduksi asam sulfur (H_2SO_4) yang jika bereaksi dengan kalsium hidroksida ($CaOH$), dapat berakibat degradasi/penurunan kekuatan beton. Hasil penelitian menunjukkan beton mutu rendah lebih sensitif terhadap degradasi kekuatan akibat intrusi mikroorganismen. Degradasi kekuatan beton dalam interval waktu dua tahun dapat mencapai kehilangan kekuatan sampai 60% untuk $f_c' = 25$ MPa, 50% untuk $f_c' = 40$ MPa, dan sampai 33% untuk $f_c' = 60$ MPa.

Kata-kata Kunci : Degradasi beton, intrusi mikroorganismen, jamur, ragi, koloni mikroorganismen.

Abstract

This paper presents the experimental study on concrete strength degradation under intrusive of microorganism. The intrusion media of coconut water with natural fermentation process produces microorganism with dominant elements are *aspergillus niger* and *sacchromycode ludwigi*. The microorganism may be well spread in concrete due to nutrition such as free lime from reaction process. The microorganism in its present in concrete produces sulfuric acid (H_2SO_4) and its reaction with calcium hydroxide ($CaOH$) causes strength reduction in concrete. Experimental result shows that for concrete of minimum strength, its strength degradation is more sensitive due to intrusion microorganism. The degradation in strength concrete may be of range 60% for concrete strength $f_c' = 25$ MPa, 50% for $f_c' = 40$ MPa, and 33% for $f_c' = 60$ MPa.

Keyword : Concrete degradation, intrusion of microorganism, *aspergillus niger*, *sacchromycodes ludwigi*, *coloni of microorganism*

1. Pendahuluan

Berbagai bentuk mikroorganismen ditemukan di alam yang pada umumnya berinteraksi dengan bahan anorganik. Seperti halnya bentuk kehidupan pada umumnya, hasil sampingan dari aktifitas mikroorganismen dapat merubah keadaan lingkungan di sekitarnya. Hal ini telah dibuktikan oleh beberapa peneliti, terutama dalam kasus spesies *thiobacillus*. Dua turunan dari spesies ini yaitu *thiobacillus thiooxidans* yang mengoksidasi sulfur sebagai bagian dari siklus metabolik, dan *thiobacillus ferrooxidans* yang mengoksidasi besi.

Covino (1999), mengemukakan bahwa pengaruh bakteri terhadap degradasi beton, belum diketahui secara pasti. Namun secara umum organismen yang bersifat asam, sangat mungkin menyebabkan kerusakan di dalam beton.

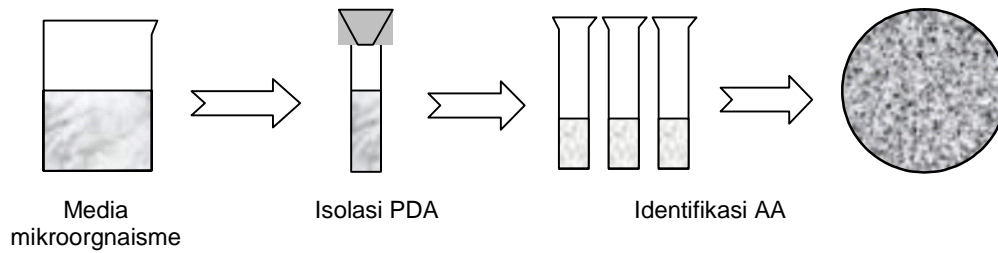
Islander (1999), berkesimpulan bahwa zat asam yang bereaksi dengan kalsium hidroksida, dapat menghancurkan beton.

Muethel (2001), mengemukakan bahwa kehadiran bio-organismen di dalam beton akan menyebabkan deteriorisasi prematur. Hal ini diindikasikan oleh penurunan pH secara signifikan pada beton normal akibat karbonasi dan intrusi air tanah. Kondisi lingkungan lokal seperti ini sangat memungkinkan

1. Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia, Makassar

2. Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung

Catatan : Usulan makalah dikirimkan pada 29 Mei 2006 dan dinilai oleh peer reviewer pada tanggal 02 Juni 2006 - 07 Agustus 2006. Revisi penulisan dilakukan antara tanggal 08 Agustus 2006 hingga 30 Agustus 2006.



Gambar 1. Isolasi dan identifikasi mikroorganisme

bagi mikroorganisme untuk hidup dan aktif di dalam beton.

Salah satu ciri pertumbuhan mikroorganisme adalah bau yang tidak sedap dan umumnya memiliki nilai pH yang berubah-ubah seiring dengan proses pertumbuhannya.

Setiap mikroorganisme membutuhkan nutrisi sebagai sumber energi dan asektor elektron dalam reaksi bioenerjik. Sumber energi bagi mikroorganisme di dalam beton antara lain; air, magnesium, besi, dan senyawa karbon dioksida. Kecukupan unsur-unsur ini sebagai sumber energi bagi pertumbuhan mikroorganisme, tergantung dari material pembentuk beton.

Pada taraf konsentrasi dan pH tertentu, intrusi mikroorganisme ke dalam beton cenderung berdampak serius terhadap kinerja struktur beton disekitarnya. Selain itu akan berdampak pula terhadap aspek-aspek lainnya, seperti; aspek sosial, ekonomi maupun aspek pembangunan secara menyeluruh.

Salah satu contoh dari kejadian ini adalah degradasi komponen struktur beton pada bangunan gedung-gedung pasar di beberapa daerah, khususnya komponen struktur beton disekitar blok barang-barang campuran terutama yang bersentuhan langsung dengan buangan air kelapa.

Berkaitan dengan hal tersebut di atas, sejauh ini belum ditemukan publikasi hasil-hasil penelitian yang menunjukkan bahwa mikroorganisme dapat hidup dan aktif di dalam beton.

2. Program Eksperimental

2.1 Media intrusi

Media intrusi yang digunakan adalah air kelapa dengan fermentasi secara alamiah. Media ini dianggap cukup representatif bagi pertumbuhan mikroorganisme.

Pertama-tama media diisolasi dengan menggunakan *Potato Dextrose Agar (PDA)*. Selanjutnya identifikasi mikroorganisme menggunakan *Acetobacter Agar (AA)*.

Dalam kondisi terisolir, jumlah koloni mikroorganisme dan pH medium dipantau setiap enam jam sekali. Pemantauan ini dilakukan hingga pertumbuhan mikroorganisme memasuki fase kematian.

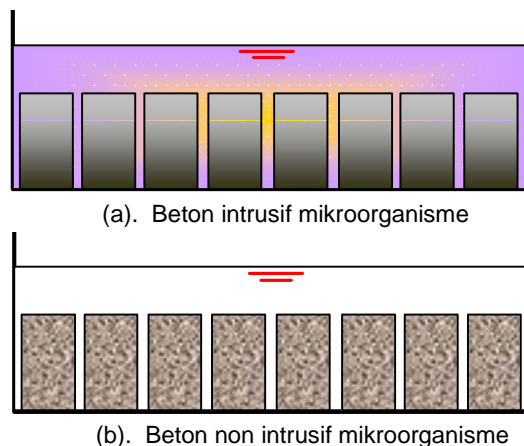
2.2 Spesifikasi benda uji

Benda uji beton berbentuk silinder berdiameter 100 mm, tinggi 200 mm. Benda uji ini dibuat dalam 3 (tiga) jenis kuat tekan yaitu; $f_c' = 25$ MPa, $f_c' = 40$ MPa, dan $f_c' = 60$ MPa.

Keseluruhan benda uji beton diberikan perlakuan dalam dua kondisi, yaitu kondisi intrusif dan non intrusif mikroorganisme (**Gambar 2**).

Penamaan benda uji didasarkan atas kondisi perlakuan dan mutu beton, yaitu :

- (i) BNI25 : Beton non-intrusif mikroorganisme dengan $f_c' = 25$ MPa.
- (ii) BNI40 : Beton non-intrusif mikroorganisme dengan $f_c' = 40$ MPa.
- (iii) BNI60 : Beton non-intrusif mikroorganisme untuk $f_c' = 60$ MPa.
- (iv) BI25 : Beton intrusif mikroorganisme dengan $f_c' = 25$ MPa.
- (v) BI40 : Beton intrusif mikroorganisme dengan $f_c' = 40$ MPa.
- (vi) BI60 : Beton intrusif mikroorganisme dengan $f_c' = 60$ MPa.



Gambar 2. Model perlakuan benda uji beton

2.3 Parameter-parameter pengujian

Untuk mengetahui gambaran umum perilaku degradasi kekuatan beton di bawah kondisi intrusif mikroorganisme, parameter penting yang ditetapkan dalam penelitian adalah kuat tekan (f_c') dan kedalaman intrusi (D).

Parameter kuat tekan (f_c') meliputi beton mutu normal ($f_c' = 25$ MPa), mutu transisi ($f_c' = 40$ MPa) dan mutu tinggi ($f_c' = 60$ MPa). Sedangkan parameter kedalaman intrusi (D) ditetapkan antara 0 – 2,5 cm dan 2,5 – 5,0 cm.

Pada kedalaman intrusi (D) dan mutu beton (f_c') tertentu, akan menggambarkan perilaku degradasi kekuatan beton intrusif mikroorganisme dalam fungsi waktu (t) dan total koloni mikroorganisme (C). Data pendukung lainnya yang dihimpun adalah pH, temperatur, dan kelembaban.

2.4 Metode pengujian dan pengukuran

Pengukuran pertumbuhan mikroorganisme dilakukan dengan metode hitungan cawan. Prinsip dari metode ini adalah sel mikroba yang masih hidup ditumbuhkan pada medium sedemikian sehingga mikroba tersebut akan berkembang biak dan membentuk koloni yang dapat dilihat langsung dan dihitung tanpa menggunakan mikroskop.

Jumlah koloni mikroorganisme dihitung berdasarkan *Standard Plate Count* (SPC). Metode ini cukup sensitif karena hanya sel mikroorganisme yang hidup yang dapat dihitung. Selain itu beberapa sel yang berdekatan dapat dihitung sekaligus sebagai suatu koloni.

Pengujian kuat tekan beton secara uniaksial dengan alat uji *Universal Testing Machine*. Standar uji mengikuti ASTM C39-86.

Bersamaan dengan uji kuat tekan, jumlah koloni mikroorganisme (C) di dalam beton diukur pada setiap kedalaman (D) = 0 – 2,5 cm dan 2,5 – 5,0 cm. Benda uji berupa serbuk beton diperoleh dengan cara pengeboran pada kedalaman tersebut.

Batas kedalaman maksimal 5 cm dipilih atas pertimbangan bahwa apabila pada kedalaman ini masih terindikasi adanya pertumbuhan mikroorganisme, maka kemungkinan akan terjadi dampak intrusi pada komponen tulangan.

Untuk mengetahui perubahan-perubahan fisik seiring dengan perubahan sifat mekanik, setiap pengujian kuat tekan beton (f_c') dan pengukuran jumlah koloni mikroorganisme (C), dilakukan pula pengukuran pH beton dan temperatur (T) serta kelembaban (H).

Parameter-parameter tersebut di atas diuji dan diukur dalam setiap waktu (t) tertentu, baik dalam kondisi intrusif maupun non intrusif mikroorganisme.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Komposisi kimia media intrusi

Unsur-unsur kimia yang terkandung dalam media, secara umum merupakan sumber energi potensial bagi pertumbuhan mikroorganisme (Tabel 1).

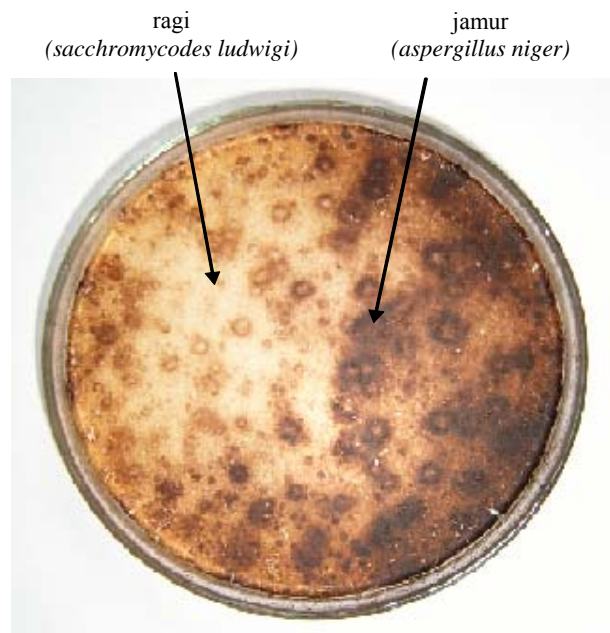
3.2 Identifikasi dan analisis pertumbuhan mikroorganisme

Gambar 3 menunjukkan hasil identifikasi mikroorganisme yang terbentuk di dalam media yaitu golongan jamur (*aspergillus niger*) dan ragi (*sacchromyces ludwigi*).

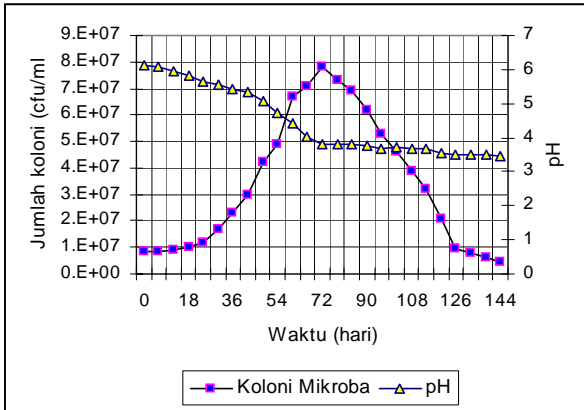
Gambar 4 menunjukkan bahwa puncak pertumbuhan mikroorganisme terjadi pada saat umur medium 72 hari dengan jumlah koloni sebesar $7.80E+07$ cfu/ml. Pada fase ini mikroorganisme memiliki waktu generasi selama 22.42 jam dengan nilai pH 3.8 – 6.1.

Tabel 1. Komposisi kimia media intrusi

Komponen	%
Air	95.50
Gula total	2.08
Kalium oksida	0.69
Mineral	0.62
Asam fosfat	0.56
Zat besi	0.50
Nitrogen	0.05



Gambar 3. Identifikasi mikroorganisme



Gambar 4. Kurva pertumbuhan mikroorganisme

Memasuki fase kematian, nilai pH hampir konstan yaitu berkisar antara 3.5 – 3.8. Kondisi ini mengindikasikan bahwa meskipun mikroorganisme telah memasuki fase kematian, dampak intrusi mikroorganisme terhadap degradasi kekuatan beton tetap memungkinkan akan terjadi.

3.3 Perilaku mikroorganisme di dalam beton

Secara umum, mikroorganisme dalam aktifitasnya dapat memproduksi zat-zat asam. Hal ini melalui proses dispersi sumber-sumber energi yang tersedia sebelum dikonsumsi. Sumber-sumber energi yang dimaksud antara lain; sulfur, besi, dan karbon organik. Dalam proses dispersi, secara teoritik sulfur dioksidasi sedemikian sehingga menjadi asam sulfur. Asam ini berpotensi menghancurkan beton jika bereaksi dengan kalsium hidroksida.

Gambar 10 menunjukkan bahwa pada kedalaman (D) 0 – 2,5 cm, jumlah koloni mikroorganisme terbesar terdapat pada beton mutu rendah (BI25) yaitu 1,1E+05 cfu/gr dengan lama intrusi 180 hari. Hal yang sama terjadi pada kedalaman (D) 2,5 – 5,0 cm, yaitu sebesar 1,7E+04 cfu/gr dengan lama intrusi 210 hari (Gambar 11). Hal ini menunjukkan bahwa beton mutu rendah memiliki sifat yang lebih mudah terintrusi oleh mikroorganisme dibandingkan dengan beton mutu tinggi, karena beton mutu rendah relatif memiliki pori yang lebih besar dan ketersediaan sumber energi yang cukup bagi pertumbuhan mikroorganisme. Sumber energi ini berupa kapur bebas (*free lime*) sebagai hasil sampingan dari proses pengerasan beton.

Dengan demikian laju pertumbuhan mikroorganisme di dalam beton dipengaruhi oleh dua faktor yaitu faktor kimiawi dan faktor fisika. Faktor kimiawi terkait dengan nutrisi mikroorganisme yang bersumber dari hasil sampingan proses kimiawi material beton. Sedangkan faktor fisika lebih ke arah struktur pori beton.

3.4 Prediksi kekuatan beton

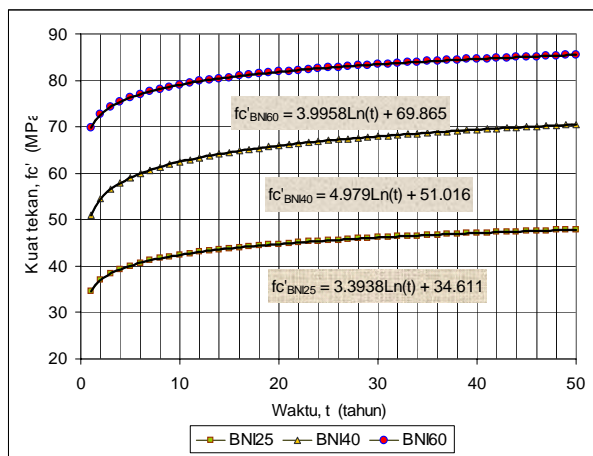
Secara umum, beton mutu rendah lebih sensitif terhadap intrusi mikroorganisme. Hal ini dimungkinkan karena pori beton mutu rendah relatif lebih besar dibandingkan dengan pori beton mutu tinggi. Akibatnya mikroorganisme dapat berkembang karena udara di dalam pori tersebut sebagai sumber energi. Di samping itu kemampuan mikroorganisme untuk bertahan hidup lebih lama di dalam beton, sangat tergantung pada kecukupan nutrisi berupa kapur bebas di dalam beton.

Berdasarkan data kuat tekan uniaksial, persamaan kekuatan beton non-intrusif mikroorganisme cenderung mengikuti bentuk persamaan logaritmik (Gambar 5). Sedangkan persamaan kekuatan beton intrusif mikroorganisme mengikuti bentuk eksponensial (Gambar 6).

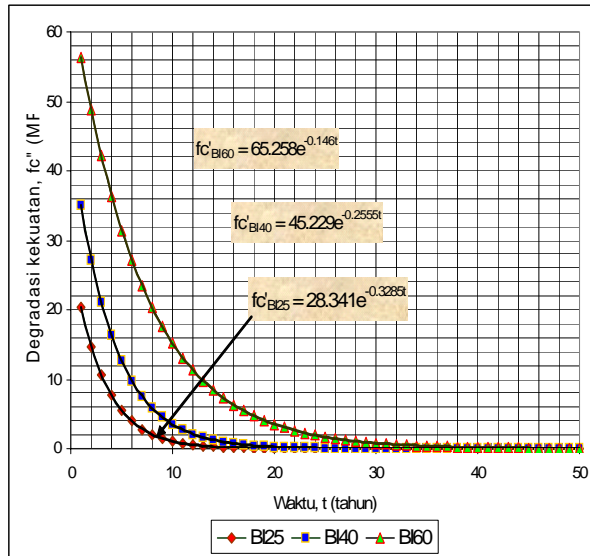
- ↳ Untuk $f_c' = 25$ MPa
 - $f_c'_{BNI25} = 3.3938 \ln(t) + 34.611$ (a)
 - $f_c'_{BI25} = 28.341e^{-0.3285 t}$ (b)
- ↳ Untuk $f_c' = 40$ MPa
 - $f_c'_{BNI40} = 4.979 \ln(t) + 51.016$ (c)
 - $f_c'_{BI40} = 45.229e^{-0.2555 t}$ (d)
- ↳ Untuk $f_c' = 60$ MPa
 - $f_c'_{BNI60} = 3.9958 \ln(t) + 69.865$ (e)
 - $f_c'_{BI60} = 65.285e^{-0.146 t}$ (f)

Hal mana t adalah lama waktu intrusi yang dinyatakan dalam tahun.

Persamaan (b), (d), dan (f), menunjukkan bahwa jika beton terintrusi mikroorganisme berlangsung selama waktu (t) dua tahun, akan terjadi degradasi kekuatan sebesar 60% untuk BI25, 50% untuk BI40, dan 33% untuk BI60.



Gambar 5. Prediksi kuat tekan beton nonintrusif mikroorganisme



Gambar 6. Prediksi kuat tekan beton intrusif mikroorganisme

4. Kesimpulan

Berdasarkan fenomena dan hasil analisis, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

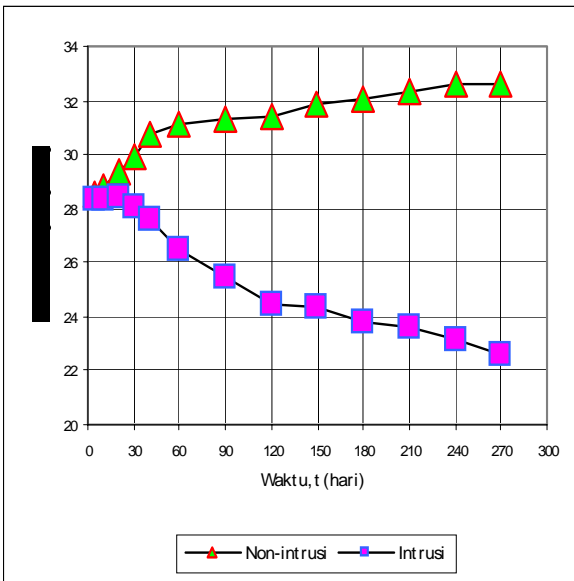
1. Intrusi mikroorganisme ke dalam beton berdampak serius terhadap degradasi kekuatan beton.
2. Beton mutu rendah lebih sensitif terhadap dampak intrusi mikroorganisme.
3. Hasil uji kekuatan beton menunjukkan bahwa untuk waktu dua tahun, dampak intrusi mikroorganisme terhadap degradasi kuat tekan adalah sebesar 60% untuk BI25, 50% untuk BI40, dan 33% untuk BI60.
4. Meskipun mikroorganisme telah memasuki fase kematian, dampak intrusi masih menunjukkan degradasi kekuatan beton secara signifikan.

Makalah ini adalah bagian dari penelitian lanjut untuk menemukan usaha pencegahan degradasi kekuatan beton akibat intrusi mikroorganisme, dengan penelitian :

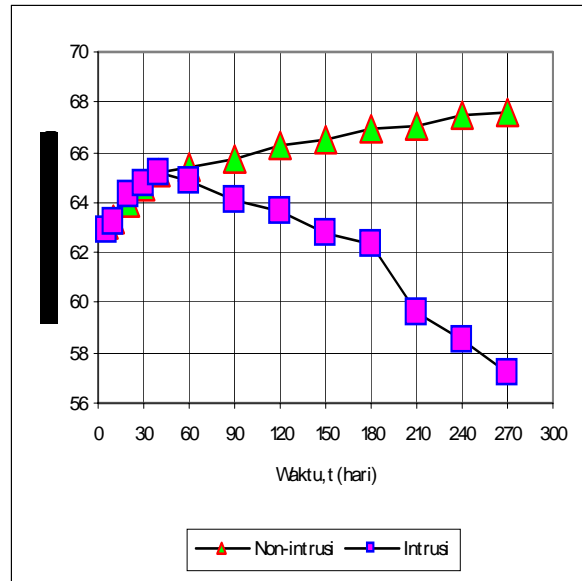
1. Penggunaan bahan tambah (*mineral admixture*) yang berpotensi menghambat laju intrusi mikroorganisme ke dalam pori beton.
2. Penggunaan proposi campuran sedemikian sehingga hasil sampingan dari proses pembentukan beton tidak potensial menjadi sumber energi bagi pertumbuhan mikroorganisme.

Daftar Pustaka

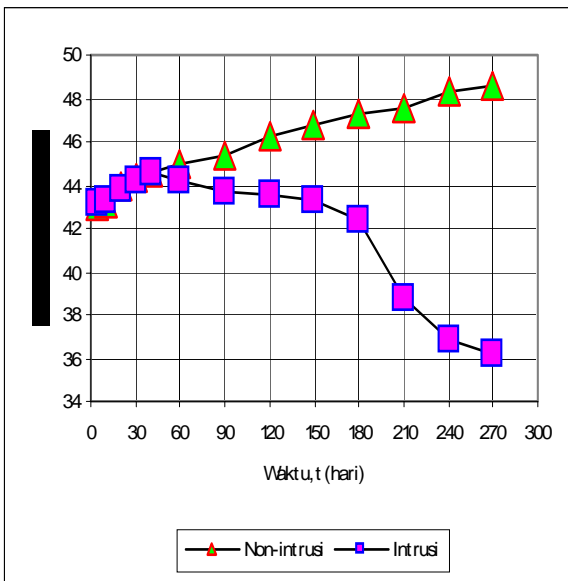
- Brandt, A. M., 1995, "Cement Based Composites : Materials, Mechanical Properties and Performance", E & FN Spon, London, U. K.
- Hu, J., 2004, "Porosity of Concrete", Morphological Study of Model Concrete, PhD Thesis, Faculty of Civil Engineering and Geosciences, Delft University of Technology, Optima Grafische Communicatie.
- Mechelen, V. A.C.A., and Polder, R.B., 1990, "Degradation of Concrete In Sewer Environment By Biogenic Sulfuric Acid Attack", Microbiology in Civil Engineering, FEMS Symposium No. 59, 146-157.
- Mehta, P. K., and Monteiro, P. J. M., 2001, "Concrete Microstructure, Properties and Materials", http://pcc2340.pcc.usp.br/2004/Publica/CONCRETE-microstructure_properties_and_materials.
- Sagiüs, A. A., and Kranc, A. C., 2001, "Corrosion Forecasting For 75-Year Durability Design of Reinforced Concrete", Final Report to Florida Department of Transportation, Departemen of Civil and Environmental Engineering University of South Florida.
- Sato, N., Ogane, Y., Syouya, M., Sugita, S., and Higa, T., 2004, "Investigation on Concrete Rust Preventive Agents Using Micro-organism", The First International Conference of Asian Concrete Federation (ACF), Chiang May, October 28-29, 625-633 .
- Siddique, R., 2000, "Special Structural Concretes", Galgotia, New Delhi, India.
- Sutter, L. L., and Van. D. T., 2003, "Preliminary Investigation of the Role of Bacteria in Concrete Degradation", <http://www.tech.mtu.edu/llsutter/pdf/BUGSsum.pdf>.
- Waluyo, L., 2005, "Mikrobiologi Umum", UMM Press, Malang.
- Webster, J. B., and Newman, C. R., 1994, "Producing Rapid Sulfate-Reducing Bacteria (SRB)-Influenced Corrosion in the Laboratory", Microbiologically Influenced Corrosion Testing, ASTM, Philadelphia.



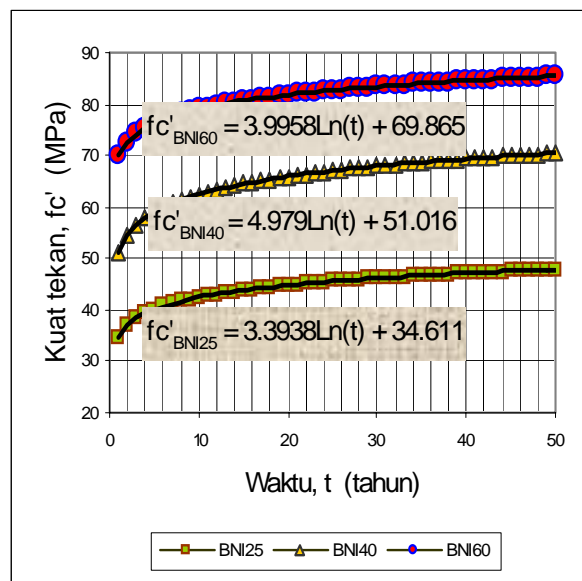
Gambar 7. Grafik kuat tekan beton $f_c' = 25$ MPa



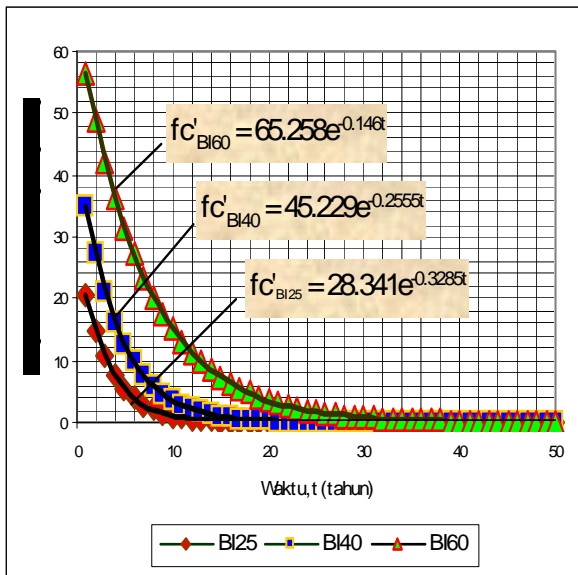
Gambar 9. Grafik kuat tekan beton $f_c' = 60$ MPa



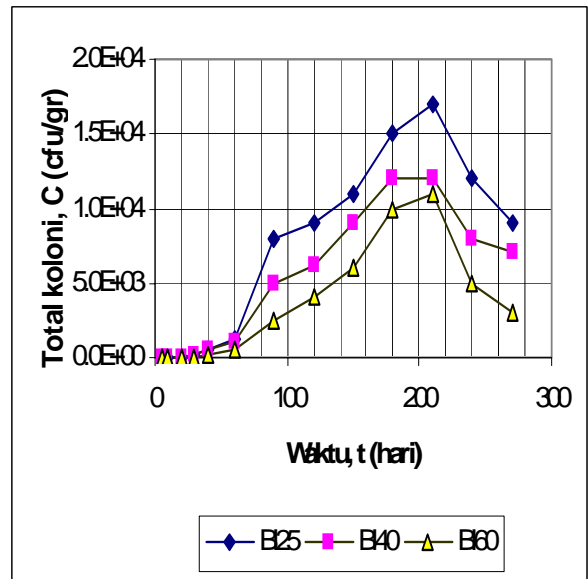
Gambar 8. Grafik kuat tekan beton $f_c' = 40$ MPa



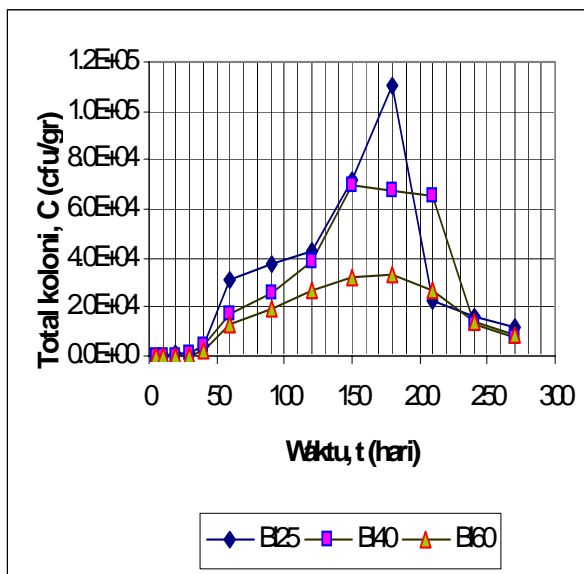
Gambar 10. Grafik prediksi kuat tekan beton nonintrusif mikroorganisme



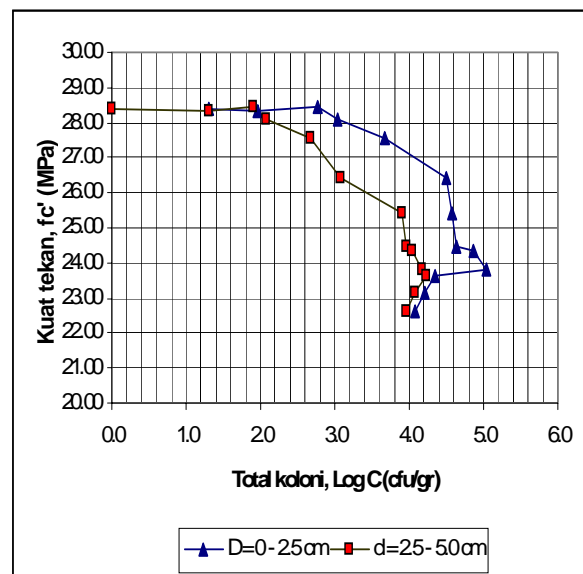
Gambar 11. Grafik prediksi kuat tekan beton intrusif mikroorganisme



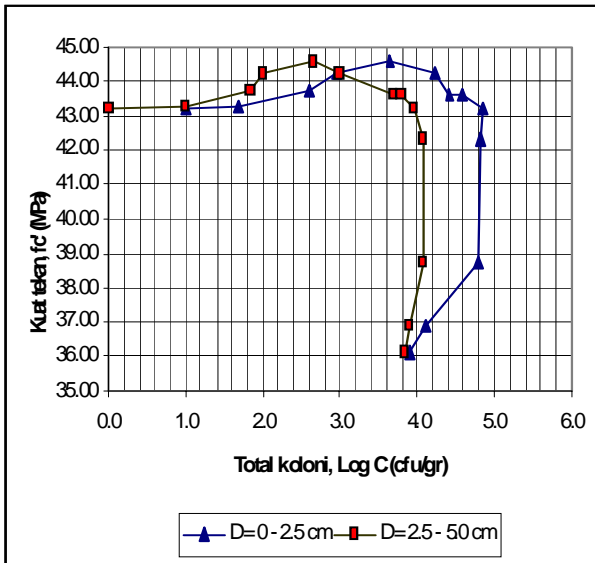
Gambar 13. Pertumbuhan koloni pada kedalaman D = 2.5 – 5.0 cm



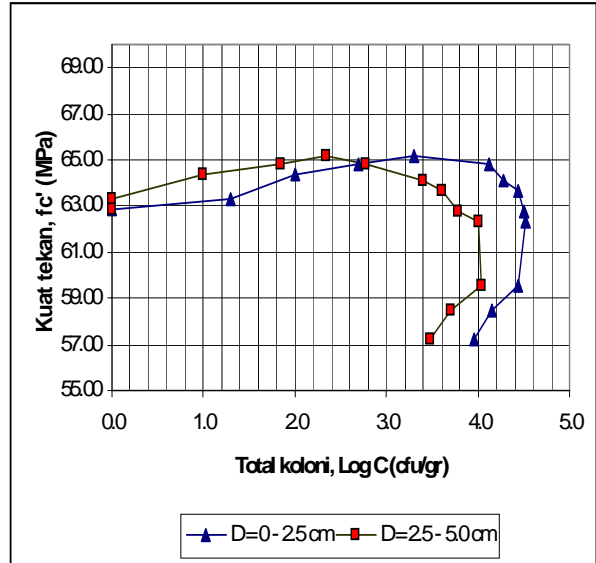
Gambar 12. Pertumbuhan koloni pada kedalaman D = 0 – 2.5 cm



Gambar 14. Kuat tekan versus total koloni di dalam beton untuk $fc' = 25$ MPa



Gambar 15. Kuat tekan versus total koloni di dalam beton untuk $fc' = 40$ MPa



Gambar 16. Kuat tekan versus total koloni di dalam beton untuk $fc' = 60$ MPa