

Kontribusi Bubuk Slag Nikel di dalam Meminimalkan Dampak Intrusi Mikroorganisme terhadap Perilaku Fisik Material Beton

Hanafi Ashad

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia, Makasar
Kampus II Universitas Muslim Indonesia, Jl. Urip Sumoharjo Km 04, Makasar
E-mail: aji_hnf@yahoo.com

Amrinsyah Nasution

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan-Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132
E-mail: amrinsyah@si.itb.ac.id

Iswandi Imran

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan-Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132
E-mail: iswandi@si.itb.ac.id

Saptahari Soegiri

Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan-Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No. 10 Bandung 40132
E-mail: saptahari@si.itb.ac.id

Abstrak

*Makalah ini adalah hasil studi eksperimental mengenai penggunaan limbah nikel di dalam meminimalkan dampak intrusi mikroorganisme terhadap perilaku fisik pada material beton. Mikroorganisme yang diintrusikan ke dalam pori-pori beton adalah golongan jamur (*Aspergillus niger*) dan ragi (*Sacchromyces ludwigi*). Kedua golongan mikroorganisme ini memproduksi zat organik yaitu asam asetat (CH_3COOH) yang dapat bereaksi dengan senyawa kimia di dalam material beton, terutama senyawa kalsium hidroksida dan kalsium silikat hidrat. Reaksi tersebut berdampak pada meningkatnya porositas, koefisien permeabilitas, dan hilangnya sebagian massa beton. Dampak intrusi mikroorganisme tersebut dapat diminimalkan dengan menggunakan 16% bubuk slag nikel. Untuk beton tanpa bubuk slag nikel, perilaku fisiknya cenderung mengikuti persamaan fungsi geometri, sedangkan pada beton 16% bubuk slag nikel cenderung mengikuti persamaan fungsi laju pertumbuhan jenuh.*

Kata-kata Kunci: *Bubuk slag nikel, intrusi, jamur, kalsium hidroksida, kalsium silikat hidrat, kekuatan beton, massa, mikroorganisme, permeabilitas, porositas, reaksi.*

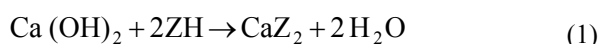
Abstract

*This paper is presents the experimental study on use of nickel slag powder in the minimization intrusion impact of microorganism to physical properties of concrete materials. The intrusion of microorganism into concrete pores is fungus (*Aspegillus Niger*) and yeast (*Sacchromyces ludwigi*) groups. Both types of this microorganism produce organic matter is acetate acid (CH_3COOH) able to react with chemical compound in concrete materials, especially calcium hydroxide and calcium silicate hydrate compound. The reaction affect on the increasing of porosity, permeability coefficient, and loss masses of concrete. The effect of intrusion of microorganism can be minimized by use 16% nickel slag powder. For concrete without nickel slag powder, physical properties tend to follow equation of geometry function (power equation), while the concrete of 16% nickel slag powder as indicated by equation of saturated growth rate function.*

Keywords: *Calcium hydroxide, calcium silicate hydrate, concrete strength, fungus, intrusion, masses, microorganism, nickel slag powder, permeability, porosity, reaction.*

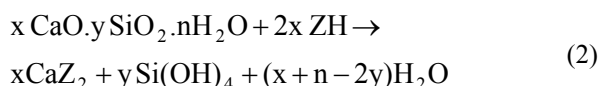
1. Pendahuluan

Mikroorganisme golongan *Aspergillus Niger* dan *Saccharomyces ludwigi* dalam proses metabolisme memproduksi zat-zat organik berupa asam asetat (CH_3COOH). Kedua golongan mikroorganisme tersebut jika terintrusi ke dalam pori-pori beton, akan berdampak pada dekomposisi senyawa-senyawa kimia material beton, terutama senyawa kimia kalsium hidroksida (CH) dan kalsium silikat hidrat (CSH) produk reaksi hidrasi trikalsium silikat (C3S) dan dikalsium silikat (C2S) semen dengan air (Ashad, dkk., 2006). Pada senyawa kalsium hidroksida (CH), mekanisme dekomposisinya dapat terjadi melalui reaksi kimiawi sebagai berikut:



hal mana Z adalah ion negatif dari zat asam. Ion hidrogen pada **Persamaan 1** akan mempercepat proses pelarutan kalsium hidroksida. Pada kondisi seperti ini, dekomposisi material beton sangat tergantung pada porositas pasta, konsentrasi asam, dan daya larut garam kalsium (Ashad, 2008).

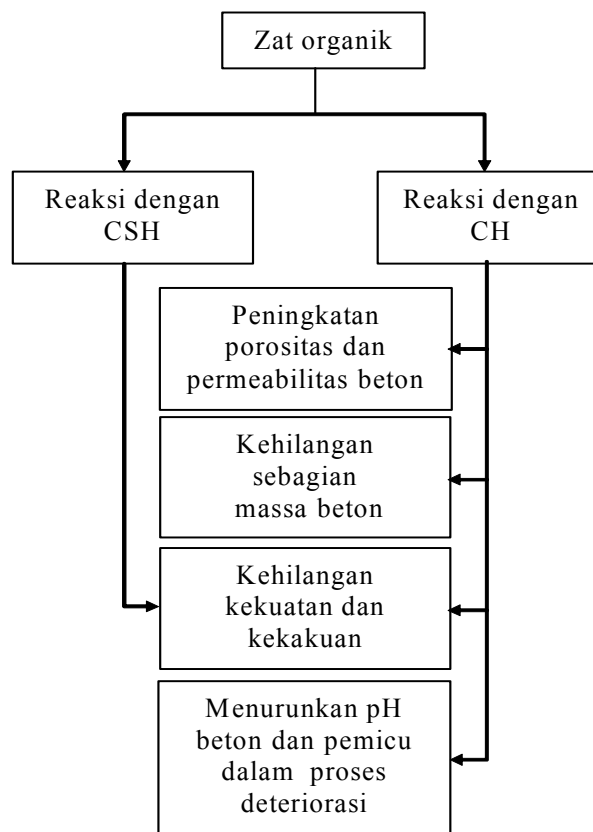
Apabila konsentrasi ion hydrogen dari produk metabolik mikroorganisme cukup tinggi, maka komponen lain dari produk hidrasi trikalsium silikat (C3S) dan dikalsium silikat (C2S) tersebut yaitu kalsium silikat hidrat (CSH) dapat pula terserang (Ashad, 2008). Hanya saja serangan tersebut masih menyisakan gel silika yang sifatnya relatif sulit didekomposisikan oleh zat-zat organik termasuk asam asetat. Mekanisme serangannya dapat dinyatakan dengan persamaan reaksi sebagai berikut:



Persamaan 1 menunjukkan bahwa serangan zat asam asetat terhadap senyawa kalsium hidroksida (CH) akan mengakibatkan terjadinya peningkatan porositas dan permeabilitas beton karena terbentuknya ruang kosong yang ditinggalkan oleh senyawa tersebut. Peningkatan ini biasanya ditandai dengan timbulnya cacat permukaan pada beton yang berimplikasi hilangnya sifat alkalinitas dan massa beton, menurunnya kekuatan dan kekakuan serta pH beton sedemikian sehingga pada akhirnya menjadi pemicu di dalam proses deteriorasi (Mehta, 1991).

Serangan terhadap senyawa kimia kalsium silikat hidrat (CSH) sebagaimana di dalam **Persamaan 2**, akan mengakibatkan terjadinya instabilitas kalsium silikat hidrat (CSH) sedemikian sehingga material beton akan mengalami penurunan kekuatan dan kekakuan.

Secara skematis, mekanisme pengrusakannya dapat digambarkan sebagai berikut.

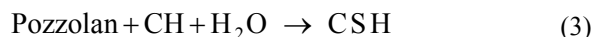


Gambar 1. Mekanisme pengrusakan produk metabolik mikroorganisme

Dampak pengrusakan tersebut dapat diminimalkan dengan cara mengurangi produk senyawa kimia kalsium hidroksida sedemikian sehingga lebih bersifat insoluble. Konsep ini dikenal dengan istilah pozzolanik efek.

Salah satu bahan yang bisa memberikan efek pozzolanik adalah limbah nikel, dimana jumlah komposisi senyawa kimiawi $\text{SiO}_2 + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$ sebagaimana yang diatur di dalam spesifikasi ASTM C618-93 (Ashad, 2008). Limbah nikel yang dimaksud adalah berupa bubuk yang berfungsi sebagai bahan substitusi parsial semen.

Efek pozzolanik bubuk slag nikel tersebut dapat digambarkan dengan persamaan reaksi kimiawi sebagai berikut (Mehta, P. K., 2001):



2. Program Eksperimental

2.1 Material

Semen yang digunakan adalah semen type I merek Tiga Roda. Bubuk slag nikel dengan specific surface $306 \text{ m}^2/\text{kg}$ digunakan sebagai bahan substitusi parsial semen dengan prosentase sebesar 16%. Agregat halus berasal dari Galunggung, sedangkan agregat agregat

kasar (batu pecah) berasal dari Banjarnegara Jawa Barat yang berukuran diameter maksimum 20 mm.

2.2 Spesifikasi benda uji

Benda uji beton berbentuk kubus 150 x 150 x 150 mm dibuat dengan tiga jenis mutu yang berbeda, masing-masing 25 MPa, 40 MPa, dan 60 MPa atau dengan rasio air-semen (w/c) berturut-turut 0,57, 0,40, dan 0,30. Benda uji diperlakukan dalam dua kondisi yang berbeda yaitu nonintrusi dan terintrusi mikroorganisme (1)

Berdasarkan jenis, mutu dan perlakuannya, nomenklatur benda uji adalah sebagai berikut:

- BNI25-0 : Beton mutu 25 MPa nonintrusi mikroorganisme tanpa bubuk slag nikel.
- BNI25-16 : Beton mutu 25 MPa nonintrusi mikroorganisme dengan 16% bubuk slag nikel.
- BNI40-0 : Beton mutu 40 MPa nonintrusi mikroorganisme tanpa bubuk slag nikel.
- BNI40-16 : Beton mutu 40 MPa nonintrusi mikroorganisme dengan 16% bubuk slag nikel.
- BNI60-0 : Beton mutu 60 MPa nonintrusi mikroorganisme tanpa bubuk slag nikel.
- BNI60-16 : Beton mutu 60 MPa nonintrusi mikroorganisme dengan 16% bubuk slag nikel.
- BI25-0 : Beton mutu 25 MPa terintrusi mikroorganisme tanpa bubuk slag nikel.
- BI25-16 : Beton mutu 25 MPa terintrusi mikroorganisme dengan 16% bubuk slag nikel.
- BI40-0 : Beton mutu 40 MPa terintrusi mikroorganisme tanpa bubuk slag nikel.
- BI40-16 : Beton mutu 40 MPa terintrusi mikroorganisme dengan 16% bubuk slag nikel.
- BI60-0 : Beton mutu 60 MPa terintrusi mikroorganisme tanpa bubuk slag nikel.
- BI60-16 : Beton mutu 60 MPa terintrusi mikroorganisme dengan 16% bubuk slag nikel.

2.3 Parameter pengujian

Untuk mengetahui gambaran perilaku fisik material beton terintrusi mikroorganisme, maka parameter pengujianya adalah porositas (e), koefisien permeabilitas (k), perubahan berat (w), dan total koloni mikroorganisme (C).

2.4 Prosedur pengujian

Pengujian porositas dilakukan sesuai standar uji ASTM C642-90, sedangkan pengujian permeabilitas mengikuti standar uji DIN-1045.

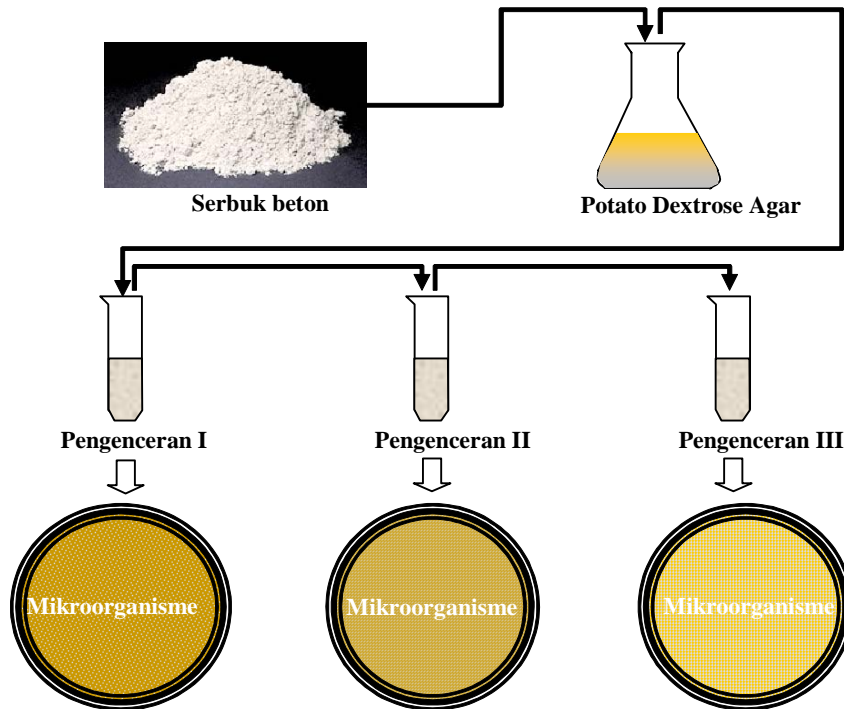
Untuk mengetahui total koloni mikroorganisme di dalam material beton, benda uji beton terintrusi mikroorganisme dibor pada tiga jenis kedalaman yang berbeda yaitu berturut-turut; 0-25 mm, 25-50 mm, dan 50-75 mm. Hasil pengeboran berupa serbuk beton diuji di laboratorium mikrobiologi dengan prosedur pengujian sebagai berikut:

1. Menyiapkan media isolator dari bahan Potato Dextrose Agar (PDA).
 - a. Memasukkan PDA (instant) \pm 7,8 gram ke dalam gelas erlenmeyer dan ditambahkan aquadest \pm 200 ml.
 - b. Panaskan sambil diaduk hingga mendidih untuk mencapai homogenitas.
 - c. Dimasukkan ke dalam autoclave selama \pm 15 menit pada temperatur 121°C dengan tekanan udara 1,5 atmosfer.
2. Masukkan aquadest ke dalam tabung reaksi \pm 9 ml, lalu ditutup dengan menggunakan kapas steril.
3. Masukkan contoh serbuk beton \pm 1 gram ke dalam gelas erlenmeyer (1.c), sambil memanaskan mulut erlenmeyer lalu dikocok hingga serbuk beton terlihat menyatu dengan media. Pemanasan dilakukan untuk menghindari pengaruh eksternal.
4. Masukkan cairan dari (3) ke dalam tabung reaksi dari (2) sebanyak \pm 1 ml, lalu dikocok hingga homogen.
5. Tuangkan cairan dari (4) ke dalam cawan petri sebanyak \pm 1 ml, goyahkan sedemikian sehingga cairan menyebar ke seluruh permukaan cawan petri lalu diamkan selama \pm 24 jam.

Total koloni mikroorganisme dinyatakan dalam satuan colony forming unit per gram substratnya (cfu/gr) dan dihitung berdasarkan Standard Plate Count (SPC) dengan persamaan sebagai berikut:

$$C = \frac{\text{jumlah koloni}}{\text{faktor pengenceran}} \text{ (cfu/gr)} \quad (4)$$

Total koloni terbaik yang diperoleh dari proses tersebut di atas adalah 30 sampai 300 cfu/gr (Waluyo, 2004). Prosedur pengujian tersebut di atas diperlihatkan seperti pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Prosedur pengujian mikroorganismenya pada material beton

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Profil mikroorganismenya di dalam material beton

Mikroorganismenya golongan *Aspergillus Niger* dan *Sacchromyces Ludwigi* yang terintrusi ke dalam pori-pori beton dapat hidup dan berkembang karena ketersediaan sumber nutrisi berupa kalsium hidroksida (CH). Hal ini terjadi melalui mekanisme reaksi kimiawi sebagaimana yang ditunjukkan pada **Persamaan 1**. Potensi hidup mikroorganismenya tersebut menjadi berkurang akibat efek pozzolanik bubuk slag nikel.

Mikroorganismenya di dalam beton tanpa bubuk slag nikel meningkat secara linier terhadap waktu dengan pola peningkatan yang cenderung mengikuti persamaan fungsi logaritmik. Sedangkan pada beton dengan 16% bubuk slag nikel, peningkatannya cenderung mengikuti persamaan fungsi parabolik. Profil mikroorganismenya di dalam material beton diperlihatkan seperti pada **Gambar 3**. Normalisasi total koloni mikroorganismenya terhadap material binder diperlihatkan pada **Gambar 4** dan **5**.

Hubungan antara total koloni mikroorganismenya (C) dengan lama intrusi (t) dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

- Beton tanpa bubuk slag nikel

$$\log(C) = a \log(t) \quad (5)$$

- Beton dengan 16% bubuk slag nikel

$$\log(C) = a (\log t)^2 + b \log(t) + c \quad (6)$$

3.2 Peningkatan porositas dan koefisien permeabilitas

Zat organik asam asetat (CH_3COOH) produk metabolik *Aspergillus Niger* dan *Sacchromyces Ludwigi* yang terintrusi ke dalam pori-pori beton mengakibatkan terjadinya peningkatan porositas dan koefisien permeabilitas beton. Hal ini terjadi melalui mekanisme sebagaimana yang ditunjukkan pada **Persamaan 1** dan **2** serta **Gambar 1**.

Peningkatan porositas dan koefisien permeabilitas beton akibat intrusi mikroorganismenya terjadi karena terbentuknya ruang kosong yang ditinggalkan oleh senyawa kalsium hidroksida (CH) setelah dikonsumsi oleh mikroorganismenya. Selain itu dapat pula terjadi karena berkurangnya sifat alkalinitas beton akibat aktifitas metabolik mikroorganismenya di dalam material beton.

Pola peningkatan porositas yang diperlihatkan pada **Gambar 6** dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

- Beton tanpa bubuk slag nikel

$$\Delta e_0 = e^a t^b \quad (6.a)$$

- Beton dengan 16% bubuk slag nikel

$$\Delta e_{16} = e_{10} \left(\frac{t}{a + bt} \right) \quad (6.b)$$

Peningkatan koefisien permeabilitas beton diperlihatkan seperti pada **Gambar 7**, dimana pola peningkatannya cenderung mengikuti persamaan fungsi laju pertumbuhan jenuh (saturation growth rate equation).

- Beton tanpa bubuk slag nikel

$$\Delta k_0 = e^a t^b \quad (7)$$

- Beton dengan 16% bubuk slag nikel

$$\Delta k_{16} = k_{10} \left(\frac{t}{a + bt} \right) \quad (8)$$

3.3 Kehilangan berat

Berkurangnya kuantitas senyawa kalsium hidroksida (CH) dan terganggunya stabilitas senyawa kimia kalsium silikat hidrat (CSH) akibat aktifitas metabolik mikroorganisme berdampak pula pada sifat kesolidan beton. Hal ini ditunjukkan oleh hilangnya sebagian massa beton.

Pola kehilangan massa beton tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

- Beton tanpa bubuk slag nikel

$$\Delta w_0 = e^a t^b \quad (9)$$

- Beton dengan 16% bubuk slag nikel

$$\Delta w_x = w_{10} \left(\frac{t}{a + bt} \right) \quad (10)$$

3.4 Kontribusi bubuk slag nikel di dalam meminimalkan dampak perilaku fisik akibat intrusi mikroorganisme

Kontribusi bubuk slag nikel di dalam meminimalkan dampak peningkatan porositas, koefisien permeabilitas, dan kehilangan sebagian massa beton, dapat dinyatakan dalam bentuk rasio sebagaimana yang diperlihatkan pada **Gambar 9**. Melalui mekanisme efek pozzolanik bubuk slag nikel sebagaimana di dalam persamaan 3 di atas, dampak-dampak tersebut dapat diminimalkan. Hal ini dimungkinkan karena perubahan senyawa kimia kalsium hidroksida (CH) akibat reaksi pozzolanik menjadi senyawa kalsium silikat hidrat (CSH) sekunder yang sifatnya tidak mudah terdekomposisikan (insoluble) oleh produk metabolik mikroorganisme golongan *Aspergillus Niger* dan *Sacchromycodes ludwigi*.

Rasio peningkatan porositas, koefisien permeabilitas, dan kehilangan sebagian massa antara beton 16% bubuk slag nikel terhadap beton tanpa bubuk slag nikel, cenderung mengikuti bentuk persamaan fungsi

logaritmik.

Rasio-rasio tersebut dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

- untuk w/c = 0,57

$$\left(\frac{\Delta e_{16}}{\Delta e_0} \right)_{0,57} = -0,0789 \ln(t) + 0,7826 \quad (11)$$

$$\left(\frac{\Delta k_{16}}{\Delta k_0} \right)_{0,57} = -0,1127 \ln(t) + 0,9633 \quad (12)$$

$$\left(\frac{\Delta w_{16}}{\Delta w_0} \right)_{0,57} = 0,0406 \ln(t) + 0,1794 \quad (13)$$

- untuk w/c = 0,40

$$\left(\frac{\Delta e_{16}}{\Delta e_0} \right)_{0,40} = -0,0689 \ln(t) + 0,7742 \quad (14)$$

$$\left(\frac{\Delta k_{16}}{\Delta k_0} \right)_{0,40} = -0,066 \ln(t) + 0,6856 \quad (15)$$

$$\left(\frac{\Delta w_{16}}{\Delta w_0} \right)_{0,40} = 0,069 \ln(t) + 0,0808 \quad (16)$$

- untuk w/c = 0,40

$$\left(\frac{\Delta e_{16}}{\Delta e_0} \right)_{0,30} = -0,108 \ln(t) + 0,9713 \quad (17)$$

$$\left(\frac{\Delta k_{16}}{\Delta k_0} \right)_{0,30} = -0,0945 \ln(t) + 0,8633 \quad (18)$$

$$\left(\frac{\Delta w_{16}}{\Delta w_0} \right)_{0,30} = 0,0457 \ln(t) + 0,2016 \quad (19)$$

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan tersebut di atas, dapat dikemukakan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

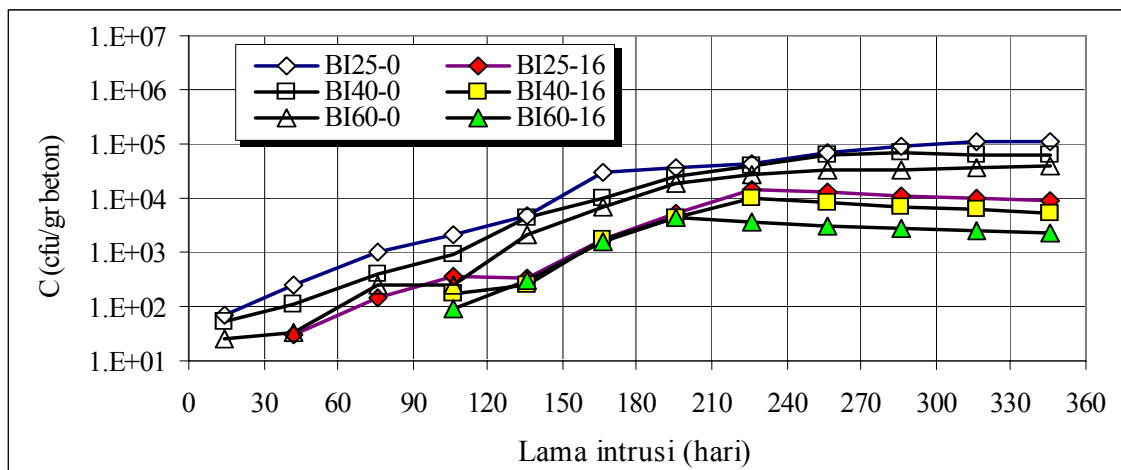
1. Produk metabolik mikroorganisme golongan *Aspergillus Niger* dan *Sacchromycodes* yang terintrusi ke dalam material beton berdampak pada meningkatnya porositas, koefisien permeabilitas, dan hilangnya sebagian massa beton. Pola peningkatannya cenderung mengikuti persamaan fungsi geometri (power equation).
2. Penggunaan 16% bubuk slag nikel dapat meminimalkan dampak intrusi mikroorganisme tersebut. Hal ini ditunjukkan dengan berubahnya

pola perilaku fisik yang cenderung mengikuti persamaan fungsi laju pertumbuhan jenuh.

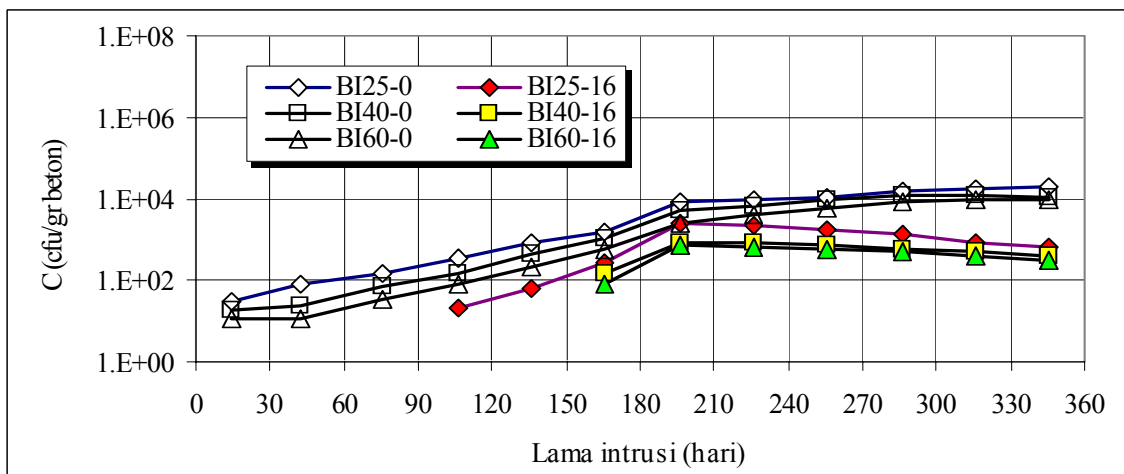
3. Profil total koloni mikroorganisme yang dinormalisasikan terhadap material binder beton tanpa bubuk slag nikel, meningkat secara linier seiring dengan bertambahnya lama intrusi. Sedangkan pada beton 16% bubuk slag nikel, profil koloni mikroorganismenya cenderung mengikuti persamaan fungsi parabolik.
4. Kontribusi bubuk slag nikel dalam bentuk rasio peningkatan porositas, koefisien permeabilitas dan kehilangan sebagian massa antara beton 16% bubuk slag nikel dan beton tanpa bubuk slag nikel dapat dinyatakan dengan persamaan fungsi yang bersifat logaritmik.

Daftar Pustaka

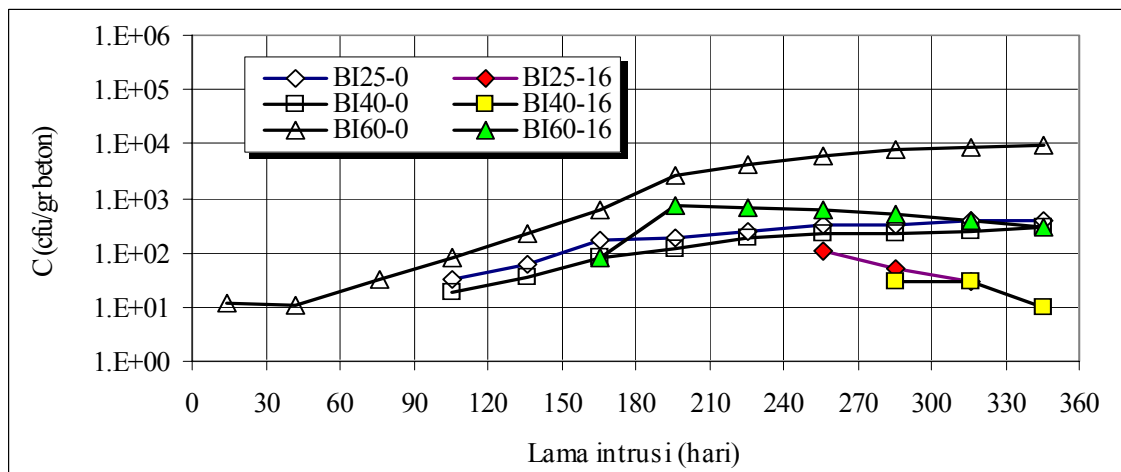
- Ashad, H., 2008, *Ketahanan Material Beton dengan Bahan Substitusi Limbah Nikel terhadap Intrusi Mikroorganisme*, Disertasi Doktor, Sekolah Pascasarjana ITB.
- Ashad, H., Nasution, A., Imran, I., dan Soegiri, S., 2006, Degradasi Kekuatan Beton Akibat Intrusi Mikroorganisme, *Jurnal Teknik Sipil ITB*, Volume 13 No. 3, pp. 151-158.
- 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.
- Mehta, P. K., 1991, *Concrete in the Marine Environment*, Elsevier Science Publishers Ltd, England.
- Waluyo, 2004, *Mikrobiologi Umum*, UMM Press, Malang.



(a) D = 0-25 mm

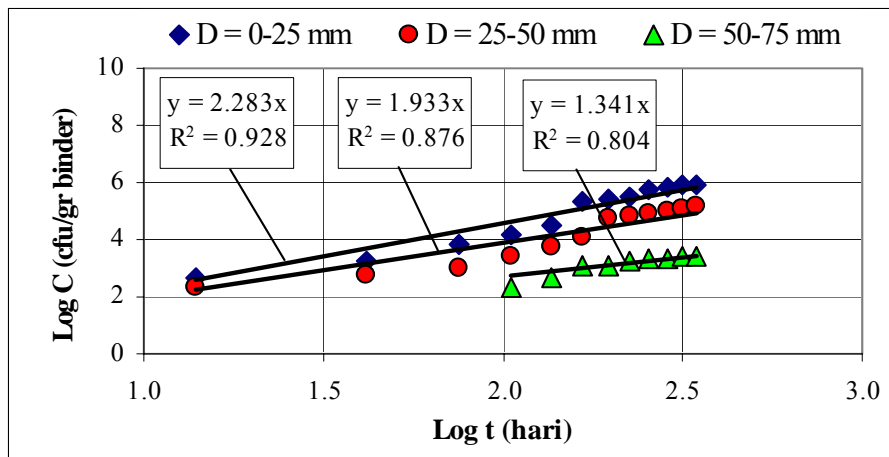


(b) D = 25-50 mm

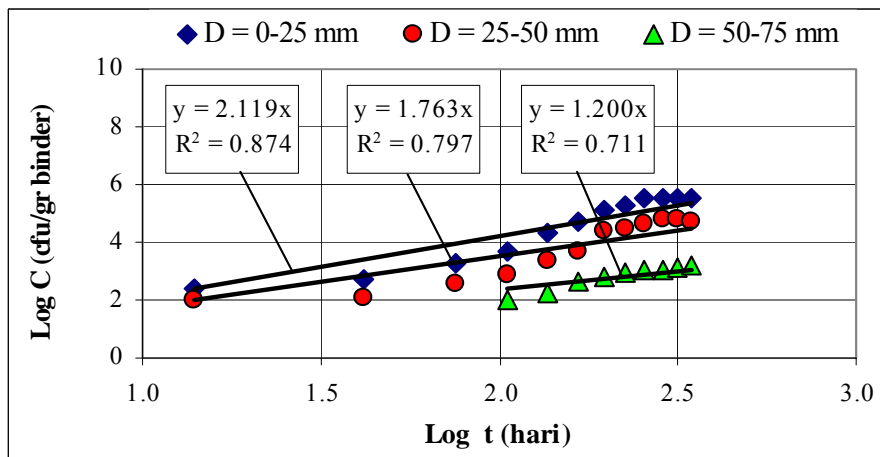


(c) D = 50-75 mm

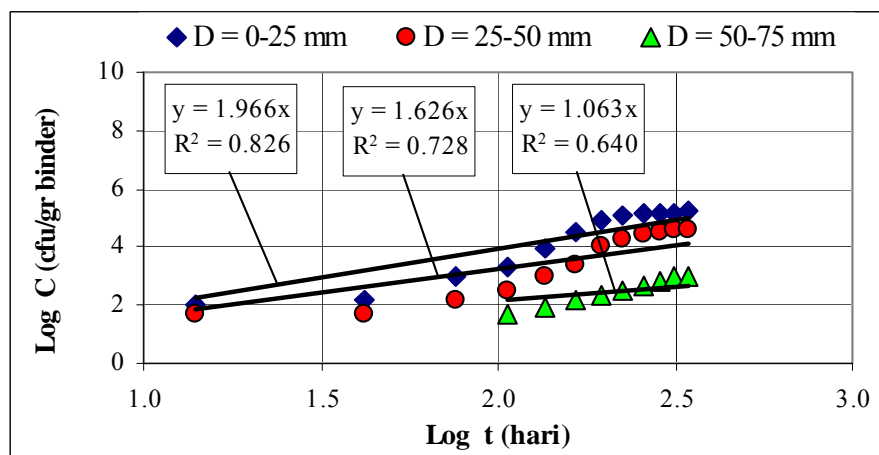
Gambar 3. Profil mikroorganisme di dalam beton tanpan dan dengan 16% bubuk slag nikel



(a) $w/c = 0,57$

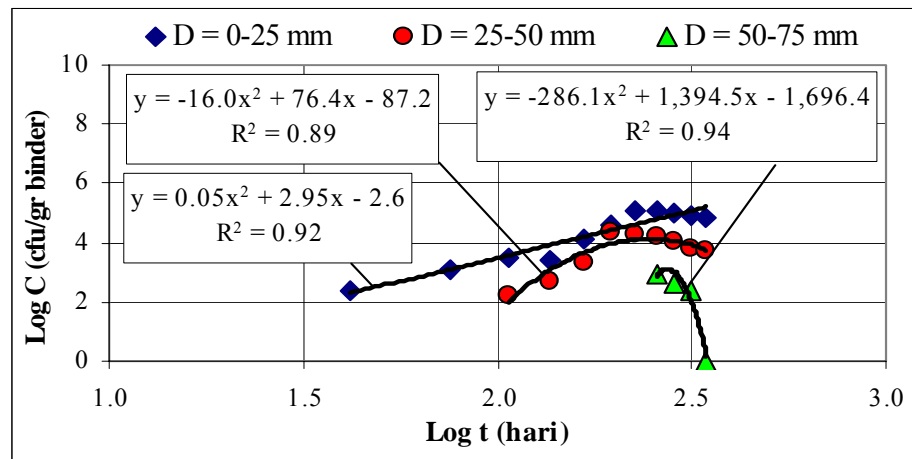


(b) $w/c = 0,40$

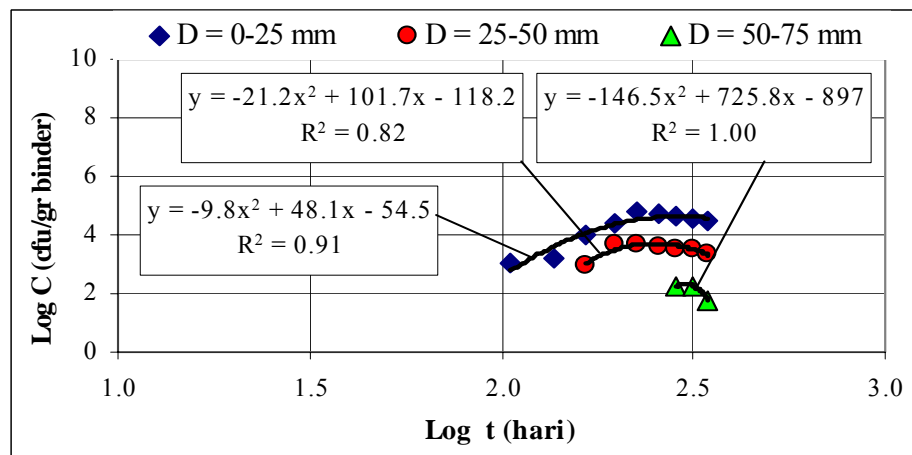


(c) $w/c = 0,30$

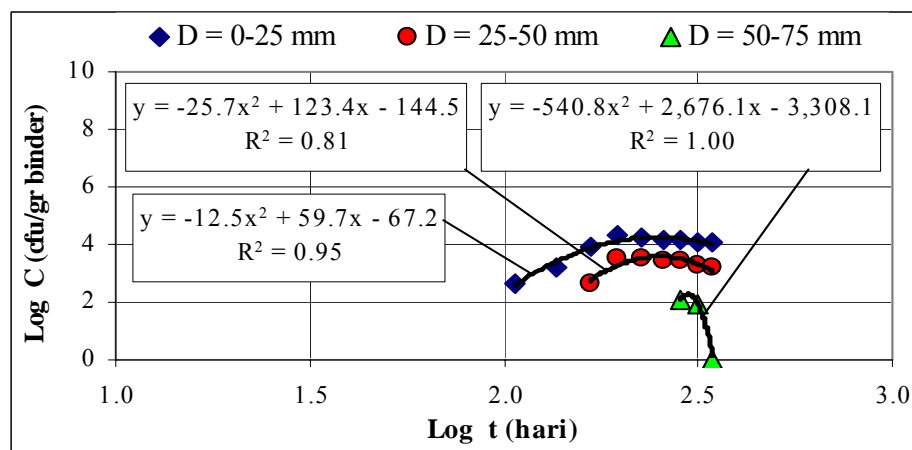
Gambar 4. Normalisasi total mikroorganisme terhadap material binder pada beton tanpa bubuk slag nikel



(a) $w/c = 0,57$

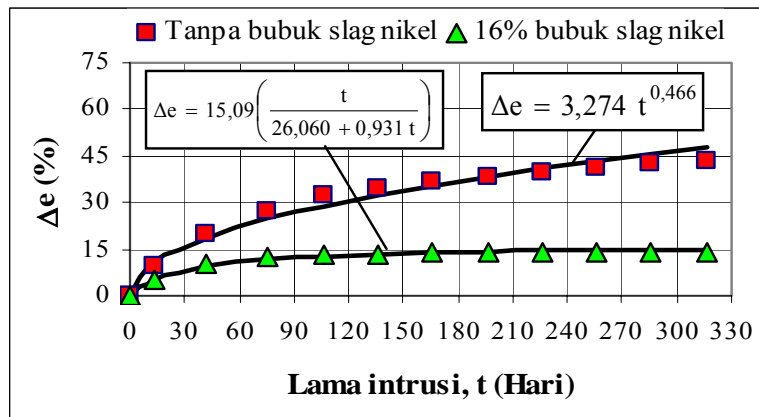


(b) $w/c = 0,40$

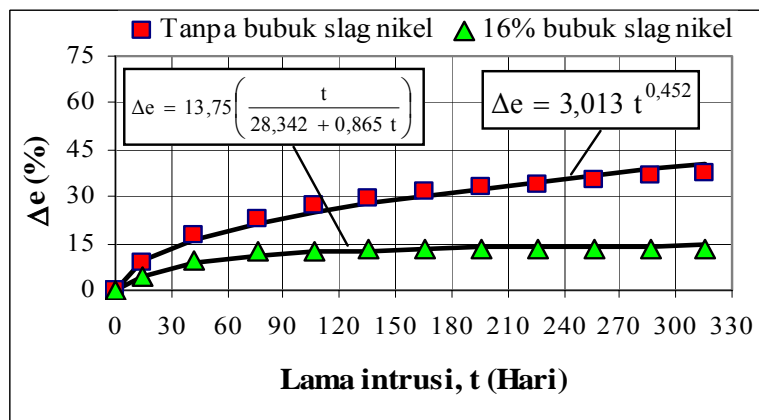


(c) $w/c = 0,30$

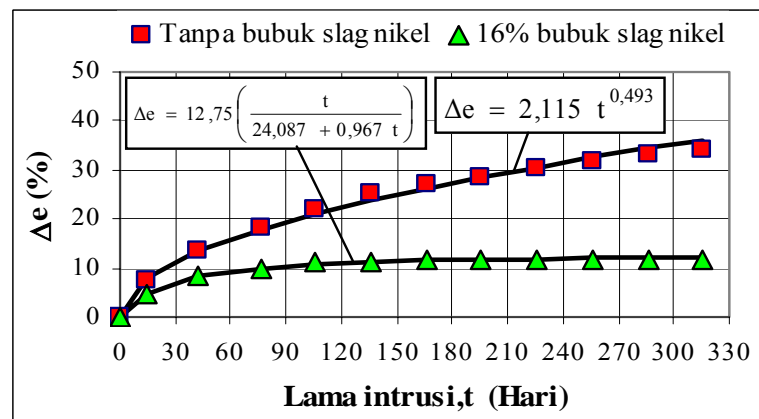
Gambar 5. Normalisasi total mikroorganisme terhadap material binder pada beton 16% bubuk slag nikel



(a) w/c = 0,57

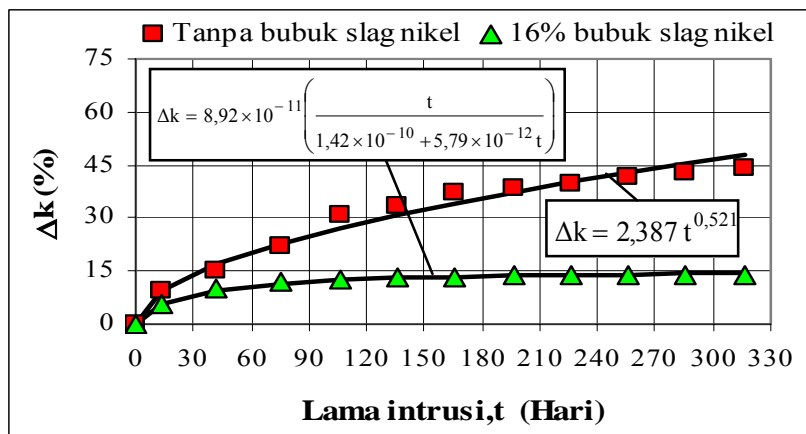


(b) w/c = 0,40

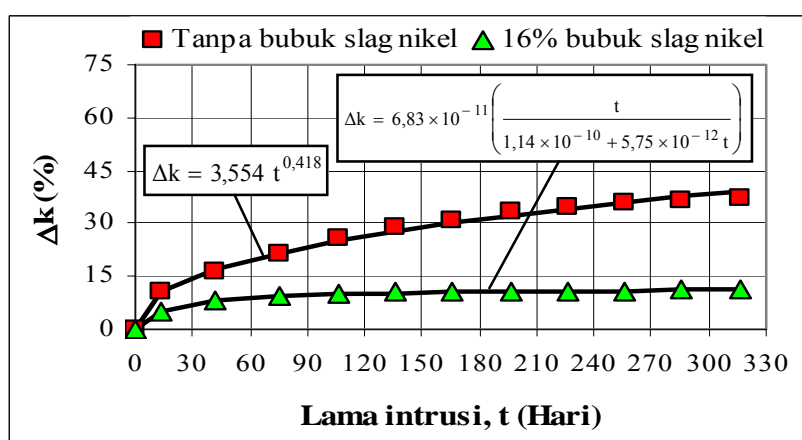


(c) w/c = 0,30

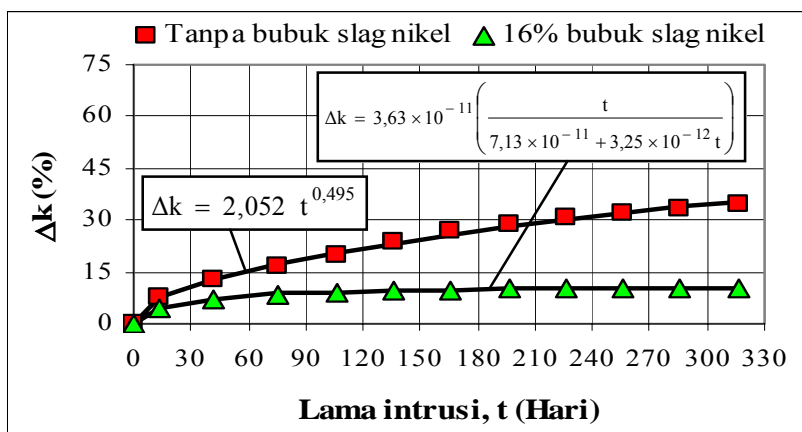
Gambar 6. Peningkatan porositas akibat intrusi mikroorganism pada beton tanpa dan dengan 16% bubuk slag nikel



(a) w/c = 0,57

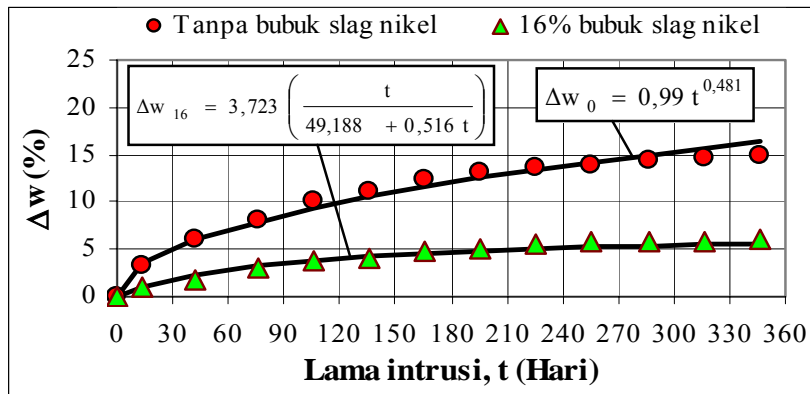


(b) w/c = 0,40

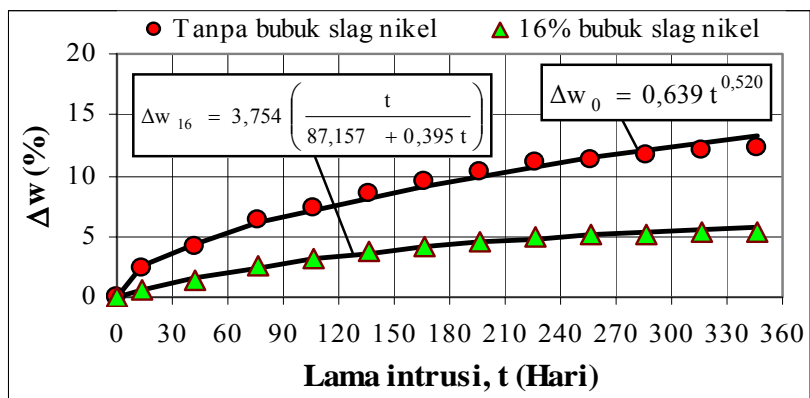


(c) w/c = 0,30

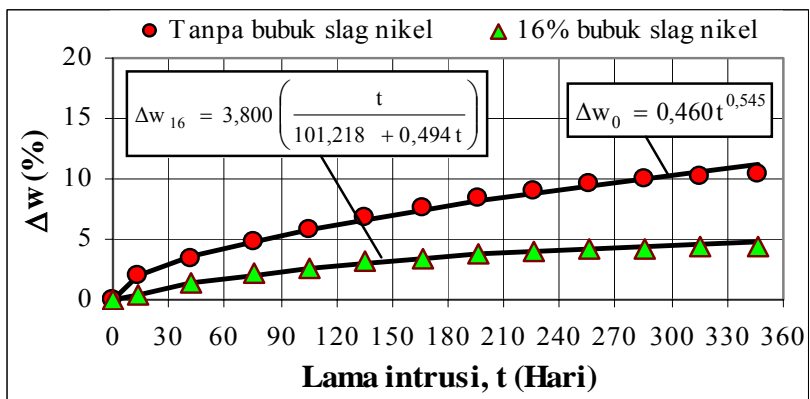
Gambar 7. Peningkatan koef. permeabilitas akibat intrusi mikroorganisme pada beton tanpa dan dengan 16% bubuk slag nikel



(a) $w/c = 0,57$

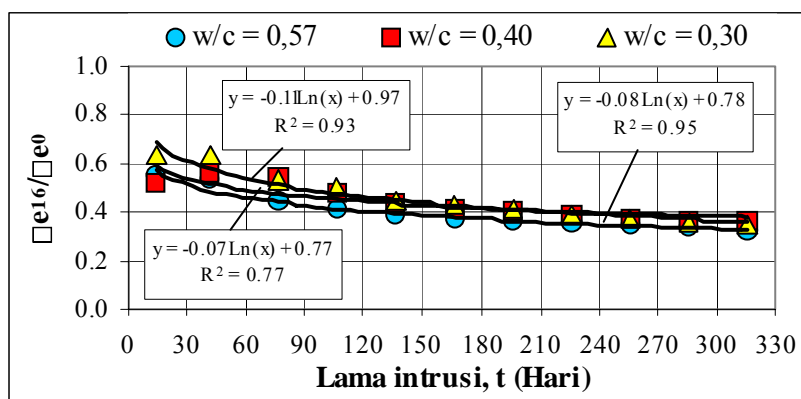


(b) $w/c = 0,40$

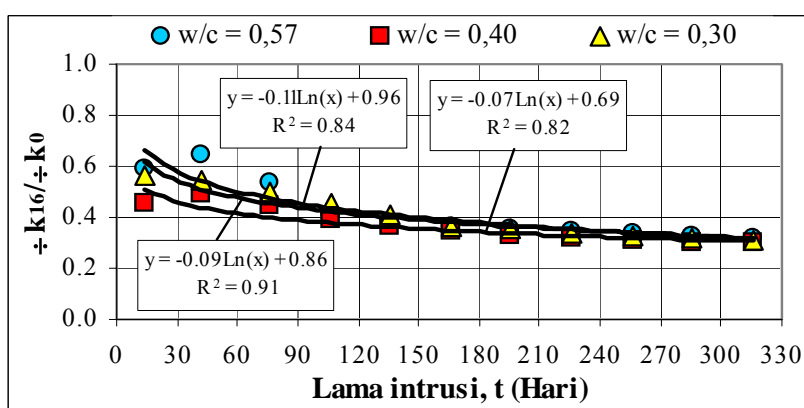


(c) $w/c = 0,30$

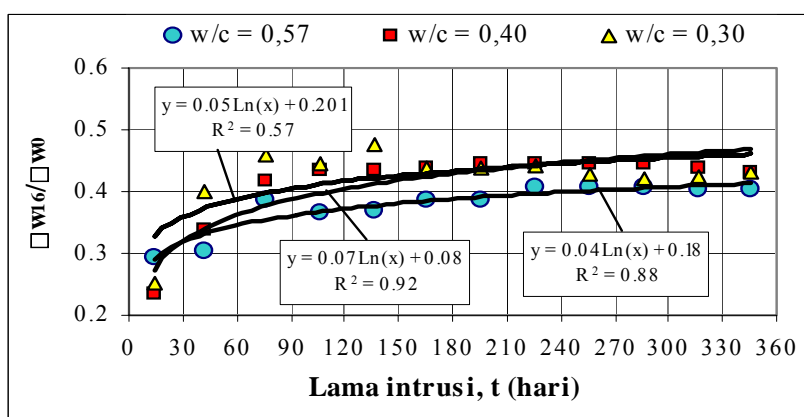
Gambar 8. Kehilangan berat akibat intrusi mikroorganisme pada beton tanpa dan dengan 16% bubuk slag nikel



(a) Rasio porositas



(b) Rasio koefisien permeabilitas



(c) Rasio kehilangan berat

Gambar 9. Kontribusi bubuk slag nikel di dalam meminimalkan dampak perilaku fisik material beton terhadap intrusi mikroorganisme

