

## 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN

Bab 4 ini berisi tentang hasil penelitian tentang penetrasi ion klorida pada beton yang dilakukan di lapangan dan di laboratorium serta membandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan arus DC untuk mempercepat masuknya ion klorida, dengan tujuan untuk mendapatkan korelasi penetrasi ion klorida pada masing-masing beton. Selain itu kami juga akan menampilkan hasil penelitian yang menggunakan aktivasi larutan alkali *fly ash* dan NaOH sebagai bahan tambahan dalam membuat beton untuk mengetahui pengaruhnya dalam mereduksi penetrasi ion klorida. Dalam bab ini juga akan dilakukan pembahasan tentang hasil penelitian yang didapatkan apakah sudah sesuai dengan landasan teori yang terdapat dalam Bab 2. Bab 4 ini di bagi menjadi 3 bagian utama yaitu analisa hasil uji material dan beton, analisa hasil penetrasi ion klorida pada beton terekspos pada ion klorida tanpa percepatan, dan analisa hasil percepatan ion klorida pada beton *fly ash* dengan aktivasi larutan alkali.

### 4.1 Hasil Uji Material dan Beton

Setiap material yang digunakan dalam campuran beton pada penelitian ini dilakukan pengujian. Untuk agregat kasar maupun agregat halus dilakukan analisa saringan, pengujian kadar air, dan berat volume agregat. Semen yang digunakan dalam penelitian dilakukan pengujian *setting time* dan kadar air dalam semen. Untuk pengujian material yang dilakukan dibahas pada bab sebelumnya, sedangkan untuk hasilnya dapat dilihat pada lampiran. Sedangkan pengujian untuk mengetahui kualitas beton dilakukan uji slump dan tes kuat tekan beton

#### 4.1.1 Beton terekspos pada larutan sodium klorida tanpa percepatan

Hasil pengujian *slump test* untuk beton terekspos pada ion klorida tanpa percepatan dengan kadar air-semen yang rendah (0,3 dan 0,4) menghasilkan beton yang kering dan kurang mengalir meskipun sudah ditambahkan zat aditif yang bersifat *water-reducer* yaitu *viscocrete*. Dan beton mengalami segregasi seperti yang terlihat dalam Gambar 4.1 Penambahan *viscocrete* untuk menambah

kelecekan beton tidak berjalan dengan baik, sehingga beton terlihat kering dan tidak mengalir, sehingga beton mengalami segregasi. Hal tersebut dapat terjadi kemungkinan dikarenakan waktu penambahan *viscocrete* dalam proses pengecoran, dalam penelitian ini *viscocrete* ditambahkan pada awal pengecoran, sehingga efek dari *viscocrete* kurang maksimal. Hasil *slump test* selengkapnya dapat dilihat dalam Tabel 4.1, dan Tabel 4.2.

Tabel 4.1. Mix Design Beton terekspos pada ion klorida tanpa percepatan

Mix	Faktor <i>w/c</i>	Semen kg/m <sup>3</sup>	Air kg/m <sup>3</sup>	Kerikil kg/m <sup>3</sup>	Pasir kg/m <sup>3</sup>	<i>Viscocrete</i> kg/m <sup>3</sup>	<i>Slump</i> cm
1.	0.3	350	120	1141,25	933,75	7	16
2.	0.4	350	160	1094,50	895,5	5	1
3.	0,45	350	180	1068,38	874,13	-	9
4.	0.5	350	200	1047,75	857,25	-	10
5.	0,6	350	240	995,5	814,5	-	12
6.	0.3	400	120	1067	873	7	11
7.	0.4	400	160	1012	828	5	9
8.	0,45	400	180	984,5	805,5	-	10
9.	0.5	400	200	968	792	-	12
10.	0,6	400	240	918	747	-	11

*Mix design* 1 menggunakan *viscocrete* sebanyak 2% dari berat semen, dan menghasilkan nilai *slump* sebesar 16 cm, meskipun nilai *slump test* cukup bagus tetapi beton dari Mix 1 tidak memberikan hasil yang baik, karena mengalami segregasi, sedangkan untuk beton Mix 2 menggunakan kadar semen 350 kg/m<sup>3</sup> dan *w/c ratio* 0,4. Faktor air semen yang rendah dikhawatirkan akan menyebabkan terjadinya segregasi pada campuran. Oleh karena itu, untuk *mix design* 2 juga menggunakan *Viscocrete* sebanyak 1,5% dari berat semen hasilnya beton tetap kering dan kurang mengalir tetapi tidak mengalami segregasi. Untuk beton yang tidak menggunakan *Viscocrete* secara umum tidak terlalu mengalami masalah, hasil *slump tesnya* cukup bagus.



Gambar 4.1. *Slump test* pada beton *mix 1*

Tabel 4.2. Kuat tekan beton terekspos tanpa percepatan

Mix	Umur (Hari)	Tegangan Hancur (kN)	$f_c'$ (MPa)
1.	28	460	26,05
2.	28	635	35,96
3.	28	585	33,124
4.	28	325	18,4
5.	28	340	19,25
6.	28	430	24,35
7.	28	455	25,76
8.	28	400	22,65
9.	28	450	25,48
10.	28	440	24,92

#### 4.1.2 Beton *fly ash* dengan aktivasi larutan alkali

Secara umum hasil *slump test* dan uji kuat tekan beton memberikan hasil yang cukup bagus, dengan perbedaan yang tidak terlalu besar. Untuk hasil *slump test* nilai slump berkisar antara 11 cm-14 cm, beton mix 11 ( kadar *fly ash* 15% ) memiliki nilai *slump* paling besar yaitu 14 cm.

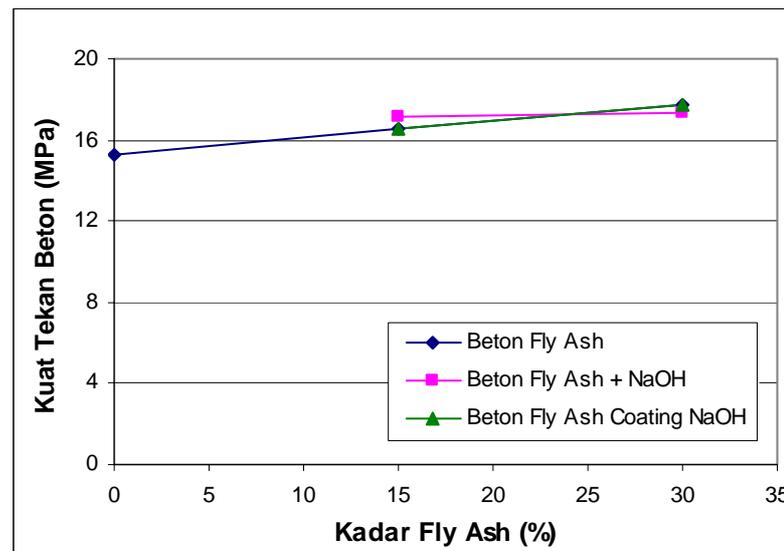
Tabel 4.3. *Mix design* menggunakan *fly ash*

Mix	Faktor w/c	Semen kg/m <sup>3</sup>	Air kg/m <sup>3</sup>	Kerikil kg/m <sup>3</sup>	Pasir kg/m <sup>3</sup>	<i>Fly ash</i> kg/m <sup>3</sup>	NaOH kg/m <sup>3</sup>	<i>Slump</i> cm
1.	0,5	350	175	1020,25	834,75	-	-	11
2.	0,5	297,5	175	1020,25	834,75	52,5	-	14
3.	0,5	245	175	1020,25	834,75	105	-	12
4.	0,5	297,5	175	1020,25	834,75	52,5	10,08	12
5.	0,5	245	175	1020,25	834,75	105	20,16	11
6.	0,5	297,5	175	1020,25	834,75	52,5	diodes	12
7.	0,5	245	175	1020,25	834,75	105	diodes	11

Untuk uji kuat tekan, beton dengan *fly ash* memiliki kekuatan yang lebih besar dibandingkan dengan beton yang tidak menggunakan *fly ash*, beton dengan *fly ash* 15% memiliki  $f_c'=16,604$  MPa, sedangkan beton dengan *fly ash* 30% memiliki  $f_c'=17,707$  MPa, sedangkan beton yang tidak menggunakan *fly ash* memiliki kekuatan yang paling kecil yaitu sebesar 15,318 MPa. Penambahan NaOH sebagai senyawa untuk mengaktifkan *fly ash*, hanya berpengaruh sedikit dalam penambahan kekuatan dari beton. Namun demikian, kuat tekan antar masing-masing beton hanya berkisar antara 15,318 MPa sampai 17.712 MPa. Perbedaannya sangat kecil.

Tabel 4.4. Kuat tekan beton dengan menggunakan *fly ash*

Mi x	<i>Fly ash</i> (%)	NaOH (%)	Umur (Hari)	Tegangan Hancur (kN)	$f_c'$ (MPa)
1	0	0	28	415	15,318
2	15	0	52	450	16,604
3	30	0	52	480	17,707
4	15	10%	52	465	17,154
5	30	20%	52	470	17,344
6	15	<i>coating</i>	52	450	16,605
7	30	<i>coating</i>	52	480	17,712



Gambar 4.2. Hubungan kuat tekan beton dengan menggunakan *fly ash*

#### 4.2 Hasil penetrasi ion klorida pada beton terekspos pada ion klorida tanpa percepatan

Untuk mendapatkan hasil korelasi penetrasi ion klorida antara sampel beton di lapangan dengan arus DC, maka perlu adanya ketepatan korelasi penetrasi ion klorida berdasarkan faktor air-semen untuk menjamin keakuratan sampel. Berikut ini kami akan menampilkan hasil korelasi antara kecepatan penetrasi ion klorida di berdasarkan faktor air-semen untuk jangka waktu 3 bulan dan 6 bulan. Selain itu juga akan kami sajikan korelasi antara beton yang terekspos di tambak dimana kadar garamnya  $\pm 5\%$ , dengan sampel dimasukkan air garam di laboratorium dengan kandungan 3%, dan 10 %, dalam jangka waktu 3 bulan dan 6 bulan.

Jika hasil korelasi antara kecepatan penetrasi ion klorida berdasarkan faktor air-semen, dan juga korelasi antara beton terekspos di tambak dimana kadar garamnya  $\pm 5\%$ , dengan sampel dimasukkan air garam di laboratorium dengan kandungan 3%, dan 10 %, dalam jangka waktu 3 dan 6 bulan hasilnya sesuai dengan teori yang ada, maka hasil korelasi antara ekspos di tambak dengan percepatan menggunakan arus DC, dapat dibandingkan.

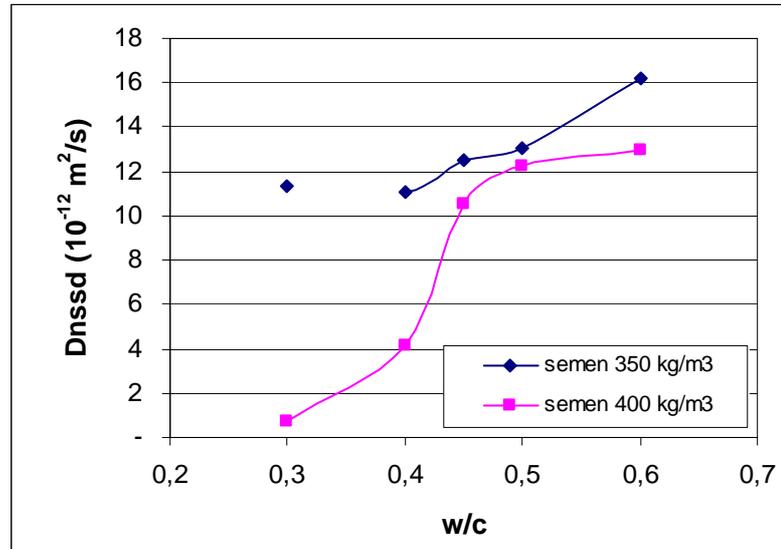
## 4.2.1 Hasil penetrasi ion klorida selama 3 bulan

Berikut adalah hasil perhitungan dari koefisien difusi pada masing-masing sampel

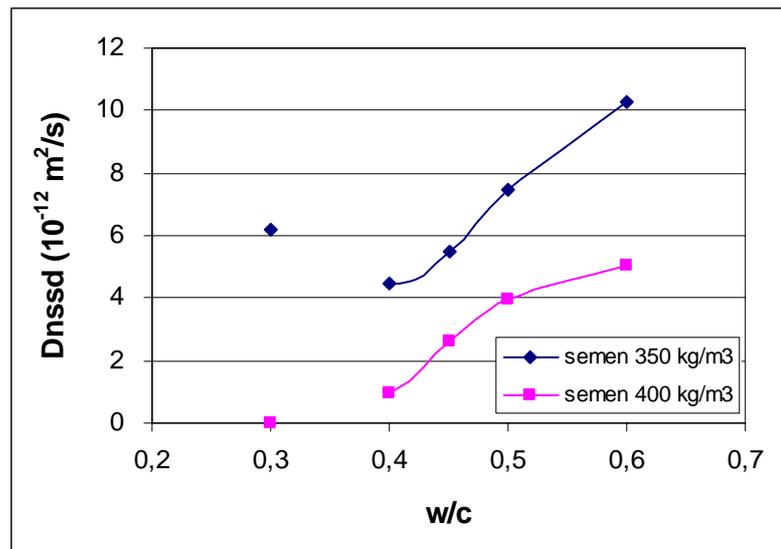
Tabel 4.5. Penetrasi ion klorida pada beton (3 bulan)

Kondisi Ekspos	Semen kg/m <sup>3</sup>	Mix	w/c	Penetrasi ion klorida (m)	$D_{nssd}$ 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s	$D_{nssm}$ 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s
Tambak	350	1	0,3	0,028	11,34	11,42
		2	0,4	0,026	11,06	11,93
		3	0,45	0,029	12,50	14,83
		4	0,5	0,030	13,02	24,88
		5	0,6	0,033	16,20	40,91
	400	6	0,3	0,008	0,71	-
		7	0,4	0,017	4,18	12,08
		8	0,45	0,027	10,5	-
		9	0,5	0,029	12,2	15,92
		10	0,6	0,03	13	16,02
Laboratorium 3%	350	1	0,3	0,021	6,40	11,42
		2	0,4	0,018	4,70	11,93
		3	0,45	0,020	5,70	14,83
		4	0,5	0,023	7,65	24,88
		5	0,6	0,027	10,5	40,91
	400	6	0,3	0,004	0,23	-
		7	0,4	0,009	1,17	12,08
		8	0,45	0,014	2,83	-
		9	0,5	0,017	4,18	15,92
		10	0,6	0,019	5,22	16,02
Laboratorium 10%	350	1	0,3	0,035	17,7	11,42
		2	0,4	0,033	15,8	11,93
		3	0,45	0,038	10,9	14,83
		4	0,5	0,040	23,1	24,88
		5	0,6	0,049	34,7	40,91
	400	6	0,3	0,013	2,44	-
		7	0,4	0,019	5,22	12,08
		8	0,45	0,029	12,2	-
		9	0,5	0,030	13	15,92
		10	0,6	0,033	15,7	16,02

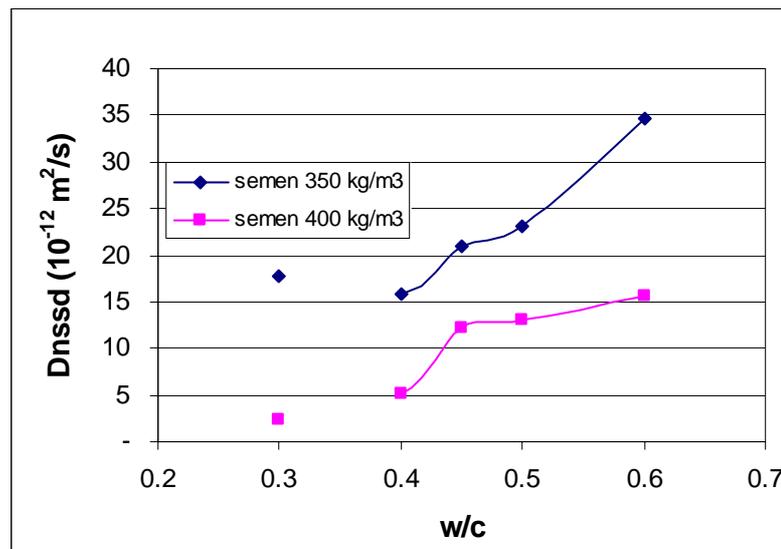
#### 4.2.1.1 Pengaruh kadar semen terhadap penetrasi ion klorida selama 3 bulan



Gambar 4.3.  $D_{nssd}$  pada beton dengan berbagai kondisi di tambak (3 bulan)



Gambar 4.4.  $D_{nssd}$  pada beton dengan berbagai faktor air-semen di Laboratorium 3% (3bulan)



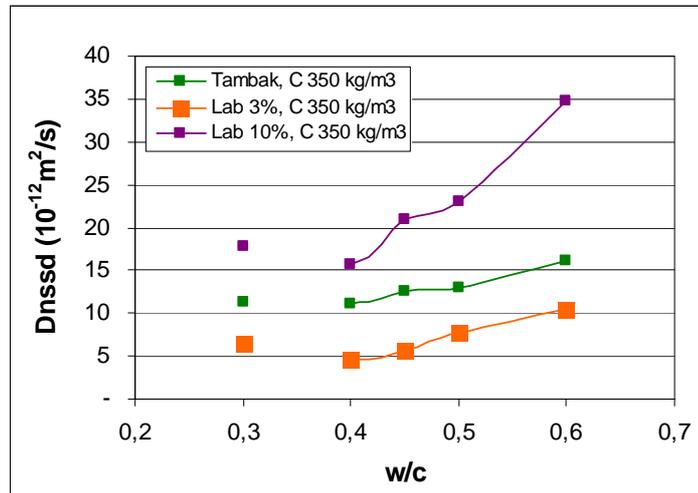
Gambar 4.5. *Dnssd* pada beton dengan berbagai kondisi di Laboratorium 10% (3 bulan)

Dari hasil pengamatan pada Gambar 4.2, Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5 di atas, tampak bahwa semakin tinggi kandungan faktor w/c, maka penetrasi ion klorida yang terjadi semakin meningkat. Air sangatlah berperan penting dalam proses hidrasi pasta semen. Kelecekan campuran beton juga ditentukan oleh banyaknya air dalam campuran, terlalu sedikit air akan membuat campuran beton lebih kaku dan adanya kemungkinan segregasi yang membuat beton dengan kadar air semen 0,3 terkena penetrasi ion klorida yang lebih dalam dari beton dengan faktor air semen 0,4. Hal ini tidaklah seharusnya terjadi, jika pelaksanaannya tidak mengalami segregasi.

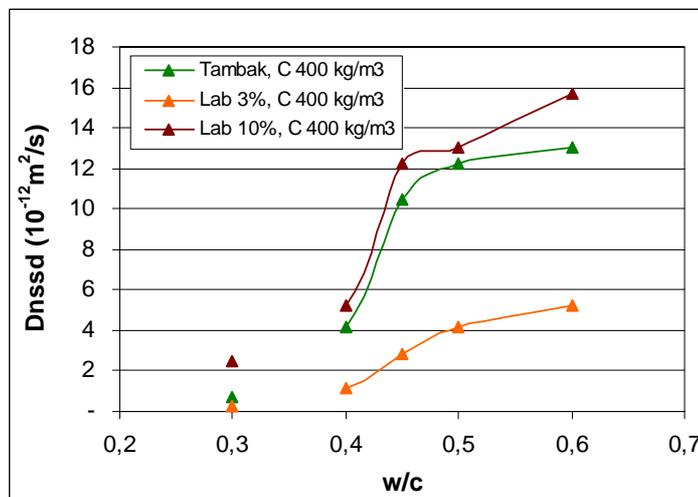
Juga dapat diamati bahwa dengan bertambahnya kadar semen yaitu dari 350 kg/m<sup>3</sup> menjadi 400 kg/m<sup>3</sup>, maka penetrasi ion klorida yang terjadi semakin mengecil. Hal ini dikarenakan ikatan-ikatan yang terjadi pada reaksi semen yang lebih besar akan menghambat penetrasi ion klorida dengan lebih besar, yaitu kandungan C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>H<sub>6</sub> yang ada pada semen dengan kandungan yang lebih tinggi (dimana C<sub>3</sub>S<sub>2</sub>H<sub>6</sub> ini bisa menahan penetrasi ion klorida) akan menghambat penetrasi ion klorida dengan lebih maksimal karena kandungannya lebih tinggi jika dipakai kandungan semen yang lebih tinggi. Dalam hal ini dengan kandungan semen 400kg/m<sup>3</sup> lebih efektif menahan penetrasi ion klorida karena adanya

kandungan  $C_3S_2H_6$  yang lebih tinggi daripada  $C_3S_2H_6$  yang ada pada semen dengan kandungan  $350 \text{ kg/m}^3$ .

4.2.1.2 Perbandingan penetrasi ion klorida dengan kadar garam dan kandungan semen yang berbeda.



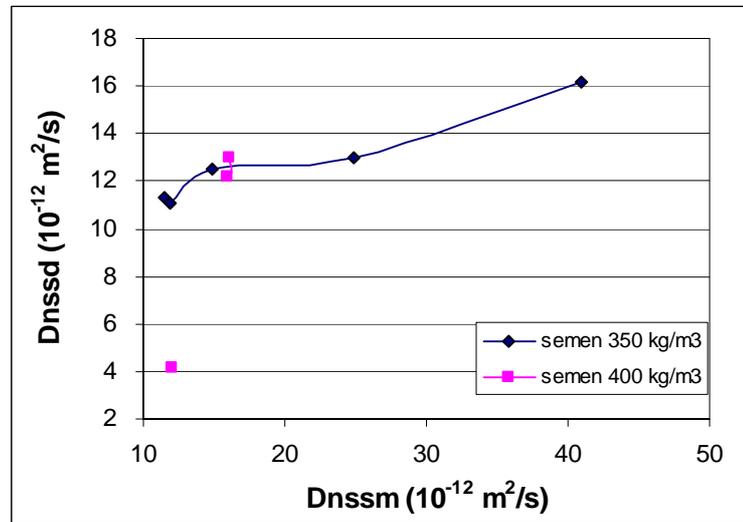
Gambar 4.6. *Dnssd* pada beton dengan berbagai kondisi pada kadar garam yang berlainan selama 3 bulan ( $C=350\text{kg/m}^3$ )



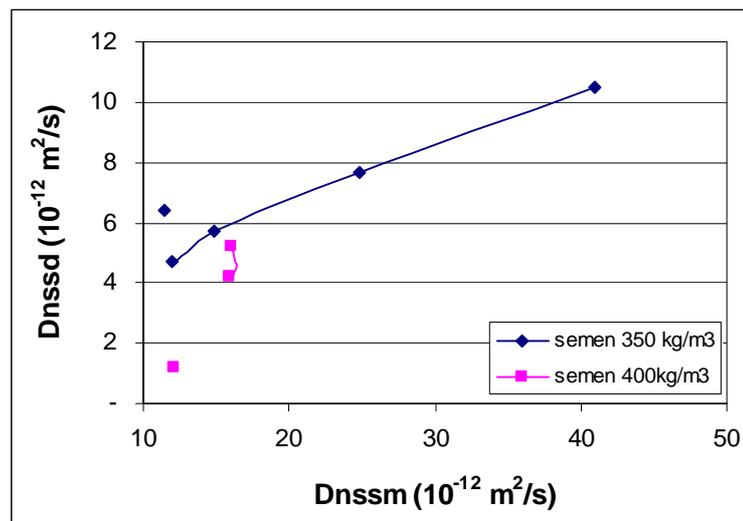
Gambar 4.7. *Dnssd* pada beton dengan berbagai kondisi pada kadar garam yang berlainan selama 3 bulan ( $C=350\text{kg/m}^3$ )

Dari Gambar 4.6. dan Gambar 4.7 terlihat bahwa dengan kadar garam yang lebih lebih tinggi, penetrasi ion klorida akan berlangsung lebih cepat. Beton pada daerah yang terekspos di laboratorium dengan kadar garam sebesar 3% menerima penetrasi ion klorida yang paling lambat, diikuti dengan beton yang

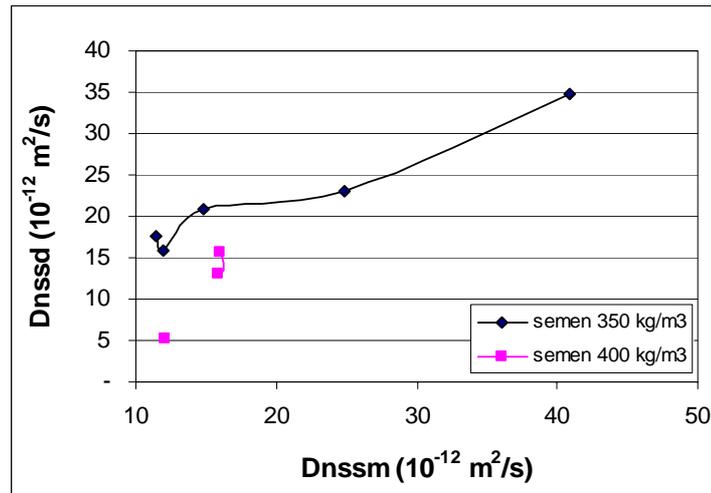
dieksposure di tambak dengan kadar garam 5%, dan yang terakhir yang terbesar ialah beton yang tereksposur di laboratorium dengan kadar garam 10%.



Gambar 4.8. Korelasi antara  $Dnssd$  di tambak selama 3 bulan dengan  $Dnssm$

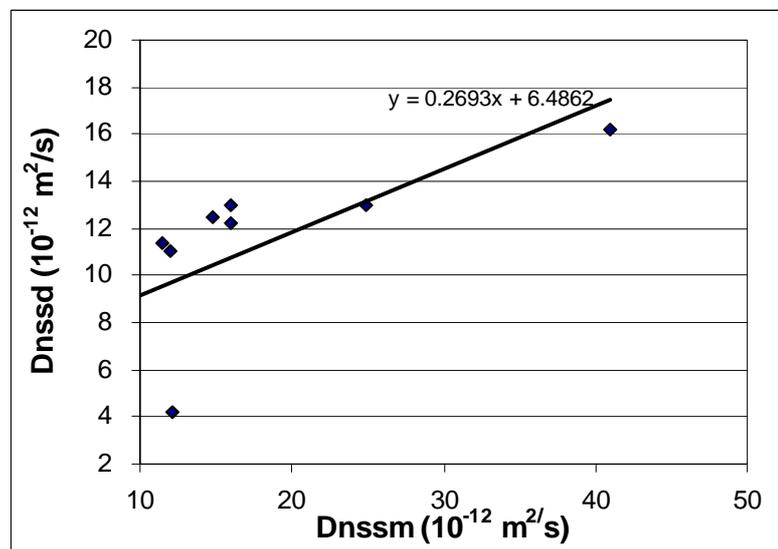


Gambar 4.9. Korelasi antara  $Dnssd$  di lab 3% selama 3 bulan dengan  $Dnssm$

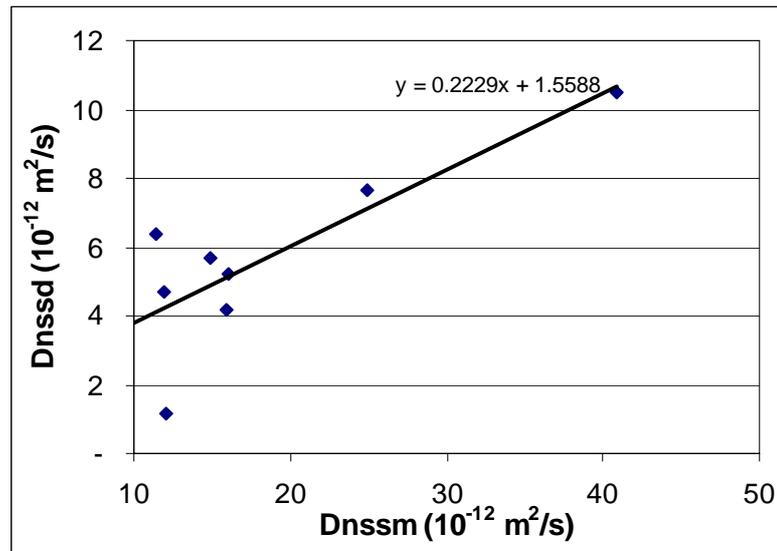


Gambar 4.10. Korelasi antara  $Dnssd$  di lab 10% selama 3 bulan dengan  $Dnssm$

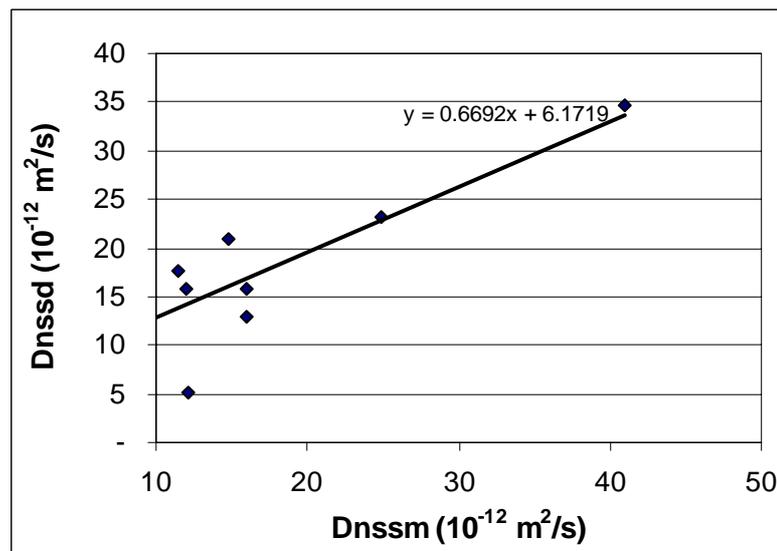
Secara garis besar, Gambar 4.8, Gambar 4.9, dan Gambar 4.10. menunjukkan bahwa dengan semakin meningkatnya angka  $Dnssd$ , angka  $Dnssm$  pun juga meningkat. Pada sampel beton dengan kandungan semen  $400 \text{ kg/m}^3$ , hanya ditampilkan 3 sampel karena data  $Dnssm$  pada skripsi sebelumnya Cuma ada 3 buah. Dapat disimpulkan bahwa korelasi antara  $Dnssm$  dan  $Dnssd$  ini mempunyai pola yang sama.



Gambar 4.11. Korelasi penetrasi ion klorida antara  $Dnssm$  dan  $Dnssd$  selama 3 bulan di tambak



Gambar 4.12. Korelasi penetrasi ion klorida antara  $Dnssm$  dan  $Dnssd$  selama 3 bulan di laboratorium (3%)



Gambar 4.13. Korelasi penetrasi ion klorida antara  $Dnssm$  dan  $Dnssd$  selama 3 bulan di laboratorium (10%)

Dari gambar Gambar 4.11, Gambar 4.12, dan Gambar 4.13 diatas didapatkan korelasi antara  $Dnssm$  dan  $Dnssd$  yaitu berupa persamaan garis  $y=0.2693x+6.486$  untuk beton yang terekspos di tambak,  $y=0.2229x+1.5588$  untuk beton yang terkspos di laboratorium (3%), dan yang terakhir, beton dilaboratorium dengan kadar NaCl 10%  $y=0.6692x+6.1719$ , dimana  $y$  adalah  $Dnssd$  ( $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ), sedangkan  $x$  adalah  $Dnssm$  ( $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ).

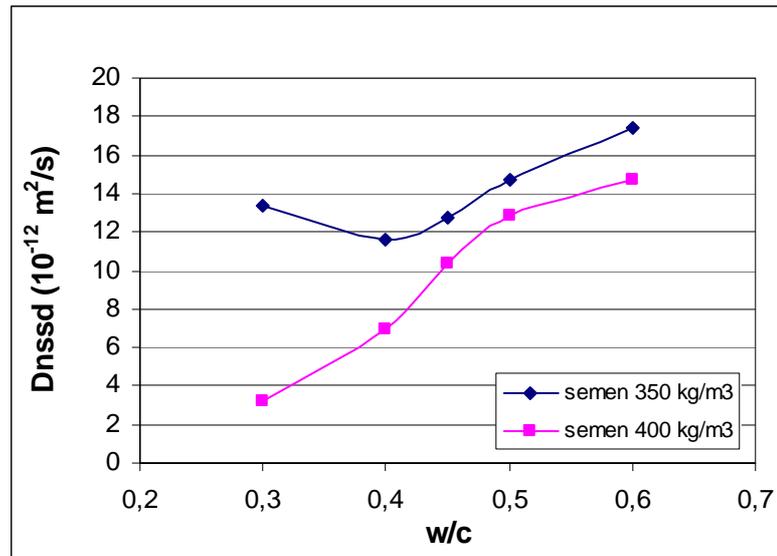
#### 4.2.2 Hasil penetrasi ion klorida selama 6 bulan

Berikut ini akan kami bahas mengenai hubungan antara beton yang terekspos di tambak, laboratorium 3%, dan laboratorium 10% selama 6 bulan. Kami juga akan membahas mengenai korelasi antara *Dnssd* dan pengaruh faktor kadar air-semen, dan juga hubungan penetrasi ion klorida tersebut jika diekspos pada daerah dengan kadar garam yang berbeda-beda yaitu di tambak dengan kadar garam 5%, di laboratorium dengan kadar garam 3%, dan 10% sehingga keakuratan sampel beton dapat dijamin. Namun sebelumnya, akan kami tampilkan hasil perhitungan penetrasi ion klorida selama beton terekspos di tambak, laboratorium 3%, dan laboratorium 10% selama 6 bulan.

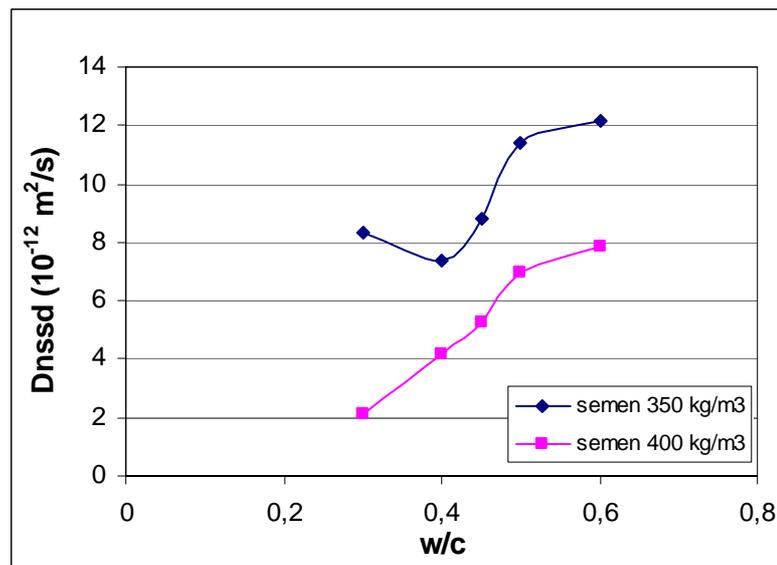
Tabel 4.6. Hasil *Dnssd* untuk waktu 6 bulan

Kondisi Ekspos	Semen kg/m <sup>3</sup>	Mix	w/c	Penetrasi ion klorida (m)	<i>Dnssd</i> 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s	<i>Dnssm</i> 10 <sup>-12</sup> m <sup>2</sup> /s
Tambak	350	1	0,3	0,043	13,377	11,42
		2	0,4	0,040	11,575	11,93
		3	0,45	0,042	12,763	14,83
		4	0,5	0,045	14,712	24,88
		5	0,6	0,049	17,423	40,91
	400	6	0,3	0,021	3,196	-
		7	0,4	0,031	6,952	12,08
		8	0,45	0,038	10,406	-
		9	0,5	0,042	12,712	15,92
		10	0,6	0,045	14,712	16,02
Laboratorium 3%	350	1	0,3	0,034	8,362	11,42
		2	0,4	0,032	7,406	11,93
		3	0,45	0,035	8,816	14,83
		4	0,5	0,039	11,406	24,88
		5	0,6	0,041	12,164	40,91
	400	6	0,3	0,017	2,091	-
		7	0,4	0,024	4,166	12,08
		8	0,45	0,027	5,273	-
		9	0,5	0,031	6,951	15,92
		10	0,6	0,033	7,871	16,02
Laboratorium 10%	350	1	0,3	0,049	17,372	11,42
		2	0,4	0,046	15,312	11,93
		3	0,45	0,054	21,091	14,83
		4	0,5	0,057	23,499	24,88
		5	0,6	0,065	30,564	40,91
	400	6	0,3	0,028	5,671	-
		7	0,4	0,036	9,372	12,08
		8	0,45	0,044	14,203	-
		9	0,5	0,047	15,783	15,92
		10	0,6	0,051	18,806	16,02

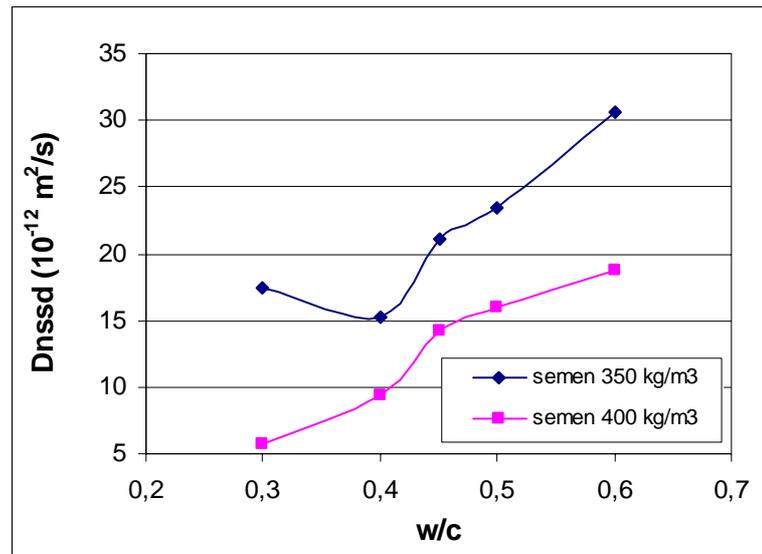
#### 4.2.2.1 Pengaruh kadar semen terhadap penetrasi ion klorida selama 6 bulan



Gambar 4.14. *Dnssd* pada beton dengan berbagai kondisi di tambak (6 bulan)



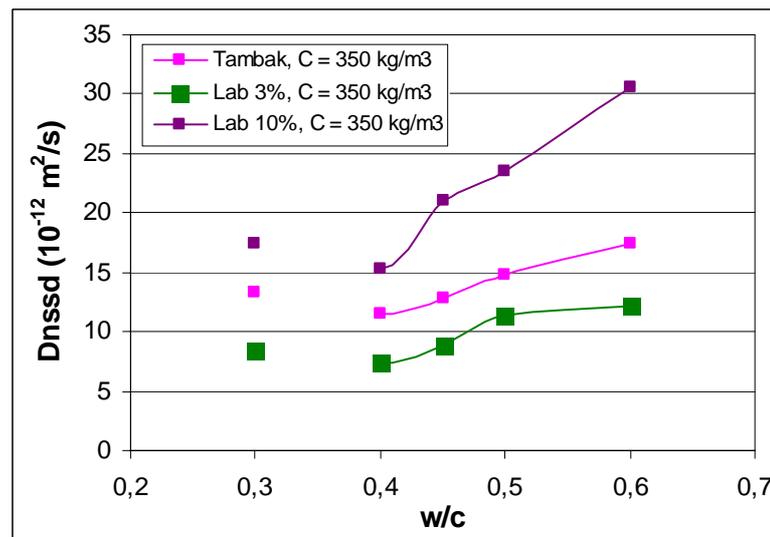
Gambar 4.15. *Dnssd* pada beton dengan berbagai kondisi di laboratorium 3% (6 bulan)



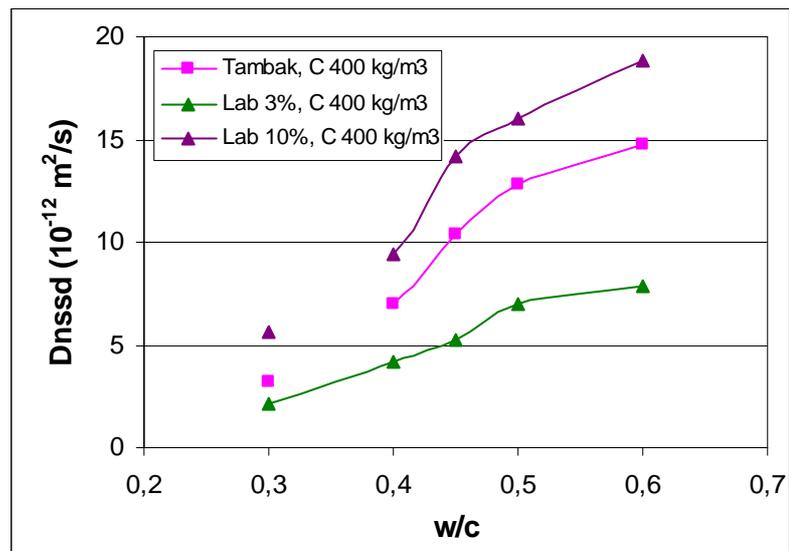
Gambar 4.16. *Dnssd* pada beton dengan berbagai kondisi di laboratorium 10% (6 bulan)

Dari Gambar 4.14, Gambar 4.15, dan Gambar 4.16 di atas ini didapatkan hasil dimana terjadinya peningkatan angka penetrasi ion klorida seiring dengan kenaikan kadar faktor air-semen, dan juga penurunan nilai penetrasi ion klorida pada sampel beton dari kadar semen yang lebih rendah yaitu dengan kadar 350 kg/m<sup>3</sup> dengan beton dengan kadar semen yang lebih tinggi yaitu 400 kg/m<sup>3</sup>.

#### 4.2.2.2 Perbandingan penetrasi ion klorida dengan kadar garam dan kandungan semen yang berbeda

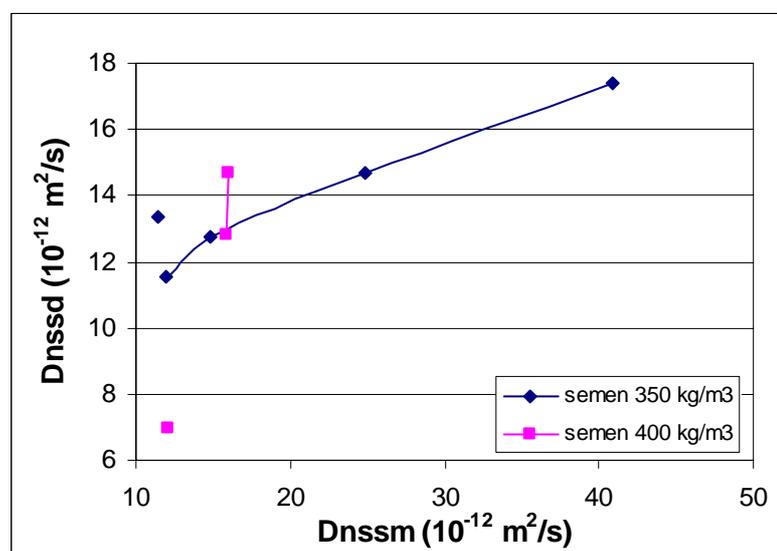


Gambar 4.17. *Dnssd* pada beton dengan berbagai kondisi pada kadar garam yang berlainan selama 6 bulan ( $C=350\text{kg/m}^3$ )

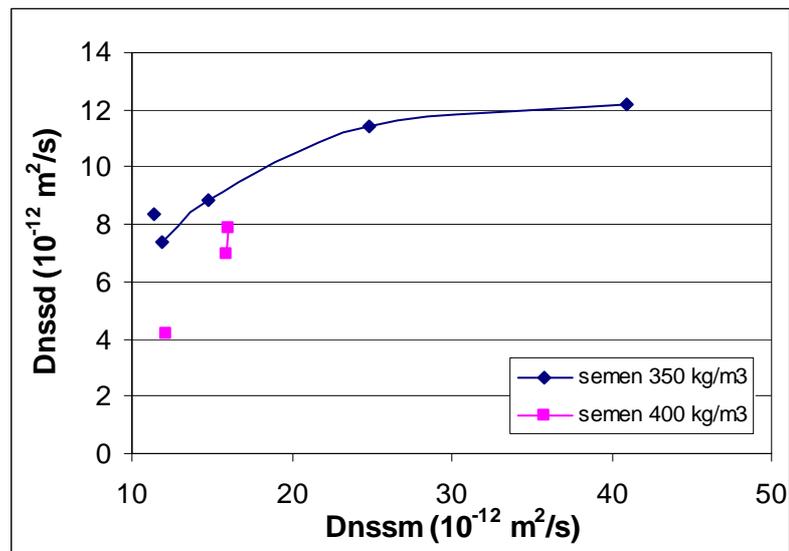


Gambar 4.18.  $Dnssd$  pada beton dengan berbagai kondisi pada kadar garam yang berlainan selama 6 bulan ( $C=400\text{kg/m}^3$ )

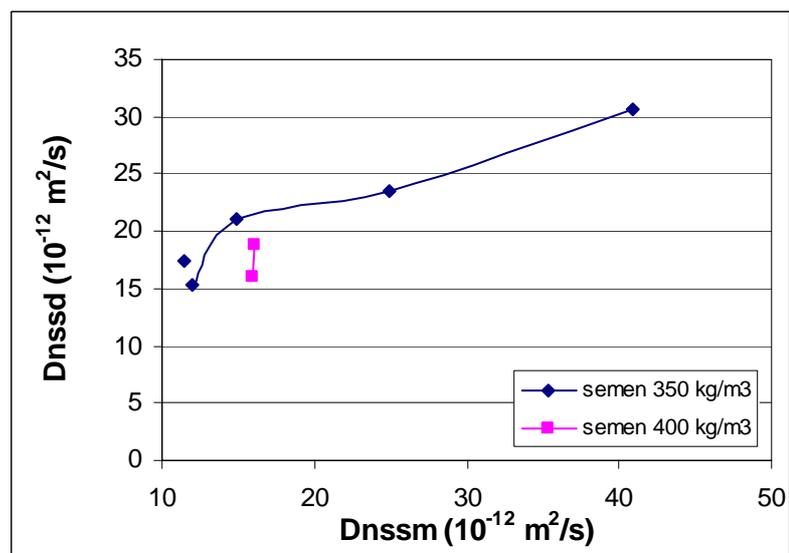
Dari Gambar 4.17, dan Gambar 4.18 terlihat bahwa dengan kadar garam yang lebih tinggi, penetrasi ion klorida akan berlangsung lebih cepat, sebagaimana telah dijelaskan pada pembahasan pada sampel beton selama durasi 3 bulan.



Gambar 4.19. Hubungan  $Dnssd$  di tambak selama 6 bulan dengan  $Dnssm$

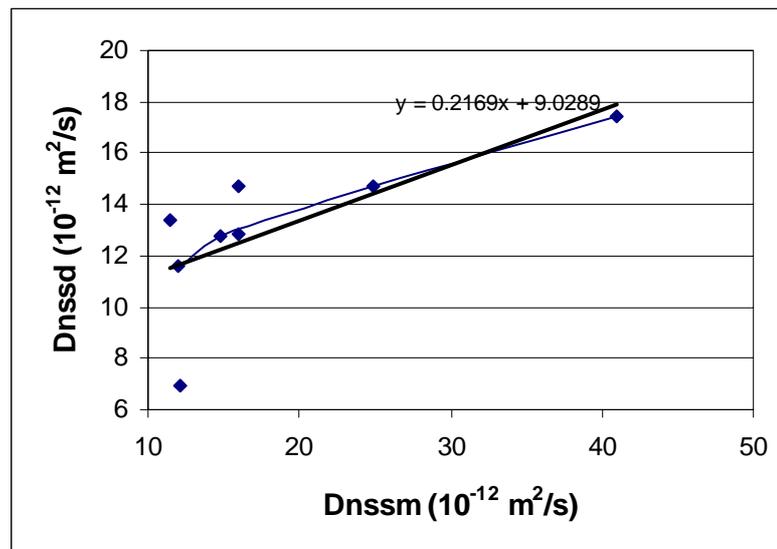


Gambar 4.20. Hubungan  $Dnssd$  di lab 3% selama 6 bulan dengan  $Dnssm$

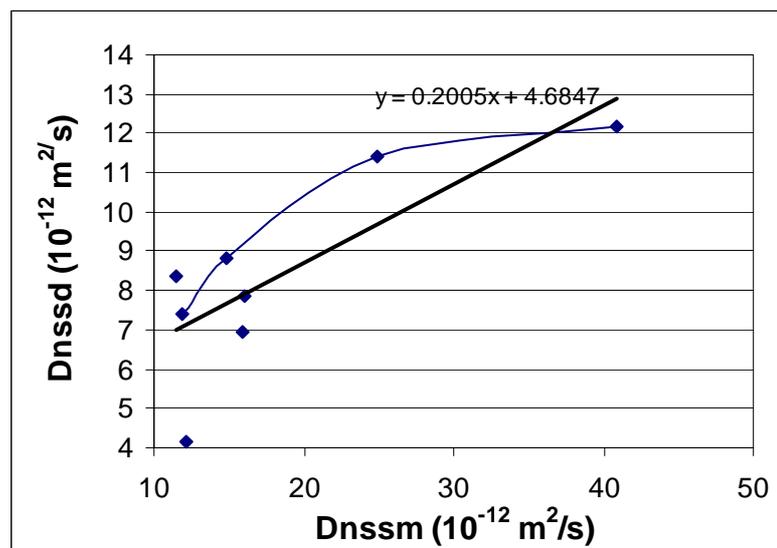


Gambar 4.21. Hubungan  $Dnssd$  di lab 10% selama 6 bulan dengan  $Dnssm$

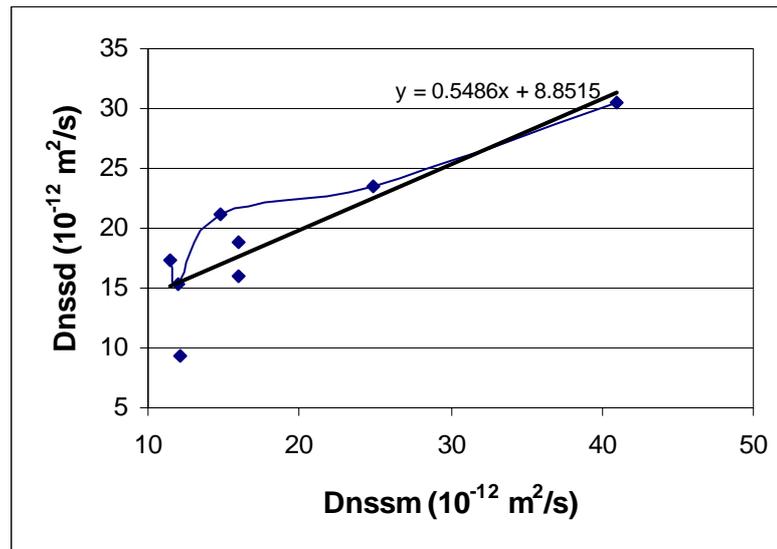
Dari Gambar 4.19, Gambar 4.20, dan Gambar 4.21 dapat disimpulkan bahwa kenaikan angka  $Dnssm$  seiring dengan angka kenaikan  $Dnssd$  pada seluruh beton yang terekspos di tambak, dan laboratorium dengan kadar garam 3%, dan 10% dengan beton yang mengalami percepatan penetrasi ion klorida dengan menggunakan arus DC.



Gambar 4.22. Korelasi penetrasi ion klorida antara  $Dnssm$  dan  $Dnssd$  selama 6 bulan di tambak



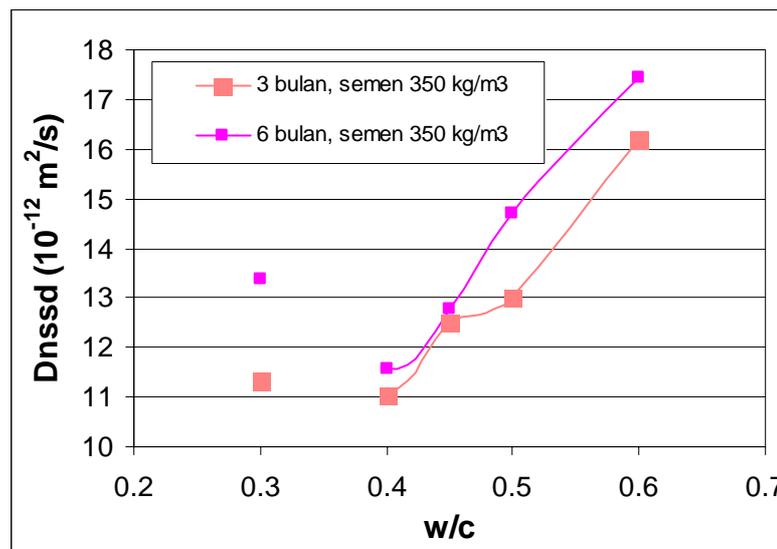
Gambar 4.23. Korelasi penetrasi ion klorida antara  $Dnssm$  dan  $Dnssd$  selama 6 bulan di laboratorium (3%)



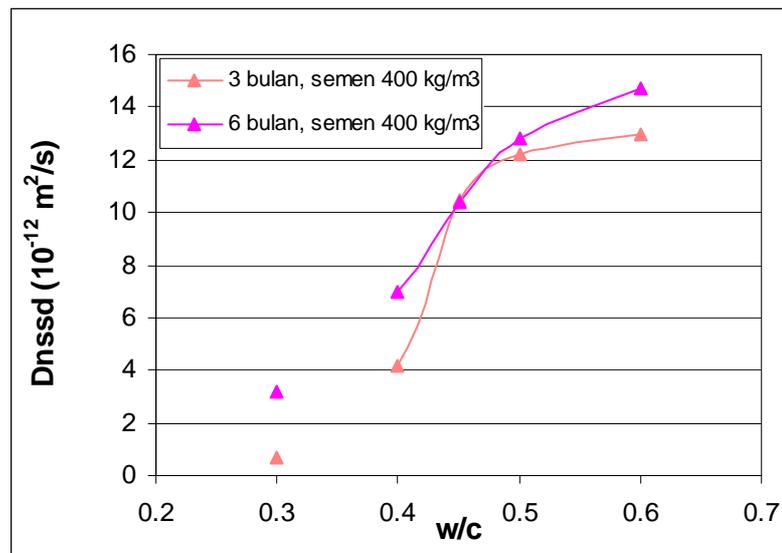
Gambar 4.24. Korelasi penetrasi ion klorida antara  $Dnssm$  dan  $Dnssd$  selama 6 bulan di laboratorium (10%)

Dari gambar Gambar 4.22, Gambar 4.23, dan Gambar 4.24 diatas didapatkan korelasi antara  $Dnssm$  dan  $Dnssd$  yaitu berupa persamaan garis  $y=0.2019x+9.0242$  untuk beton yang terekspos di tambak,  $y=0.2005x+4.887$  untuk beton yang terkspes di laboratorium (3%), dan yang terakhir beton di laboratorium dengan kadar garam 10%  $y=0.5486x+8.8515$ , dimana  $y$  adalah  $Dnssd$  ( $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ), sedangkan  $x$  adalah  $Dnssm$  ( $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ ).

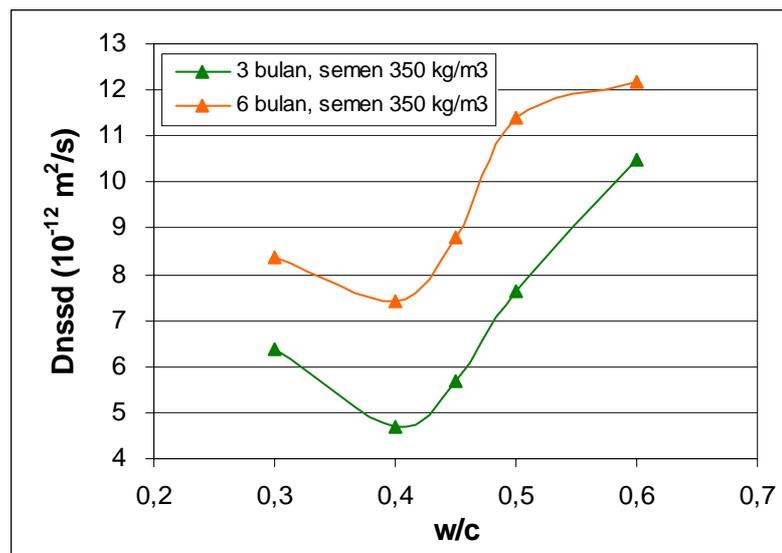
#### 4.2.3 Perbandingan Dnssd beton selama 3 bulan dan 6 bulan



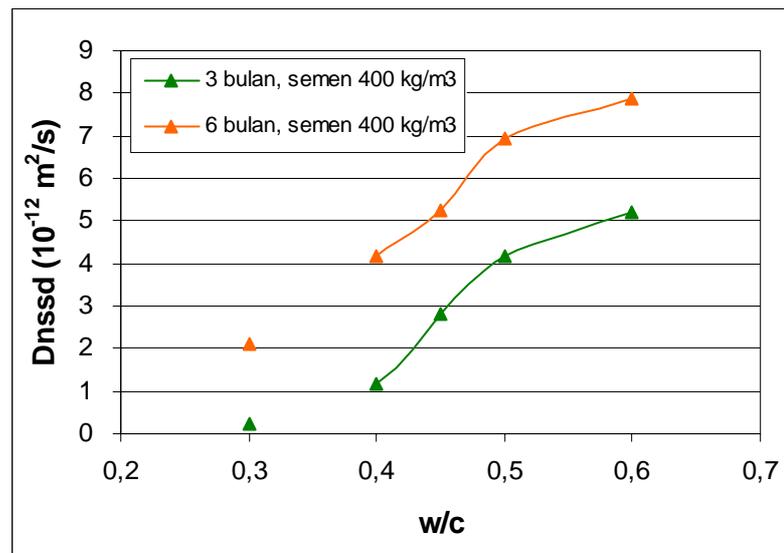
Gambar 4.25. Hubungan  $Dnssd$  di tambak selama 3 bulan dan 6 bulan ( $C=350 \text{ kg/m}^3$ )



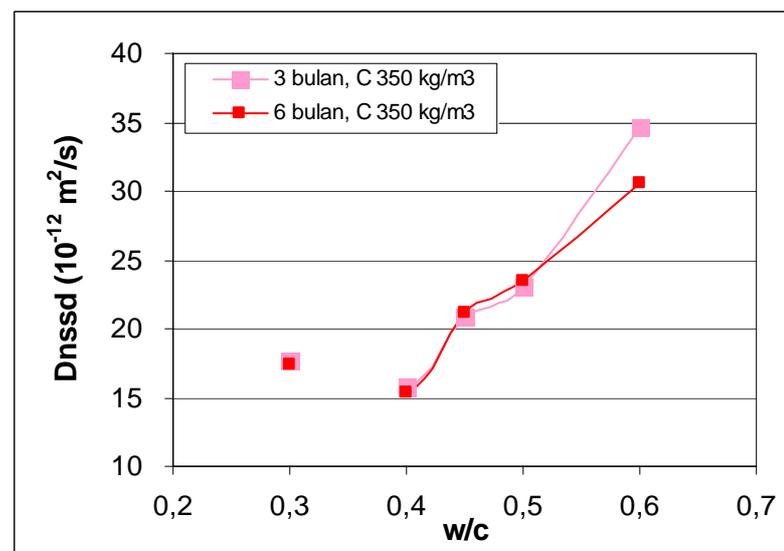
Gambar 4.26. Hubungan  $D_{nssd}$  di tambak selama 3 bulan dan 6 bulan ( $C=400\text{kg/m}^3$ )



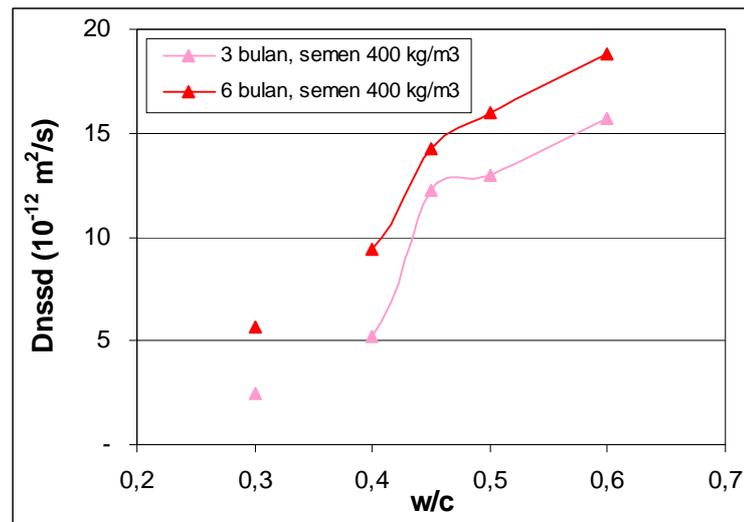
Gambar 4.27. Hubungan  $D_{nssd}$  di lab 3% selama 3 bulan dan 6 bulan ( $C=350\text{kg/m}^3$ )



Gambar 4.28. Hubungan  $Dnssd$  di lab 3% selama 3 bulan dan 6 bulan ( $C=400\text{kg/m}^3$ )



Gambar 4.29. Hubungan  $Dnssd$  di lab 10% selama 3 bulan dan 6 bulan ( $C=350\text{kg/m}^3$ )



Gambar 4.30. Hubungan  $Dnssd$  di lab 10% selama 3 bulan dan 6 bulan ( $C=400\text{kg/m}^3$ )

Dari Gambar 4.25 sampai Gambar 4.30 didapatkan hasil bahwa  $Dnssd$  selama 6 bulan lebih tinggi daripada  $Dnssd$  selama 3 bulan, walaupun perbedaan yang ditimbulkan sangat kecil, tidak lebih dari  $15 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ .

### 4.3 Hasil Penetrasi Ion Klorida Pada Beton *Fly Ash* dengan Aktivasi Larutan Alkali

Penetrasi ion klorida dengan menggunakan arus DC di bagi menjadi 3 bagian besar, yaitu penetrasi pada beton dengan *fly ash*, pada beton dengan *fly ash* dan NaOH yang di campurkan, dan pada beton dengan *fly ash* yang di oles dengan NaOH pada umur 28 hari.

#### 4.3.1 Hasil uji penetrasi pada beton biasa dan beton dengan menggunakan *fly ash*

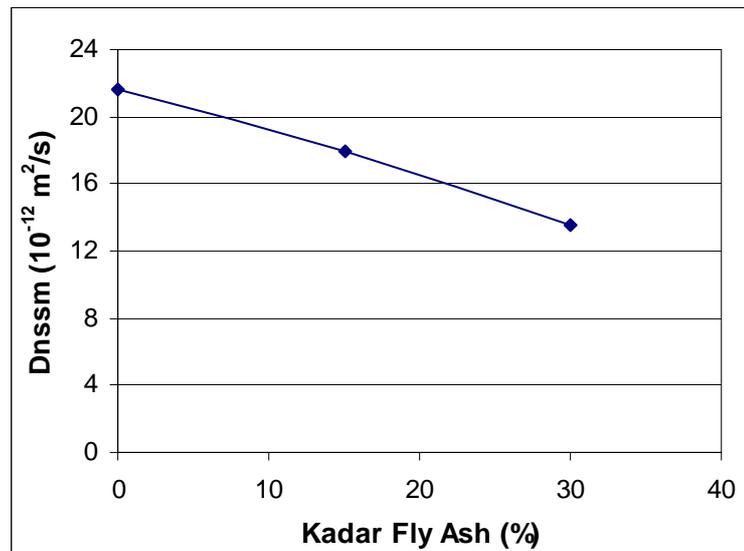
Tabel 4.7.  $Dnssm$  pada beton biasa

Mix	Kadar <i>Fly ash</i>	No Sampel	xd (mm)	$Dnssm$ ( $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ )	Rata-Rata $Dnssm$ ( $10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ )
1	0%	1	38,42	22,62	21,58
		2	36,69	21,68	
		3	35,27	20,44	

Tabel 4.8. *Dnssm* pada beton dengan menggunakan *fly ash*

Mix	Kadar <i>Fly ash</i>	No Sampel	xd (mm)	<i>Dnssm</i> $10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$	Rata-Rata <i>Dnssm</i> $(10^{-12} \text{m}^2/\text{s})$
2	15%	1	27,56	19,93	17,94
		2	24,59	17,63	
		3	22,79	16,26	
3	30%	1	16,46	11,51	13,53
		2	19,58	13,91	
		3	21,09	15,17	

Penetrasi ion klorida yang terjadi pada beton dengan *fly ash* lebih kecil di bandingkan dengan beton yang tidak menggunakan *fly ash*. Beton yang tidak menggunakan *fly ash* memiliki *Dnssm* rata-rata sebesar 21,58 mm, untuk beton dengan kadar *fly ash* 15% memiliki *Dnssm* sebesar 17,94 mm, sedangkan untuk beton dengan kadar *fly ash* 30% memiliki *Dnssm* rata-rata sebesar 13,53 mm, dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa *fly ash* dapat menghambat penetrasi ion klorida dengan cukup baik.

Gambar 4.31. Hubungan *Dnssm* antara beton biasa dengan beton *fly ash*

Kadar *fly ash* yang dinaikkan dari 15% menjadi 30% juga membuat *Dnssm* menjadi lebih kecil, dan hal ini berarti semakin banyak *fly ash* yang digunakan semakin kecil *Dnssm*. Hubungan antara variasi penggunaan *fly ash* pada beton dengan *Dnssm* dapat dilihat pada Gambar 4.31.

4.3.2. Hasil uji penetrasi ion klorida pada beton dengan *fly ash* yang dicampur dengan NaOH.

Tabel 4.9. *Dnssm* pada beton dengan menggunakan *fly ash* dan NaOH

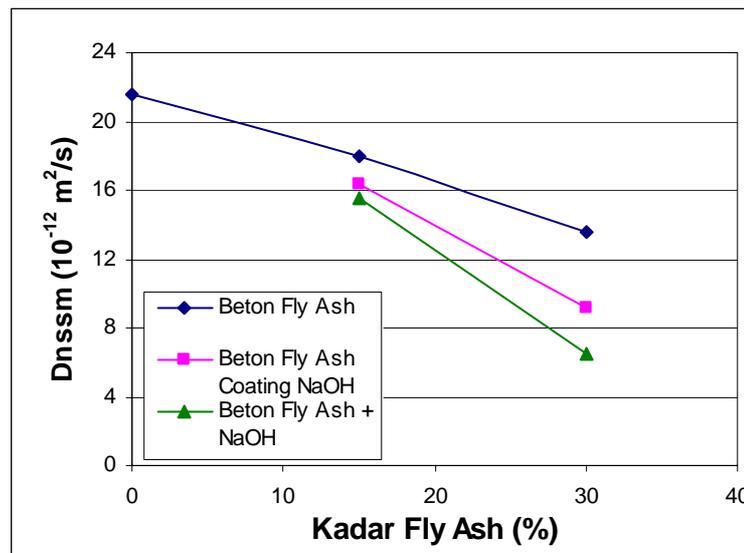
Mix	Kadar <i>Fly ash</i>	No Sampel	xd (mm)	<i>Dnssm</i> ( $10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ )	Rata-Rata <i>Dnssm</i> ( $10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ )
4	15%	1	22,92	16,23	15,57
		2	23,12	16,67	
		3	19,56	13,81	
5	30%	1	8,55	5,42	6,44
		2	9,87	6,48	
		3	11,13	7,43	

Penggunaan NaOH memberikan pengaruh yang cukup besar untuk mereduksi penetrasi pada ion klorida, terutama pada kadar *fly ash* 30%. Hal ini dimungkinkan karena *fly ash* yang bereaksi dengan semen *portland* tidak sampai 30%. Dan sisa *fly ash* yang tidak bereaksi dengan semen dapat diaktifkan dengan menggunakan NaOH sehingga penggunaan *fly ash* dengan kadar yang cukup besar dapat maksimal.

4.3.2 Hasil uji penetrasi ion klorida pada beton dengan *fly ash* yang dioles dengan NaOH.

Tabel 4.10. *Dnssm* pada beton menggunakan *fly ash* yang dioles dengan NaOH

Mix	Kadar <i>Fly ash</i>	No Sampel	xd (mm)	<i>Dnssm</i> ( $10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ )	Rata-Rata <i>Dnssm</i> ( $10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ )
6	15%	1	24,12	17,74	16,40
		2	23,44	16,98	
		3	20,65	14,49	
7	30%	1	13,47	9,16	9,22
		2	12,90	8,69	
		3	14,47	9,79	

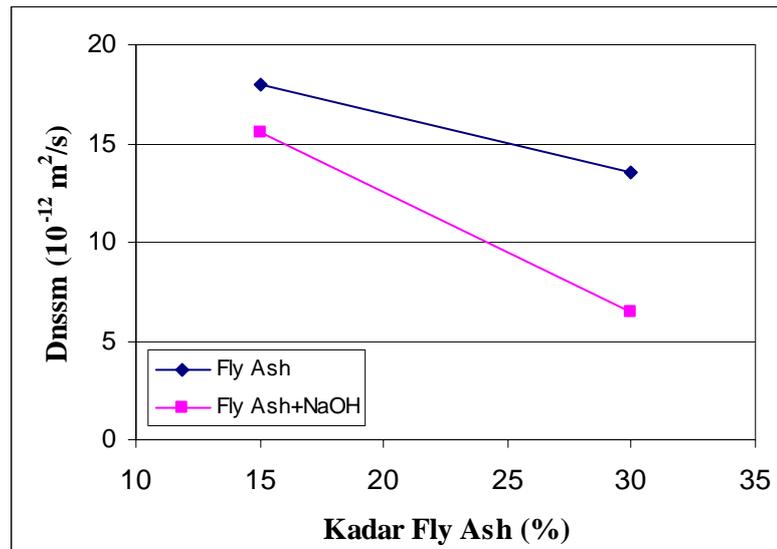


Gambar 4.32.  $Dnssm$  untuk semua beton dengan aktivasi larutan NaOH

Penggunaan NaOH yang dioles memberikan pengaruh yang cukup besar, tetapi tidak sebesar jika NaOH di campur secara langsung dalam proses pengecoran, kurang maksimalnya penggunaan NaOH dengan cara dioles, kemungkinan di karenakan pengolesan yang dilakukan pada umur 28 hari, pada umur 28 hari reaksi *fly ash* dengan semen belum maksimal, dan hal ini dibuktikan dengan munculnya serbuk-serbuk halus yang kemungkinan adalah *fly ash*. yang tidak bereaksi dengan semen pada umur 52 hari, serbuk tersebut tidak terlihat pada waktu dilakukan pengolesan pada umur beton 28 hari.

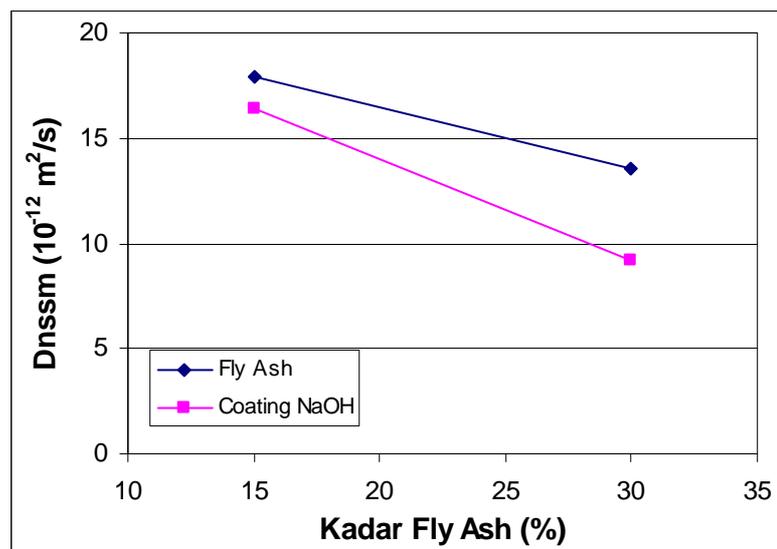
#### 4.3.3 Hubungan $Dnssm$ antar *mix design*

Beton yang menggunakan *fly ash* memiliki  $Dnssm$  yang lebih besar di bandingkan dengan beton yang menggunakan *fly ash* dan NaOH, hal ini berarti penetrasi ion klorida yang terjadi pada beton yang di campur dengan *fly ash* dan NaOH lebih kecil dibandingkan dengan beton yang hanya menggunakan *fly ash*, semakin tinggi kadar *fly ash* hasil yang di dapat untuk mereduksi ion klorida semakin baik, untuk beton yang dicampur dengan *fly ash* dengan kadar 15% dan NaOH memiliki rata-rata  $Dnssm$  sebesar  $15,57 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ , sedangkan beton yang menggunakan *fly ash* dengan kadar 30% dan NaOH, memiliki rata-rata  $Dnssm$  sebesar  $9,22 \cdot 10^{-12} \text{ m}^2/\text{s}$ , terjadi peningkatan yang cukup besar.



Gambar 4.33.  $Dnssm$  antara beton *fly ash* biasa dengan beton *fly ash* yang dicampur dengan NaOH

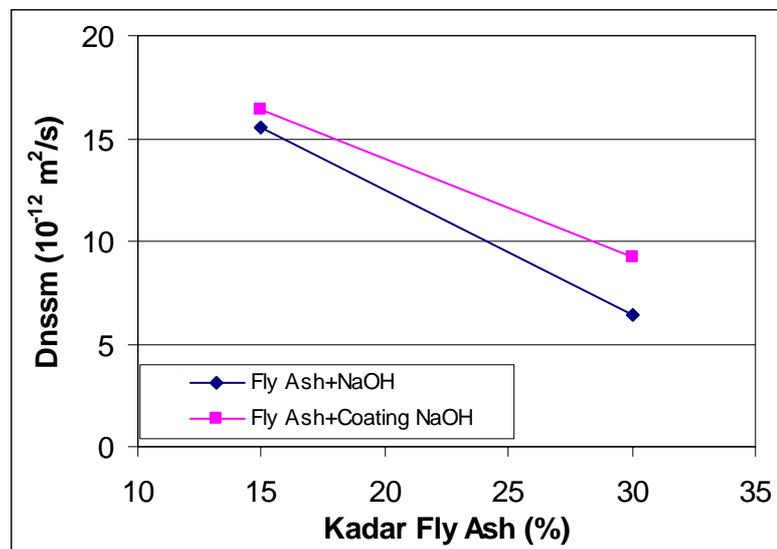
Dari Gambar 4.33. dapat dilihat bahwa semakin besar kadar *fly ash* semakin besar perbedaan  $Dnssm$  antara beton yang menggunakan NaOH dan yang tidak menggunakan NaOH. Hal ini disebabkan karena dalam kadar rendah seluruh *fly ash* dapat beraksi dengan semen, tetapi dalam kadar tinggi hanya sebagian *fly ash* yang bereaksi dengan semen, sehingga peningkatan yang terjadi tidak terlalu besar, tetapi jika menggunakan NaOH seluruh *fly ash* dapat beraksi, karena sisa *fly ash* yang tidak bereaksi dengan semen beraksi dengan NaOH.



Gambar 4.34. Pengaruh coating NaOH pada  $Dnssm$  beton *fly ash*

Pengaruh penggunaan NaOH yang dioleskan ke permukaan beton, memberikan pengaruh namun tidak sebesar jika NaOH tersebut dicampurkan langsung ke dalam campuran beton *fly ash*. Hal yang menyebabkan kurang maksimalnya pengaruh NaOH yang dioleskan kemungkinan dikarenakan pengolesan yang dilakukan pada saat umur beton masih 28 hari, karena pada saat umur 28 hari reaksi *fly ash* belum maksimal, hal ini dibuktikan dengan keluarnya serbuk-serbuk halus di permukaan luar beton pada saat umur beton 52 hari. Serbuk-serbuk tersebut tidak ada pada saat umur beton masih 28 hari, sehingga kemungkinan pengolesan NaOH yang dilakukan tidak bisa beraksi dengan *fly ash* secara maksimal.

Dari gambar 4.34. dapat dilihat bahwa penggunaan NaOH yang dioleskan pada permukaan beton mampu mengurangi besarnya ion klorida yang masuk ke dalam beton, walaupun tidak sebesar jika NaOH dicampurkan secara langsung. Semakin besar *fly ash* yang digunakan semakin besar perbedaan antara beton yang hanya menggunakan *fly ash* saja, dan beton yang menggunakan *fly ash* dan NaOH yang dioleskan.



Gambar 4.35. Pengaruh cara aplikasi NaOH pada beton *fly ash* terhadap *Dnssm*

Untuk perbandingan antara beton yang menggunakan NaOH sebagai campuran dan NaOH yang dioleskan pada beton *fly ash* ditunjukkan pada Gambar 4.35. Dari Gambar 4.35. dapat dilihat bahwa penggunaan NaOH yang dioles dan NaOH yang dicampurkan dalam mereduksi penetrasi ion klorida, penggunaan NaOH yang di campurkan secara langsung memiliki hasil yang lebih baik. Untuk

kadar *fly ash* yang rendah perbedaan yang terjadi tidak terlalu besar, untuk beton dengan *fly ash* 15% yang dicampur dengan NaOH memiliki nilai  $D_{nssm}$  sebesar  $15,57 \cdot 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ , sedangkan beton dengan *fly ash* 15% yang dioles dengan NaOH memiliki nilai  $D_{nssm}$  sebesar  $16,40 \cdot 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ . Untuk kadar *fly ash* 30%, perbedaan antara beton *fly ash* yang dicampur dengan NaOH dan dioles dengan NaOH semakin membesar, untuk beton dengan *fly ash* 30% yang dicampur dengan NaOH memiliki nilai  $D_{nssm}$  sebesar  $6,4 \cdot 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ , dan untuk beton dengan *fly ash* 30% yang dioles dengan NaOH memiliki nilai  $D_{nssm}$  sebesar  $9,22 \cdot 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$ .