

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gradasi Agregat

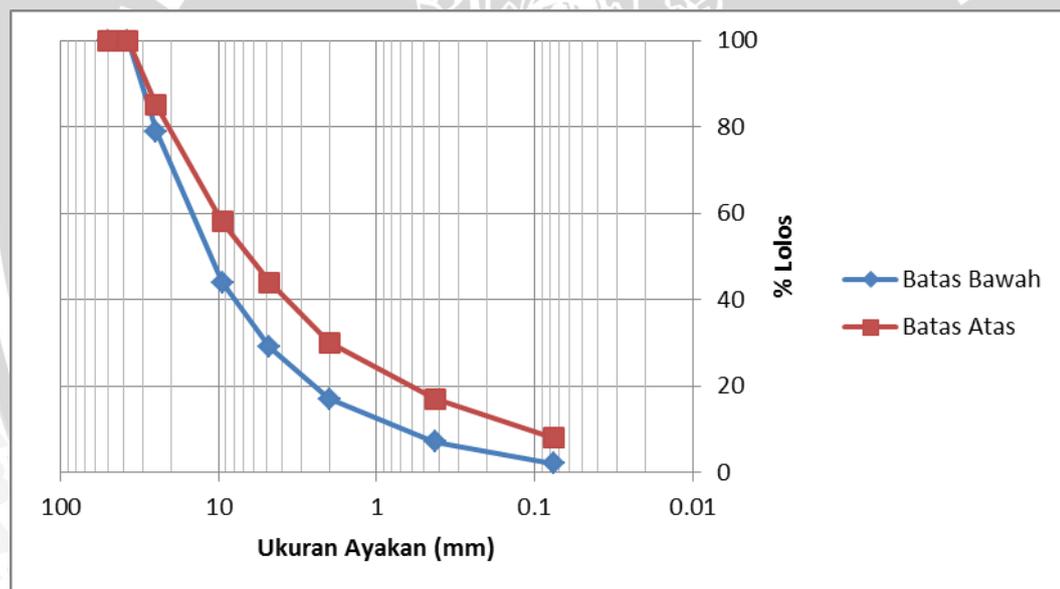
Analisa saringan dilakukan berdasarkan prosedur praktikum mekanika tanah. Sebelumnya telah disiapkan 10 karung dengan ukuran agregat berbeda beda. Agregat kasar didapatkan di daerah Ngoro, Mojokerto. Kemudian dipersiapkan saringan mulai saringan ukuran 2” hingga saringan nomor 200. Tujuan dari analisa saringan ini untuk mendapatkan 3 macam gradasi yang akan digunakan sebagai benda uji percobaan selanjutnya.

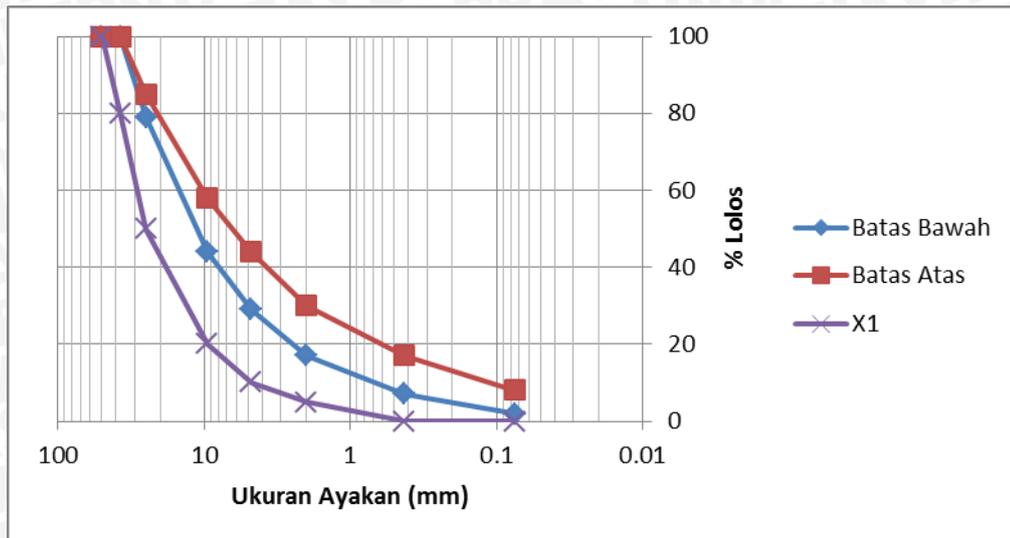
Sebelum memulai analisa saringan, terlebih dahulu dipersiapkan 4 karung untuk tempat masing-masing ukuran agregat kasar dan 3 plastik besar untuk tempat masing-masing agregat halus. Sepuluh karung diayak hingga memisahkan agregat-agregat berdasarkan ukurannya dengan menggunakan saringan dengan ukuran 2”, 1.5”, 3/8”, saringan nomor 4, nomor 10, nomor 40, dan nomor 200. Setelah itu membuat masing masing gradasi dengan cara menimbang setiap ukuran agregat sesuai kebutuhan masing masing ukuran. Kebutuhan berat masing masing ukuran dihitung berdasarkan tabel analisa saringan. Namun terlebih dahulu harus ditentukan prosentase lolos saringan untuk masing masing ukuran dan juga total berat benda uji dalam satu mold.

Tujuan lain dari penelitian ini untuk mendapatkan CBR maksimal yang dapat dicapai akibat modifikasi gradasi agregat pondasi *porous pavement*. Karena *porous pavement* direncanakan untuk material jalan kelas A, maka sesuai ketentuan binamarga, lapisan pondasi gradasi menggunakan kelas A dengan CBR minimum 80%. CBR kelas A tersebut menjadi *baseline* atau patokan untuk modifikasi gradasi pondasi. Kebutuhan berat gradasi baseline dan gradasi modifikasi ditunjukkan pada Tabel 4.1. Tiga macam gradasi hasil modifikasi gradasi kelas A ditunjukkan pada Gambar 4.1 hingga Gambar 4.5.

Tabel 4.1 Kebutuhan berat gradasi baseline dan gradasi modifikasi

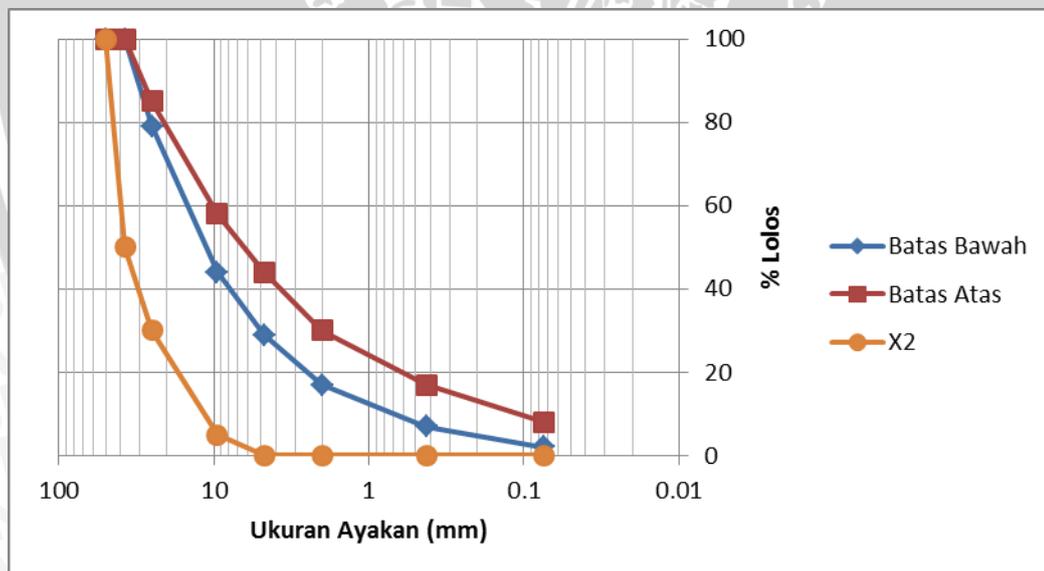
Ukuran Ayakan	Diameter	Kelas A		Variasi Gradasi		
		Batas Bawah	Batas Atas	X1	X2	X3
2"	50	0	0	0	0	0
1.5"	37.5	0	0	1100	2750	0
1"	25	1155	825	1650	1100	990
3/8"	9.5	1925	1485	1650	1375	1760
no. 4	4.75	825	770	550	275	825
no. 10	2	660	770	275	0	550
no. 40	0.425	550	715	275	0	825
no. 200	0.075	275	495	0	0	275

**Gambar 4.1** Grafik gradasi baseline A



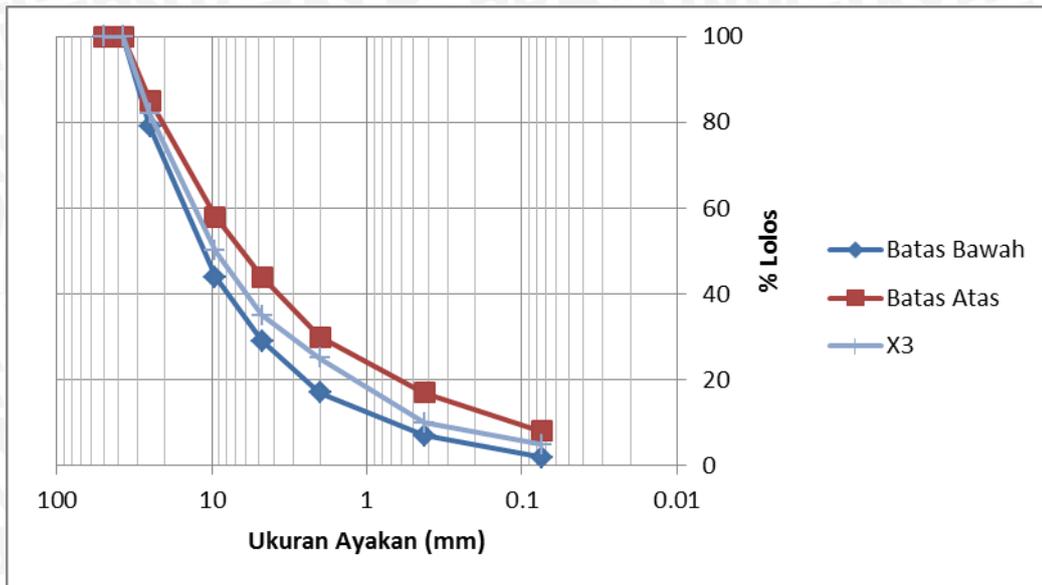
Gambar 4.2 Grafik gradasi X1

Benda uji gradasi X1 merupakan hasil modifikasi ASTM No. 57. Modifikasi ini bertujuan untuk menyesuaikan gradasi ASTM No. 57 dengan gradasi pada div. 5 perkerasan berbutir Bina Marga kelas A. Gradasi ini berada di luar dari baseline Binamarga bertujuan untuk memperbesar porositas.



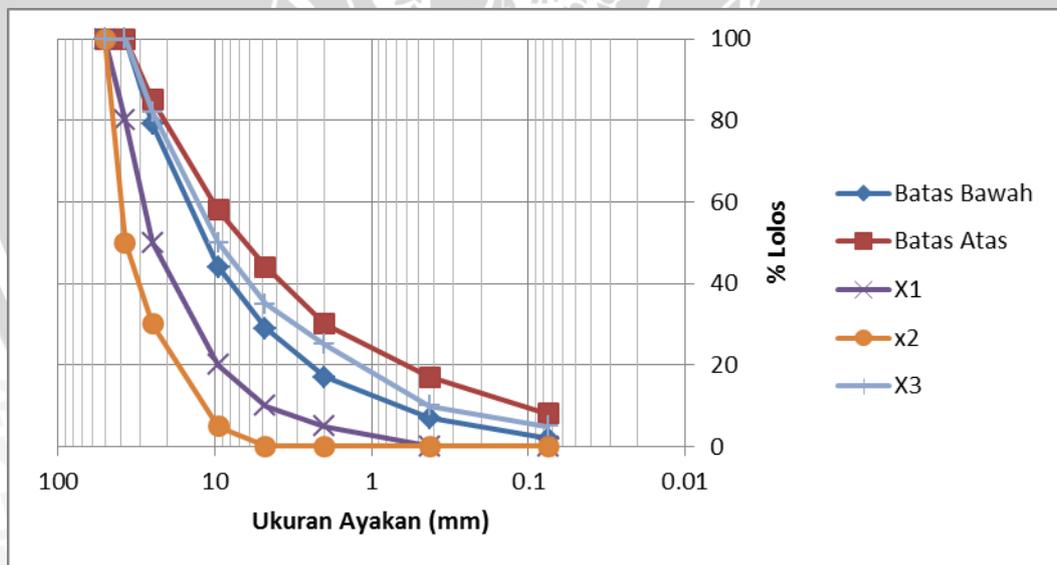
Gambar 4.3 Grafik gradasi X2

Benda uji gradasi X2 adalah hasil modifikasi dari X1 dengan memperbanyak gradasi 1½' dan mengurangi gradasi 1', 3/8', no. 4, dan no. 10. Tujuan dilakukan modifikasi ini adalah juga untuk memperbesar porositas. Gradasi ini terdiri dari lebih banyak agregat kasar dibandingkan dengan gradasi X1.



Gambar 4.4 Grafik gradasi X3

Benda uji X3 berada di antara *range* batas atas dan batas bawah pada baseline. Hal ini bertujuan untuk mengetahui nilai CBR maksimum yang didapat dari baseline Binamarga.



Gambar 4.5 Grafik gradasi baseline A, X1, X2, dan X3

Dari 5 gradasi yang diambil bertujuan untuk mendapatkan nilai CBR maksimal. Lima gradasi tersebut terdiri dari 3 gradasi di dalam *range baseline* Binamarga, dan 2 gradasi lain merupakan gradasi di luar *range baseline* Binamarga. Tujuan dari ditentukan gradasi ini selain untuk mendapatkan nilai CBR yang maksimum, juga

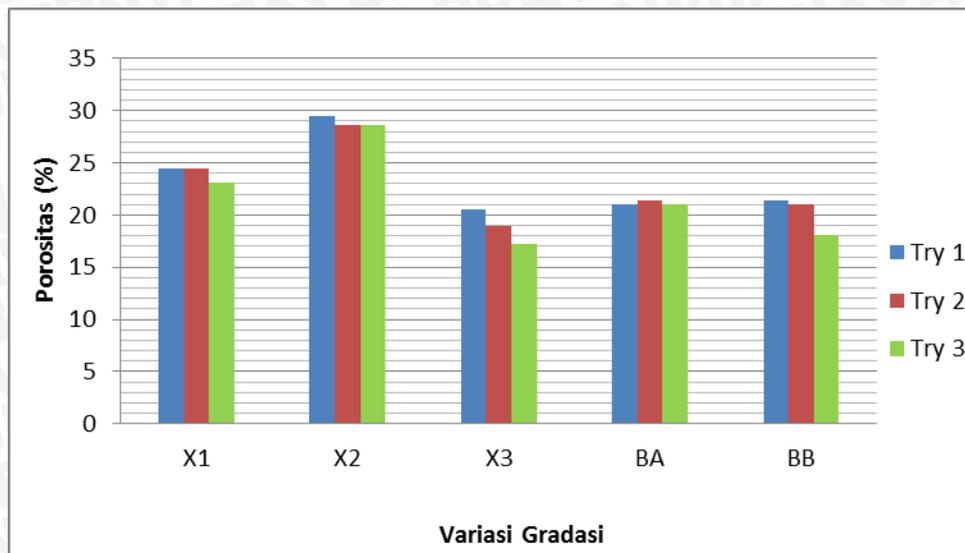
didapatkan porositas yang maksimum pula, sehingga didapatkan hasil untuk pondasi *porous pavement* yang optimum.

4.2 Porositas

Pengujian porositas bertujuan untuk mengetahui prosentase antara volume ruang kosong atau rongga dengan volume keseluruhan mold. Untuk mengetahui volume ruang kosong atau rongga udara dapat dilakukan dengan cara mengisi dengan air, volume air yang masuk kedalam benda uji sama dengan volume ruang kosong yang diisi rongga udara.

Tabel 4.2 Hasil pengujian porositas, Khusnul Malik, 2013

Gradasi	Benda Uji	Sisa Air	Volume Air masuk	Porositas	Rata-rata Porositas
		mL	mL	%	%
X1	1	610	575.699	24.408	24.408
	2	610	575.699	24.408	
	3	640	545.699	23.136	
X2	1	490	695.699	29.496	28.930
	2	510	675.699	28.648	
	3	510	675.699	28.648	
X3	1	700	485.699	20.592	18.896
	2	740	445.699	18.896	
	3	780	405.699	17.200	
BA	1	690	495.699	21.016	21.158
	2	680	505.699	21.440	
	3	690	495.699	21.016	
BB	1	760	425.699	18.048	18.048
	2	740	445.699	18.896	
	3	780	405.699	17.200	



Gambar 4.6 Grafik hasil pengujian porositas

Hasil pengujian porositas yang disajikan pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.6 menunjukkan porositas paling besar didapat dari gradasi X2. Dari Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa porositas paling tinggi dimiliki gradasi di luar *range baseline* Binamarga, yaitu X1 dan X2. Sedangkan gradasi di dalam *range baseline* Binamarga, yaitu X3, Batas Atas, dan Batas Bawah memiliki porositas lebih kecil.

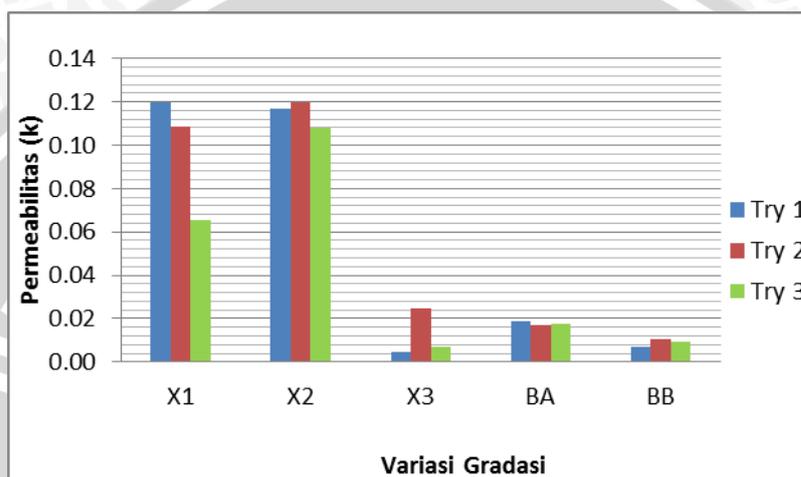
Hal ini dikarenakan gradasi X1 dan X2 yang berada di luar *range baseline* Binamarga didominasi agregat kasar, sehingga rongga di dalam mold lebih besar dari gradasi di dalam *range baseline* Binamarga.

4.3 Permeabilitas

Pengujian permeabilitas bertujuan untuk mengetahui kecepatan aliran air yang melewati suatu benda uji. Dalam penelitian ini benda uji yang digunakan adalah material granular, sehingga digunakan permeabilitas dengan metode *constant head*. Nilai permeabilitas (k) untuk agregat berukuran $\frac{1}{4}$ " adalah 1250 inch/hour atau sekitar 0,88 cm/det. Hasil percobaan constant head secara teoritis disajikan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengujian permeabilitas, Khusnul Malik, 2013

No	UJI PERMEABILITAS			
	Try 1	Try 2	Try 3	Rata-rata
X1	0.120	0.109	0.066	0.098
X2	0.117	0.120	0.108	0.115
X3	0.004	0.025	0.007	0.012
BA	0.019	0.017	0.018	0.018
BB	0.007	0.010	0.009	0.009

**Gambar 4.7** Grafik hasil pengujian permeabilitas

Dari Gambar 4.7 diamati hubungan antara permeabilitas dengan karakteristik gradasi, dapat diambil kesimpulan bahwa semakin banyak jumlah ukuran butir halus dalam suatu gradasi maka kecepatan permeabilitas akan turun atau dengan kata lain mengurangi kecepatan aliran air. Hal tersebut dikarenakan rongga udara terisi oleh agregat.

Pada penelitian ini diperoleh koefisien permeabilitas tertinggi pada variasi gradasi X1 dan X2 yang terletak di luar *range baseline* Binamarga, variasi tersebut merupakan gradasi yang tersusun oleh agregat berbutir kasar dengan prosentase lebih besar dari pada agregat berbutir halus, dan terjadi rongga lebih besar maka air dengan mudah teralirkan sehingga memiliki permeabilitas yang tinggi.

4.4 Penambahan Volume Air

Pada penelitian ini difungsikan untuk mengetahui pengaruh jumlah air hujan yang melewati lapis permukaan pondasi *porous pavement* dengan cara mengalirkan air

dengan volume yang berbeda-beda untuk masing-masing gradasi. Kemudian air yang tertampung di bawah mold diukur volumenya sebagai volume tertampung. Lalu volume dalam mold dihitung dengan cara menghitung selisih volume air yang dimasukkan dengan volume tertampung. Hasil dari percobaan pengaliran air ditunjukkan pada Tabel 4.4, dan Tabel 4.5.

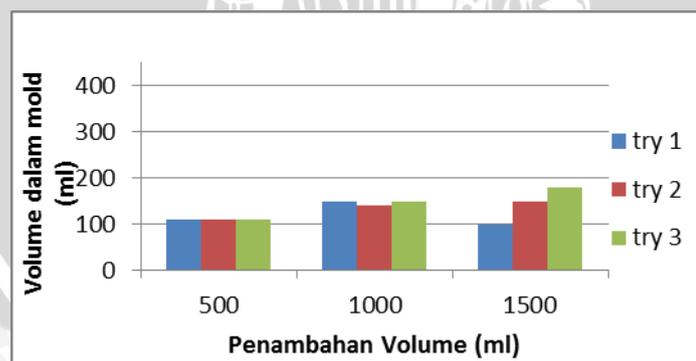
Tabel 4.4 Tabel Hasil Pengaliran Air dengan Volume 500 ml dan 1000 ml

GRADASI	PENAMBAHAN AIR 500 ml				PENAMBAHAN AIR 1000 ml			
	VOLUME TERTAMPUNG		VOLUME DALAM MOLD		VOLUME TERTAMPUNG		VOLUME DALAM MOLD	
X1	320	ml	180	MI	800	ml	200	ml
X1	330	ml	170	MI	800	ml	200	ml
X1	330	ml	170	MI	790	ml	210	ml
X2	390	ml	110	MI	850	ml	150	ml
X2	390	ml	110	MI	860	ml	140	ml
X2	390	ml	110	MI	850	ml	150	ml
X3	280	ml	220	MI	610	ml	390	ml
X3	160	ml	340	MI	620	ml	380	ml
X3	150	ml	350	MI	570	ml	430	ml
BA	260	ml	240	MI	680	ml	320	ml
BA	280	ml	220	MI	700	ml	300	ml
BA	180	ml	320	MI	650	ml	350	ml
BB	190	ml	310	MI	640	ml	360	ml
BB	185	ml	315	MI	680	ml	320	ml
BB	220	ml	280	MI	700	ml	300	ml

Tabel 4.5 Tabel Hasil Pengaliran Air dengan Volume 1500 ml

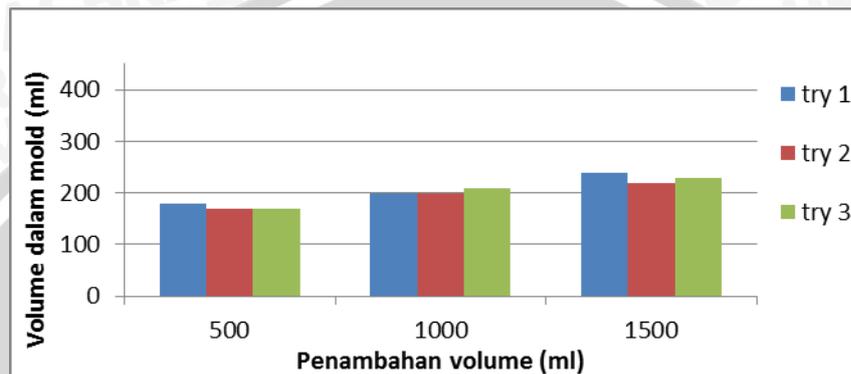
GRADASI	PENAMBAHAN AIR 1500 ml			
	VOLUME TERTAMPUNG		VOLUME DALAM MOLD	
X1	1260	MI	240	ml
X1	1280	MI	220	ml
X1	1270	MI	230	ml
X2	1400	MI	100	ml
X2	1350	MI	150	ml
X2	1320	MI	180	ml
X3	1150	MI	350	ml
X3	1110	MI	390	ml
X3	1100	MI	400	ml
BA	1160	MI	340	ml
BA	1090	MI	410	ml
BA	1120	MI	380	ml
BB	1180	MI	320	ml
BB	1185	MI	315	ml
BB	1180	MI	320	ml

Lebih jelasnya digambarkan pada Gambar 4.8 sampai Gambar 4.12. Grafik pengaliran air diurutkan berdasarkan karakteristik gradasi. Dari gradasi yang paling kasar ke gradasi yang paling banyak mengandung agregat halus, yaitu dari X2, X1, BB, X3, dan BA.

**Gambar 4.8** Jumlah Volume air di dalam mold untuk gradasi X2

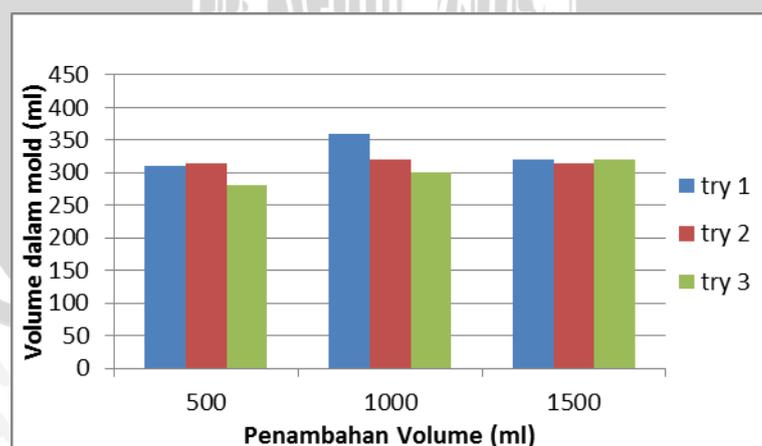
Gambar 4.8 menunjukkan volume air yang tertahan di dalam mold untuk gradasi X2. Dari grafik dapat dilihat bahwa semakin banyak volume air yang diberikan, maka volume yang tertahan di mold juga bertambah, namun tidak besar.

Air yang tertahan di dalam mold hanya berkisar 100 ml sampai 170 ml. Hal ini terjadi karena gradasi terdiri dari agregat kasar sehingga sangat sedikit agregat yang mengikat air.



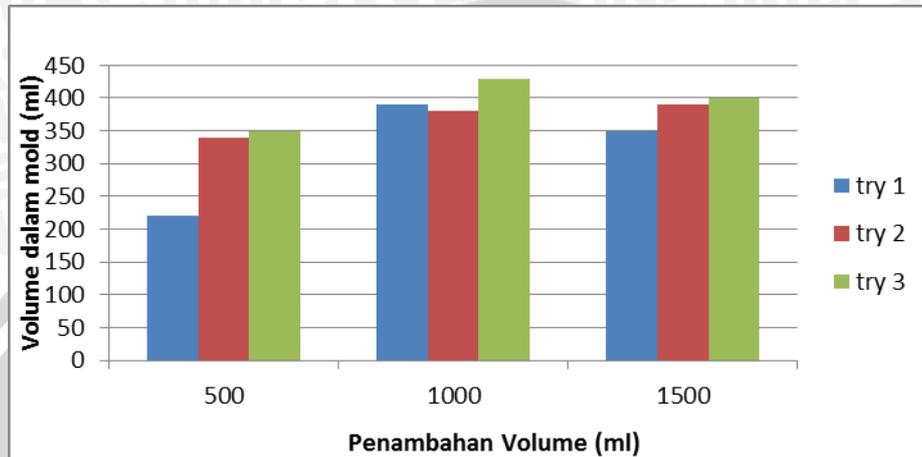
Gambar 4.9 Jumlah Volume air di dalam mold untuk gradasi X1

Gambar 4.9 menunjukkan volume air yang tertahan di dalam mold untuk gradasi X1. Sama dengan yang terjadi pada X2 yaitu semakin banyak volume air yang diberikan, maka volume yang tertahan di mold juga bertambah, namun tidak besar. Sama halnya dengan X2, air yang tertahan di dalam mold hanya berkisar 170 ml sampai 240 ml, hal ini dikarenakan agregat kasar yang mendominasi gradasi tidak dapat mengikat air.



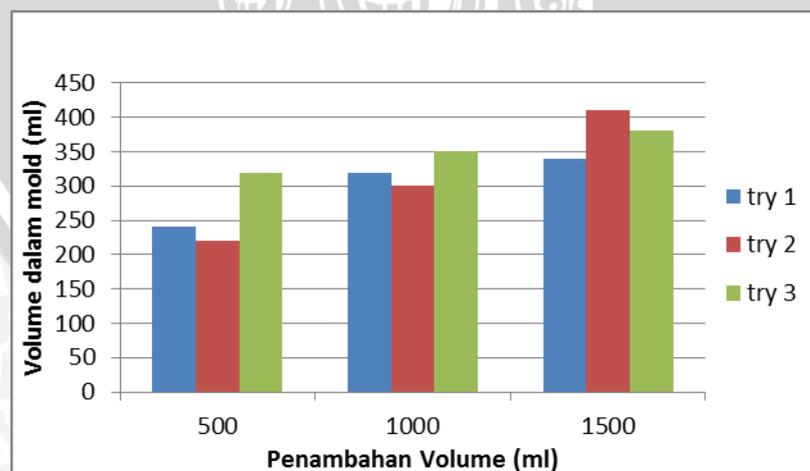
Gambar 4.10 Jumlah Volume air di dalam mold untuk gradasi BB

Gambar 4.10 menunjukkan volume air yang tertahan di dalam mold untuk gradasi BB. Berbeda dengan X2 dan X1, air yang tertahan di dalam mold berkisar 300 ml sampai 350 ml, hal ini dikarenakan agregat halus mulai mendominasi gradasi ini, sehingga air banyak yang tertahan di agregat halus. Namun dalam agregat ini volume tertahan di dalam mold tidak berubah secara signifikan.



Gambar 4.11 Jumlah Volume air di dalam mold untuk gradasi X3

Gambar 4.11 menunjukkan volume air yang tertahan di dalam mold untuk gradasi X3. Sama dengan yang terjadi pada X2 dan X1 yaitu semakin banyak volume air yang diberikan, maka volume yang tertahan di mold juga bertambah, namun tidak besar. Dalam gradasi ini, air yang tertahan di dalam mold cukup besar yaitu berkisar 300 ml sampai 400 ml, hal ini dikarenakan air tertahan di agregat halus yang mendominasi gradasi ini.



Gambar 4.12 Jumlah Volume air di dalam mold untuk gradasi BA

Gambar 4.12 menunjukkan volume air yang tertahan di dalam mold untuk gradasi BA. Sama dengan yang terjadi pada gradasi lain yaitu semakin banyak volume air yang diberikan, maka volume yang tertahan di mold juga bertambah, namun tidak besar. Dalam gradasi ini, air yang tertahan di dalam mold cukup bervariasi yaitu berkisar 250 ml sampai 400 ml, hal ini dikarenakan air tertahan di agregat halus yang mendominasi gradasi ini.

Untuk gradasi di dalam *range baseline* Binamarga yang didominasi agregat halus, volume air yang tertahan di dalam mold besar karena sebagian besar air tertahan di agregat halus. Sedangkan untuk gradasi di luar *range baseline* Binamarga, volume air yang tertahan di dalam mold lebih kecil, karena memiliki pori yang lebih besar sehingga air mudah lolos.

4.5 California Bearing Ratio

Pada penelitian ini mencari pengaruh nilai CBR akibat penambahan volume air ke dalam lapisan pondasi *porous pavement*. *California Bearing Ratio* menggunakan *profing ring* dengan beban maksimum 10.000 lbs dengan faktor kalibrasi 49,02 (sertifikat kalibrasi terlampir), dan piston berdiameter 5 cm = 1,96850 inch maka memiliki luas $\frac{1}{4}\pi d^2 = 3,042 \text{ inch}^2$.

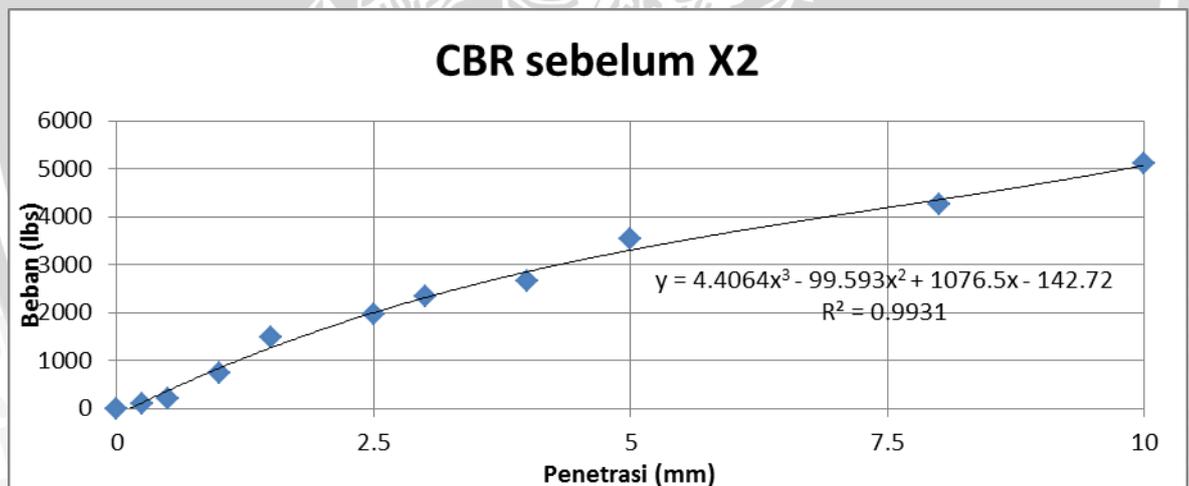
Dalam perhitungan pengujian CBR terdapat 3 tipe kurva *load-penetration*, yaitu kurva berbentuk cembung, kurva berbentuk cekung-cembung, dan kurva cekung.

4.5.1 Contoh Perhitungan 1

Pembacaan CBR pada gradasi X2 sebelum dilakukan percobaan penambahan volume yang ditunjukkan pada tabel 4.6.

Tabel 4.6 Contoh perhitungan CBR Sebelum X2

Penetrasi Mm	Penetrasi inch	Pembacaan proving ring	Beban (Lbs)
0	0.0000	0	0
0.25	0.0098	2	98.04
0.5	0.0197	4	196.08
1	0.0394	15	735.3
1.5	0.0591	30	1470.6
2.5	0.1	40	1960.8
3	0.1181	47.5	2328.45
4	0.1575	54	2647.08
5	0.2	72	3529.44
8	0.3	87	4264.74
10	0.3937	104	5098.08

**Gambar 4.13** Grafik CBR untuk gradasi X2 sebelum dilakukan percobaan

Pembacaan arloji pada penurunan 0,1'' = 40

Beban Penetrasi = Pembacaan proving ring 0,1'' x factor kalibrasi
= 40 x 49,02 = 1960,8 lbs

Pembacaan arloji pada penurunan 0,2'' = 72

Beban Penetrasi = Pembacaan proving ring 0,2'' x factor kalibrasi
= 72 x 49,02 = 3529,44 lbs

Beban disesuaikan dengan grafik dan persamaan :

Untuk $x = 0,1'' = 2.5 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Beban} &= 4,4064 x^3 - 99,593 x^2 + 1076,5 x - 142,72 \\ &= 4,4064 (2,5)^3 - 99,593 (2,5)^2 + 1076,5 (2,5) - 142,72 \\ &= 1994,924 \text{ lbs} \end{aligned}$$

Untuk $x = 0,2'' = 5 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Beban} &= 4,4064 x^3 - 99,593 x^2 + 1076,5 x - 142,72 \\ &= 4,4064 (5)^3 - 99,593 (5)^2 + 1076,5 (5) - 142,72 \\ &= 3300,755 \text{ lbs} \end{aligned}$$

$$\text{CBR } 0,1'' = \frac{\text{beban}}{\text{luas piston} \times \text{beban std}} = \frac{1994,924}{3,042 \times 1000} \times 100\% = 65,579\%$$

$$\text{CBR } 0,2'' = \frac{\text{beban}}{\text{luas piston} \times \text{beban std}} = \frac{3300,755}{3,042 \times 1500} \times 100\% = 72,337\%$$

Tabel 4.7 Hasil nilai CBR 0,1'' dan CBR 0,2'' untuk gradasi X2 sebelum dilakukan percobaan

Penetrasi Inch	Penetrasi mm	load (lbs)	Beban std (lb/inch ²)	CBR (%)
0.1	2.5	1994.924	1000	65.579
0.2	5	3300.755	1500	72.337

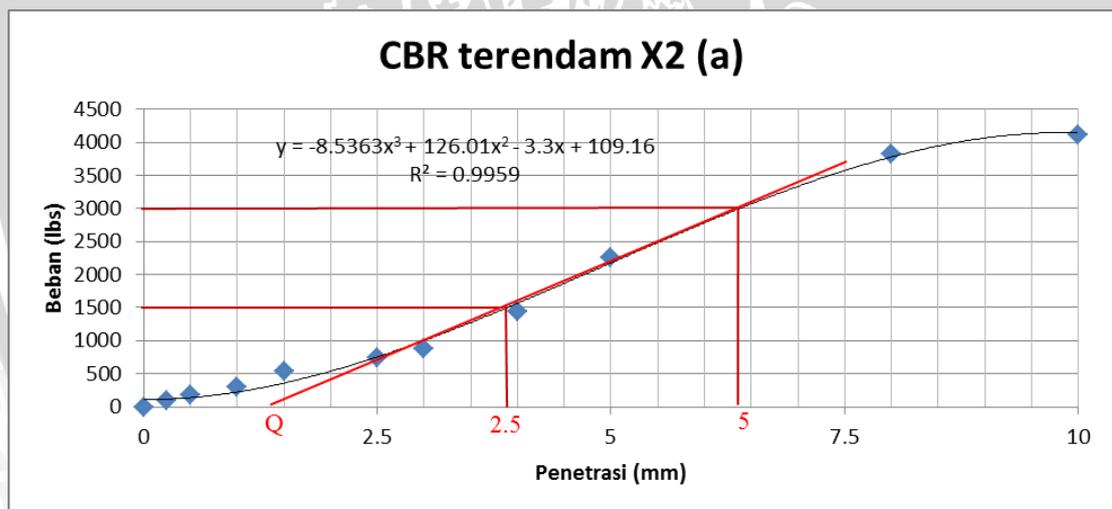
Dari hasil CBR 0,1'' dan CBR 0,2'' diambil nilai yang terbesar yaitu CBR 0,2'' dengan nilai 72,337%.

4.5.2 Contoh Perhitungan 2

Pembacaan CBR pada gradasi X2 terendam *try a* yang ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8 Contoh perhitungan CBR Terendam X2 untuk *try a*

Penetrasi mm	Penetrasi inch	Pembacaan proving ring	Beban (Lbs)
0	0.0000	0	0
0.25	0.0098	2	98.04
0.5	0.0197	3.5	171.57
1	0.0394	6	294.12
1.5	0.0591	11	539.22
2.5	0.1	15	735.3
3	0.1181	18	882.36
4	0.1575	29.5	1446.09
5	0.2	46	2254.92
8	0.3	78	3823.56
10	0.3937	84	4117.68

**Gambar 4.14** Grafik CBR untuk gradasi X2 terendam *try a*

CBR dengan kurva seperti pada Gambar 4.14 terjadi karena bagian permukaan mengalami gangguan atau pemadatan yang kurang benar. Oleh karena itu perlu dilakukan pembenaran seperti pada Grafik 4.12. Pembenaran kurva dilakukan dengan menarik garis singgung terbanyak dari grafik menuju $y=0$, titik itu disebut Q atau 0 yang baru. Kemudian mengambil jarak sejauh x 2,5 mm atau 0,1” dan 5 mm atau 0,2”, maka y merupakan beban yang untuk CBR.

Untuk $x = 0,1'' = 2.5 \text{ mm}$

Beban = 1500 lbs

Untuk $x = 0,2'' = 5 \text{ mm}$

Beban = 3000 lbs

$$\text{CBR } 0,1'' = \frac{\text{beban}}{\text{luas piston} \times \text{beban std}} = \frac{1500}{3,042 \times 1000} \times 100\% = 49,310\%$$

$$\text{CBR } 0,2'' = \frac{\text{beban}}{\text{luas piston} \times \text{beban std}} = \frac{3000}{3,042 \times 1500} \times 100\% = 65,746\%$$

Tabel 4.9 Hasil nilai CBR 0,1'' dan CBR 0,2'' untuk gradasi X2 terendam *try a*

Penetrasi Inch	Penetrasi mm	load (lbs)	Beban std (lb/inch ²)	CBR (%)
0.1	2.5	1500.000	1000	49.310
0.2	5	3000.000	1500	65.746

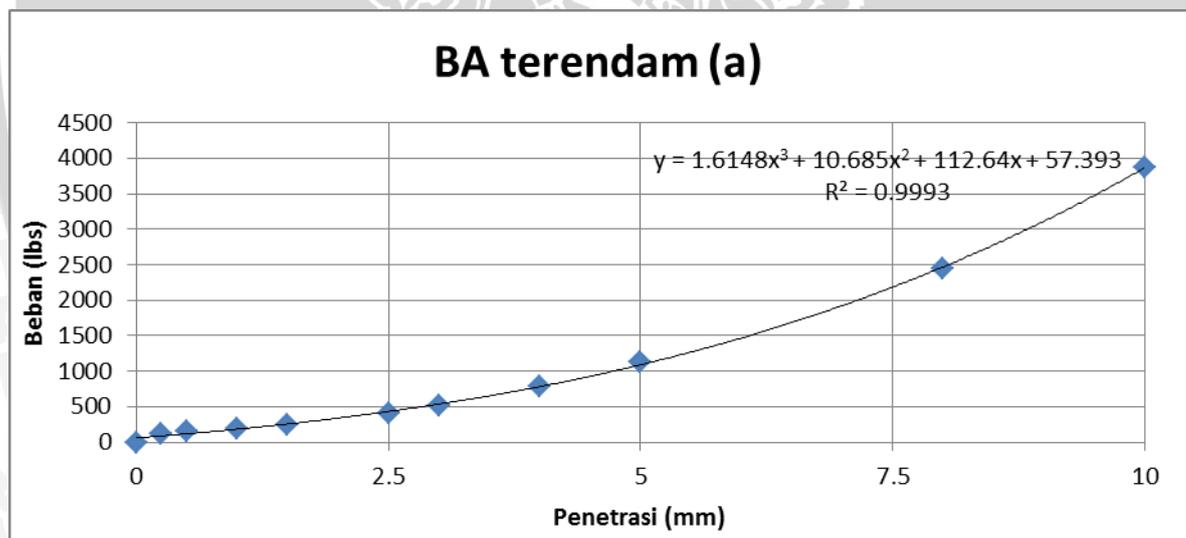
Dari hasil CBR 0,1'' dan CBR 0,2'' diambil nilai yang terbesar yaitu CBR 0,2'' dengan nilai 65,746%.

4.3.3 Contoh Perhitungan 3

Pembacaan CBR pada gradasi BA terendam *try a* yang ditunjukkan pada tabel 4.10.

Tabel 4.10 Contoh perhitungan CBR Terendam BA untuk try a

Penetrasi mm	Penetrasi inch	Pembacaan proving ring	Beban (Lbs)
0	0.0000	0	0
0.25	0.0098	2.5	122.55
0.5	0.0197	3.2	156.864
1	0.0394	4	196.08
1.5	0.0591	5	245.1
2.5	0.1	8.2	401.964
3	0.1181	10.5	514.71
4	0.1575	16	784.32
5	0.2	23	1127.46
8	0.3	50	2451
10	0.3937	79	3872.58

**Gambar 4.15** Grafik CBR untuk gradasi BA terendam try a

Pembacaan arloji pada penurunan 0,1'' = 8,2

Beban Penetrasi = Pembacaan proving ring 0,1'' x factor kalibrasi
= 8,20 x 49,02 = 401,964 lbs

Pembacaan arloji pada penurunan 0,2'' = 23

Beban Penetrasi = Pembacaan proving ring 0,2'' x factor kalibrasi
= 23 x 49,02 = 1127,46 lbs

Beban disesuaikan dengan grafik dan persamaan :

Untuk $x = 0,1'' = 2.5 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Beban} &= 1,6148 x^3 + 10,685 x^2 + 112,64 x + 57,393 \\ &= 1,6148 (2,5)^3 + 10,685 (2,5)^2 + 112,64 (2,5) + 57,393 \\ &= 431,006 \text{ lbs} \end{aligned}$$

Untuk $x = 0,2'' = 5 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} \text{Beban} &= 1,6148 x^3 + 10,685 x^2 + 112,64 x + 57,393 \\ &= 1,6148 (5)^3 + 10,685 (5)^2 + 112,64 (5) + 57,393 \\ &= 1089,568 \text{ lbs} \end{aligned}$$

$$\text{CBR } 0,1'' = \frac{\text{beban}}{\text{luas piston} \times \text{beban std}} = \frac{431,006}{3,042 \times 1000} \times 100\% = 14,168\%$$

$$\text{CBR } 0,2'' = \frac{\text{beban}}{\text{luas piston} \times \text{beban std}} = \frac{1089,568}{3,042 \times 1500} \times 100\% = 23,878\%$$

Tabel 4.11 Hasil nilai CBR 0,1'' dan CBR 0,2'' untuk gradasi BA terendam try a

Penetrasi Inch	Penetrasi mm	load (lbs)	Beban std (lb/inch ²)	CBR (%)
0.1	2.5	431.006	1000	14.168
0.2	5	1089.568	1500	23.878

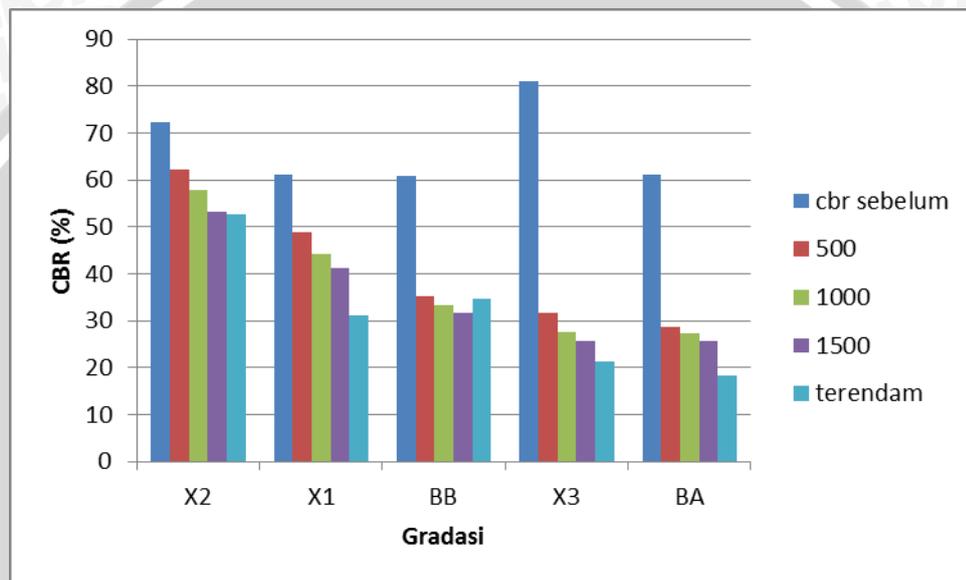
Dari hasil CBR 0,1'' dan CBR 0,2'' diambil nilai yang terbesar yaitu CBR 0,2'' dengan nilai 23,878%.

4.3.4 Hasil Pengujian CBR

Untuk perhitungan benda uji gradasi yang lain, dilakukan cara yang sama dengan contoh perhitungan di atas. Hasil percobaan CBR untuk masing masing gradasi diambil rata-rata dan diurutkan berdasarkan karakteristik gradasi ditunjukkan pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil nilai CBR yang diurutkan berdasarkan karakteristik gradasi

No.	GRADASI	SEBELUM	500	1000	1500	TERENDAM
1	X2	72.337	62.154	57.972	53.128	52.761
2	X1	61.046	48.987	44.342	41.128	31.070
3	BB	60.738	35.368	33.258	31.688	34.677
4	X3	80.987	31.652	27.698	25.705	21.221
5	BA	61.275	28.675	27.266	25.816	18.420

**Gambar 4.16** Hasil nilai CBR yang diurutkan berdasarkan karakteristik gradasi

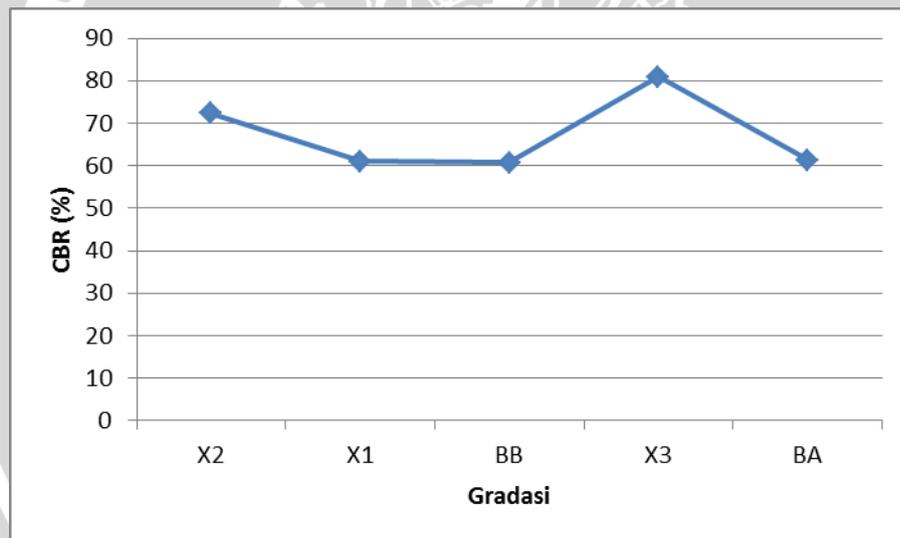
Gambar 4.17 menunjukkan grafik CBR semua gradasi yang telah diurutkan berdasarkan karakteristik gradasi dalam jumlah ukuran butir yang terkandung dan prosentase lolos agregatnya. Nilai CBR pada masing-masing gradasi memiliki perbedaan yang cukup signifikan. Hal tersebut dikarenakan bentuk dan penyebaran agregat pada masing masing benda uji tidak sama dan dilakukan secara acak, sehingga ikatan antara material berbeda. Dalam percobaan CBR sering terjadi penurunan secara signifikan pada pembacaan *dial displacement*. Penurunan signifikan tersebut diikuti dengan suara batuan pecah. Hal tersebut terjadi karena agregat yang diberi beban tidak dapat bergeser sehingga menekan agregat hingga retak.

Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin turun prosentase lolos suatu gradasi, atau semakin sedikit butir ukuran besar yang terkandung pada gradasi,

maka nilai CBR akan turun. Dari Hasil penelitian CBR, diketahui bahwa CBR maksimal yang dapat dicapai dari modifikasi gradasi kelas A sebesar 80,987% untuk CBR sebelum dilakukan percobaan pada gradasi X3. Kemudian untuk setelah dilakukan percobaan CBR yang paling tertinggi dimiliki X2. Dengan dialiri 500 ml air CBR pada X2 mencapai 62,154%, lalu dialiri 1000 ml nilai CBR adalah 57,972%, dan setelah dialiri air 1500 ml nilai CBR adalah 53,128%. Dalam keadaan terendam, nilai CBR tertinggi juga didapat pada X2 yaitu 52,761%. Jadi gradasi yang paling kuat menahan beban jalan lingkungan untuk pondasi *porous pavement* adalah gradasi X2.

4.6 Hubungan Gradasi Agregat dengan Nilai CBR

Hubungan antara gradasi agregat dengan nilai CBR dapat dilihat pada Grafik 4.17. Gradasi diurutkan berdasarkan karakteristik gradasi agregat, yaitu dari agregat bergradasi paling kasar ke agregat bergradasi paling halus.



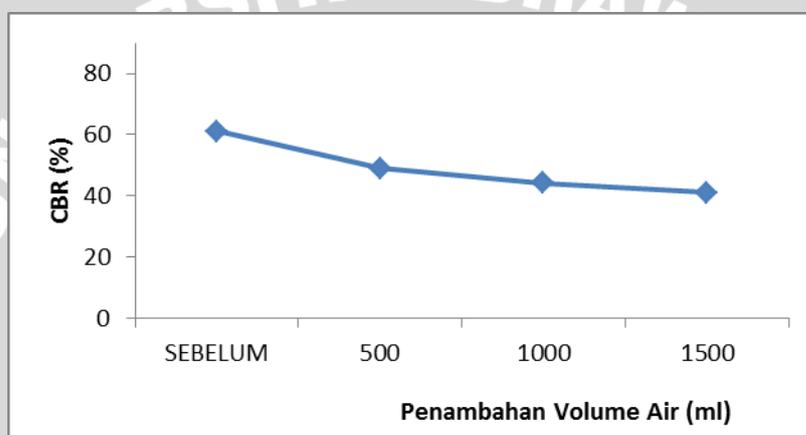
Gambar 4.17 Grafik hubungan CBR dengan gradasi

Dari Gambar 4.17 dapat dilihat bahwa nilai CBR sebelum dilakukan percobaan paling tinggi adalah gradasi X3 yaitu 80,987%. Hal ini disebabkan karena X3 merupakan agregat dengan gradasi paling bervariasi, karena prosentase agregatnya terletak di antara gradasi agregat batas atas dan batas bawah. Dengan gradasi yang bervariasi tersebut, artinya gradasi X3 memiliki kepadatan paling baik, karena agregat halus mampu mengisi rongga-rongga yang kosong antar agregat kasar. Sedangkan untuk gradasi yang berada di luar range Binamarga yaitu X2 dan X1, merupakan

gradasi dengan agregat kasar yang lebih banyak, maka porisitasnya lebih tinggi dan kekuatan yang didapat dari nilai CBR sebelum dilakukan percobaan lebih tinggi dari *baseline* Batas Atas dan Batas Bawah yaitu mencapai 72,337% dan 61,046% karena terdiri dari agregat kasar.

4.7 Hubungan Penambahan Volume Air dengan Nilai CBR

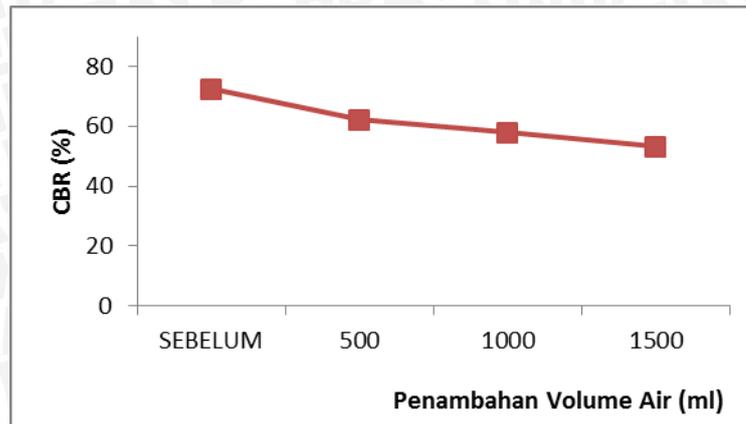
Nilai CBR sebelum dilakukan percobaan dan nilai CBR setelah dilakukan pengaliran air untuk masing-masing gradasi dapat dilihat pada Gambar 4.18 sampai dengan Gambar 4.22.



Gambar 4.18 Grafik hubungan pengaliran air dengan nilai CBR untuk gradasi X1

Dari Gambar 4.18 dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan secara signifikan pada setiap perlakuan yang diberikan. Sebelum dilakukan percobaan nilai CBR mencapai 61,046%, kemudian setelah dialiri air sebanyak 500 ml mengalami penurunan nilai CBR menjadi 48,987%. Setelah dialiri air sebanyak 1000 ml juga mengalami penurunan menjadi 44,342%, dan 41,128% setelah dialiri 1500 ml air.

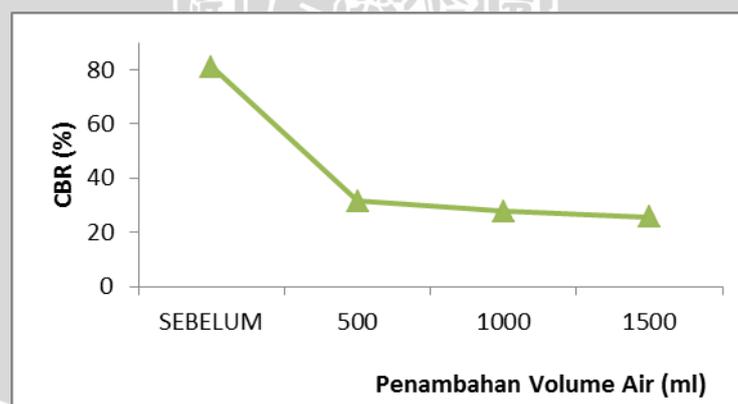
Dari grafik dapat dilihat bahwa penambahan volume air mempengaruhi nilai CBR. Penurunan paling besar terjadi saat benda uji dialiri air sebanyak 500 ml. Selanjutnya nilai CBR terus mengalami penurunan yang kecil.



Gambar 4.19 Grafik hubungan pengaliran air dengan nilai CBR untuk gradasi X2

Dari Gambar 4.19 dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan secara signifikan pada setiap perlakuan yang diberikan. Sebelum dilakukan percobaan nilai CBR mencapai 72,337%, kemudian setelah dialiri air sebanyak 500 ml mengalami penurunan nilai CBR menjadi 62,154%. Setelah dialiri air sebanyak 1000 ml juga mengalami penurunan menjadi 57,972%, dan 53,128% setelah dialiri 1500 ml air.

Sama halnya dengan gradasi X1 penambahan volume air pada X2 mempengaruhi nilai CBR. Penurunan paling besar terjadi saat benda uji dialiri air sebanyak 500 ml. Selanjutnya nilai CBR terus mengalami penurunan yang kecil.

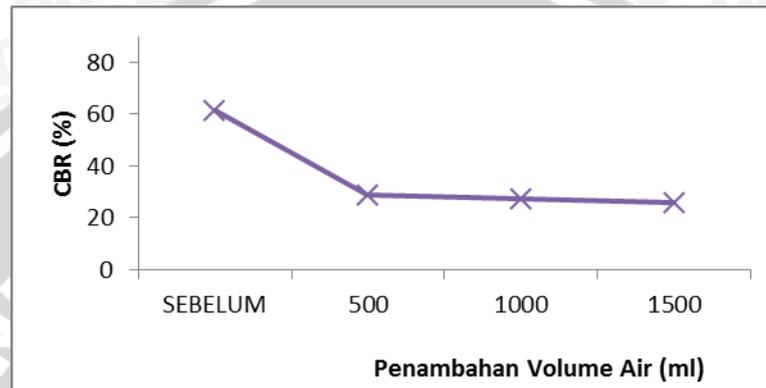


Gambar 4.20 Grafik hubungan pengaliran air dengan nilai CBR untuk gradasi X3

Dari Gambar 4.20 dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan secara signifikan pada setiap perlakuan yang diberikan. Sebelum dilakukan percobaan nilai CBR mencapai 80,987%, kemudian setelah ditambahkan air sebanyak 500 ml mengalami

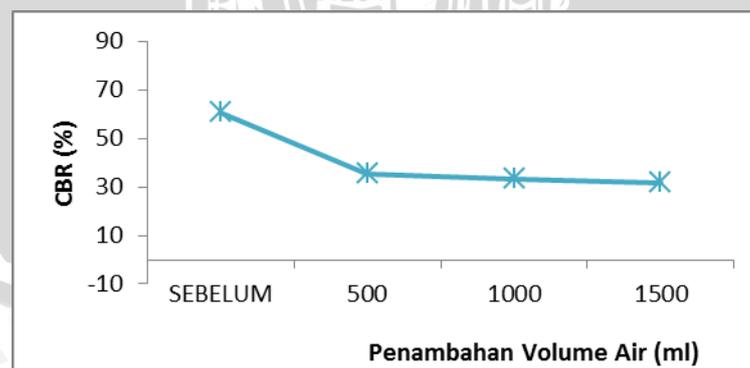
penurunan nilai CBR menjadi 31,652%. Setelah ditambahkan air sebanyak 1000 ml juga mengalami penurunan menjadi 27,698%, dan 25,705% setelah dialiri 1500 ml air.

Pengaliran air pada X3 juga mempengaruhi nilai CBR. Namun, penurunan yang terjadi merupakan yang paling besar dibandingkan dengan gradasi X1 dan X2 ketika dialiri air sebanyak 500 ml. Selanjutnya nilai CBR terus mengalami penurunan yang kecil pula.



Gambar 4.21 Grafik hubungan pengaliran air dengan nilai CBR untuk gradasi BA

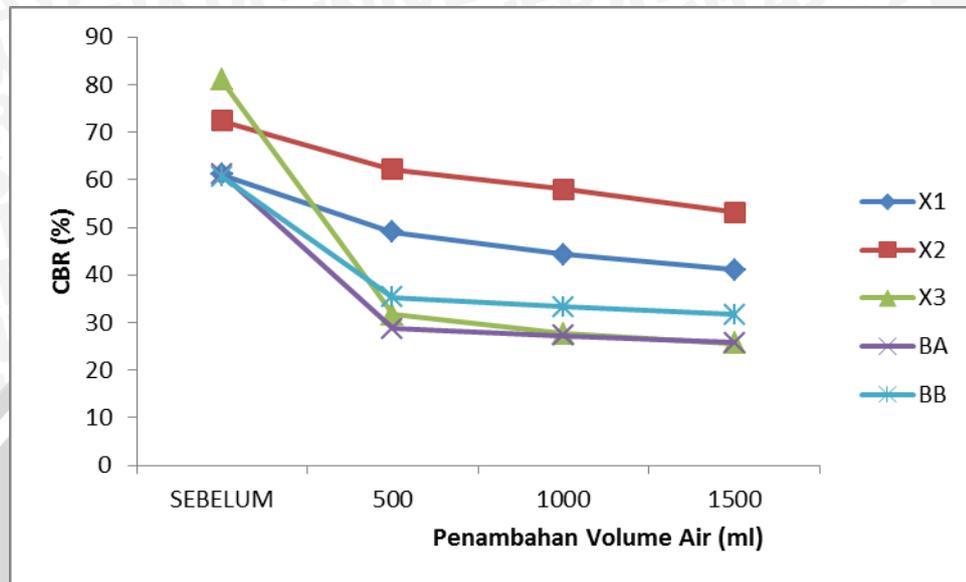
Dari Gambar 4.21 dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan secara signifikan pada setiap perlakuan yang diberikan. Sebelum dilakukan percobaan nilai CBR mencapai 61,275%, kemudian setelah dialiri air sebanyak 500 ml mengalami penurunan nilai CBR menjadi 28,675%. Setelah dialiri air sebanyak 1000 ml juga mengalami penurunan menjadi 27,266%, dan 25,816% setelah dialiri 1500 ml air.



Gambar 4.22 Grafik hubungan pengaliran air dengan nilai CBR untuk gradasi BB

Dari Gambar 4.22 dapat disimpulkan bahwa terjadi penurunan secara signifikan pada setiap perlakuan yang diberikan. Sebelum dilakukan percobaan nilai CBR

mencapai 60,738%, kemudian setelah dialiri air sebanyak 500 ml mengalami penurunan nilai CBR menjadi 35,368%. Setelah dialiri air sebanyak 1000 ml juga mengalami penurunan menjadi 33,258%, dan 31,688% setelah dialiri 1500 ml air.



Gambar 4.23 Grafik hubungan pengaliran air dengan nilai CBR untuk seluruh gradasi

Nilai CBR setelah dialiri air menurun dari CBR sebelum dialiri air, hal ini disebabkan karena kadar air yang terkandung di dalam benda uji melebihi kadar air optimumnya, sehingga benda uji terutama yang terdiri dari agregat halus tidak mampu menahan beban CBR. Penurunan nilai CBR sebelum dan sesudah dilakukan percobaan dituliskan dalam Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Penurunan nilai CBR setelah dilakukan percobaan pengaliran air

No.	GRADASI	SEBELUM	500	PENURUNAN (%)
1	X1	61.046	48.987	19.754
2	X2	72.337	62.154	14.078
3	X3	80.987	31.652	60.917
4	BA	61.275	28.675	53.203
5	BB	60.738	35.368	41.769

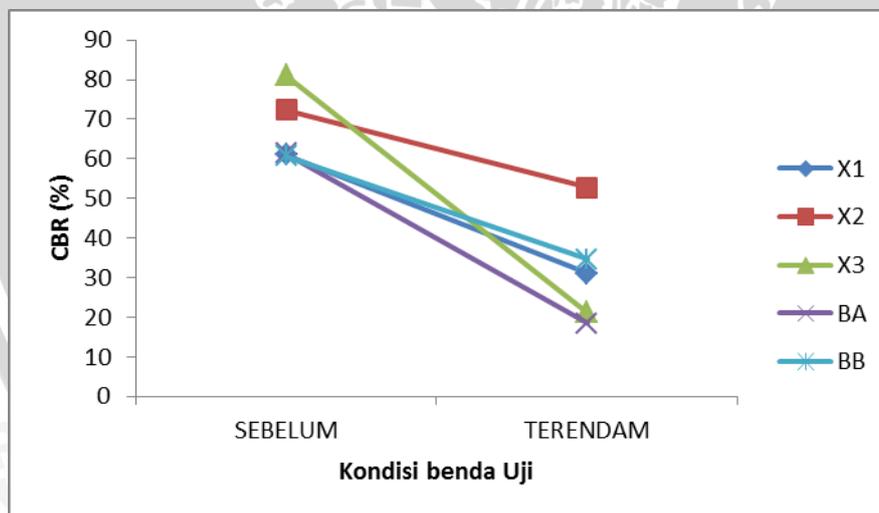
Penurunan paling besar terjadi pada gradasi di dalam *range baseline* yaitu BA, BB, dan X3 sebesar 53,203%, 41,769%, dan 60,917%, hal ini terjadi karena ketiga gradasi tersebut merupakan gradasi yang terdiri dari agregat paling bervariasi, sehingga ketika sebelum dialiri air memiliki nilai CBR yang tinggi. Sedangkan ketika dialiri air,

agregat yang terdiri dari agregat halus ikut terbawa aliran air sehingga rongga di dalam benda uji semakin besar dan nilai CBRnya lebih rendah.

Dengan bertambahnya volume yang diberikan dalam benda uji volume yang tertampung di dalam mold semakin meningkat nilai CBR semakin turun. Namun penurunan yang terjadi tidak sebesar penurunan pada saat benda uji diberi penambahan air 500 ml, karena benda uji rata-rata memiliki kandungan air yang hampir sama di dalamnya, sehingga penurunannya signifikan tetapi tidak besar.

Untuk gradasi di luar *baseline* Binamarga, yaitu gradasi X1 dan X2 memiliki penurunan CBR yang rendah yaitu 19,754% dan 14,078%. Hal ini dikarenakan gradasi X1 dan X2 terdiri dari agregat kasar yang seragam. Sehingga pada saat dilakukan pengaliran air, agregat tidak mudah terbawa aliran air dan kepadatannya tidak banyak berkurang.

Selain dilakukan pengaliran air, benda uji juga dilakukan perendaman. Nilai CBR sebelum dilakukan percobaan dan CBR terendam digambarkan dalam Gambar 4.24.



Gambar 4.24 Grafik kondisi benda uji dengan nilai CBR untuk seluruh gradasi

Nilai CBR pada perendam lebih rendah bila dibandingkan dengan dengan nilai CBR sebelum dilakukan percobaan, hal ini dikarenakan kondisi benda uji yang sudah jenuh air menyebabkan kekuatan tanah berkurang.

Tabel 4.14 Penurunan nilai CBR setelah dilakukan perendaman

No.	GRADASI	SEBELUM	TERENDAM	PENURUNAN (%)
1	X1	61.046	31.070	49.104
2	X2	72.337	52.761	27.063
3	X3	80.987	21.221	73.797
4	BA	61.275	18.420	69.938
5	BB	60.738	34.677	42.908

Penurunan dari CBR sebelum dilakukan percobaan ke CBR terendam yang paling tinggi juga terdapat di gradasi dalam *baseline* Binamarga yaitu BA, BB, dan X3. Sedangkan penurunan terkecil terdapat pada gradasi X2. Sehingga gradasi X2 merupakan gradasi yang paling optimum untuk digunakan sebagai pondasi *porous pavement* karena memiliki porositas yang paling besar, permeabilitas yang paling tinggi, serta penurunan CBR yang paling rendah akibat dialiri air.

