

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Pada Bab ini membicarakan tentang hasil penelitian yang dilakukan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik dan pembahasan mengenai hasil penelitian yang diperoleh. Hasil penelitian yang diperoleh meliputi : berat jenis agregat kasar, berat jenis agregat halus, gradasi pasir, nilai slump, persentase penambahan *superplasticizer*, hasil pengujian kuat tarik, kuat geser, kuat lentur dan permeabilitas.

5.2 Data-data hasil pengujian laboratorium

Data-data pengujian bahan dilaboratorium yang meliputi pengujian pemeriksaan berat jenis dan kadar air pasir, pemeriksaan berat jenis dan kadar air kerikil, pemeriksaan berat volume agregat kasar, modulus halus butir (MHB) agregat halus, dan gradasi pasir. Untuk lebih lengkapnya terlampir pada lampiran II.

Dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh berat jenis jenuh kering muka pasir = $2,621 \text{ gr/cm}^3$, berat jenis jenuh kering muka agregat kasar = $2,643 \text{ gr/cm}^3$, Modulus Halus Butir = $2,7345$, dan hasil analisa ayakan masuk daerah : 2 (dua) dan Jenis pasir : agak kasar.

Agregat merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi kekuatan beton, pada beton biasanya terdapat sekitar 60% sampai 80% volume agregat. Agregat ini harus bergradasi sedemikian rupa sehingga seluruh massa beton dapat berfungsi sebagai benda yang utuh, homogen, dan rapat, dimana agregat yang kecil berfungsi sebagai pengisi celah yang ada di antara agregat yang berukuran besar (Nawy, 1990). Agregat untuk beton harus memenuhi ketentuan dari mutu dan cara uji agregat beton dalam Standar Industri Indonesia ataupun persyaratan dari ASTM tentang *Specification for Concrete Agregate* (Wahyudi dkk, 1997).

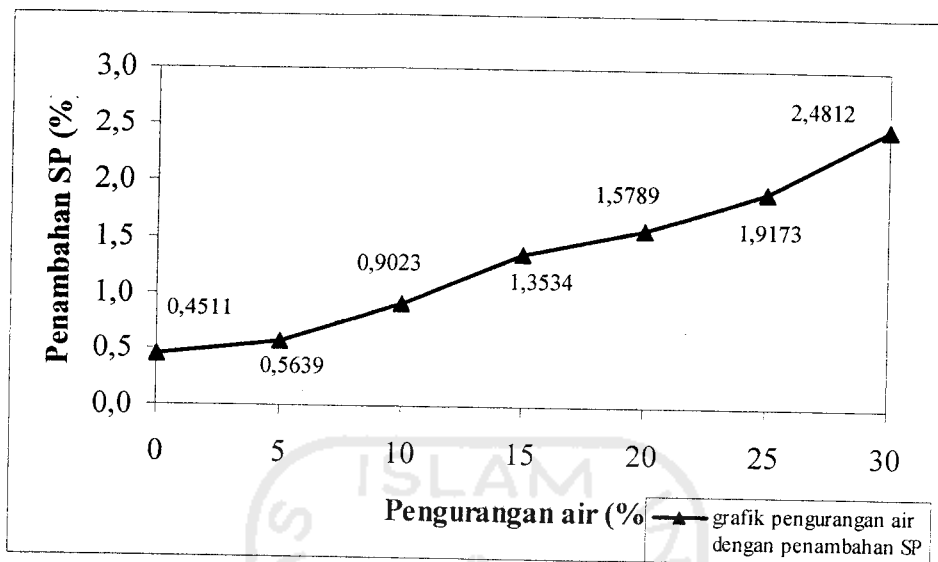
5.3 Pengaruh pengurangan air dan penambahan *Superplasticizier* terhadap workabilitas

Tabel 5.1 Hasil uji slump $f'c$ 35 MPa

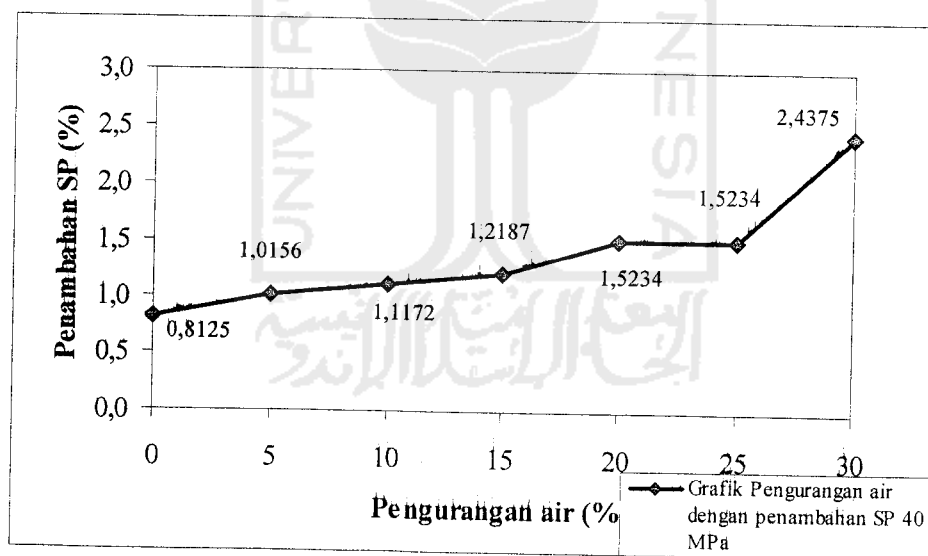
Variasi	Pengurangan air (%)	fas	slump awal (mm)	penambahan <i>superplasticizier</i> terhadap berat semen (%)	slump akhir (mm)
B 35 - 0SP	0	0,40	90	0,4511	170,0
B 35 - 5SP	5	0,38	10	0,5639	180,0
B 35 - 10SP	10	0,36	0	0,9023	162,5
B 35 - 15SP	15	0,34	0	1,3534	182,5
B 35 - 20SP	20	0,32	0	1,5789	189,0
B 35 - 25SP	25	0,30	0	1,9173	180,0
B 35 - 30SP	30	0,28	0	2,4812	185,0

Tabel 5.2 Hasil uji slump $f'c$ 40 MPa

Variasi	Pengurangan air (%)	fas	slump awal (mm)	penambahan <i>superplasticizier</i> terhadap berat semen (%)	slump akhir (mm)
B 40 - 0SP	0	0,36	65	0,8125	182,5
B 40 - 5SP	5	0,34	0	1,0156	190,0
B 40 - 10SP	10	0,32	0	1,1172	197,5
B 40 - 15SP	15	0,31	0	1,2187	197,0
B 40 - 20SP	20	0,29	0	1,5234	185,0
B 40 - 25SP	25	0,27	0	1,5234	183,5
B 40 - 30SP	30	0,25	0	2,4375	192,5



Gambar 5.1 Hub. Pengurangan air dengan Penambahan *superplasticizier* $f'c$ 35 MPa dengan slump \geq 150 mm.



Gambar 5.2 Hub. Pengurangan air dengan Penambahan *superplasticizier* $f'c$ 40 MPa dengan slump \geq 150 mm.

Ket : SP : *Superplasticizier*

Dalam penelitian ini memakai bahan tambah *superplasticizier* (Sikament NN) yang dilakukan sedikit demi sedikit untuk mengontrol slump yang diinginkan. Dari

segi workabilitas, berapapun slump yang diinginkan dapat dibuat, tetapi masalah yang akan timbul adalah pada proses pengerasan awal dan kuat tekan beton.

Workabilitas (kemudahan pengerjaan) beton dapat dilihat dari nilai slump yang terjadi. Semakin besar nilai slump berarti tingkat kemudahan pengerjaan adukan beton semakin tinggi, demikian pula sebaliknya. Nilai slump yang ingin dicapai setelah penambahan *superplasticizier* adalah ≥ 150 mm. Slump rencana pada penelitian ini adalah 30-60 mm, tetapi tabel 5.1 dan 5.2 diatas memperlihatkan data slump awal yang melebihi nilai slump rencana tersebut. Hal ini dikarenakan perbedaan kondisi agregat, karena kurangnya pengawasan terhadap agregat menyebabkan kondisi agregat ada yang berbeda dalam tiap pengadukan.

Pada tabel 5.1 untuk f_c 35 MPa dapat dilihat bahwa pada variasi B35-0A-SP nilai slump awal yang didapat dari hasil pengujian slump sebelum penambahan *superplasticizier* adalah sebesar 90 mm, setelah dilakukan penambahan *superplasticizier* sebesar 0,4511% dari berat semen nilai slump naik menjadi 170 mm atau mengalami kenaikan sebesar 80%, ini menunjukkan bahwa workabilitas adukan beton yang terjadi semakin tinggi dengan ditambahkan Sikament-NN kedalam adukan beton, *superplasticizier* (Sikament NN) itu sendiri digolongkan sebagai *High Range Water- Reducer* mampu meningkatkan kinerja kelecakan atau workabilitas adukan beton dan mengurangi terjadinya *bleeding* dan *segregation*.

Pada variasi B35-5A-SP slump awal hanya 10 mm, hal ini menunjukkan bahwa *workability* beton sangat kecil sehingga sangat sulit pada proses pengerjaannya, dan setelah dilakukan penambahan *superplasticizier* sebesar 0,5639% dari berat semen nilai slump naik menjadi 180 mm atau mengalami kenaikan sebesar 170%, dengan kenaikan nilai slump tersebut maka *workability* dari beton juga naik sehingga memudahkan dalam proses pengerjaannya.

Pada hasil penelitian diatas dapat disimpulkan bahwa dengan pengurangan air (sebagai pelumas) maka slump yang diperoleh akan lebih rendah dari slump rencana yaitu 30-60 mm dan semakin banyak pengurangan air (sebagai pelumas) maka

superplasticizier yang di butuhkan juga semakin banyak. Kriteria kekefektifan penambahan *superplasticizier* akan berkurang seiring meningkatnya workabilitas adukan (Naelan dkk, 1994). Hal ini terbukti pada variasi B35-30A-SP, dimana kebutuhan *superplasticizier* meningkat yaitu 2,4812 % dari berat semen, sehingga menyebabkan hasil yang diperoleh tidak lagi efektif. Selain itu didalam butiran semen mengandung ion negatif, sehingga jika bereaksi dengan *superplasticizier* akan membuat beton menjadi lebih plastis/encer sehingga workabilitas beton menjadi lebih tinggi (Smith, dkk).

Swamy (1989) juga mengatakan bahwa dengan pemakaian *superplasticizier* akan meningkatkan workabilitas sebesar 12%. Hal ini sesuai dengan pegadukan beton variasi B35-0A-SP dengan peningkatan workabilitas dari 90 mm menjadi 170 mm atau sekitar 80%. Kombinasi fas rendah dengan *superplasticizier* tinggi dengan sendirinya menghasilkan adukan beton lebih kohesif dan memiliki sifat mengalir yang baik, *bleeding* dan *segregation* dapat dikatakan tidak terjadi, walaupun ada relatif kecil sehingga boleh diabaikan (Ilham, 2003).

Pengadukan beton untuk semua variasi yang ada di tabel 5.1 dapat mencapai nilai slump lebih dari 150 mm dengan sifat-sifat workabilitasnya hampir sama. Campuran pasta semen terlihat berwarna agak kecoklatan yang menunjukkan bahwa antara pasta dengan *superplasticizier* sudah tercampur dengan merata. Pada saat proses pengadukan, campuran beton yang sudah diberi *superplasticizier* diaduk selama kurang lebih 40 - 65 menit, hal ini dimaksudkan agar beton segar yang baru dituang tidak langsung mengeras sebelum dilakukan proses pemadatan pada selinder (Hastoro dan Syafrudin, 2005). Dari hasil penelitian diperoleh juga bahwa semakin lama adukan beton berada di mesin molen maka adukan akan semakin merata dan pengerasan diawal dapat dihindari. Dari tabel 5.1 terlihat bahwa nilai slump setelah penambahan *superplasticizier* akan meningkat lebih dari 150 mm. Hal ini sesuai dengan yang dikatakan Swamy (1989), bahwa dengan penggunaan *superplasticizier* nilai slump yang didapat antara 15 – 25 cm.

5.4 Pengaruh pengurangan air terhadap Kuat Tarik-Belah beton

Menurut SK SNI M-60-1990-03 Kuat tarik-belah benda uji selinder beton merupakan nilai kuat tarik tidak langsung dari benda uji beton berbentuk selinder yang diperoleh dari hasil pembebanan benda uji yang diletakkan mendatar sejajar dengan permukaan meja penekan mesin uji tekan.

Tabel 5.3 Hubungan kuat tarik dengan pengurangan air ($f'c$ 35 MPa)

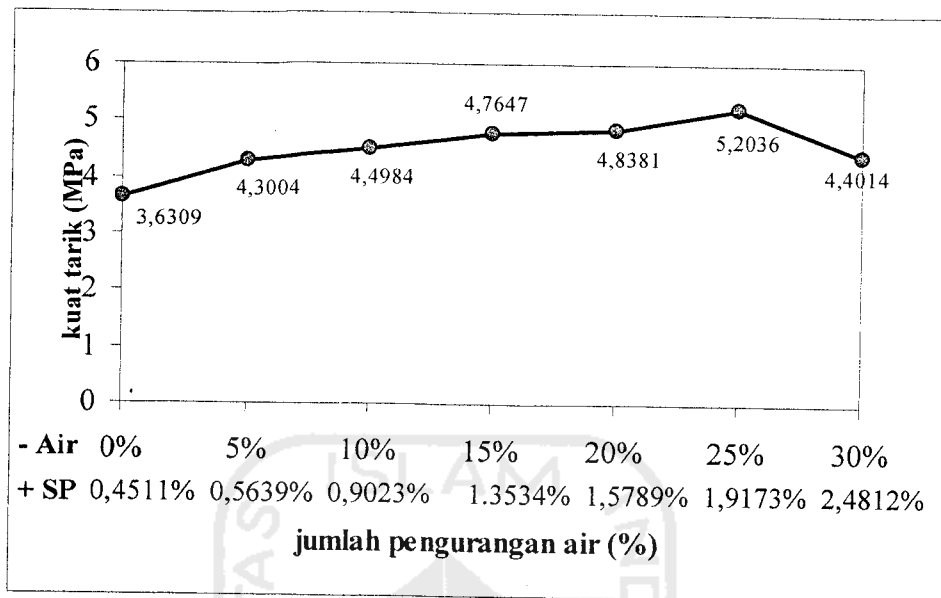
Variasi	Pengurangan air (%)	Penambahan SP terhadap berat semen (%)	kuat tekan $f'c$ (MPa)	kuat tarik			% kuat tarik terhadap $f'c$
				f_{ct} (MPa)	penambahan %	$0,56\sqrt{f'c}$	
B35-0A-SP	0	0,4511	34,6624	3,6309	0,0000	3,2970	10,4749
B35-5A-SP	5	0,5639	36,1256	4,3004	18,4409	3,3659	11,9041
B35-10A-SP	10	0,9023	45,9095	4,4984	23,8931	3,7944	9,7984
B35-15A-SP	15	1,3534	50,9440	4,7647	31,2287	3,9970	9,3529
B35-20A-SP	20	1,5789	52,2445	4,8381	33,2485	4,0477	9,2604
B35-25A-SP	25	1,9173	61,9080	5,2036	43,3158	4,4062	8,4054
B35-30A-SP	30	2,4812	70,0269	4,4014	21,2225	4,6862	6,2853

Tabel 5.4 Hubungan kuat tarik dengan pengurangan air ($f'c$ 40 MPa)

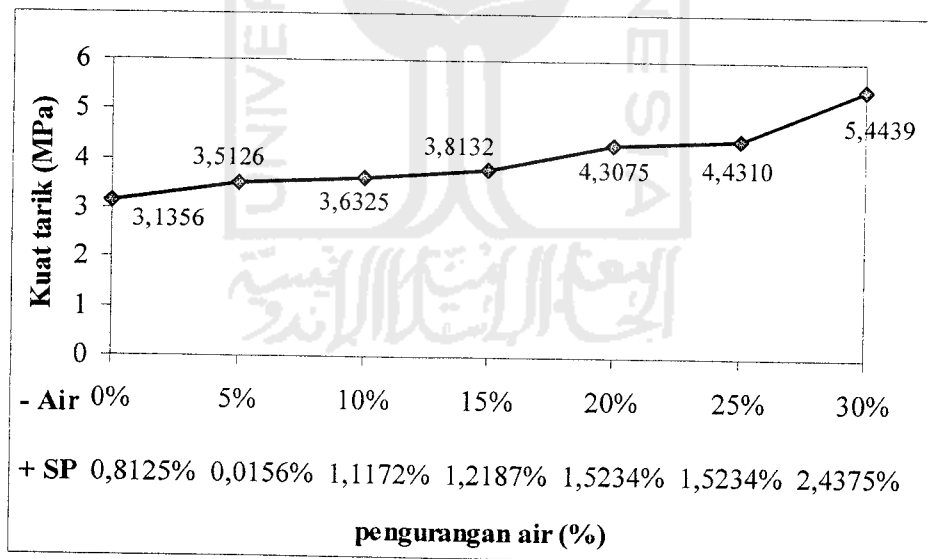
Variasi	Pengurangan air (%)	Penambahan SP terhadap berat semen (%)	kuat tekan $f'c$ (MPa)	kuat tarik			% kuat tarik terhadap $f'c$
				f_{ct} (MPa)	penambahan %	$0,56\sqrt{f'c}$	
B40-0A-SP	0	0,8125	41,9822	3,1356	0,0000	3,6284	7,4688
B40-5A-SP	5	1,0156	45,6540	3,5126	12,0251	3,7838	7,6940
B40-10A-SP	10	1,1172	46,3109	3,6325	15,8490	3,8109	7,8438
B40-15A-SP	15	1,2187	49,0151	3,8132	21,6116	3,9206	7,7797
B40-20A-SP	20	1,5234	51,6245	4,3075	37,3752	4,0236	8,3439
B40-25A-SP	25	1,5234	54,0931	4,4310	41,3131	4,1187	8,1914
B40-30A-SP	30	2,4375	62,1899	5,4439	73,6181	4,4162	8,7537

Ket : Data Kuat tekan diambil dari data bersama Sutirino dan Hardiman, 2006





Gambar 5.3 Hub.kuat tarik dengan pengurangan air pada mutu beton $f'c$ 35 MPa dengan slump \geq 150 mm.



Gambar 5.4 Hub.kuat tarik dengan pengurangan air pada mutu beton $f'c$ 40 MPa dengan slump \geq 150 mm.

Pada tabel 5.3 untuk $f'c$ 35 MPa dan 5.4 untuk $f'c$ 40 MPa memperlihatkan bahwa kenaikan kuat tekan tidak selalu berbanding lurus dengan kuat tarik. Kenaikan

kuat tekan yang tinggi hanya diiringi dengan kenaikan kuat tarik yang rendah. Seperti yang terlihat pada tabel 5.3, pada variasi f_c 35 MPa mulai dari 0% pengurangan air sampai pada 25% mengalami kenaikan kuat tarik dan mencapai nilai optimum pada pengurangan air 25% yaitu sebesar 5,2036 MPa atau 43,3158% dari nilai kuat tarik B35-0A-SP. Pada variasi B35-30A-SP nilai kuat tarik lebih rendah 4,4014 MPa atau sebesar 21,2225% dari nilai kuat tarik B35-0A-SP.

Dari hasil pengujian pada tabel 5.3 dan 5.4 data yang ditampilkan merupakan data hasil analisis, untuk setiap variasi pengurangan air ada 3 sampel benda uji (lampiran V). Pada tabel diatas memperlihatkan hubungan kuat tarik secara teoritis $0,56\sqrt{f_c}$. Penggunaan rumus secara teoritis ini hampir mendekati data yang diperoleh secara aktual dilaboraturium. Winter, dkk (1993) menambahkan bahwa penggunaan rumus secara teoritis akan terus mengalami kenaikan kuat tarik seiring dengan kenaikan kuat tekan, sedangkan secara aktual kenaikan kuat tekan tidak selalu berkorelasi baik dengan kenaikan kuat tarik sehingga data yang diperoleh secara aktual tidak selalu mengalami kenaikan kuat tarik yang tinggi.

Pada tabel 5.3 untuk f_c 35 MPa terlihat bahwa prosentase kuat tarik terhadap kuat tekan antara 6,2853 – 11,9041%. Hasil penelitian ini mendekati yang dikatakan oleh Dipohusodo (1994), bahwa kuat tarik berkisar antara 9 -15% dari kuat tekan. Berbeda dengan yang ditampilkan pada tabel 5.4 untuk f_c 40 MPa, bahwa kuat tarik yang diperoleh berkisar antara 7,4688 – 8,7537% dari nilai kuat tekannya. Hasil penelitian ini kurang sesuai dengan yang diperoleh Dipohusodo (1994).

Pada variasi beton dengan f_c 35 MPa dengan pengurangan air 0% sampai 25% mengalami kenaikan kuat tarik seiring dengan penambahan *superplasticizier*, sedangkan pada 30% pengurangan air mengalami penurunan kuat tarik. Kenaikan kuat tarik dapat disebabkan oleh pengurangan air, pengurangan jumlah air (sebagai pelumas) dapat meningkatkan kuat tekan, walaupun kenaikan kuat tekan tidak berkorelasi baik dengan kekuatan tarik. Kekuatan tarik beton juga dipengaruhi oleh kekuatan ikatan antara adukan semen yang telah mengeras dengan agregat, sedang

yang menentukan kekuatan antar-ikatan tersebut adalah pemilihan dalam penggunaan bahan agregat halus dan agregat kasar. Winter dkk, (1993) mengatakan bahwa kekuatan tarik bagaimanapun ditentukannya, ternyata tidak berkorelasi baik dengan kuat tekan f_c . Dengan penggunaan bahan agregat kasar dan agregat halus kekuatan tarik terutama sekali tergantung pada kekuatan ikatan antara adukan semen yang telah mengeras dengan agregat.

Penurunan kuat tarik yang terjadi dapat diakibatkan oleh penggunaan *superplasticizier* yang melebihi dosis yang dianjurkan, sedangkan pada petunjuk penggunaan *superplasticizier* (Sikament-NN) dosis yang syaratkan antara 0,6 – 1,5% dari berat semen, sehingga workabilitas beton menjadi tinggi/encer dan pengikatan agregat oleh pasta semen menjadi kurang baik. Hal ini sesuai dengan yang dikatakan Smith dkk, (1989) bahwa penurunan yang terjadi pada B35-30A-SP juga dapat disebabkan oleh butiran dalam semen yang mengandung ion-ion negatif, sehingga jika bereaksi dengan *superplasticizier* akan membuat beton menjadi lebih plastis/encer sehingga workabilitas beton menjadi lebih tinggi dan menyebabkan pengikatan pasta oleh semen menjadi kurang baik.

Pada variasi f_c 40 MPa kuat tarik maksimal diperoleh pada B40-30A-SP yaitu 5,4439 MPa atau 73,6181% dari nilai kuat tarik B40-0A-SP. Kenaikan kuat tarik dapat diakibatkan oleh banyaknya semen yang ada dalam pasta sedangkan jumlah air rencana hanya sedikit sehingga menyebabkan kekuatan beton meningkat, dengan banyaknya jumlah semen yang ada dalam adukan maka ikatan antara agregat dengan semen menjadi lebih kuat. Hal ini sesuai dengan yang dikatakan Mulyono (2004), bahwa jika air yang berada diantara bagian-bagian semen jumlahnya sedikit menyebabkan jarak antara butiran-butiran semen menjadi pendek, akibatnya masa semen lebih menunjukkan keterikatannya (ikatannya menjadi lebih kuat). Ramachandran (1979), mengatakan bahwa dengan menambahkan *superplasticizier*, pengurangan air sebesar 25% dan 30% dapat dilakukan tanpa harus mengurangi workabilitas dan kekuatan karakteristik beton. Dengan variasi pengurangan air yang bertambah, menyebabkan nilai ratio air-semen menjadi berkurang, maka untuk

mencapai kekuatan tinggi dan menjaga workabilitas dilakukan penambahan *superplasticizer* yang harus disesuaikan untuk menghindari agar *segregation*, *bleeding*, dan efek samping lainnya tidak terjadi. Keleccakan beton segar akan berkurang apabila terjadi pengurangan kandungan air, oleh karena itu agar keleccakan tetap terjaga maka perlu ditambahkan *superplasticizer*.

5.5 Pengaruh pengurangan air terhadap Kuat Geser beton

Tujuan dari uji geser pada penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat geser langsung beton, yang sampai saat ini belum ada pedoman pengujian yang baku. Metode pengujian geser langsung ini dikembangkan oleh Ilham (2004) pada beton kinerja tinggi.

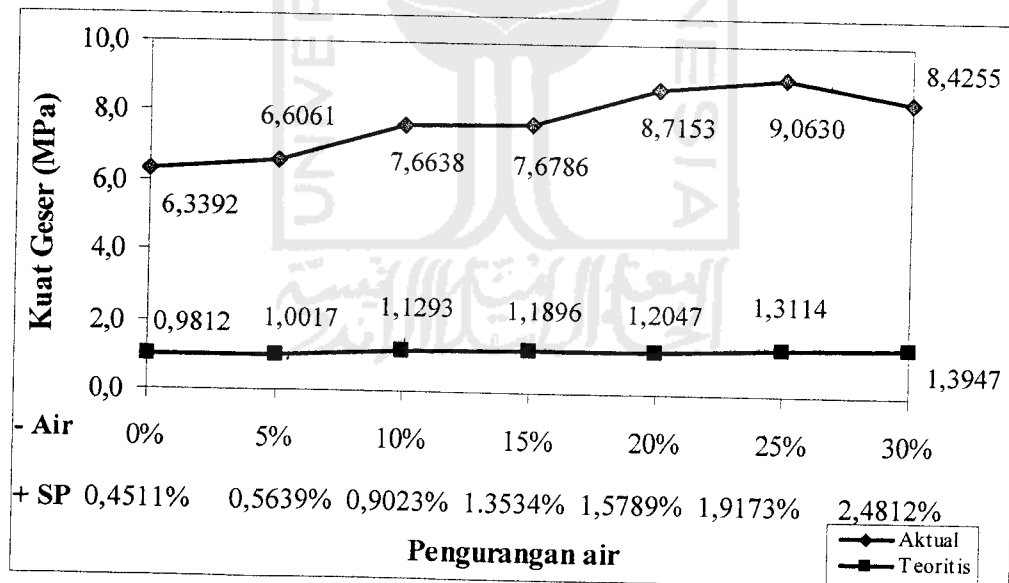
Tabel 5.5 Hubungan kuat geser dengan pengurangan air ($f'c$ 35 MPa)

Variasi	Pengurangan air (%)	Penambahan SP terhadap berat semen (%)	kuat tekan $f'c$ (MPa)	kuat geser			% kuat geser terhadap $f'c$
				fsh (MPa)	penambahan %	$1/6\sqrt{f'c}$ (MPa)	
B35-0A-SP	0	0,4511	34,6624	6,3392	0,0000	0,9812	18,2884
B35-5A-SP	5	0,5639	36,1256	6,6061	4,2098	1,0017	18,2864
B35-10A-SP	10	0,9023	45,9095	7,6638	20,8952	1,1293	16,6933
B35-15A-SP	15	1,3534	50,9440	7,6786	21,1283	1,1896	15,0726
B35-20A-SP	20	1,5789	52,2445	8,7153	37,4819	1,2047	16,6817
B35-25A-SP	25	1,9173	61,9080	9,0630	42,9677	1,3114	14,6395
B35-30A-SP	30	2,4812	70,0269	8,4255	32,9108	1,3947	12,0318

Tabel 5.6 Hubungan kuat geser dengan pengurangan air ($f'c$ 40 MPa)

Variasi	Pengurangan air (%)	Penambahan SP terhadap berat semen (%)	kuat tekan $f'c$ (MPa)	kuat geser			% kuat geser terhadap $f'c$
				fsh (MPa)	penambahan %	$1/6\sqrt{f'c}$	
B40-0A-SP	0	0,8125	41,9822	4,5720	0,0000	1,0799	10,8903
B40-5A-SP	5	1,0156	45,6540	5,9007	29,0634	1,1261	12,9249
B40-10A-SP	10	1,1172	46,3109	6,7334	47,2760	1,1342	14,5396
B40-15A-SP	15	1,2187	49,0151	6,8011	48,7573	1,1668	13,8756
B40-20A-SP	20	1,5234	51,6245	8,8757	94,1327	1,1975	17,1928
B40-25A-SP	25	1,5234	54,0931	9,0448	97,8308	1,2258	16,7207
B40-30A-SP	30	2,4375	62,1899	9,1018	99,0791	1,3143	14,6356

Ket : Data Kuat tekan diambil dari data bersama Sutirino dan Hardiman, 2006

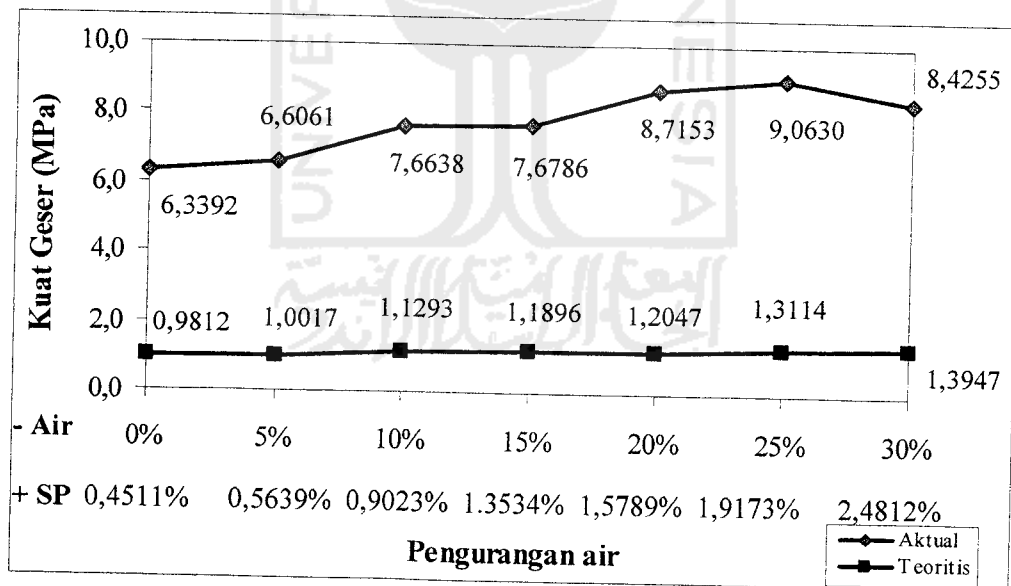


Gambar 5.5 Hub. kuat geser dengan pengurangan air pada mutu beton $f'c$ 35 MPa dengan slump \geq 150 mm

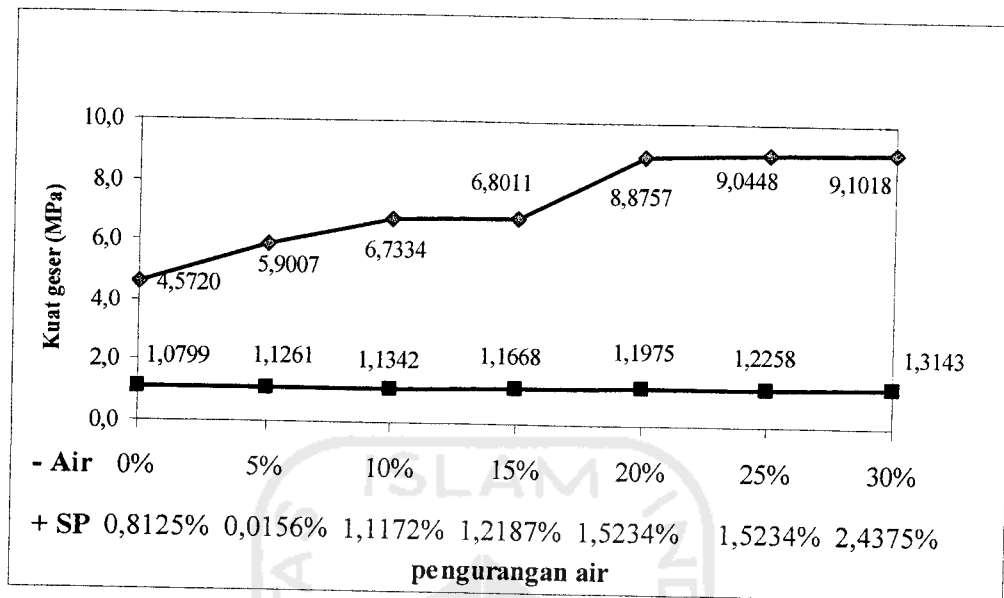
Tabel 5.6 Hubungan kuat geser dengan pengurangan air ($f'c$ 40 MPa)

Variasi	Pengurangan air (%)	Penambahan SP terhadap berat semen (%)	kuat tekan $f'c$ (MPa)	kuat geser			% kuat geser terhadap $f'c$
				f_{sh} (MPa)	penambahan %	$1/6\sqrt{f'c}$ (MPa)	
B40-0A-SP	0	0,8125	41,9822	4,5720	0,0000	1,0799	10,8903
B40-5A-SP	5	1,0156	45,6540	5,9007	29,0634	1,1261	12,9249
B40-10A-SP	10	1,1172	46,3109	6,7334	47,2760	1,1342	14,5396
B40-15A-SP	15	1,2187	49,0151	6,8011	48,7573	1,1668	13,8756
B40-20A-SP	20	1,5234	51,6245	8,8757	94,1327	1,1975	17,1928
B40-25A-SP	25	1,5234	54,0931	9,0448	97,8308	1,2258	16,7207
B40-30A-SP	30	2,4375	62,1899	9,1018	99,0791	1,3143	14,6356

Ket : Data Kuat tekan diambil dari data bersama Sutrisno dan Hardiman, 2006



Gambar 5.5 Hub. kuat geser dengan pengurangan air pada mutu beton $f'c$ 35 MPa dengan slump \geq 150 mm



Gambar 5.6 Hub.kuat geser dengan pengurangan air pada mutu beton $f'c$ 40 MPa dengan slump \geq 150 mm

Pada tabel 5.5 dengan $f'c$ 35 MPa dan pengurangan air 0% sampai 25% mengalami kenaikan kuat geser. Pada tabel 5.6 dengan variasi beton $f'c$ 40 MPa dan pengurangan air 0% sampai 30% mengalami kenaikan kuat geser, sehingga diperoleh nilai kuat geser maksimum pada pengurangan air 30%.

Data secara teoritis yang menunjukkan hubungan antara kuat geser dengan kuat tekan $f'c$ menghasilkan perbandingan nilai kuat geser yang sangat kecil, berbeda dengan hasil yang diperoleh secara aktual. Pengujian kuat geser secara langsung menghasilkan nilai kuat geser yang lebih besar bila dibandingkan dengan yang cara teoritis, sehingga jika cara teoritis yang digunakan maka faktor aman yang dipakai akan terlalu besar. Dari hasil pengujian pada tabel 5.5 dan 5.6 terlihat bahwa prosentase kuat geser terhadap kuat tekan antara 10,8903 – 18,2884%. Hasil penelitian tersebut mendekati penelitian yang dilakukan Menon dkk (1993), yaitu antara 10% – 20% dari kuat tekan beton, dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa semakin besar pengurangan air (sebagai pelumas) maka kuat tekan akan semakin besar walaupun tidak diikuti dengan kenaikan kuat geser yang besar pula.

Dikutib dari ASTM (*American Society for Testing and Materials*) C.1018, bahwa ada 3 parameter dalam menentukan kuat geser dari benda uji yaitu : bentuk, rasio tebal dengan panjang, dan konfigurasi pembebanan. Semakin besar aspek rasio tebal dengan panjang maka semakin besar kuat gesernya, kuat geser terbesar terjadi pada B40-30A-SP, selain itu kuat lekatan antara semen dan agregat (*bond strength*) juga berpengaruh menahan gaya geser yang terjadi akibat pembebanan. Dari hasil pengamatan, yang ditunjukkan dengan banyaknya agregat yang terbelah dibandingkan agregat yang tercabut/terlepas. Pada pengamatan secara visual pada saat pengujian, agregat yang terbelah menunjukkan beton memiliki kekuatan lekatan yang baik antara agregat dengan pasta semen.

Penurunan kuat geser yang terjadi dapat diakibatkan oleh penggunaan *superplasticizer* yang melebihi dosis yang dianjurkan, sedangkan pada petunjuk penggunaan *superplasticizer* (Sikament-NN) dosis yang syaratkan antara 0,6 – 1,5% dari berat semen, sehingga workabilitas beton menjadi tinggi/encer dan pengikatan agregat oleh pasta semen menjadi kurang baik. Hal ini sesuai dengan yang dikatakan Smith dkk, (1989) bahwa penurunan yang terjadi pada B35-30A-SP juga dapat disebabkan oleh butiran dalam semen yang mengandung ion-ion negatif, sehingga jika bereaksi dengan *superplasticizer* akan membuat beton menjadi lebih plastis/encer sehingga workabilitas beton menjadi lebih tinggi dan menyebabkan pengikatan pasta oleh semen menjadi kurang baik. Ilham, (2004) menambahkan bahwa beton dengan campuran *superplasticizer* dosis tinggi tidak mengeras dalam 24 jam atau dapat mengeras dalam 24 jam tapi masih terlihat lembab, maka kemungkinan kuat tekan beton rendah, hal ini disebabkan *superplasticizer* dalam campuran beton melampaui titik jenuh. Akibatnya hidrasi semen menjadi terhambat, dan ikatan antar matriks semen dan agregat juga terhambat, maka kekuatan menjadi lemah.

5.6 Pengaruh pengurangan air terhadap Kuat Lentur beton

Menurut SK SNI M-60-1990-03 Pengujian kuat lentur beton dilakukan terhadap benda uji balok dengan dua tumpuan dan dua titik pembebanan. Sehingga didapat momen maksimum pada daerah L/3 tepat di tengah-tengah bentang. Kuat lentur beton merupakan kemampuan balok beton yang diletakkan pada dua perletakan untuk menahan gaya dengan arah tegak lurus sumbu benda uji, yang diberikan padanya, sampai benda uji patah dan dinyatakan dalam Mega Pascal (MPa) gaya tiap satuan luas.

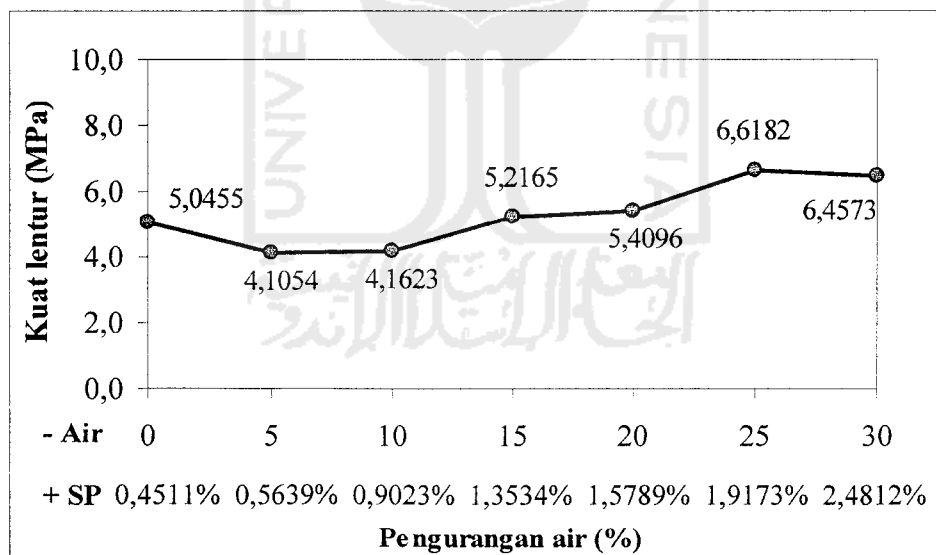
Tabel 5.7 Hubungan kuat lentur dengan pengurangan air (f_c 35 MPa)

Variasi	Pengurangan air (%)	Penambahan SP terhadap berat semen (%)	kuat tekan f_c (MPa)	kuat lentur		% kuat lentur terhadap f_c
				(MPa)	penambahan %	
B35-0A-SP	0	0,4511	34,6624	5,0455	0,0000	14,5562
B35-5A-SP	5	0,5639	36,1256	4,1054	-18,6317	11,3644
B35-10A-SP	10	0,9023	45,9095	4,1623	-17,5047	9,0663
B35-15A-SP	15	1,3534	50,9440	5,2165	3,3882	10,2396
B35-20A-SP	20	1,5789	52,2445	5,4096	7,2170	10,3545
B35-25A-SP	25	1,9173	61,9080	6,6182	31,1707	10,6904
B35-30A-SP	30	2,4812	70,0269	6,4573	27,9808	9,2212

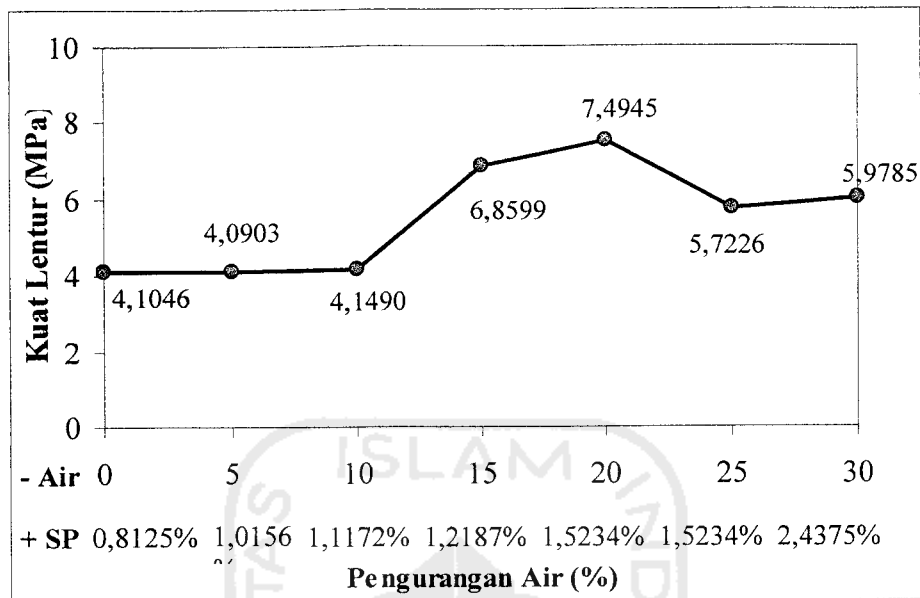
Tabel 5.8 Hubungan kuat lentur dengan pengurangan air (f^c 40 MPa)

Variasi	Pengurangan air (%)	Penambahan SP terhadap berat semen (%)	kuat tekan f^c (MPa)	kuat lentur		% kuat lentur terhadap f^c
				(MPa)	penambahan %	
B40-0A-SP	0	0,8125	41,9822	4,1046	0,0000	9,7770
B40-5A-SP	5	1,0156	45,6540	4,0903	-0,3494	8,9593
B40-10A-SP	10	1,1172	46,3109	4,1490	1,0806	8,9590
B40-15A-SP	15	1,2187	49,0151	6,8599	67,1267	13,9955
B40-20A-SP	20	1,5234	51,6245	7,4945	82,5863	14,5173
B40-25A-SP	25	1,5234	54,0931	5,7226	39,4190	10,5792
B40-30A-SP	30	2,4375	62,1899	5,9785	45,6541	9,6134

Ket : Data Kuat tekan diambil dari data bersama Sutrisno dan Hardiman, 2006



Gambar 5.7 Hub.kuat lentur dengan pengurangan air pada mutu beton f^c 35 MPa dengan slump \geq 150 mm



Gambar 5.8 Hub.kuat lentur dengan pengurangan air pada mutu beton $f'c$ 40 MPa dengan slump ≥ 150 mm

Hasil pengujian kuat lentur sebagaimana ditunjukkan pada tabel dan gambar diatas bahwa peningkatan kuat lentur tidak berbanding lurus dengan pengurangan air dan penambahan *superplasticizer*. Pada variasi $f'c$ 35 MPa kuat lentur optimum diperoleh pada variasi B35-25A-SP yaitu 6,6182 MPa atau meningkat sebesar 31,1707% dari B35-0A-SP, kemudian pada variasi $f'c$ 40 MPa kuat lentur optimum terletak pada B40-20A-SP yaitu sebesar 7,4945 MPa atau 82,5863% dari kuat lentur B40-0A-SP.

Pada tabel diatas memperlihatkan data hasil pengujian bahwa prosentase peningkatan kuat lentur terhadap kuat tekan untuk $f'c$ 35 MPa yaitu antara 9,0663%-14,5562%, sedangkan pada $f'c$ 40 MPa prosentase kuat lentur terhadap kuat tekan adalah 8,9590%-14,5173%. Hasil ini hampir mendekati dengan yang dikemukakan oleh Jackson, (1983) bahwa kekuatan lentur bervariasi mulai dari 9,13%-19,09% dari kuat tekan selinder beton. Untuk $f'c$ 40 MPa pada variasi B40-5A-SP dan B40-10A-SP prosentase kuat lentur hanya 8,9593% dan 8,9590% dari nilai kuat tekan. Hal ini

dikarenakan setiap peningkatan dari kuat tekan tidak selalu diiringi dengan kenaikan kuat lentur yang linear dan pada variasi B40-5A-SP terjadi penurunan kuat lentur.

Peningkatan kuat lentur yang terjadi dapat diakibatkan oleh ratio air-semen yang rendah, ratio air-semen yang rendah dapat meningkatkan kuat tekan, walaupun kenaikan kuat tekan tidak selalu diiringi dengan kenaikan kuat lentur yang tinggi. Dari hasil penelitian diatas menyajikan data bahwa kuat lentur optimum berada pada 25% dan 20% pengurangan air berturut-turut untuk kuat tekan rencana 35 dan 40 MPa. Selain itu yang mempengaruhi peningkatan kuat lentur adalah kandungan semen yang tinggi pada mortar beton. Banyaknya jumlah semen yang ada pada mortar beton akan mempengaruhi lekatan antara agregat dengan semen. Mulyono, (2004) mengatakan bahwa jika air yang berada diantara bagian-bagian semen jumlahnya sedikit menyebabkan jarak antara butiran-butiran semen menjadi pendek, akibatnya masa semen lebih menunjukkan keterikatannya (ikatannya menjadi lebih kuat). Wahyudi, dkk (1997) juga mengatakan bahwa pada umumnya beton mutu tinggi memiliki sifat-sifat kandungan semen tinggi, ratio air-semen rendah, penggunaan agregat mutu tinggi, agregat berkadar air rendah dan penggunaan material pozzolana.

Penurunan kuat lentur yang terjadi dapat diakibatkan oleh tidak sesuaiya pengurangan kandungan air dengan penambahan dosis *superplasticizier* yang ditambahkan yaitu sebesar 2,4375% dari berat semen, sedangkan pada petunjuk penggunaan *superplasticizier* (Sikament-NN) dosis yang syaratkan antara 0,6 – 1,5% dari berat semen, sehingga workabilitas beton menjadi tinggi/encer dan pengikatan agregat oleh pasta semen menjadi kurang baik. Penelitian yang dilakukan Baronio (1990), menghasilkan kuat tekan optimal dengan menggunakan *superplasticizer* 1,5% dari berat semen. R.C Smith dan C.K Andres (1989), dalam *material of constructions* mengatakan bahwa *superplasticizier* yang melapisi partikel semen kemudian memisahkan dan melepaskan semen dari ikatan, akibat air pelapisan ini juga menyebabkan muatan negatif pada partikel semen yang mengakibatkan adanya gaya

tolak menolak antar partikel sehingga menimbulkan tingkat workabilitas yang tinggi tanpa peningkatan nilai fas atau menimbulkan *bleeding dan segregation*.

5.7 Pengaruh pengurangan air terhadap Permeabilitas beton

Permeabilitas beton terhadap air merupakan faktor penting yang mempengaruhi durabilitas struktur beton yang berhubungan langsung dengan air, Permeabilitas beton berpengaruh terhadap durabilitas struktur beton dimana dapat menahan masuknya senyawa kimia yang dapat merusak beton. Permeabilitas beton dipengaruhi oleh antara lain faktor air-semen, kadar semen, kondisi lingkungan lokal dan material pembuat beton (Sugiharto, dkk 2004).

Tabel 5.9 Hubungan pengurangan air, penambahan *superplasticizer* dan permeabilitas beton ($f'c$ 35 MPa)

Variasi	Pengurangan air (%)	Penambahan SP terhadap berat semen (%)	fas	permeability	
				(cm/dt)	penambahan %
B35-0A-SP	0	0,4511	0,4000	0,000528	0,0000
B35-5A-SP	5	0,5639	0,3800	0,000486	-7,8947
B35-10A-SP	10	0,9023	0,3600	0,000417	-21,0526
B35-15A-SP	15	1,3534	0,3400	0,000403	-23,6842
B35-20A-SP	20	1,5789	0,3200	0,000306	-42,1053
B35-25A-SP	25	1,9173	0,3000	0,000278	-47,3684
B35-30A-SP	30	2,4812	0,2800	0,000264	-50,0000

Tabel 5.10 Hubungan pengurangan air, penambahan *superplasticizer* dan permeabilitas beton (f_c 40 MPa)

Variasi	Pengurangan air (%)	Penambahan SP terhadap berat semen (%)	fas	permeability	
				(cm/dt)	penambahan %
B40-0A-SP	0	0,8125	0,3602	0,000389	0,0000
B40-5A-SP	5	1,0156	0,3422	0,000375	-3,5714
B40-10A-SP	10	1,1172	0,3242	0,000361	-7,1429
B40-15A-SP	15	1,2187	0,3062	0,000333	-14,2857
B40-20A-SP	20	1,5234	0,2882	0,000333	-14,2857
B40-25A-SP	25	1,5234	0,2702	0,000278	-28,5714
B40-30A-SP	30	2,4375	0,2521	0,000264	-32,1429

Pada kajian ini yang diukur hanya waktu penetrasi dan kedalaman penetrasi. Data yang ditampilkan pada tabel merupakan data hasil analisis, tiap variasi pengurangan air ada satu sampel uji permeabilitas (lampiran V). Dari tabel diatas dapat dilihat hubungan antara pengurangan air, penambahan *superplasticizer* dan permeabilitas beton. Pada variasi beton dengan f_c 35 MPa dan f_c 40 MPa dengan pengurangan air 0% sampai 30% kedalaman penetrasi air semakin kecil seiring dengan penambahan kadar *superplasticizer*, sehingga diperoleh nilai kedap air maksimum pada pengurangan air 30%.

Dari hasil pengujian permeabilitas diatas dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan *superplasticizer*, beton menjadi lebih *impermeable* (kedap air). Selain itu sifat beton yang *impermeable* dapat disebabkan oleh banyaknya kandungan semen yang ada pada campuran beton sedangkan penggunaan air yang berfungsi sebagai pelumas dikurangi hingga 30%. Kandungan semen yang banyak pada mortar beton menyebabkan porositas dan kadar pori pada beton berkurang sehingga ikatan antara agregat dengan semen menjadi lebih kuat dan penetrasi air untuk masuk kedalam beton menjadi kecil. Pengurangan kandungan air (sebagai pelumas) yang disertai dengan penambahan *superplasticizer* dengan dosis yang tepat dapat meningkatkan

kinerja/workabilitas dan menghasilkan beton yang lebih *impermeable*. Mulyono, (2004) mengatakan bahwa tujuan pengurangan faktor air-semen adalah untuk mengurangi porositas pada beton sehingga menghasilkan beton mutu tinggi.

Sugiharto, dkk (2004) melakukan penelitian tentang permeabilitas beton dan mendapatkan kedalaman penetrasi terkecil adalah 0,0370 cm/dt, dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan *superplasticizier* sampai dosis tertentu dapat menghasilkan workabilitas beton yang tinggi dan beton yang lebih *impermeable*.

Pengurangan air mengakibatkan penurunan kinerja/workabilitas beton sehingga beton menjadi lebih *porous* atau memiliki kadar pori tinggi. Dengan penambahan *superplasticizier* workabilitas beton dapat meningkat sehingga porositas dan kadar pori beton dapat berkurang. Sebagaimana yang dikatakan oleh Ilham, dkk (2004) bahwa *superplasticizier* dapat mengurangi porositas dan kadar pori pada beton akibat pengurangan kandungan air. Penambahan *superplasticizier* dengan dosis yang tepat disertai dengan perawatan dan pengerjaan adukan yang baik, mampu meningkatkan workabilitas dan kekuatan beton secara tidak langsung, tetapi bila tidak maka akan menghasilkan penurunan terhadap kuat tekan beton. Kondisi kepadatan beton juga dapat mempengaruhi permeabilitas beton, kepadatan beton dapat dilihat dari berat beton sebelum dilakukan pengujian. Kepadatan beton dipengaruhi oleh banyaknya agregat yang ada pada benda uji, dan sedikitnya pori yang terdapat pada beton. Wahyudi dkk, (2004) mengatakan bahwa proporsi air yang sedikit akan memberikan kekuatan yang tinggi pada beton, tetapi kelecakannya akan berkurang. Selain itu beton dengan ratio air-semen yang kecil juga akan menghasilkan beton yang kedap air, namun mutu beton tetap dipengaruhi cara pemadatan dan daya kerja, pemadatan yang kurang baik akan menimbulkan sarang kerikil (*honeycomb*) yang mengakibatkan beton menjadi keropos.

5.8 Pengaruh pengurangan air dan penambahan *superplasticizier* terhadap kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, kuat lentur dan permeabilitas beton

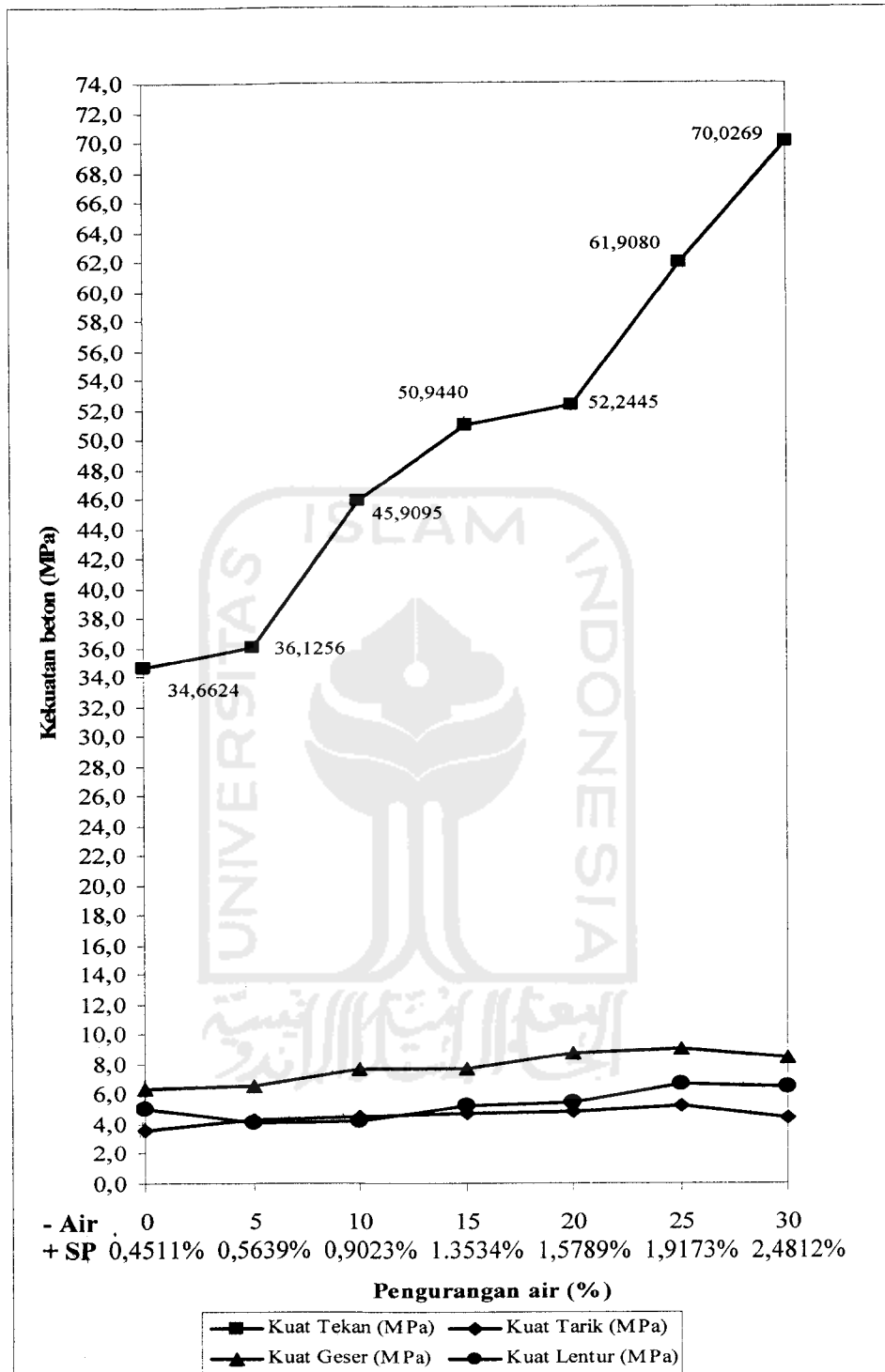
Tabel 5.11 Hubungan pengurangan air dan penambahan *superplasticizier* terhadap kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, kuat lentur dan permeabilitas beton ($f'c$ 35 MPa)

Variasi	Pengurangan air (%)	Penambahan SP terhadap berat semen (%)	fas	kuat tekan $f'c$ (MPa)	kuat tarik $f'ct$ (MPa)	kuat geser $f'sh$ (MPa)	kuat lentur $f'lt$ (MPa)	permeability (cm/dt)
B35-0A-SP	0	0,4511	0,40	34,6624	3,6309	6,3392	5,0455	0,000528
B35-5A-SP	5	0,5639	0,38	36,1256	4,3004	6,6061	4,1054	0,000486
B35-10A-SP	10	0,9023	0,36	45,9095	4,4984	7,6638	4,1623	0,000417
B35-15A-SP	15	1,3534	0,34	50,9440	4,7647	7,6786	5,2165	0,000403
B35-20A-SP	20	1,5789	0,32	52,2445	4,8381	8,7153	5,4096	0,000306
B35-25A-SP	25	1,9173	0,30	61,9080	5,2036	9,0630	6,6182	0,000278
B35-30A-SP	30	2,4812	0,28	70,0269	4,4014	8,4255	6,4573	0,000264

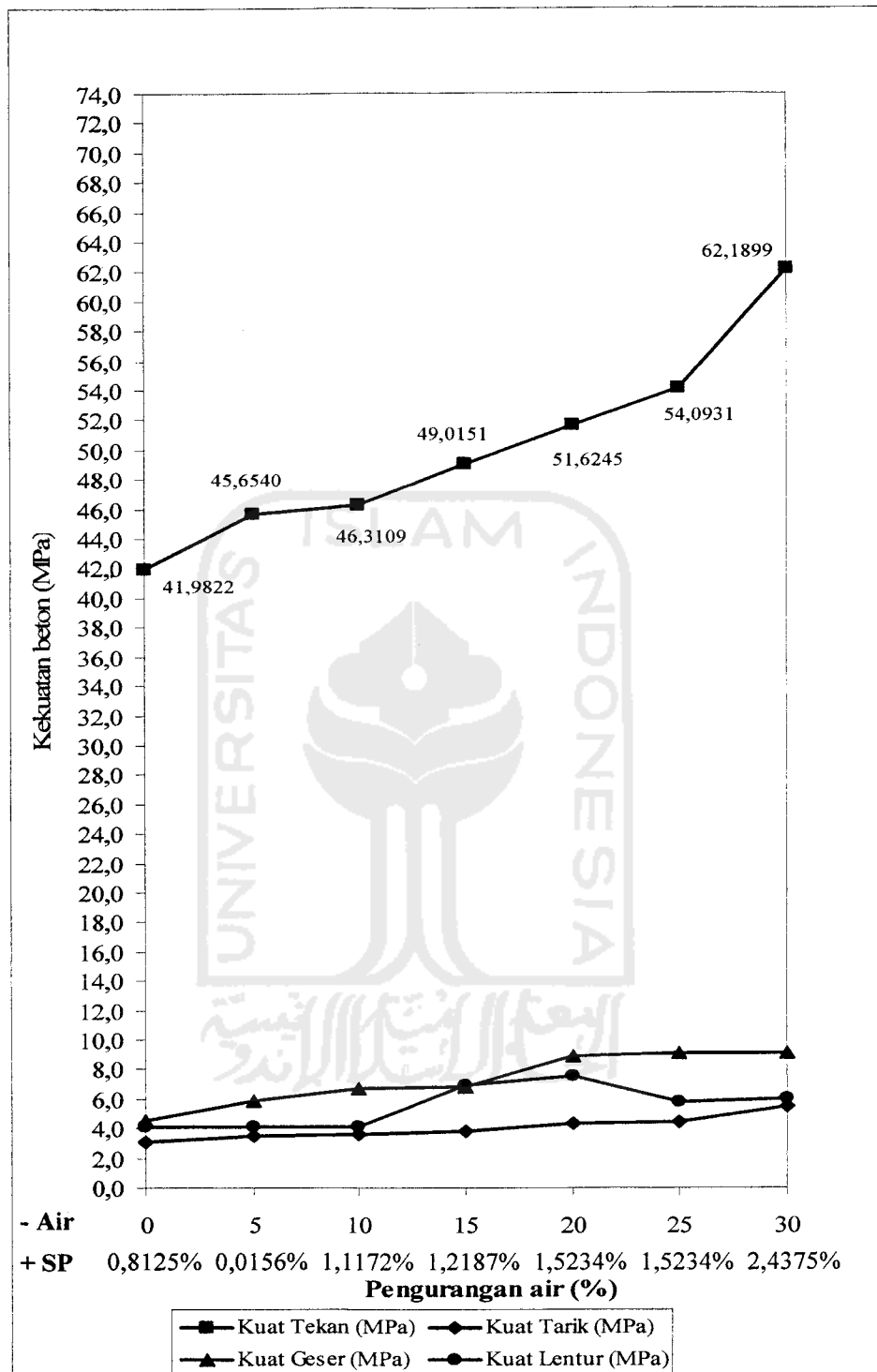
Tabel 5.12 Hubungan pengurangan air dan penambahan *superplasticizer* terhadap kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, kuat lentur dan permeabilitas beton ($f'c$ 40 MPa)

Variasi	Pengurangan air (%)	Penambahan SP terhadap berat semen (%)	fas	kuat tekan $f'c$ (MPa)	kuat tarik $f'ct$ (MPa)	kuat geser $f'sh$ (MPa)	kuat lentur $f'lt$ (MPa)	permeability (cm/dt)
B40-0A-SP	0	0,8125	0,3602	41,9822	3,1356	4,5720	4,1046	0,000389
B40-5A-SP	5	1,0156	0,3422	45,6540	3,5126	5,9007	4,0903	0,000375
B40-10A-SP	10	1,1172	0,3242	46,3109	3,6325	6,7334	4,1490	0,000361
B40-15A-SP	15	1,2187	0,3062	49,0151	3,8132	6,8011	6,8599	0,000333
B40-20A-SP	20	1,5234	0,2882	51,6245	4,3075	8,8757	7,4945	0,000333
B40-25A-SP	25	1,5234	0,2702	54,0931	4,4310	9,0448	5,7226	0,000278
B40-30A-SP	30	2,4375	0,2521	62,1899	5,4439	9,1018	5,9785	0,000264

Ket : Data Kuat tekan diambil dari data bersama Sutrisno dan Hardiman, 2006



Gambar 5.9 Hubungan kuat pengurangan air, penambahan *superplasticizier*, kuat tekan, tarik, geser dan lentur beton $f'c$ 35 MPa



Gambar 5.10 Hubungan kuat pengurangan air, penambahan *superplasticizier*, kuat tekan, tarik, geser dan lentur beton f_c 40 MPa

Pada tabel 5.11 dan gambar 5.9 untuk $f'c$ 35 MPa atau tabel 5.12 dan gambar 5.10 untuk $f'c$ 40 MPa diatas dapat dilihat hubungan antara pengurangan air yang berfungsi sebagai pelumas dan penambahan *superplasticizer* terhadap kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, kuat lentur dan permeabilitas beton. Pengurangan jumlah air (sebagai pelumas) akan meningkatkan kuat tekan beton, peningkatan kuat tekan beton terjadi seiring dengan pengurangan air dan bertambahnya *superplasticizer*. Kriteria keefektifan penambahan *superplasticizer* akan berkurang seiring meningkatnya workabilitas adukan (Naelan dkk, 1994). Penambahan *superplasticizer* hanya berfungsi untuk meningkatkan kinerja/workabilitas beton, dengan pengurangan air kuat tekan beton akan meningkat tetapi workabilitas beton segar akan lebih rendah dari slump rencana yaitu 30-60 mm, untuk menjaga agar workabilitas beton sesuai dengan slump rencana maka ditambahkan *superplasticizer* sedikit-demi sedikit hingga mencapai slump yang diinginkan yaitu 150 mm. Hal ini sesuai dengan yang dikatakan Swamy (1989), bahwa dengan penggunaan *superplasticizer* nilai slump yang didapat antara 150 – 250 mm.

Pengurangan jumlah air yang berfungsi sebagai pelumas juga mempengaruhi kuat tarik, kuat geser dan kuat lentur beton. Peningkatan yang terjadi pada kuat tarik, kuat geser dan kuat lentur tidak sebesar dengan peningkatan yang terjadi pada kuat tekan. Hal ini dikarenakan peningkatan kuat tekan tidak selalu berkorelasi baik dengan peningkatan pada kuat tarik, kuat geser dan kuat lentur. Pada kuat tekan nilai maksimum diperoleh pada pengurangan air 30% berbeda dengan kuat tarik dan geser, nilai optimum diperoleh pada 25% pengurangan air untuk $f'c$ 35 MPa. Pada $f'c$ 40 MPa nilai kuat tarik dan geser maksimum pada 30% pengurangan air, sedangkan nilai kuat lenturnya maksimum pada 20% pengurangan air. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kuat tekan tidak selalu diiringi dengan peningkatan kuat tarik, geser dan lentur.

Peningkatan kuat tarik, geser dan lentur dapat diakibatkan oleh pengurangan air, pada $f'c$ 35 MPa nilai kuat tarik, geser dan lentur optimum pada pengurangan air

25%. Pada f_c 40 MPa nilai kuat tarik dan geser maksimum pada 30% pengurangan air, dan nilai kuat lentur optimum pada 20% pengurangan air.

Kekuatan beton juga dipengaruhi oleh kekuatan ikatan antara adukan semen yang telah mengeras dengan agregat, sedang yang menentukan kekuatan antar-ikatan tersebut adalah pemilihan dalam penggunaan bahan agregat halus dan agregat kasar, faktor lain yang mempengaruhi adalah banyaknya semen yang ada dalam pasta sedangkan jumlah air rencana hanya sedikit sehingga menyebabkan kekuatan beton meningkat, dengan banyaknya jumlah semen yang ada dalam adukan maka ikatan antara agregat dengan semen menjadi lebih kuat. Mulyono (2004), menambahkan bahwa jika air yang berada diantara bagian-bagian semen jumlahnya sedikit menyebabkan jarak antara butiran-butiran semen menjadi pendek, akibatnya masa semen lebih menunjukkan keterikatannya (ikatannya menjadi lebih kuat).

Penurunan kekuatan beton setelah mencapai nilai optimum disebabkan oleh penggunaan *superplasticizier* yang melebihi dosis yang dianjurkan, sedangkan pada petunjuk penggunaan *superplasticizier* (Sikament-NN) dosis yang syaratkan antara 0,6 – 1,5% dari berat semen, sehingga workabilitas beton menjadi tinggi/encer dan pengikatan agregat oleh pasta semen menjadi kurang baik. Hal ini sesuai dengan yang dikatakan Smith dkk, (1989) bahwa penurunan yang terjadi disebabkan oleh butiran dalam semen yang mengandung ion-ion negatif, sehingga jika bereaksi dengan *superplasticizier* akan membuat beton menjadi lebih plastis/encer sehingga workabilitas beton menjadi lebih tinggi dan menyebabkan pengikatan pasta oleh semen menjadi kurang baik. Ilham (2004) menambahkan bahwa beton dengan campuran *superplasticizier* dosis tinggi tidak mengeras dalam 24 jam atau dapat mengeras dalam 24 jam tapi masih terlihat lembab, maka kemungkinan kuat tekan beton rendah, hal ini disebabkan *superplasticizier* dalam campuran beton melampaui titik jenuh. Akibatnya hidrasi semen menjadi terhambat, dan ikatan antar matriks semen dan agregat juga terhambat, maka kekuatan menjadi lemah.

Pada tabel diatas dapat dilihat, bahwa dengan penambahan *superplasticizier*, beton menjadi lebih *impermeable* (kedap air). Selain itu sifat beton yang *impermeable*

dapat disebabkan oleh banyaknya kandungan semen yang ada pada campuran beton sedangkan penggunaan air dikurangi hingga 30%. Kandungan semen yang banyak pada mortar beton menyebabkan porositas dan kadar pori pada beton berkurang sehingga ikatan antara agregat dengan semen menjadi lebih kuat dan penetrasi air untuk masuk kedalam beton menjadi kecil. Pengurangan kandungan air (sebagai pelumas) yang disertai dengan penambahan *superplasticizer* dengan dosis yang tepat dapat meningkatkan kinerja/workabilitas dan menghasilkan beton yang lebih *impermeable*. Dari data permeabilitas diatas, beton dengan pengurangan air dan penambahan *superplasticizer* akan lebih *impermeable* serta menghasilkan kinerja/workabilitas beton yang lebih baik bila dibandingkan dengan beton tanpa pengurangan air tetapi dilakukan penambahan *superplasticizer*. Mulyono, (2004) mengatakan bahwa tujuan pengurangan faktor air-semen adalah untuk mengurangi porositas pada beton sehingga menghasilkan beton mutu tinggi.

