

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Bab ini membicarakan hasil penelitian yang telah dilaksanakan di Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik dan pembahasan tentang hasil penelitian tersebut. Hasil penelitian yang diperoleh adalah hasil pengujian kuat tarik, kuat geser, kuat lentur dan permeabilitas beton.

5.2 Pengaruh Pengurangan Air dan Penambahan *Superplasticizer* Terhadap Workabilitas

Nilai faktor air-semen (fas) sangat berpengaruh terhadap kekuatan dan workabilitas beton segar. Semakin rendah nilai faktor air-semen kekuatan beton semakin meningkat, tetapi semakin rendah nilai faktor air-semen workabilitas beton segar juga rendah. Rendahnya workabilitas akan mengakibatkan hasil pemadatan kurang sempurna yang dapat menyebabkan beton berongga. Untuk mengatasi hal tersebut digunakan bahan tambah berupa *superplasticizer*. *Superplasticizer* merupakan bahan tambah yang diberikan pada beton untuk mendapat beton segar dengan workabilitas yang lebih tinggi dan bersifat mengalir.

Pengaruh penambahan *superplasticizer* pada beton segar sangat baik, *bleeding* dan *segregasi* dapat dikatakan tidak terjadi, walaupun terjadi relatif kecil dan boleh diabaikan. Indikator *workability* digunakan nilai slump yang diuji dengan pengujian slump. Dari segi *Workability*, berapapun dosis *superplasticizer* yang digunakan selama *bleeding* dan *segregasi* tidak terjadi slump dapat dibuat, tetapi masalah yang timbul adalah pada proses pengerasan awal dan kuat tekan beton (Ilham dkk, 2003).

Pada jumlah air terendah, perbandingan semen bagaimanapun tidak mudah untuk mencapai *workability* yang baik. Pengurangan air sekitar 25% sampai 30% dapat dicapai dengan penambahan *superplasticizer* tanpa mengurangi karakteristik

workability. Dengan adanya *superplasticizer* memungkinkan untuk mencapai slump lebih dari 200 mm dari slump awal sekitar 50 mm dengan dosis dari 0.3 % sampai 0.6 % (Ramachandran, 1979). Dalam penelitian ini nilai slump yang diinginkan pada adukan beton dengan pengurangan jumlah air dan penambahan *superplasticizer* adalah antara 150 mm hingga 180 mm. Semakin besar pengurangan air yang dilakukan, kebutuhan *superplasticizer* juga akan semakin besar. Nilai slump yang didapat dari pengujian slump dalam penelitian ini dapat dilihat pada **tabel 5.1** dan **tabel 5.2**.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Slump Sebelum dan Sesudah Penambahan *Superplasticizer (SP)* Pada Kuat Tekan Rencana 15 MPa

Variasi	Pengurangan air (%)	fas	Slump awal (mm)	Penambahan SP(%)	Slump Akhir (mm)
B15- 0A	0	0,61	150	0,00	150
B15- 5A-SP	5	0,58	145	0,48	172,5
B15-10A-SP	10	0,55	135	0,46	160
B15-15A-SP	15	0,52	125	0,59	165
B15-20A-SP	20	0,49	0	1,91	162,5
B15-25A-SP	25	0,46	0	1,94	172,5
B15-30A-SP	30	0,43	0	2,02	162,5

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Slump Sebelum dan Sesudah Penambahan *Superplasticizer (SP)* Pada Kuat Tekan Rencana 20 MPa

Variasi	Pengurangan air (%)	fas	Slump awal (mm)	Penambahan SP(%)	Slump Akhir (mm)
B20- 0A-SP	0	0,56	116	0,34	164
B20- 5A-SP	5	0,53	108	0,51	163,5
B20-10A-SP	10	0,50	0	1,37	157,5
B20-15A-SP	15	0,48	0	1,88	163,5
B20-20A-SP	20	0,45	0	1,95	180
B20-25A-SP	25	0,42	0	2,05	180
B20-30A-SP	30	0,39	0	2,39	176,5

keterangan:

Slump awal : Slump sebelum penambahan *superplasticizer (SP)*

Slump akhir: Slump setelah penambahan *superplasticizer (SP)*

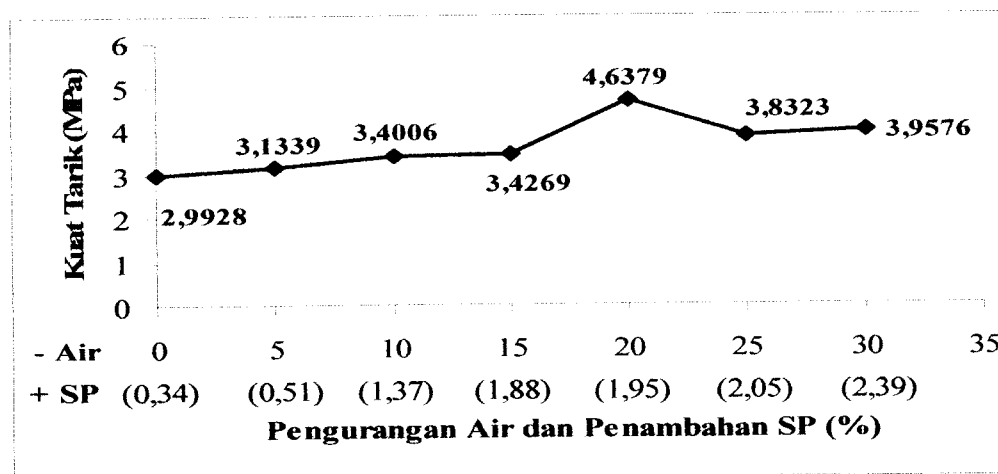
Prosentase SP diperoleh dari perbandingan berat SP terhadap berat semen

Turany kul 68 - 827

Dari **tabel 5.1** dan **tabel 5.2** diatas dapat dilihat bahwa semakin besar pengurangan air nilai slump awal semakin rendah. Semakin rendah nilai slump menyebabkan workabilitas adukan beton menurun sehingga beton akan semakin sulit untuk dikerjakan. Untuk menjaga workabilitas adukan beton ditambahkan *superplasticizer* ke dalam adukan beton selama pengadukan. Penambahan *superplasticizer* dilakukan sedikit demi sedikit hingga mencapai nilai slump yang telah ditentukan yaitu antara 150 mm sampai 180 mm. *Superplasticizer* bertindak memisahkan butir-butir semen yang menggumpal dalam campuran air rendah. Ini berarti melepaskan air untuk memperbaiki kelecakan, karena dapat memberikan keleluasaan Bergeraknya air lebih baik di antara butir-butir semen sehingga workabilitas beton akan meningkat. *Superplasticizer* adalah tambahan yang menurunkan slump dengan melapisi partikel cement, kemudian memisahkan dan melepaskan cement dari ikatan akibat air, pelapisan ini juga menyebabkan muatan negatif pada partikel cement, mengakibatkan adanya gaya tolak menolak antar partikel cement, effect yang ditimbulkan yaitu tingkat workabilitas meningkat tanpa peningkatan nilai fas atau menimbulkan bleeding. (R.C. Smith, C.K Andres; Material of Construction)

Pengurangan air yang semakin besar mengakibatkan nilai slump semakin rendah bahkan ada yang nilai slumpnya 0 mm sebelum penambahan *superplasticizer* sehingga beton segar akan semakin sulit untuk dikerjakan seperti terlihat pada tabel di atas. Untuk mendapatkan nilai slump rencana antara 150 mm sampai 180 mm di tambahkan *superplasticizer* ke dalam adukan beton selama pengadukan. Penambahan *superplasticizer* mampu meningkatkan workabilitas beton segar dan mencapai nilai slump rencana antara 150 mm sampai 180 mm seperti yang terlihat pada hasil pengujian nilai slump akhir pada **tabel 5.1** dan **tabel 5.2**

Pada variasi B15-0A tidak dilakukan penambahan *superplasticizer* karena workabilitas adukan beton masih tinggi dan nilai slump yang dihasilkan masih dapat mencapai nilai slump antara 150 mm sampai 180 mm. Nilai slump akhir pada variasi B15-10A-SP menurun dibandingkan variasi B15-5A-SP. Hal ini disebabkan karena pengurangan air yang terjadi semakin besar, sedangkan



Gambar 5.2 Hubungan Pengurangan Air dan Penambahan *Superplasticizer* Dengan Kuat Tarik Beton Pada Kuat Tekan Rencana 20MPa

Menurut Nawy (1990), kekuatan beton pada umur tertentu bergantung pada perbandingan berat air dan berat semen dalam campuran, semakin kecil faktor air-semen semakin tinggi kekuatan beton. Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil penelitian ini seperti yang terlihat pada **gambar 5.1** dan **gambar 5.2** bahwa semakin rendah fas (semakin besar pengurangan air), kuat tarik beton semakin meningkat. Kenaikan kuat tarik tersebut disebabkan oleh jumlah air yang semakin rendah sehingga jarak antar butiran menjadi lebih rapat dan beton yang dihasilkan lebih padat dan kekuatannya juga akan lebih tinggi. Di sisi lain, jumlah air yang rendah menyebabkan workabilitas beton juga rendah sehingga menyebabkan kekuatan beton menurun karena pemadatan yang kurang sempurna. Untuk meningkatkan workabilitas beton ditambahkan *superplasticizer* kedalam campuran adukan beton. *Superplasticizer* bertindak memisahkan butir-butir semen yang menggumpal dalam campuran air rendah. Ini berarti melepaskan air untuk memperbaiki kelecakan, karena dapat memberikan keleluasaan Bergeraknya air lebih baik di antara butir-butir semen sehingga workabilitas beton akan meningkat. *Superplasticizer* dapat menghasilkan beton kuat tekan tinggi, apabila kekohesifan beton baik. Kekohesifan yang tinggi dari campuran semen dan air memerlukan dosis *superplasticizer* relatif lebih tinggi untuk memisahkan butir-

butir semen yang menggumpal dan menyebarkan butir-butirnya (Gagne dkk, 1996).

Kuat tarik optimum sebesar 3,8667 MPa untuk kuat tekan rencana 15 MPa diperoleh pada pengurangan kandungan air 20% dan penambahan *superplasticizer* 1,91% dari berat semen pada variasi beton B15-20A-SP. Variasi beton B15-20A-SP mengalami peningkatan kuat tarik sebesar 34,7001% dari variasi beton B15-0A. Untuk kuat tekan rencana 20 MPa mampu mencapai kuat tarik optimum sebesar 4,6379 MPa pada pengurangan air 20% dan penambahan *superplasticizer* 1,95% dari berat semen seperti yang terlihat pada variasi beton B20-20A-SP. Peningkatan kuat tarik pada variasi beton B20-20A-SP dibandingkan variasi beton B20-0A-SP adalah sebesar 54,9686%. Kuat tarik beton pada kuat tekan 20 MPa lebih besar dari kuat tarik pada kuat tekan 15 MPa. Hal ini karena jumlah semen pada kuat tekan rencana 20 MPa lebih besar yang menyebabkan fasnya menjadi lebih rendah dari fas pada kuat tekan 15 MPa sehingga ikatannya menjadi lebih kuat dan kuat tarik yang dihasilkan menjadi lebih besar.

Pada variasi B15-15A-SP kuat tarik beton menurun dibandingkan variasi sebelumnya, hal ini disebabkan oleh kenaikan jumlah *superplasticizer* yang rendah sedangkan pengurangan airnya semakin besar sehingga workabilitas beton lebih rendah dari variasi B15-5A-SP. Peningkatan kuat tarik juga mengalami penurunan pada variasi pengurangan air 25% dan 30% untuk kuat tekan 15 MPa dan 20 Mpa yaitu pada variasi beton B15-25A-SP, B15-30A-SP, B20-225A-SP, dan B20-30A-SP. Dosis *superplasticizer* pada variasi tersebut terlalu banyak sehingga adukan beton menjadi lebih encer membuat ikatan antara pasta semen dan butiran agregat menjadi lemah dan kuat tarik yang dihasilkan lebih rendah. Penambahan *superplasticizer* sebesar 1,94%, 2,02%, 2,05%, dan 2,39% dari berat semen pada variasi beton B15-25A-SP B15-30A-SP, B20-25A-SP, dan B20-30A-SP melebihi dosis yang disarankan pabrik dalam petunjuk penggunaan *superplasticizer* (*skament-NN*) yaitu sebesar 0,6%-1,5% dari berat semen. Hasil tersebut sesuai dengan pernyataan Nawy (1990), bahwa dosis *superplasticizer* yang berlebihan dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan beton.

5.3.2 Hubungan Kuat Tarik dengan Kuat Tekan

Kuat tarik beton merupakan salah satu sifat dari sifat-sifat yang dimiliki beton. Pengujian kuat tarik dalam penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui kuat tarik suatu silinder beton. Nilai kuat tekan silinder beton merupakan data bersama dengan Danny Kurniawan (kuat tekan rencana 15 MPa) dan Agung Fajar M (kuat tekan rencana 20 MPa). Data lengkap hasil pengujian kuat tekan umur 28 hari dapat dilihat dalam lampiran F tabel 1 dan tabel 2. Hubungan antara kuat tarik dengan kuat tekan dapat dilihat dari tabel 5.11 dan tabel 5.12.

Table 5.5 Hubungan kuat tarik dengan kuat tekan beton pada f_c 15 MPa

Variasi	Variasi		Kuat tarik (f_{tr}) rata-rata (MPa)	Kuat tekan (f_c) rata-rata (MPa)	Prosentase f_{tr} thdp f_c (%)	Kuat tarik teoritis (MPa)
	Pengurangan Air (%)	Penambahan SP (%)				
B15-0A	0	0,00	2,8706	23,9447	11,9885	2,7892
B15-5A-SP	5	0,48	3,3334	31,3572	10,6304	3,1919
B15-10A-SP	10	0,46	3,4942	32,9671	10,5991	3,2728
B15-15A-SP	15	0,59	3,3051	26,3893	12,5244	2,9281
B15-20A-SP	20	1,91	3,8667	41,0382	9,4222	3,6515
B15-25A-SP	25	1,94	3,2609	28,6297	11,3899	3,0499
B15-30A-SP	30	2,02	3,4636	44,9750	7,7012	3,8226

Keterangan: Kuat tarik teoritis didapat dari persamaan $0,57\sqrt{f_c}$
Kuat tarik rata-rata adalah kuat tarik hasil pengujian

Table 5.6 Hubungan kuat tarik dengan kuat tekan beton pada f_c 20 MPa

Variasi	Variasi		Kuat tarik (f_{tr}) rata-rata (MPa)	Kuat tekan (f_c) rata-rata (MPa)	Prosentase f_{tr} thdp f_c (%)	Kuat tarik teoritis (MPa)
	Pengurangan Air (%)	Penambahan SP (%)				
B20-0A-SP	0	0,34	2,9928	28,1777	10,6212	3,0257
B20-5A-SP	5	0,51	3,1339	31,6163	9,9123	3,2050
B20-10A-SP	10	1,37	3,4006	32,1034	10,5927	3,2296
B20-15A-SP	15	1,88	3,4269	39,0872	8,7673	3,5636
B20-20A-SP	20	1,95	4,6379	39,5596	11,7238	3,5851
B20-25A-SP	25	2,05	3,8323	38,8204	9,8719	3,5514
B20-30A-SP	30	2,39	3,9576	49,8138	7,9448	4,0230

Keterangan: Kuat tarik teoritis didapat dari persamaan $0,57\sqrt{f_c}$
Kuat tarik rata-rata adalah kuat tarik hasil pengujian

5.4 Kuat Geser Beton

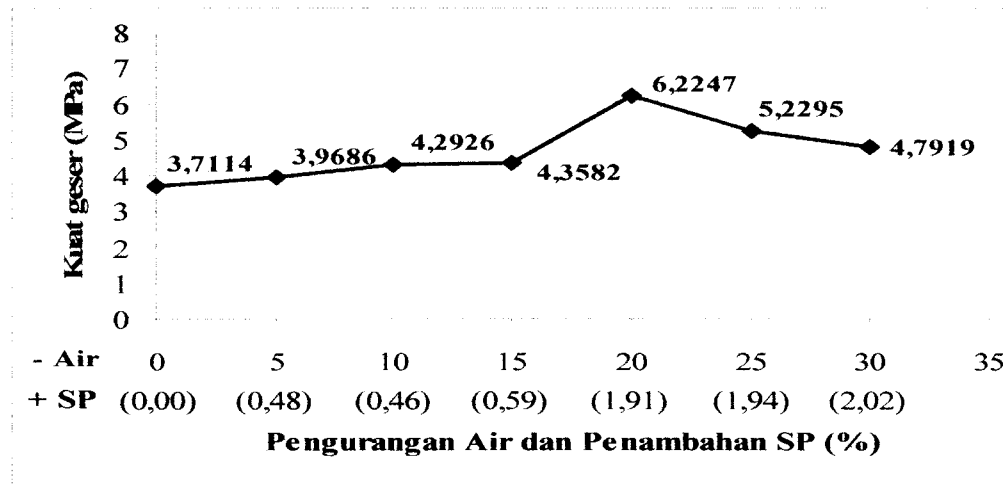
5.4.1 Pengaruh Pengurangan Air dan Penambahan *Superplasticizer* Terhadap Kuat Geser

Pengujian kuat geser dimaksudkan untuk mengetahui besarnya tegangan geser dari balok beton setelah mendapat pembebanan. Pengujian kuat geser dilakukan pada benda uji balok (25 x 10 x 10 cm) dengan umur perawatan 28 hari. Perhitungan kuat geser beton menggunakan **persamaan (3.15)**, dan hasil pengujian kuat geser beton rata-rata umur 28 hari terdapat pada **tabel 5.5** dan **tabel 5.6**. Hasil pengujian kuat geser beton umur 28 hari dapat dilihat pada **lampiran F tabel 4** dan **tabel 6**.

Salah satu upaya untuk meningkatkan kuat geser beton adalah dengan mengurangi jumlah air dalam adukan beton sesuai dengan pernyataan Wahyudi L dan Rahim A.S (1997), bahwa proporsi air yang sedikit akan memberikan kekuatan yang tinggi pada beton, tetapi kelemasan beton atau daya kerjanya akan berkurang. Sedangkan proporsi air yang agak besar akan memberikan kemudahan pada waktu pelaksanaan pengecoran, tetapi kekuatan hancur beton jadi rendah. Pengurangan air sekitar 25% sampai 30% dapat dicapai dengan penambahan *superplasticizer* tanpa mengurangi karakteristik *workability* (Ramachandran, 1979). Hubungan pengurangan air dan penambahan *superplasticizer* terhadap kuat geser beton umur 28 hari dapat dilihat pada **gambar 5.3** dan **gambar 5.4**.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Kuat Geser Beton Pada Kuat Tekan Rencana 15 MPa

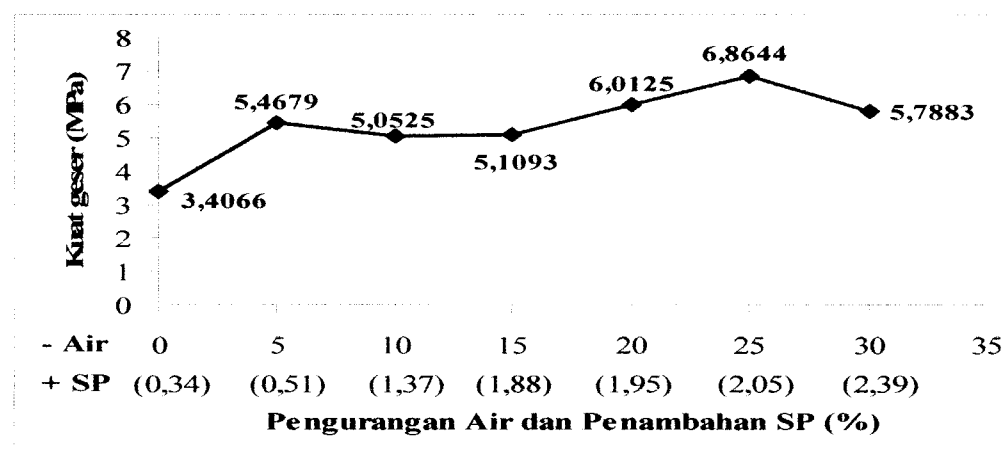
Variasi Beton	Variasi		fas	Kuat Geser rata-rata (MPa)	Perubahan (%)
	Pengurangan air (%)	Penambahan SP (%)			
B15- 0A-SP	0	0,00	0,61	3,7114	0
B15- 5A-SP	5	0,48	0,58	3,9686	6,9295
B15-10A-SP	10	0,46	0,55	4,2926	15,6584
B15-15A-SP	15	0,59	0,52	4,3582	17,4265
B15-20A-SP	20	1,91	0,49	6,2247	67,7182
B15-25A-SP	25	1,94	0,46	5,2295	40,9027
B15-30A-SP	30	2,02	0,43	4,7919	29,1122



Gambar 5.3 Hubungan Pengurangan Air dan Penambahan *Superplasticizer* Dengan Kuat Geser Beton Pada Kuat Tekan Rencana 15 MPa

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Kuat Geser Beton Pada Kuat Tekan Rencana 20 MPa

Variasi Beton	Variasi		fas	Kuat Geser rata-rata (MPa)	Perubahan (%)
	Pengurangan air (%)	Penambahan SP(%)			
B20- 0A-SP	0	0,34	0,56	3,4066	0
B20- 5A-SP	5	0,51	0,53	5,4679	60,5099
B20-10A-SP	10	1,37	0,50	5,0525	48,3150
B20-15A-SP	15	1,88	0,48	5,1093	49,9812
B20-20A-SP	20	1,95	0,45	6,0125	76,4956
B20-25A-SP	25	2,05	0,42	6,8644	101,5016
B20-30A-SP	30	2,39	0,39	5,7883	69,9153



Gambar 5.4 Hubungan Pengurangan Air dan Penambahan *Superplasticizer* Dengan Kuat Geser Beton Pada Kuat Tekan Rencana 20 MPa

Gambar 5.3 dan **gambar 5.4** menunjukkan semakin rendah nilai fas akibat pengurangan air yang semakin besar, kuat geser beton yang dihasilkan cenderung mengalami peningkatan kekuatan. Semakin besar pengurangan air atau nilai fas semakin rendah akan menyebabkan workabilitas beton menurun sehingga beton sulit untuk dikerjakan. Untuk menjaga workabilitas beton, dalam campuran adukan beton ditambahkan *superplasticizer* selama pengadukan. *Superplasticizer* bertindak memisahkan butir-butir semen yang menggumpal dalam campuran air rendah yang berarti melepaskan air untuk memperbaiki kelecakan, karena dapat memberikan keleluasaan Bergeraknya air lebih baik di antara butir-butir semen sehingga workabilitas beton akan meningkat. Sesuai dengan pernyataan Gagne dkk (1996), kekohesifan yang tinggi dari campuran semen dan air memerlukan dosis *superplasticizer* relatif lebih tinggi untuk memisahkan butir-butir semen yang menggumpal dan menyebarkan butir-butirnya.

Untuk kuat tekan rencana 15 MPa, Pengurangan air 20% dan penambahan *superplasticizer* 1,91% dari berat semen mampu mencapai kuat geser optimum sebesar 6,2247 MPa atau meningkat 67,7182% dari beton normal (B15-0A) seperti terlihat pada variasi beton B15-20A-SP. Untuk kuat tekan rencana 20 MPa, kuat geser optimum sebesar 6,8644 MPa diperoleh pada variasi B20-25A-SP yaitu pada pengurangan air 25% dan penambahan *superplasticizer* sebesar 2,05% dari berat semen. Pada variasi beton B20-25A-SP kuat geser mengalami peningkatan sebesar 101,5016% dari variasi B20-0A-SP Hasil tersebut sesuai dengan pernyataan dari Murdock dan Brook (1991) yaitu kenaikan faktor air-semen mempunyai pengaruh sebaliknya terhadap sifat-sifat beton. Beton yang mempunyai faktor air-semen minimal dan cukup untuk memberikan workabilitas tertentu yang dibutuhkan untuk pemadatan yang sempurna tanpa pekerjaan pemadatan yang berlebihan, merupakan beton yang terbaik. Faktor air-semen untuk kuat tekan 15 MPa lebih tinggi dari faktor air-semen pada kuat tekan 20 MPa sehingga kuat geser pada kuat tekan 15 MPa lebih rendah dari kuat geser pada kuat tekan 20 MPa. Pada kuat tekan 15 MPa jumlah semen yang dipakai lebih sedikit di bandingkan kuat tekan 20 MPa, sedangkan jumlah air yang digunakan sama sehingga faktor air-semen untuk kuat tekan 15 MPa lebih tinggi.

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). Kuat geser pada variasi pengurangan air 5% (B20-5A-SP) meningkat cukup tinggi, peningkatan tersebut disebabkan karena jumlah airnya masih tinggi dan workabilitasnya juga lebih baik sehingga pematatannya juga lebih baik.

Peningkatan kuat geser juga menurun pada variasi pengurangan air 25% dan 30% untuk kuat tekan 15 MPa, sedangkan untuk kuat tekan rencana 20 MPa peningkatan kuat geser mengalami penurunan pada variasi pengurangan air 30%. Pengurangan air pada variasi tersebut terlalu besar menyebabkan adukan menjadi kering, penambahan *superplasticizer* pada variasi ini hanya meningkatkan workabilitas beton saja. Dosis *superplasticizer* sebesar 1,94% (B15-25A-SP), 2,02% (B15-30A-SP) dan 2,39% (B20-30A-SP) telah melampaui dosis yang disarankan pabrik dalam petunjuk penggunaan *superplasticizer* (*skament-NN*) yaitu sebesar 0,6%-1,5% dari berat semen sehingga kuat geser menurun karena adukan lebih encer yang menyebabkan ikatan antara pasta semen dan butiran agregat menjadi lemah dan kuat tarik yang dihasilkan lebih rendah. Hasil tersebut sesuai dengan pernyataan Nawy (1990), bahwa dosis *superplasticizer* yang disarankan adalah 1 sampai 2 persen dari berat semen, dosis *superplasticizer* yang berlebihan dapat menyebabkan berkurangnya kekuatan beton. Ramachandran (1979) juga menyatakan bahwa, memasukkan jumlah yang lebih besar untuk menghasilkan pengurangan air yang lebih tinggi mengakibatkan efek yang tidak diinginkan pada pengaturan, jumlah udara, *bleeding*, *segregation*, dan karakteristik pembekuan.

5.4.2 Hubungan Kuat Geser Dengan Kuat Tekan

Salah satu sifat beton yang perlu diperhitungkan adalah kuat gesernya. Peningkatan kuat tarik hanya disertai peningkatan kuat geser yang kecil. Data kuat tekan beton merupakan data bersama dengan Danny Kurniawan (kuat tekan rencana 15 MPa) dan Agung Fajar M (kuat tekan rencana 20 MPa). Data lengkap hasil pengujian kuat tekan umur 28 hari dapat dilihat dalam lampiran F tabel 1 dan tabel 2. Hubungan antara kuat geser dengan kuat tekan beton dapat dilihat pada tabel 5.13 dan tabel 5.14

Table 5.9 Hubungan kuat geser dengan kuat tekan beton pada $f'c$ 15 MPa

Variasi	Variasi		Kuat geser (f_{sh}) rata-rata (MPa)	Kuat tekan ($f'c$) rata-rata (MPa)	Prosentase f_{sh} thdp $f'c$ (%)
	Pengurangan Air (%)	Penambahan SP (%)			
B15-0A	0	0,00	3,7114	23,9447	15,5000
B15-5A-SP	5	0,48	3,9686	31,3572	12,6561
B15-10A-SP	10	0,46	4,2926	32,9671	13,0208
B15-15A-SP	15	0,59	4,3582	26,3893	16,5150
B15-20A-SP	20	1,91	6,2247	41,0382	15,1681
B15-25A-SP	25	1,94	5,2295	28,6297	18,2660
B15-30A-SP	30	2,02	4,7919	44,9750	10,6546

Table 5.10 Hubungan kuat geser dengan kuat tekan beton pada $f'c$ 20 MPa

Variasi	Variasi		Kuat geser (f_{sh}) rata-rata (MPa)	Kuat tekan ($f'c$) rata-rata (MPa)	Prosentase f_{sh} thdp $f'c$ (%)
	Pengurangan Air (%)	Penambah an SP (%)			
B20-0A-SP	0	0,34	3,4066	28,1777	12,0897
B20-5A-SP	5	0,51	5,4679	31,6163	17,2947
B20-10A-SP	10	1,37	5,0525	32,1034	15,7382
B20-15A-SP	15	1,88	5,1093	39,0872	13,0714
B20-20A-SP	20	1,95	6,0125	39,5596	15,1986
B20-25A-SP	25	2,05	6,8644	38,8204	17,6823
B20-30A-SP	30	2,39	5,7883	49,8138	11,6199

Pada tabel 5.13 dan tabel 5.14 menunjukkan bahwa perbandingan kuat geser dengan kuat tekan beton pada variasi B15-0A dan B20-0A-SP sebesar 15,5% dan 12,0897%. Pada kuat geser optimum yang terdapat pada variasi B15-20A-SP dan B20-25A-SP mempunyai prosentase terhadap kuat tekan sebesar

15,1681% dan 15,1681%. Untuk kuat tekan rencana 15 MPa peningkatan kuat tekan selalu diikuti oleh peningkatan kuat gesernya pada variasi pengurangan air antara 0% sampai 20%. Peningkatan kuat tekan pada kuat tekan rencana 20 MPa tidak selalu diikuti oleh peningkatan kuat gesernya seperti pada variasi B20-30A-SP. Pada variasi tersebut kuat tekan mencapai nilai maksimum sedangkan kuat geser menurun setelah mencapai nilai optimum. sampai.

Menurut Pillai dan Menon (1993), kekuatan beton di dalam geser murni sekitar 10 - 20 persen dari kuat tekannya. Pernyataan tersebut sesuai dengan hasil penelitian ini, prosentase kuat geser pada kuat tekan rencana 15 MPa sekitar 10,6546% - 18,2660% dari kuat tekannya dan untuk kuat tekan rencana 20 MPa berkisar antara 11,6199% - 17,6823% dari kuat tekannya. Prosentase kuat geser terhadap kuat tekan tidak mengalami perubahan yang signifikan dengan adanya penambahan *superplasticizer* dalam campuran.

5.5 Kuat Lentur Beton

5.5.1 Pengaruh Pengurangan Air dan Penambahan *Superplasticizer* Terhadap Kuat Lentur

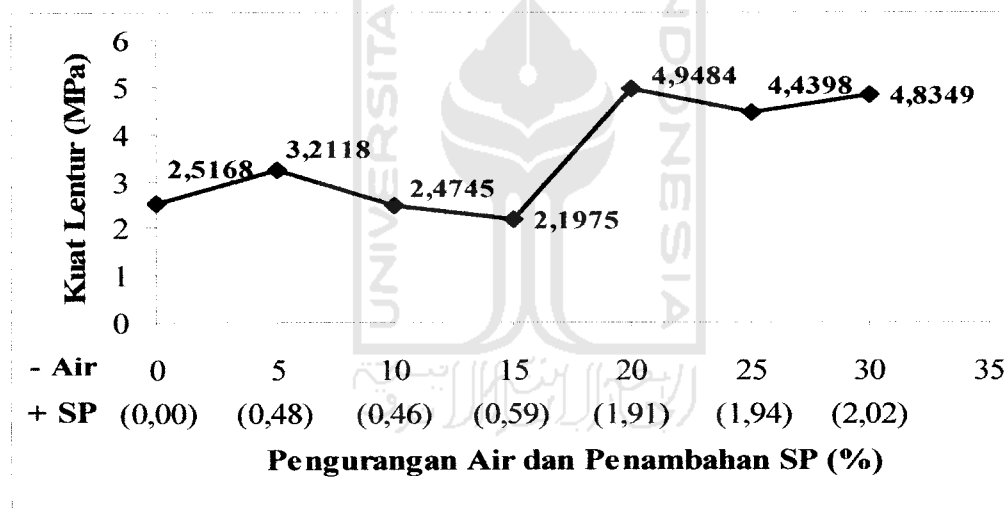
Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kuat lentur beton setelah berumur 28 hari. Pengujian ini menggunakan benda uji sebanyak 3 buah, benda uji berbentuk balok panjang 50 cm, lebar 10 cm dan tinggi 10 cm. Perhitungan kuat lentur beton menggunakan **persamaan (3.16)**, untuk hasil pengujian kuat lentur beton umur 28 hari selengkapnya dapat dilihat pada **lampiran F tabel 7 dan tabel 8**. Hasil pengujian kuat lentur beton rata-rata umur 28 hari terdapat pada **tabel 5.7 dan tabel 5.8**.

Workabilitas beton segar akan menurun seiring dengan pengurangan air yang dilakukan. Penambahan *superplasticizer* dengan dosis yang tepat disertai dengan pengerjaan dan perawatan beton yang baik mampu meningkatkan workabilitas dan kekuatan beton. Menurut Ramachandran (1979), pada mix desain yang sama, beton dengan kandungan *superplasticizer* mempunyai kekuatan yang lebih tinggi dari pada beton normal. Pengaruh pengurangan air dan penambahan

superplasticizer terhadap kuat geser beton dapat dilihat pada **gambar 5.3** dan **gambar 5.4**.

Table 5.11 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Pada Kuat Tekan Rencana 15 MPa

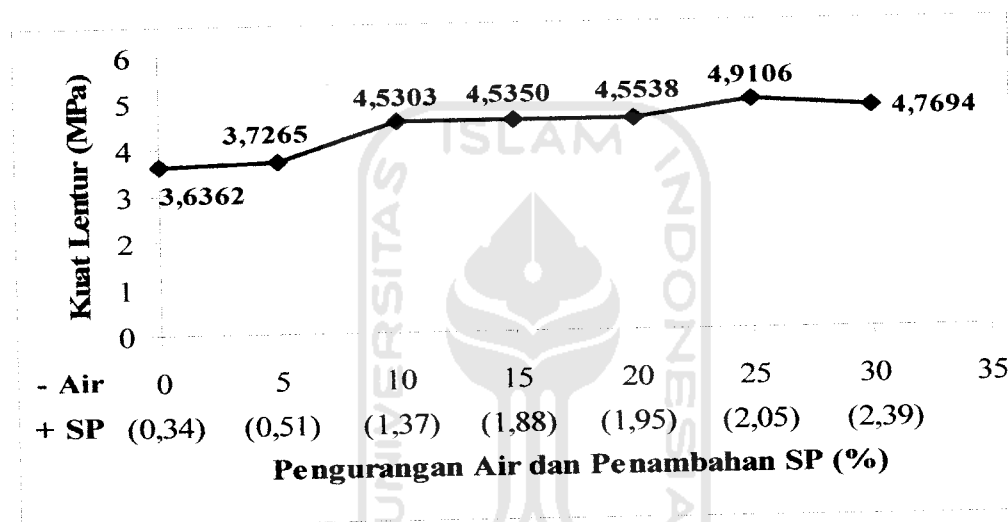
Vaiasi Beton	Vaiasi		fas	Kuat Lentur rata-rata (MPa)	Perubahan (%)
	Pengurangan air (%)	Penambahan SP (%)			
B15- 0A-SP	0	0,00	0,61	2,5168	0
B15- 5A-SP	5	0,48	0,58	3,2118	27,6144
B15-10A-SP	10	0,46	0,55	2,4745	-1,6807
B15-15A-SP	15	0,59	0,52	2,1975	-12,6867
B15-20A-SP	20	1,91	0,49	4,9484	96,6147
B15-25A-SP	25	1,94	0,46	4,4398	76,4065
B15-30A-SP	30	2,02	0,43	4,8349	92,1051



Gambar 5.5 Hubungan Pengurangan Air dan Penambahan *Superplasticizer* Dengan Kuat Lentur Beton Pada Kuat Tekan Rencana 15 MPa

Table 5.12 Hasil Pengujian Kuat Lentur Beton Pada Kuat Tekan Rencana 20 MPa

Vaiasi Beton	Vaiasi		fas	Kuat Lentur rata-rata (MPa)	Perubahan (%)
	Pengurangan air (%)	Penambahan SP (%)			
B20- 0A-SP	0	0,34	0,56	3,6362	0
B20- 5A-SP	5	0,51	0,53	3,7265	2,4834
B20-10A-SP	10	1,37	0,50	4,5303	24,5889
B20-15A-SP	15	1,88	0,48	4,5350	24,7181
B20-20A-SP	20	1,95	0,45	4,5538	25,2351
B20-25A-SP	25	2,05	0,42	4,9106	35,0476
B20-30A-SP	30	2,39	0,39	4,7694	31,1644

**Gambar 5.6** Hubungan Pengurangan Air dan Penambahan *Superplasticizer* Dengan Kuat Lentur Beton Pada Kuat Tekan Rencana 20 Mpa

Kuat lentur akan cenderung meningkat seiring dengan semakin besar pengurangan air atau semakin rendah nilai fasnya. Tetapi semakin besar pengurangan air menyebabkan workabilitas beton juga semakin rendah. Untuk meningkatkan workabilitas beton ditambahkan *superplasticizer* ke dalam adukan beton. *Superplasticizer* bertindak memisahkan butir-butir semen yang menggumpal dalam campuran air rendah. Ini berarti melepaskan air untuk memperbaiki kelecakan, karena dapat memberikan keleluasaan Bergeraknya air lebih baik di antara butir-butir semen sehingga workabilitas beton akan meningkat. *Superplasticizer* dapat menghasilkan beton kuat tekan tinggi, apabila kekohesifan beton baik. Kekohesifan yang tinggi dari campuran semen dan air memerlukan dosis *superplasticizer* relatif lebih tinggi untuk memisahkan butir-

butir semen yang menggumpal dan menyebarkan butir-butirnya (Gagne dkk, 1996).

Dari **gambar 5.5** terlihat bahwa kuat lentur beton mengalami peningkatan seiring dengan pengurangan air yang semakin besar. Jumlah air yang rendah menyebabkan jarak antar butiran menjadi lebih rapat dan beton yang dihasilkan lebih padat dan kekuatannya juga akan lebih tinggi. Wahyudi L dan Rahim A.S (1997) mengatakan proporsi air yang sedikit akan memberikan kekuatan yang tinggi pada beton, tetapi kelemahan beton atau daya kerjanya akan berkurang. Kuat lentur optimum dicapai pada variasi B15-20A-SP yaitu pada pengurangan air 20% dan penambahan *superplasticizer* 1,91% dari berat semen. Kuat lentur optimum pada variasi B15-20A-SP adalah sebesar 4,9484 MPa atau meningkat 96,6147% dibandingkan beton normal (B15-0A-SP).

Pada variasi pengurangan air 10% dan 15 % yaitu pada beton B15-10A-SP dan B15-15A-SP kuat lentur mengalami penurunan yang disebabkan oleh pengurangan air dan penambahan *superplasticizer* yang kurang tepat. Pada variasi B15-10A-SP dosis *superplasticizer* yang ditambahkan lebih rendah dibandingkan variasi B15-5A-SP (pengurangan air 5%), sedangkan jumlah air pada variasi B15-10A-SP lebih sedikit sehingga workabilitasnya juga lebih rendah walaupun nilai slump yang diinginkan dapat dicapai. Penurunan pada variasi pengurangan air 15% (B15-15A-SP) disebabkan karena penambahan *superplasticizer* terlalu rendah. Penambahan *superplasticizer* sebesar 0,59% dari berat semen mampu meningkatkan nilai slump mencapai 165 mm, tetapi masih lebih rendah dibandingkan nilai slump variasi beton B15-5A-SP yang mengakibatkan workabilitasnya juga lebih rendah akibat pengurangan air yang lebih besar. Hal tersebut menyebabkan pemadatan menjadi kurang baik yang menyebabkan terjadinya penurunan kuat lentur pada variasi B15-15A-SP.

Setelah kuat lentur mencapai nilai optimum pada variasi B15-20A-SP, kuat lentur kembali mengalami penurunan kekuatan pada variasi B15-25A-SP dan B15-30A-SP. Penambahan *superplasticizer* pada variasi B15-25A-SP dan B15-30A-SP terlalu besar yang menyebabkan adukan beton menjadi lebih encer membuat ikatan antara pasta semen dan butiran agregat menjadi lemah dan kuat

tarik yang dihasilkan lebih rendah. Dosis *superplasticizer* sebesar 1,94% dan 2,02% dari berat semen pada variasi ini melebihi dosis yang di sarankan dalam petunjuk penggunaan *superplasticizer* yaitu sebesar 0,6%-1,5% dari berat semen.

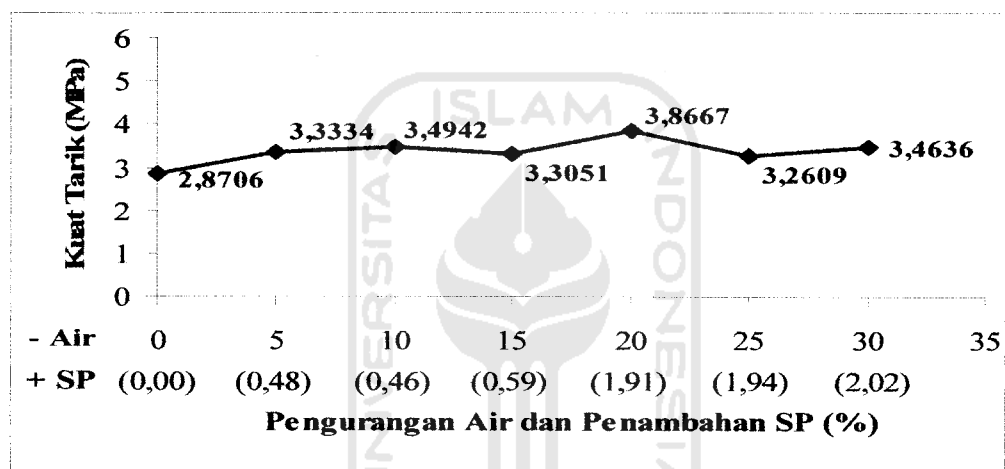
Pada **gambar 5.6** terlihat bahwa kuat lentur beton pada kuat tekan 20 MPa terus mengalami peningkatan seiring dengan semakin besarnya pengurangan air (fas rendah). Kuat lentur optimum sebesar 4,9106 MPa diperoleh pada variasi pengurangan air 25% dan penambahan *superplasticizer* 2,05% dari berat semen. Pada variasi pengurangan air 30% peningkatan kuat lentur mengalami penurunan karena dosis *superplasticizer* yang ditambahkan ke dalam campuran aduka terlalu besar. Penambahan *superplasticizer* sebesar 2.39% dari berat semen pada variasi B20-30A-SP melebihi batas optimum penambahan *superplasticizer* yang disarankan pabrik dalam petunjuk penggunaan *superplasticizer* (*skament-NN*) yaitu sebesar 0,6%-1,5% dari berat semen. Penambahan *superplasticizer* berlebihan dapat menyebabkan penurunan kuat lentur sesuai dengan pernyataan Murdock dan brook (1991), bahwa kelebihan dosis menjadikan beton terlalu encer sehingga terjadi pemisahan butiran yang cukup banyak.

5.5.2 Hubungan Kuat Lentur Dengan Kuat Tekan

Pengujian kuat lentur dilaksanakan setelah beton mencapai umur 28 hari dengan variasi pengurangan air mulai 0% sampai 30%. Dari hasil pengujian menunjukkan adanya kuat lentur optimum dicapai pada variasi pengurangan air 20% dan penambahan *superplasticizer* 1,91% dari berat semen untuk kuat tekan rencana 15 MPa. Sedangkan untuk kuat tekan rencana 20 MPa kuat lentur terus meningkat sampai pada variasi pengurangan air 25% dan penambahan *superplasticizer* 2,05% dari berat semen. Hasil ini tidak berbanding lurus dengan peningkatan kuat tekan yang terjadi seperti terlihat pada **tabel 5.13** dan **tabel 5.14**.

Table 5.3 Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton Pada Kuat Tekan Rencana 15 MPa

Variasi Beton	Variasi		fas	Kuat tarik rata-rata (MPa)	Perubahan (%)
	Pengurangan air (%)	Penambahan SP (%)			
B15- 0A	0	0,00	0,61	2,8706	0
B15- 5A-SP	5	0,48	0,58	3,3334	16,1221
B15-10A-SP	10	0,46	0,55	3,4942	21,7237
B15-15A-SP	15	0,59	0,52	3,3051	15,1362
B15-20A-SP	20	1,91	0,49	3,8667	34,7001
B15-25A-SP	25	1,94	0,46	3,2609	13,5965
B15-30A-SP	30	2,02	0,43	3,4636	20,6577

**Gambar 5.1** Hubungan Pengurangan Air dan Penambahan *Superplasticizer* Dengan Kuat Tarik Beton Pada Kuat Tekan Rencana 15 MPa**Table 5.4** Hasil Pengujian Kuat Tarik Beton Pada Kuat Tekan Rencana 20 MPa

Variasi Beton	Variasi		fas	Kuat Tarik rata-rata (MPa)	Perubahan (%)
	Pengurangan air (%)	Penambahan SP (%)			
B20- 0A-SP	0	0,34	0,56	2,9928	0
B20- 5A-SP	5	0,51	0,53	3,1339	4,7146
B20-10A-SP	10	1,37	0,50	3,4006	13,6260
B20-15A-SP	15	1,88	0,48	3,4269	14,5048
B20-20A-SP	20	1,95	0,45	4,6379	54,9686
B20-25A-SP	25	2,05	0,42	3,8323	28,0507
B20-30A-SP	30	2,39	0,39	3,9576	32,2374

Dari tabel 5.11 dan tabel 5.12 terlihat bahwa semakin besar pengurangan air, kuat tekan beton semakin tinggi diikuti dengan peningkatan kuat tariknya. Hasil tersebut terlihat pada variasi pengurangan air 0% sampai 20% untuk kuat tekan rencana 15 MPa, sedangkan pada kuat tekan rencana 20 MPa terjadi pada pangurangan air 0% sampai 25% persen prosentase kuat tarik terhadap kuat tekan beton pada variasi B15-0A dan B20-0A-SP sebesar 11,9885% dan 10,6212%.

Menurut Dipohusodo (1994) nilai kuat tekan dan kuat tarik beton tidak berbanding lurus, setiap perbaikan usaha mutu kekuatan tekan hanya disertai peningkatan kecil nilai kuat tariknya seperti yang terjadi pada pangurangan air 30% atau variasi B15-30A-SP dan B20-30A-SP untuk kuat tekan 15 Mpa dan 20Mpa. Kuat tarik beton pada variasi tersebut mengalami penurunan dibanding variasi B15-20A-SP dan B20-20A- SP, sedangkan kuat tekannya mencapai kuat tekan maksimum sehingga prosentase kuat tarik terhadap kuat tekannya menurun. Kuat tarik optimum sebesar 3,8667 MPa dan 4,6379 MPa untuk kuat tekan 15 Mpa dan 20 Mpa pada variasi B15-20A-SP dan B20-20A-SP mempunyai prosentase terhadap kuat tekan sebesar 9,4222% dan 11,7238%. Penambahan *superplasticizer* pada variasi pengurangan air 0% sampai 30% dapat meningkatkan kuat tekan disertai dengan peningkatan kuat tarik yang rendah.

Prosentase kuat tarik terhadap kuat tekan pada penelitian ini berkisar antara 7,7012% sampai 12,5244% untuk kuat tekan rencana 15 MPa, sedangkan untuk kuat tekan rencana 20 MPa berkisar antara 7,9448% sampai 11,7238%. Hasil tersebut mendekati pernyataan Jackson (1983), bahwa kekuatan tarik-belah silinder berbeda-beda dari 4,15% sampai 10,79% dari kuat tekan silinder beton. Menurut Dipohusodo (1994), nilai kuat tarik untuk beton normal digunakan nilai $0,57\sqrt{f_c}$. Kuat tarik teoritis berdasarkan persamaan $0,57\sqrt{f_c}$ untuk kuat tekan 15 MPa berkisar antara 2,7892 - 3,8226 MPa dan untuk kuat tekan 20 MPa berkisar antara 3,0257 - 4,0230 MPa. Nilai kuat tarik teoritis berdasarkan persamaan $0,57\sqrt{f_c}$ mendekati kuat tarik dari hasil pengujian. Kuat tarik teoritis yang dihasilkan dari persamaan $0,57\sqrt{f_c}$ meningkat seiring dengan kenaikan kuat tekannya. Sedangkan kuat tarik hasil penelitian tidak selalu meningkat seiring dengan kenaikan kuat tekannya.

Table 5.13 Hubungan kuat lentur dengan kuat tekan beton pada $f'c$ 15 MPa

Variasi	Variasi		Kuat lentur (f'_{lt}) rata-rata (MPa)	Kuat tekan ($f'c$) rata-rata (MPa)	Prosentase f'_{lt} thdp $f'c$ (%)
	Pengurangan Air (%)	Penambahan SP (%)			
B15- 0A	0	0,00	2,5168	23,9447	10,5109
B15- 5A-SP	5	0,48	3,2118	31,3572	10,2426
B15-10A-SP	10	0,46	2,4745	32,9671	7,5060
B15-15A-SP	15	0,59	2,1975	26,3893	8,3272
B15-20A-SP	20	1,91	4,9484	41,0382	12,0580
B15-25A-SP	25	1,94	4,4398	28,6297	15,5077
B15-30A-SP	30	2,02	4,8349	44,9750	10,7502

Table 5.14 Hubungan kuat lentur dengan kuat tekan beton pada $f'c$ 20 MPa

Variasi	Variasi		Kuat lentur (f'_{lt}) rata-rata (MPa)	Kuat tekan ($f'c$) rata-rata (MPa)	Prosentase f'_{lt} thdp $f'c$ (%)
	Pengurangan Air (%)	Penambahan SP (%)			
B20- 0A-SP	0	0,34	3,6362	28,1777	12,9045
B20- 5A-SP	5	0,51	3,7265	31,6163	11,7867
B20-10A-SP	10	1,37	4,5303	32,1034	14,1116
B20-15A-SP	15	1,88	4,5350	39,0872	11,6023
B20-20A-SP	20	1,95	4,5538	39,5596	11,5112
B20-25A-SP	25	2,05	4,9106	38,8204	12,6495
B20-30A-SP	30	2,39	4,7694	49,8138	9,5745

Pada **tabel 5.13** dan **tabel 5.14** menunjukkan bahwa perbandingan kuat lentur dengan kuat tekan beton pada variasi B15-0A dan B20-0A-SP sebesar 10,5109% dan 12,9045%. Pada kuat lentur optimum sebesar 4,9484 MPa dan 4,9106 MPa yang terdapat pada variasi B15-20A-SP dan B20-25A-SP mempunyai prosentase terhadap kuat tekan sebesar 12,0580% dan 12,6495%. Kuat tekan maksimum sebesar 44,9750 MPa dan 49,8138 MPa dicapai pada variasi B15-30A-SP dan B20-30A-SP.

Pada penelitian ini prosentase kuat lentur terhadap kuat tekan yang dihasilkan pada kuat tekan rencana 15 MPa berkisar antara 7,5060% - 15,5077%, sedangkan untuk kuat tekan rencana 20 MPa berkisar antara 9,5745% - 13,1830% dari kuat tekannya. Hasil tersebut sesuai dengan Jackson (1983), bahwa kekuatan lentur bervariasi dari 9,13% sampai 19,09% dari kuat tekan silinder beton, kecuali pada variasi B15-10A-SP, B15-15A-SP, dan B20-30A-SP. Pada variasi B15-10A-SP, B15-15A-SP, dan B20-30A-SP kuat lentur mengalami penurunan kekuatan,

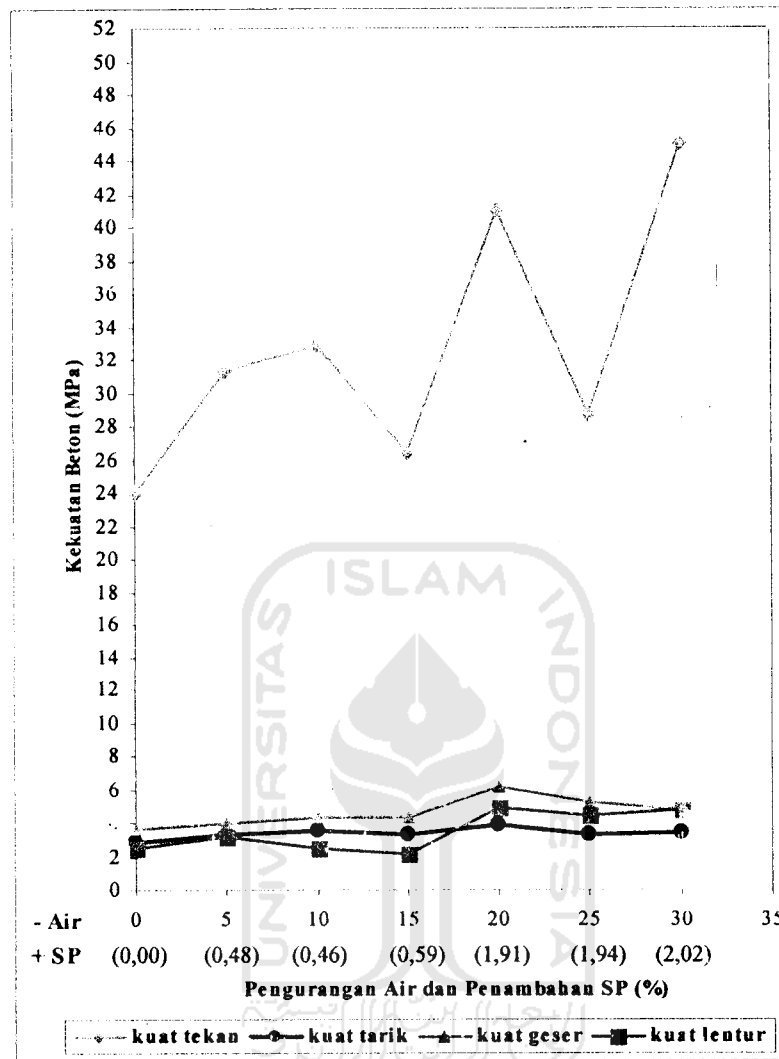
sedangkan kuat tekan terus meningkat sehingga prosentase kuat lentur terhadap kuat tekan mengalami penurunan. Pada variasi B15-15A-SP kuat lentur mengalami penurunan yang disebabkan oleh penambahan *superplasticizer* yang kurang tepat. Pengurangan air dan penambahan *superplasticizer* sampai dosis tertentu dapat meningkatkan kuat tekan yang lebih besar dibandingkan kuat lenturnya.

5.6 Hubungan Pengurangan Air dan Penambahan *Superplasticizer* Terhadap Kuat Tekan, Tarik, Geser, dan Lentur

Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dihasilkan data kuat tekan, kuat tarik, kuat geser, dan kuat lentur beton. Data kuat tekan diperoleh dari data bersama Danny Kurniawan (kuat tekan rencana 15 MPa) dan Agung Fajar M (kuat tekan rencana 20 MPa). Data selengkapnya dapat dilihat pada lampiran F tabel tabel 5.15 dan tabel 5.16 menampilkan data rata-rata dari kuat tekan, tarik, geser, dan lentur beton.

Tabel 5.15 Hubungan Pengurangan Air dan Penambahan *Superplasticizer* Terhadap Kuat tekan, tarik, geser, dan lentur pada f_c 15 MPa

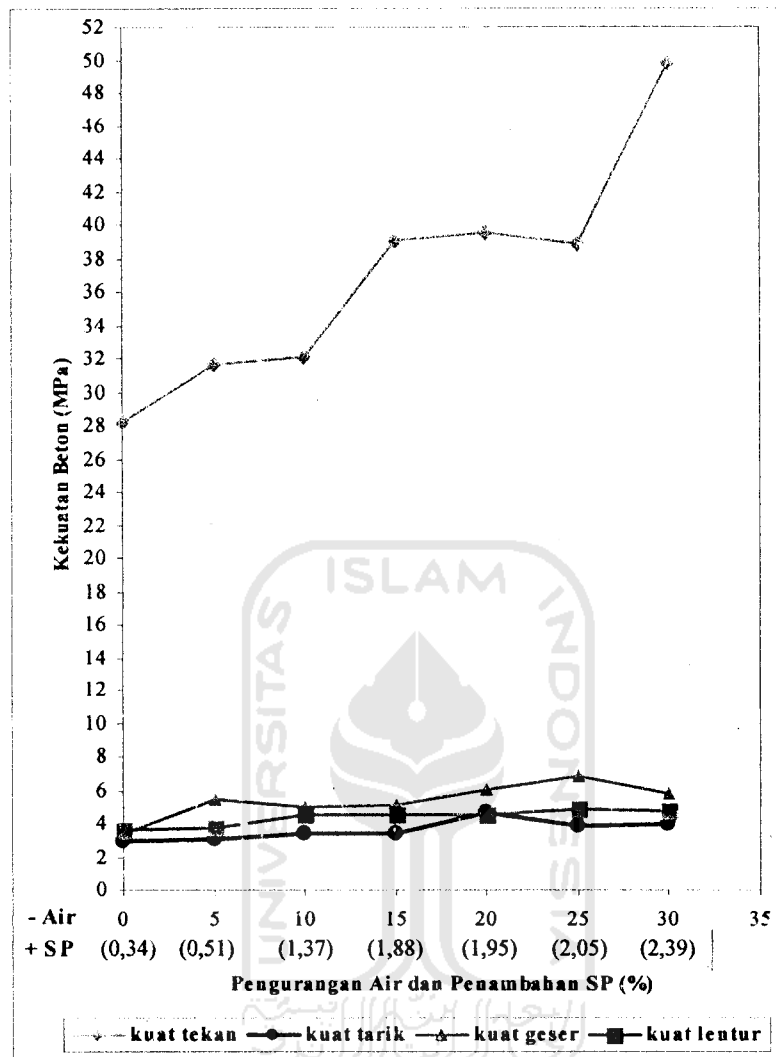
Variasi Beton	Variasi		fas	Kuat tekan (MPa)	Kuat tarik (MPa)	Kuat geser (MPa)	Kuat lentur (MPa)
	Pengurangan Air (%)	Penambahan SP (%)					
B15- 0A	0	0,00	0,61	26,2330	2,8706	3,7114	2,5168
B15- 5A-SP	5	0,48	0,58	30,3926	3,3334	3,7114	3,2118
B15-10A-SP	10	0,46	0,55	33,7607	3,4942	3,9686	2,4745
B15-15A-SP	15	0,59	0,52	37,0288	3,3051	4,2926	2,1975
B15-20A-SP	20	1,91	0,49	40,1241	3,8667	4,3582	4,9484
B15-25A-SP	25	1,94	0,46	30,0888	3,2609	6,2247	4,4398
B15-30A-SP	30	2,02	0,43	44,9750	3,4636	5,2295	4,8349



Gambar 5.7 Hubungan pengurangan air dan penambahan SP terhadap kekuatan beton pada kuat tekan beton 15 Mpa

Tabel 5.16 Hubungan Pengurangan Air dan Penambahan *Superplasticizer* Terhadap Kuat tekan, tarik, geser, dan lentur pada $f'c$ 20 MPa

Variasi Beton	Variasi		fas	Kuat tekan (MPa)	Kuat tarik (MPa)	Kuat geser (MPa)	Kuat lentur (MPa)
	Pengurangan Air (%)	Penambahan SP (%)					
B20- 0A-SP	0	0,34	0,56	28,1777	2,9928	3,4066	3,6362
B20- 5A-SP	5	0,51	0,53	31,6163	3,1339	5,4679	3,7265
B20-10A-SP	10	1,37	0,50	32,1034	3,4006	5,0525	4,5303
B20-15A-SP	15	1,88	0,48	39,0872	3,4269	5,1093	4,5350
B20-20A-SP	20	1,95	0,45	39,5596	4,6379	6,0125	4,5538
B20-25A-SP	25	2,05	0,42	38,8204	3,8323	6,8644	4,9106
B20-30A-SP	30	2,39	0,39	49,8138	3,9576	5,7883	4,7694



Gambar 5.8 Hubungan pengurangan air dan penambahan SP terhadap kekuatan beton pada kuat tekan beton 20 MPa

Dari **gambar 5.7** dan **gambar 5.8** dapat dilihat bahwa kekuatan beton yang meliputi kuat tekan, tarik, geser, dan lentur mengalami kenaikan seiring dengan pengurangan air yang semakin besar, sesuai dengan pernyataan Wahyudi L dan Rahim A.S (1997), bahwa proporsi air yang sedikit akan memberikan kekuatan yang tinggi pada beton, tetapi kelemahan beton atau daya kerjanya akan berkurang. Sedangkan proporsi air yang agak besar akan memberikan kemudahan pada waktu pelaksanaan pengecoran, tetapi kekuatan hancur beton jadi rendah. Semakin rendah fas akibat pengurangan air semakin besar menyebabkan

workabilitas beton menurun yang akan mengakibatkan beton berongga karena pemadatan yang kurang sempurna. Untuk meningkatkan workabilitas beton ditambahkan *superplasticizer* ke dalam campuran adukan beton sesuai pernyataan Ramachandran (1979), bahwa dengan adanya *superplasticizer* memungkinkan untuk mencapai slump lebih dari 200 mm dari slump awal sekitar 50 mm dengan dosis dari 0.3 % sampai 0.6 %.

Peningkatan kuat tekan selalu diikuti oleh kuat tarik, geser, dan lenturnya, tetapi pada variasi pengurangan air 30% kuat tekan mencapai nilai maksimum sedangkan untuk kuat tarik, geser dan lentur mengalami penurunan. Kuat tarik, geser, dan lentur untuk kuat tekan rencana 15 Mpa mencapai nilai optimum pada variasi pengurangan air 20% dan penambahan *superplasticizer* sebesar 1,91% dari berat semen. Untuk kuat tekan rencana 20 Mpa, kuat tarik mencapai optimum pada pengurangan air 20% dan penambahan *superplasticizer* sebesar 1,95% dari berat semen, sedangkan untuk kuat geser dan lentur kekuatan optimum dicapai pada pengurangan air 20% dan penambahan *superplasticizer* sebesar 2,05% dari berat semen. Nilai kuat tekan maksimum dicapai pada pengurangan air 30% dan penambahan *superplasticizer* sebesar 2,02% dan 2,39% dari berat semen untuk kuat tekan rencana 15 MPa dan 20 MPa. Hasil tersebut membuktikan bahwa peningkatan kuat tekan tidak selalu diikuti oleh peningkatan kuat tarik, geser dan lentur. Untuk kuat tekan 15 MPa, kekuatan beton yang meliputi kuat tekan, tarik, maupun lentur mengalami penurunan kekuatan pada variasi pengurangan air 15%. Hal ini karena kenaikan jumlah *superplasticizer* yang rendah menyebabkan beton pada variasi pengurangan air 15% kurang *workable* sehingga kekuatan beton menurun.

Dari **gambar 5.7** dan **gambar 5.8** dapat dilihat bahwa kekuatan beton masih mungkin meningkat pada penambahan *superplasticizer* sampai dosis tertentu melebihi dosis yang direkomendasikan pabrik yang terdapat dalam brosur *sikament-NN* (lampiran C) yaitu sebesar 0,6%-1,5% dari berat semen.

Dari tabel 5.17 dan tabel 5.18 dapat dilihat bahwa semakin besar pengurangan air dan faktor air-semen semakin rendah akan menyebabkan beton semakin padat dan kedap air yang ditandai dengan kecepatan penetrasi air yang semakin rendah. Semakin besar pengurangan air juga membuat workabilitas beton menurun, sehingga kebutuhan *superplasticizer* semakin tinggi. Penambahan *superplasticizer* akan membuat workabilitas beton meningkat, sehingga pemadatan beton akan semakin baik dan beton yang dihasilkan akan lebih padat. Kecepatan penetrasi air terkecil sebesar 0,0042 mm/dtk untuk kuat tekan rencana 15 MPa diperoleh pada pengurangan kandungan air 20% dan penambahan *superplasticizer* 1,91% dari berat semen, sedangkan untuk kuat tekan rencana 20 MPa, kecepatan penetrasi air terkecil adalah sebesar 0,0042 mm/dtk pada pengurangan air 25% dan penambahan *superplasticizer* 2,05% dari berat semen seperti yang terlihat pada B15-20A-SP dan B20-25A-SP. Penambahan *superplasticizer* sebesar 1,91% dan 2,05% dari berat semen pada variasi B15-20A-SP dan B20-25A-SP untuk kuat tekan 15 MPa dan 20 MPa mampu meningkatkan workabilitas beton sehingga dihasilkan beton yang lebih padat. Hasil tersebut sesuai dengan pernyataan dalam *Admixtures and ground slag for concrete* (1990), bahwa kemampuan *superplasticizer* untuk mengurangi kebutuhan air 12% - 25% tanpa mempengaruhi workabilitas untuk menghasilkan beton mutu tinggi dan permeabilitas yang lebih rendah. Penambahan *superplasticizer* sampai dosis tertentu mampu meningkatkan kelecakan adukan beton yang menyebabkan proses pemadatannya lebih baik sehingga diperoleh beton yang lebih padat dan lebih kedap air.

Kecepatan penetrasi air pada kuat tekan rencana 15 MPa meningkat pada pengurangan air 25% (B15-25A-SP) dan 30% (B15-30A-SP) serta penambahan *superplasticizer* sebesar 1,94% dan 2,02% dari berat semen. Pada kuat tekan rencana 20 MPa peningkatan kecepatan resapan terjadi pada B20-30A-SP yaitu pada pengurangan air 30% dan penambahan *superplasticizer* sebesar 2,39% dari berat semen. Penambahan *superplasticizer* pada B15-25A-SP, B15-30A-SP, dan B20-30A-SP menghasilkan workabilitas yang baik, tetapi menyebabkan

adukan menjadi encer sehingga ikatan agregat dengan pasta semen menjadi lemah dan menghasilkan beton dengan porositas yang tinggi.

Semakin kecil kedalaman penetrasi menghasilkan kecepatan penetrasinya akan semakin kecil berarti beton semakin padat dan kedap air, hal itu menandakan mutu dari beton tersebut semakin baik. Pada penelitian ini kedalaman penetrasi air terkecil adalah 15 mm untuk kuat tekan rencana 15 Mpa dan 20 Mpa. Hasil tersebut mendekati penelitian Sugiharto, dkk (2004), kedalaman penetrasi terkecil pada penelitian Sugiharto dkk (2004) adalah 13,33 mm. Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa penambahan *superplasticizer* sampai dosis tertentu dapat menghasilkan workabilitas beton yang tinggi dan beton keras dengan permeabilitas yang rendah.

