

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Pada bab ini akan dibahas tentang hasil-hasil pengujian dan penelitian yang telah dilakukan dan kemudian dilakukan analisis datanya. Data-data hasil pengujian dan penelitian yang telah didapat dari Laboratorium Bahan Konstruksi Teknik meliputi pemeriksaan bahan campuran beton, uji nilai slump beton segar dan pengujian beton keras (uji kuat tarik, kuat lentur, kuat geser dan permeabilitas beton). Untuk langkah-langkah dan data lengkap hasil pemeriksaan bahan campuran beton akan dijelaskan pada *Lampiran B*.

Data lengkap hasil pengujian nilai slump beton akan dijelaskan pada *Lampiran C*, yang mana pada *Lampiran C* ini akan dijelaskan juga hasil perhitungan desain campuran beton mutu rencana 25 dan 30 MPa, hasil perhitungan fas campuran dan juga data penambahan SP pada pelaksanaan pengadukan. Hasil uji slump dan perhitungan fas akan dibahas pada bab ini dan akan dilakukan analisis pengaruh dan hubungannya terhadap pengurangan kadar air campuran dan penambahan SP.

Data lengkap hasil-hasil pengujian beton keras akan dijelaskan pada *Lampiran D*. Dari data-data tersebut akan dianalisis pengaruh dan hubungan hasil pengujian beton keras yang meliputi hasil uji kuat tarik, kuat lentur, kuat geser dan permeabilitas beton terhadap pengurangan kadar air dan penambahan SP.

Disini juga akan dibahas tentang hubungan kuat tekan terhadap kuat tarik, lentur dan geser beton umur 28 hari dan mutu rencana 25 dan 30 MPa, yang mana pada sampel beton benda uji kuat tekan tersebut masih merupakan satu adukan dengan benda uji kuat tarik, lentur dan geser beton pada penelitian ini. Data hasil pengujian kuat tekan didapatkan dari hasil pengujian dan penelitian Firmansyah (25 MPa) dan M.Arief Amirudin (30 MPa). Data lengkap hasil pengujian kuat tekan dapat dilihat pada *Lampiran D*.

5.2 Pengaruh Pengurangan Air dan Penambahan *Superplasticizer* terhadap Workabilitas

Beton dengan workabilitas yang baik mempunyai keuntungan dalam pengerjaan beton yang cepat dan mudah (Ramachandran, 1979). Workabilitas adalah tingkat kemudahan pengerjaan beton segar dan nilainya dapat dilihat dari nilai slump yang identik dengan tingkat keenceran beton segar. Semakin encer dan semakin tinggi nilai slump campuran, maka semakin mudah pengerjaannya.

Kekuatan beton tergantung pada nilai fasnya, semakin rendah nilai fas kekuatan beton semakin meningkat, begitu juga sebaliknya semakin tinggi nilai fas kekuatan semakin menurun. Pengurangan kandungan air pada campuran adalah salah satu cara agar fas menjadi rendah dengan tujuan meningkatkan kekuatan beton. Hal ini akan sangat mempengaruhi kinerja beton segar, karena semakin banyak pengurangan kandungan air, maka nilai slump campuran akan semakin rendah dan workabilitasnya akan menjadi semakin rendah juga. Nilai fas yang terlalu rendah akan menyebabkan kesulitan dalam pengerjaan dan pemadatan yang kurang sempurna, yang pada akhirnya dapat menjadikan mutu beton menurun.

Untuk dapat mengatasi kesulitan pengerjaan karena pengurangan air dan rendahnya nilai fas, maka dapat digunakan bahan tambah yang bersifat menambah keenceran campuran beton, bahan tambah tersebut adalah *superplasticizer* (SP). *Superplasticizer* mempunyai pengaruh dalam meningkatkan workabilitas beton sampai pada tingkat yang cukup besar (Murdock dan Brook, 1991). Tujuan utama penggunaan SP adalah untuk menghasilkan beton mengalir dengan nilai sangat tinggi antara 175-225 mm (Ramachandran dan Maholtra, 1984). Pada intinya SP dapat menjadikan beton semakin encer dan bersifat mengalir dan juga dapat sebagai bahan pengurang air untuk menghasilkan kekuatan beton yang tinggi.

Dalam penelitian ini beton dengan pengurangan air dan penambahan SP ditetapkan memiliki nilai slump 150-180 mm pada pelaksanaan pengadukan. Data hasil pengujian beton segar berupa pengujian besar nilai slump sebelum penambahan SP (slump awal) dan pengujian nilai slump setelah penambahan SP

(slump akhir) pada mutu rencana 25 dan 30 MPa yang dapat dilihat pada tabel-tabel berikut ini.

Tabel 5.1 Nilai slump awal dan slump akhir beton 25 MPa

Sampel Uji	fas	Pengurangan Air (%)	Slump sebelum SP (mm)	Penambahan SP (%)	Slump setelah SP (mm)
BS25-0%	0,49	0	105	0,30	167,5
BS25-5%	0,47	5	138	0,45	167,5
BS25-10%	0,44	10	45	1,35	172,5
BS25-15%	0,42	15	0	1,50	172,5
BS25-20%	0,39	20	0	1,53	165
BS25-25%	0,37	25	0	1,95	171,5
BS25-30%	0,34	30	0	3,29	176

Tabel 5.2 Nilai slump awal dan slump akhir beton 30 MPa

Sampel Uji	fas	Pengurangan Air (%)	Slump sebelum SP (mm)	Penambahan SP (%)	Slump setelah SP (mm)
BN30-0%	0,45	0	165	0,00	165
BS30-5%	0,43	5	135	0,41	173
BS30-10%	0,40	10	0	0,55	180
BS30-15%	0,38	15	0	1,26	180
BS30-20%	0,36	20	0	1,10	160
BS30-25%	0,34	25	0	1,37	177,5
BS30-30%	0,31	30	0	2,20	180

Pada penelitian ini dilakukan pengurangan air 0-30% secara gradual dengan interval 5% pada tiap variasi, hal ini akan mengakibatkan nilai fas tiap-tiap variasi berbeda. Dalam *Tabel 5.1* dan *5.2* di atas dapat dilihat bahwa nilai fas untuk beton 25 MPa antara 0,34 sampai 0,49; sedangkan fas untuk beton 30 MPa nilai fas-nya antara 0,31 sampai 0,45. Hal ini berhubungan dengan penelitian Talbot dan Richard (Ilsey, 1942), yang menyatakan bahwa pada rasio air semen 0,2 sampai 0,5; kekuatan beton akan naik, sedangkan Mulyono (2004) menyatakan bahwa umumnya nilai fas minimum diberikan nilai sekitar 0,4 dan

maksimum 0,65. Dengan berat semen yang tetap dan pengurangan air interval 5% pada setiap variasi sampelnya, nilai fas kedua mutu beton pada penelitian ini cenderung linier.

Dari kedua tabel di atas (*Tabel 5.1* dan *Tabel 5.2*) terlihat juga bahwa semua nilai slump akhir untuk seluruh variasi campuran beton dengan pengurangan air dan penambahan SP telah tercapai sesuai dengan nilai slump yang diinginkan, yaitu 150-180 mm dari nilai slump yang direncanakan antara 30-60 mm. Dapat dilihat pula bahwa semakin besar pengurangan air nilai slump awal semakin kecil, dan bahkan sebagian besar sampel ketika memasuki pengurangan air 10% nilai slumpnya 0 mm. Dari hasil ini berarti penambahan SP pada campuran beton pada penelitian ini telah berhasil memperbesar nilai slump dan workabilitas campuran.

Akibat penambahan SP terjadi peningkatan nilai slump yang cukup drastis pada sebagian besar sampel, yaitu pada BS25-10%, BS25-15%, BS25-20%, BS25-25%, BS25-30%, BS30-10%, BS30-15%, BS30-20%, BS30-25% dan BS30-30%. Sampel-sampel tersebut mempunyai nilai slump awal 0-45 mm dan meningkat nilai slumpnya hingga mencapai 160-180 mm. Peningkatan nilai slump yang terjadi sebesar 127,5-180 mm dari nilai slump awal dengan dosis penambahan SP antara 0,3-3,29 % dari berat semen. Hal ini dikarenakan campuran beton menjadi lebih lecek akibat pengaruh penambahan SP yang semakin besar dalam adukan. Dengan penambahan SP dalam campuran ini dapat meningkatkan nilai slump beton sampai 180% dari nilai slump awal yang belum ditambah SP, hasil ini juga akan berakibat pada meningkatnya tingkat workabilitas campuran menjadi sangat besar, sehingga akan mudah dalam penempatan dan pelaksanaan pembetonan. Peningkatan workabilitas yang besar juga terjadi pada penelitian ramachandran (1979), yang dengan menambahkan SP bisa mendapatkan nilai slump lebih besar dari 200 mm, yang mana nilai slump aslinya sebesar 50 mm dengan dosis penambahan antara 0,3-0,6% dari berat semen, begitu juga dengan penelitian Murdock dan Brook (1991) yang menambahkan SP ke dalam adukan beton akan memperoleh nilai slump antara 175-225 mm.

Pada variasi BN30-0% tidak dilakukan penambahan SP karena nilai slump 165 mm telah mencapai nilai slump yang diinginkan antara 150-180 mm. Dari data teknis Sikament-NN (2005) diberikan batasan penambahan SP antara 0,6-1,5% dari berat semen. Nawy (1990) memberikan batasan penambahan SP antara 1-2% dari berat semen, karena bila berlebihan kuat tekan beton akan turun. Pada kajian ini penambahan SP pada beton mutu 25 MPa adalah antara 0,3-3,29% dari berat semen, sedangkan pada beton 30 Mpa. antara 0,41-2,2% dari berat semen. Hasil ini tidak memenuhi batasan-batasan penambahan SP dari data teknis Sikament-NN (2005) dan Nawy (1990) di atas, akan tetapi menurut Ilham dkk. (2003), dari segi workabilitas, berapapun dosis SP yang digunakan selama *bleeding* dan segregasi tidak terjadi, slump dapat dibuat, tetapi masalah yang timbul adalah pada proses pengerasan awal dan kuat tekan beton. Berarti untuk meningkatkan workabilitas, berapapun besarnya dosis SP yang ditambahkan tidak berpengaruh asalkan tidak terjadi *bleeding* dan segregasi. *Superplasticizer* dapat membuat air lebih bergerak dan memperbaiki kelecakan beton karena SP bertindak memisahkan butir-butir semen yang menggumpal dalam campuran air rendah (Cong dkk., 1992).

5.3 Pengaruh Pengurangan Air dan Penambahan *Superplasticizer* terhadap Kuat Tarik, Lentur dan Geser

Pengurangan kandungan air dalam campuran beton merupakan salah satu upaya untuk mendapatkan mutu beton yang tinggi. Semakin besar pengurangan air nilai fas akan semakin rendah dan kekuatan beton yang dihasilkan juga akan semakin besar, tetapi workabilitasnya akan semakin rendah. Beton dengan proporsi air yang sangat kecil juga akan menjadi sangat kering dan sangat sukar dipadatkan, karena sebagian besar air yang digunakan untuk proses kimiawi pembentukan pasta semen akan menjadi kering, dan ketika beton kering akan meninggalkan rongga-rongga. Dan juga bila beton tidak dipadatkan secara sempurna, sejumlah gelembung udara mungkin terperangkap, dan mengakibatkan rongga yang lebih banyak lagi, sehingga kekuatan beton akan menjadi rendah. Beton yang paling padat dan kuat diperoleh dengan menggunakan jumlah air yang

minimal konsisten dengan derajat workabilitas yang dibutuhkan untuk memberikan kepadatan maksimal (Murdock dan Brook, 1991).

Karena itu, agar workabilitas beton dapat terjaga dalam campuran beton segar ditambahkan bahan tambah SP. *Superplasticizer* dapat menghasilkan beton segar yang mengalir dan memungkinkan pengurangan air pada campuran untuk menghasilkan kekuatan beton yang tinggi. Pengurangan air sekitar 25% sampai 30% dapat dicapai dengan penambahan SP tanpa mengurangi karakteristik workabilitas beton segar (Ramachandran, 1979). *Superplasticizer* bertindak memisahkan butir-butir semen yang menggumpal dalam campuran air rendah. Ini berarti dapat melepaskan air untuk memperbaiki kelecakan, karena dapat membuat air bergerak lebih baik diantara butir-butir semen, serta menghasilkan derajat hidrasi lebih besar dan kekuatan yang tinggi (Cong dkk., 1992)

Kekuatan beton meliputi kuat tekan, tarik belah, lentur dan geser murni. Besar kecilnya mutu beton akan berpengaruh juga pada kuat tarik, lentur dan geser beton. Beton mempunyai keuntungan dengan kuat tekan yang sangat tinggi, akan tetapi beton bersifat getas (tidak daktail) dan kuat tariknya sangat rendah sehingga mudah retak (Tjokrodinuljo, 1992). Beton sangat kuat pada kuat tekannya, tetapi lemah pada sisi tariknya. Beton juga lemah pada sisi lentur dan gesernya.

5.3.1 Pengaruh Pengurangan Air dan Penambahan *Superplasticizer* terhadap Kuat Tarik

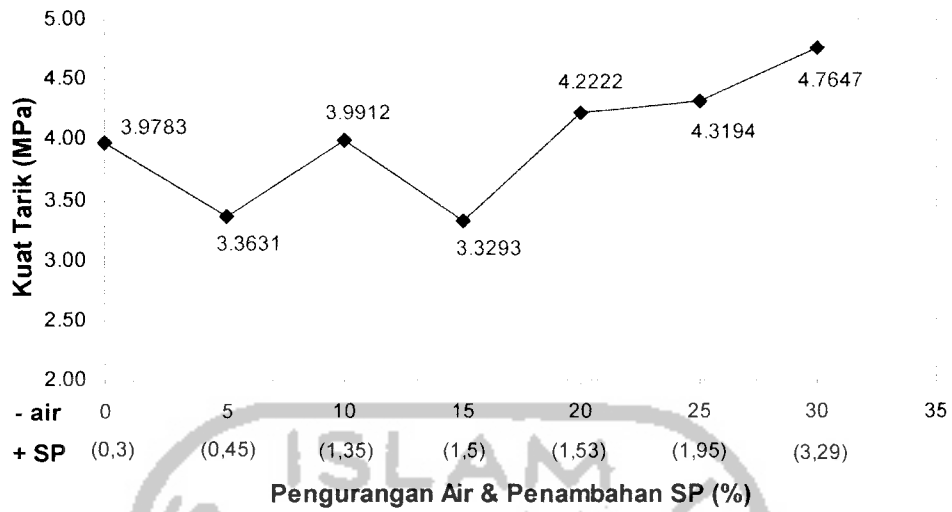
Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pengurangan kandungan air dan penambahan SP dalam campuran beton terhadap besarnya kuat tarik beton tersebut. Pengujian kuat tarik dilaksanakan setelah beton berumur 28 hari. Benda uji berbentuk silinder (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) dan pada tiap variasi terdapat 3 buah benda uji dalam 7 macam variasi pengurangan air. Data lengkap hasil pengujian kuat tarik beton 25 dan 30 MPa dapat dilihat di *Lampiran D* pada *Tabel D.1* dan *D.2*. Untuk hasil pengujian kuat tarik beton rata-rata umur 28 hari dan hubungannya dengan pengurangan air dan penambahan SP terdapat pada *Tabel 5.3* dan *5.4* di bawah ini.

Tabel 5.3 Hubungan pengurangan air dan penambahan SP dengan kuat tarik beton mutu rencana 25 MPa

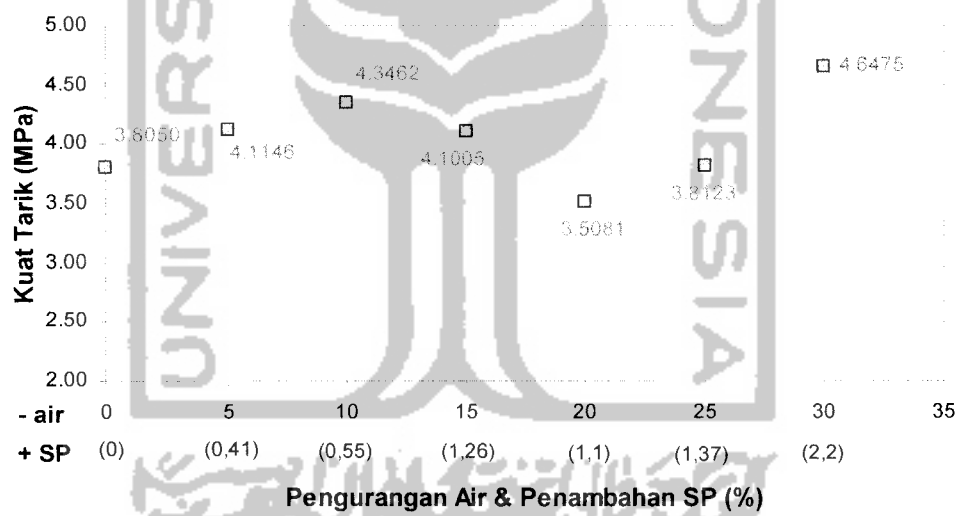
Sampel Uji	Variasi		fas	Kuat Tarik rata-rata (MPa)	Kenaikan Kuat Tarik (%)	Berat Volume rata-rata (gr/cm ³)
	Pengurangan Air (%)	Penambahan SP (%)				
BS25-0%	0	0,30	0,49	3,9783	0,0000	2,4989
BS25-5%	5	0,45	0,47	3,3631	-15,4632	2,4838
BS25-10%	10	1,35	0,44	3,9912	0,3261	2,4687
BS25-15%	15	1,50	0,42	3,3293	-16,3137	2,4709
BS25-20%	20	1,53	0,39	4,2222	6,1325	2,4813
BS25-25%	25	1,95	0,37	4,3194	8,5755	2,5837
BS25-30%	30	3,29	0,34	4,7647	19,7693	2,5798

Tabel 5.4 Hubungan pengurangan air dan penambahan SP dengan kuat tarik beton mutu rencana 30 MPa

Sampel Uji	Variasi		fas	Kuat Tarik rata-rata (MPa)	Kenaikan Kuat Tarik (%)	Berat Volume rata-rata (gr/cm ³)
	Pengurangan Air (%)	Penambahan SP (%)				
BN30-0%	0	0,00	0,45	3,8050	0,0000	2,4572
BS30-5%	5	0,41	0,43	4,1146	8,1343	2,4587
BS30-10%	10	0,55	0,40	4,3462	14,2216	2,4948
BS30-15%	15	1,26	0,38	4,1005	7,7646	2,4912
BS30-20%	20	1,10	0,36	3,5081	-7,8051	2,4549
BS30-25%	25	1,37	0,34	3,8123	0,1895	2,4377
BS30-30%	30	2,20	0,31	4,6475	22,1416	2,4840



Gambar 5.1 Pengaruh pengurangan air dan penambahan SP terhadap kuat tarik beton mutu rencana 25 MPa



Gambar 5.2 Pengaruh pengurangan air dan penambahan SP terhadap kuat tarik beton mutu rencana 30 MPa

Dari **Gambar 5.1** dan **5.2** di atas memperlihatkan bahwa sebagian besar sampel mengalami peningkatan kuat tarik mengikuti bertambahnya pengurangan kandungan air dan penambahan SP pada campuran beton, tetapi ada juga beberapa

sampel yang mengalami penurunan kuat tarik. Dari **Gambar 5.1** terlihat bahwa terjadi penurunan kuat tarik pada beton mutu rencana 25 MPa pada sampel dengan pengurangan air 5 dan 15%, sedangkan dari **Gambar 5.2** terlihat juga terjadi penurunan kuat tarik pada beton mutu rencana 30 MPa pada sampel dengan pengurangan air 15, 20 dan 25%. Terjadinya peningkatan dan penurunan kuat tarik ini akan dibahas dan dihubungkan dengan beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan beton tersebut.

Pada dua grafik di atas kuat tarik maksimum terjadi pada variasi sampel pengurangan air 30%. Pada mutu rencana 25 MPa maksimum di BS25-30% dengan kuat tarik sebesar 4,7647 MPa dan penambahan SP sebesar 3,29% dari berat semen. Pada mutu rencana 30 MPa maksimum di BS30-30% dengan kuat tarik sebesar 4,6475 MPa dan penambahan SP 2,2% dari berat semen. Pengurangan kandungan air 30% pada kedua mutu rencana ini menghasilkan kuat tarik yang maksimum karena workabilitas yang besar dari penambahan SP pada sampel ini membuat air bergerak lebih baik diantara butir-butir semen dan membuat jarak butir-butir halus menjadi lebih rapat, sehingga dapat menutup pori-pori dan rongga-rongga udara akibat pengurangan air yang besar, yang pada akhirnya dapat membentuk beton yang padat dan kuat. Penambahan SP dalam campuran dapat memisahkan butir-butir semen yang menggumpal akibat dari pengurangan kandungan air campuran tersebut. Hal ini juga terjadi pada penelitian Syafruddin dan Hastoro (2005) yang menghasilkan kuat tekan maksimum pada variasi pengurangan air 30% dari kebutuhan total air pada campuran pada mutu rencana 30 dan 40 MPa. Demikian juga dengan pendapat Ramachandran (1979), bahwa pengurangan air sekitar 25-30% dapat dicapai dengan penggunaan SP.

Pada penelitian ini dosis penambahan SP pada kuat tarik maksimum adalah sebesar 3,29% dari berat semen pada BS25-30% dan 2,2% dari berat semen pada BS30-30%. Penambahan SP pada penelitian ini tidak sesuai dengan data teknis penggunaan Sikament-NN yang membatasi penambahan SP antara 0,6-1,5% dari berat semen, dan juga dari pendapat Nawy (1990) yang membatasi penambahan SP adalah antara 1-2% dari berat semen, karena bila penambahan SP

berlebihan dapat menimbulkan berkurangnya kuat tekan. Dosis SP yang besar ini dikarenakan pengurangan air campuran yang sudah terlampau besar dan mengakibatkan campuran sulit untuk mengejar nilai slump rencana, sehingga penambahan SP terus dilakukan sampai tercapai nilai slump rencana. Tercapainya kuat tarik yang paling besar pada dua variasi mutu beton rencana tersebut adalah karena adanya pengurangan air yang paling besar dapat diimbangi oleh workabilitas yang besar juga akibat penambahan SP. Penambahan SP pada beton dapat membuat campuran menjadi lebih mengalir pada kandungan air yang rendah, akibatnya campuran menjadi lebih encer dan lecah, sehingga terjadinya pori-pori udara akibat pengurangan air yang besar dapat dicegah. Campuran yang lecah membuat butir-butir halus menjadi semakin rapat dan padat, dan juga memudahkan pelaksanaan dan pemadatan beton, sehingga didapatkan beton yang padat dan kuat tariknya tinggi.

Penurunan kekuatan tarik pada beton variasi pengurangan air 5 dan 15% (BS25-5% dan BS25-15%) dari *Gambar 5.1* terjadi karena diperkirakan adanya kandungan pori-pori udara yang lebih besar dibandingkan dengan kandungan pori-pori udara pada variasi pengurangan air 0 dan 20% (BS25-0% dan BS25-20%). Hal ini dapat dilihat dari *Tabel 5.3* di atas dimana tampak bahwa pada berat volume BS25-5% dan BS25-15% lebih kecil daripada berat volume BS25-0% dan BS25-20%. Berat volume yang lebih kecil pada dimensi sampel yang hampir sama berarti kandungan pori-pori udara dalam beton tersebut lebih besar dan kepadatan beton semakin rendah yang pada akhirnya mengakibatkan kuat tariknya menjadi rendah juga.

Penurunan kuat tarik juga tampak dari *Gambar 5.2*, yaitu pada sampel BS30-15%, BS30-20%, dan BS30-25%. Penurunan pada variasi ini terjadi karena beton pada variasi tersebut kepadatannya lebih kecil daripada beton variasi sebelumnya yang diperkirakan akibat dari kandungan pori-pori udara yang lebih besar. Hal ini ditunjukkan dari berat volume beton pada variasi ini lebih kecil daripada berat volume beton variasi sebelumnya yang dapat dilihat dari *Tabel 5.4*. Penurunan kuat tarik pada ketiga variasi ini juga dikarenakan penambahan jumlah SP dalam campuran selisihnya rendah dan bahkan mengalami penurunan

penambahan jumlah SP pada variasi pengurangan air 20% (BS30-20%) yang juga merupakan kuat tarik paling rendah. Dapat dilihat juga dari **Tabel 5.2** bahwa pada BS30-20% nilai slumpnya paling rendah meskipun slump telah mencapai slump yang diinginkan (150-180 mm). Nilai slump pada sampel ini adalah 160 mm dan hal ini mengakibatkan pemadatan yang kurang sempurna dan mengakibatkan beton menjadi lebih keropos dari beton variasi sebelumnya sehingga kuat tarik mengalami penurunan.

5.3.2 Pengaruh Pengurangan Air dan Penambahan *Superplasticizer* terhadap Kuat Lentur

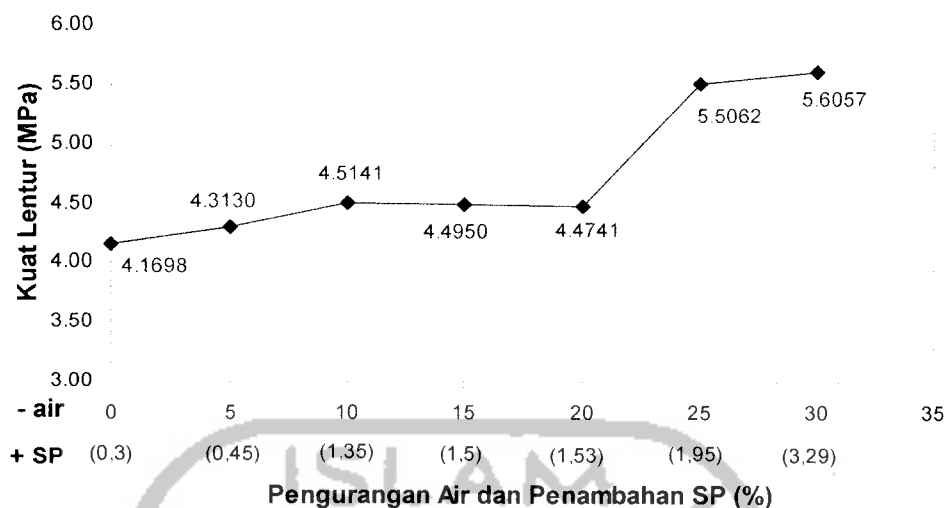
Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pengurangan kandungan air dan penambahan SP dalam campuran beton terhadap besarnya kuat lentur beton. Pengujian kuat lentur dilaksanakan setelah beton berumur 28 hari. Untuk metode pengujian dan perhitungan kuat lentur telah dijelaskan pada bab sebelumnya. Benda uji berbentuk balok (ukuran 50x10x10 cm) dan pada tiap variasi terdapat 3 buah benda uji dalam 7 macam variasi pengurangan air. Data lengkap hasil pengujian kuat lentur beton 25 dan 30 MPa dapat dilihat di *Lampiran D* pada **Tabel D.3** dan **D.4**. Hasil pengujian kuat lentur beton rata-rata untuk umur 28 hari dan hubungannya dengan pengurangan air dan penambahan SP dapat dilihat pada **Tabel 5.5** dan **5.6** di bawah ini.

Tabel 5.5 Hubungan pengurangan air dan penambahan SP dengan kuat lentur beton mutu rencana 25 MPa

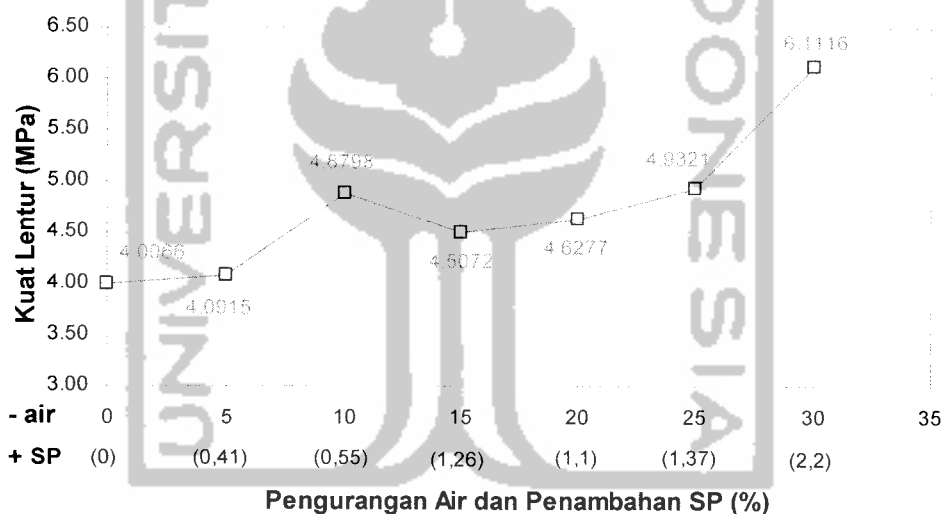
Sampel Uji	Variasi		fas	Kuat Lentur rata-rata (MPa)	Kenaikan Kuat Lentur (%)	Berat Volume rata-rata (gr/cm ³)
	Pengurangan Air (%)	Penambahan SP (%)				
BS25-0%	0	0,30	0,49	4,1698	0,0000	2,3188
BS25-5%	5	0,45	0,47	4,3130	3,4351	2,3345
BS25-10%	10	1,35	0,44	4,5141	8,2579	2,4793
BS25-15%	15	1,50	0,42	4,4950	7,7991	2,3454
BS25-20%	20	1,53	0,39	4,4741	7,2985	2,4465
BS25-25%	25	1,95	0,37	5,5062	32,0500	2,5038
BS25-30%	30	3,29	0,34	5,6057	34,4358	2,4217

Tabel 5.6 Hubungan pengurangan air dan penambahan SP dengan kuat lentur beton mutu rencana 30 MPa

Sampel Uji	Variasi		fas	Kuat Lentur rata-rata (MPa)	Kenaikan Kuat Lentur (%)	Berat Volume rata-rata (gr/cm ³)
	Pengurangan Air (%)	Penambahan SP (%)				
BN30-0%	0	0,00	0,45	4,0066	0,0000	2,2903
BS30-5%	5	0,41	0,43	4,0915	2,1203	2,3756
BS30-10%	10	0,55	0,40	4,8798	21,7949	2,4536
BS30-15%	15	1,26	0,38	4,5072	12,4942	2,4599
BS30-20%	20	1,10	0,36	4,6277	15,5028	2,5019
BS30-25%	25	1,37	0,34	4,9321	23,1001	2,4197
BS30-30%	30	2,20	0,31	6,1116	52,5393	2,5032



Gambar 5.3 Pengaruh pengurangan air dan penambahan SP terhadap kuat lentur beton mutu rencana 25 MPa



Gambar 5.4 Pengaruh pengurangan air dan penambahan SP terhadap kuat lentur beton mutu rencana 30 MPa

Dari *Gambar 5.3* dan *5.4* di atas memperlihatkan bahwa sebagian besar sampel mengalami peningkatan kuat lentur seiring bertambahnya pengurangan kandungan air dan penambahan SP pada campuran beton, tetapi ada juga beberapa sampel yang mengalami penurunan kuat lentur. Pada beton mutu rencana 25 MPa

(*Gambar 5.3*) terjadi sedikit penurunan kuat lentur pada sampel dengan pengurangan air 15 dan 20%, sedangkan pada beton mutu rencana 30 MPa (*Gambar 5.4*) terjadi penurunan kuat lentur pada sampel dengan pengurangan air 15 dan 20%. Terjadinya peningkatan dan penurunan kuat lentur ini akan dibahas dan dihubungkan dengan beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan beton tersebut.

Pada *Gambar 5.3* terlihat bahwa pada pengurangan air 30% dan penambahan SP 3,29% dari berat semen (BS25-30%) dicapai kuat lentur maksimum sebesar 5,6057 MPa. Pada *Gambar 5.4* juga dicapai kuat lentur maksimum pada pengurangan air 30% (BS30-30%), penambahan SP sebesar 2,2% dari berat semen dan dengan kuat lentur sebesar 6,1116 MPa. Terjadinya kuat lentur maksimum pada pengurangan air 30% pada kedua mutu beton rencana di atas dikarenakan pengurangan air yang terbesar dapat diimbangi oleh workabilitas yang tinggi akibat penambahan SP. Penambahan SP dalam campuran dapat memisahkan butir-butir semen yang menggumpal akibat pengurangan air campuran, dapat menghasilkan hidrasi semen yang lebih besar dan juga dapat membuat jarak butir-butir halus menjadi lebih rapat, sehingga campuran dapat membentuk beton yang padat dan akhirnya kekuatan beton menjadi tinggi.

Dari *Gambar 5.3* tampak bahwa pada mutu rencana 25 MPa terjadi sedikit penurunan kuat lentur pada pengurangan air 15 dan 20%. Penurunan kuat lentur ini terjadi karena beton pada variasi tersebut kepadatannya lebih kecil daripada beton variasi sebelumnya yang diperkirakan akibat dari kandungan pori-pori udara lebih besar dari variasi sebelumnya. Hal ini ditunjukkan dari berat volume beton pada variasi ini lebih kecil daripada berat volume beton variasi sebelumnya yang dapat dilihat dari *Tabel 5.5*.

Pada mutu rencana 30 MPa (*Gambar 5.4*) juga terjadi penurunan kuat lentur yang terjadi pada variasi pengurangan air 15 dan 20%. Pada kedua variasi ini kuat lentur menurun dikarenakan jumlah SP dalam campuran selisihnya rendah dan bahkan mengalami penurunan penambahan jumlah SP pada variasi pengurangan air 20%. Berkurangnya kandungan SP dalam campuran mengakibatkan nilai slump menjadi lebih rendah meskipun slump telah mencapai

slump yang diinginkan (150-180 mm). Hal ini mengakibatkan pemadatan yang kurang sempurna dan mengakibatkan beton menjadi lebih keropos dari beton variasi sebelumnya sehingga kuat lentur mengalami penurunan.

Dosis penambahan SP pada kuat lentur maksimum adalah sebesar 3,29% dari berat semen pada BS25-30% dan 2,2% dari berat semen pada BS30-30%. Penambahan SP pada penelitian ini tidak sesuai dengan batasan penambahan SP menurut data teknis penggunaan Sikament-NN yang membatasi penambahan SP antara 0,6-1,5% dari berat semen, dan juga dari pendapat Nawy (1990) yang membatasi penambahan SP antara 1-2% dari berat semen. Dosis SP yang besar ini dikarenakan pengurangan air 30% pada campuran sudah terlampau besar dan mengakibatkan campuran sulit untuk mencapai slump yang diinginkan, sehingga penambahan SP terus dilakukan. Tercapainya kuat lentur yang maksimum pada variasi ini karena pengurangan air yang besar 30% dari komposisi air total dapat diimbangi oleh workabilitas yang besar dari penambahan SP. Campuran menjadi lebih encer dan mengalir sehingga pori-pori atau rongga-rongga udara akibat pengurangan air yang besar dapat ditutupi dan beton menjadi lebih padat dan kuat.

5.3.3 Pengaruh Pengurangan Air dan Penambahan *Superplasticizer* terhadap Kuat Geser

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pengurangan kandungan air dan penambahan SP dalam campuran beton terhadap besarnya kuat geser beton. Pengujian kuat geser juga dilaksanakan setelah beton berumur 28 hari. Untuk kuat geser murni belum terdapat standar pengujian yang baku baik di Indonesia maupun pada skala Internasional. Dalam penelitian ini diusulkan metode pengujian geser langsung berikut bentuk benda ujinya yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya.

Benda uji kuat geser ini berbentuk balok (ukuran 25x10x10 cm) dan pada tiap variasi terdapat 3 buah benda uji dalam 7 macam variasi pengurangan air. Data lengkap hasil pengujian kuat geser beton mutu rencana 25 dan 30 MPa dapat dilihat di *Lampiran D* pada *Tabel D.5* dan *D.6*. Hasil pengujian kuat geser beton

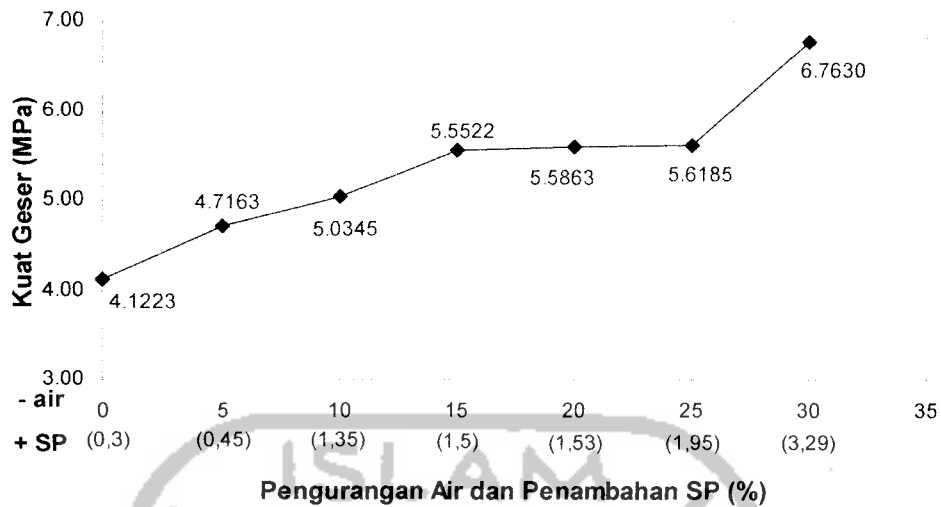
rata-rata untuk umur 28 hari dan hubungannya dengan pengurangan air dan penambahan SP dapat dilihat pada *Tabel 5.7* dan *5.8* di bawah ini.

Tabel 5.7 Hubungan pengurangan air dan penambahan SP dengan kuat geser beton mutu rencana 25 MPa

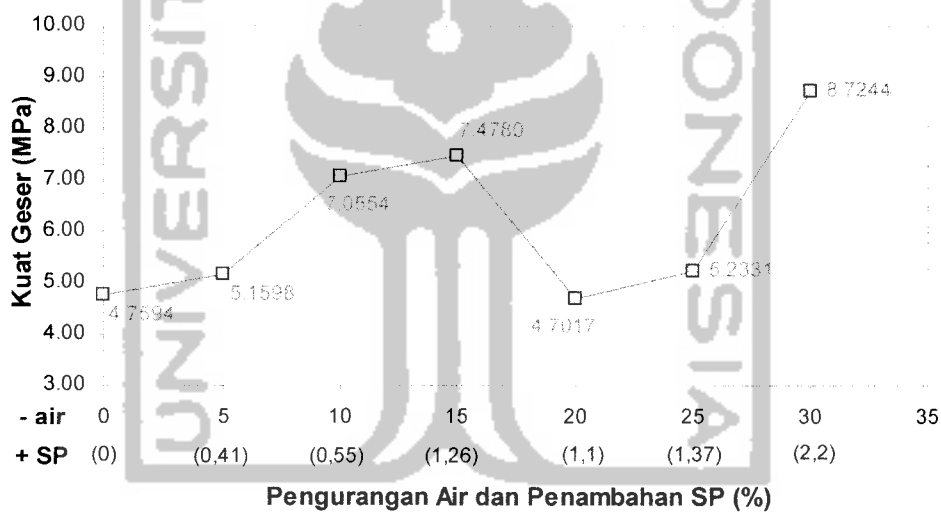
Sampel Uji	Variasi		fas	Kuat geser rata-rata (MPa)	Kenaikan Kuat Geser (%)	Berat Volume rata-rata (gr/cm ³)
	Pengurangan Air (%)	Penambahan SP (%)				
BS25-0%	0	0,30	0,49	4,1223	0,0000	2,3967
BS25-5%	5	0,45	0,47	4,7163	14,4090	2,4836
BS25-10%	10	1,35	0,44	5,0345	22,1273	2,4786
BS25-15%	15	1,50	0,42	5,5522	34,6871	2,4624
BS25-20%	20	1,53	0,39	5,5863	35,5132	2,4560
BS25-25%	25	1,95	0,37	5,6185	36,2949	2,5363
BS25-30%	30	3,29	0,34	6,7630	64,0590	2,5255

Tabel 5.8 Hubungan pengurangan air dan penambahan SP dengan kuat geser beton mutu rencana 30 MPa

Sampel Uji	Variasi		fas	Kuat geser rata-rata (MPa)	Kenaikan Kuat Geser (%)	Berat Volume rata-rata (gr/cm ³)
	Pengurangan Air (%)	Penambahan SP (%)				
BN30-0%	0	0,00	0,45	4,7594	0,0000	2,3358
BS30-5%	5	0,41	0,43	5,1598	8,4148	2,5306
BS30-10%	10	0,55	0,40	7,0554	48,2434	2,5146
BS30-15%	15	1,26	0,38	7,4780	57,1228	2,4834
BS30-20%	20	1,10	0,36	4,7017	-1,2121	2,5873
BS30-25%	25	1,37	0,34	5,2331	9,9539	2,4667
BS30-30%	30	2,20	0,31	8,7244	83,3097	2,5581



Gambar 5.5 Pengaruh pengurangan air dan penambahan SP terhadap kuat geser beton mutu rencana 25 MPa



Gambar 5.6 Pengaruh pengurangan air dan penambahan SP terhadap kuat geser beton mutu rencana 30 MPa

Dari *Gambar 5.5* dan *5.6* di atas memperlihatkan bahwa sebagian besar sampel mengalami peningkatan kuat geser seiring bertambahnya pengurangan kandungan air dan penambahan SP pada campuran beton, tetapi ada juga beberapa sampel yang mengalami penurunan kuat geser. Pada beton mutu rencana 25 MPa

(*Gambar 5.5*) tidak terjadi penurunan kuat geser, sedangkan pada beton mutu rencana 30 MPa (*Gambar 5.6*) terjadi penurunan kuat geser pada sampel dengan pengurangan air 20 dan 25%. Terjadinya peningkatan dan penurunan kuat geser ini akan dibahas dan dihubungkan dengan beberapa faktor yang mempengaruhi kekuatan beton tersebut.

Pada *Gambar 5.5* memperlihatkan bahwa semakin besar pengurangan kandungan air dan penambahan SP akan semakin menambah kuat geser pada beton. Kuat geser maksimum dicapai pada sampel BS25-30% dengan kuat geser sebesar 6,7630 MPa yang terjadi pada pengurangan air 30% dan pada penambahan SP 3,29% dari berat semen. Pada hubungan ini tampak bahwa tidak terjadi penurunan kuat geser, semua sampel mengalami kenaikan kuat geser dibandingkan sampel pengurangan air sebelumnya. Hal ini dikarenakan pori-pori udara akibat dari pengurangan air yang semakin besar berhasil ditutupi oleh workabilitas yang besar dari penambahan SP. Penambahan SP dapat memisahkan butir-butir semen yang menggumpal dalam campuran air rendah, sehingga semakin besar pengurangan air dan penambahan SP pada variasi ini membuat beton semakin padat dan kuat.

Dari *Gambar 5.6* dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan kuat geser beton beturut-turut mulai dari pengurangan air 0, 5, 10, dan 15%, dan kemudian maksimum pada sampel dengan pengurangan air 30% (BS30-30%) dengan kuat geser 8,7244 MPa dan dengan penambahan SP sebesar 2,2% dari berat semen. Dari *Gambar 5.6* ditunjukkan juga bahwa pada beton mutu rencana 30 MPa terjadi penurunan kuat geser pada sampel dengan pengurangan air 20 dan 25% (BS30-20% dan BS30-25%). Penurunan kuat geser terjadi karena pada variasi pengurangan air 20% penambahan jumlah SP dalam campuran lebih rendah dari pada variasi sebelumnya walaupun nilai slump yang diinginkan telah tercapai, sehingga berpengaruh pada pemadatan campuran yang kurang sempurna dan akhirnya kuat geser menjadi lebih rendah. Pada pengurangan air 25% terjadi penurunan juga karena selisih penambahan SP masih dekat dengan jumlah SP variasi pengurangan air 20%.

Sama dengan kuat tarik dan lenturnya, dosis penambahan SP pada kuat geser maksimum terjadi pada dosis 3,29% dari berat semen (BS25-30%) dan pada 2,2% dari berat semen (BS30-30%). Penambahan SP pada penelitian ini tidak sesuai dengan batasan penambahan SP menurut data teknis penggunaan Sikament-NN yang membatasi penambahan SP antara 0,6-1,5% dari berat semen, dan juga dari pendapat Nawy (1990) yang membatasi penambahan SP pada campuran beton adalah 1-2% dari berat semen. Dosis SP yang besar ini dikarenakan pengurangan air 30% pada campuran sudah terlampaui besar dan mengakibatkan campuran sulit untuk mencapai nilai slump rencana, sehingga penambahan SP terus dilakukan sampai tercapai nilai slump rencana. Akan tetapi pada variasi ini dapat mencapai kuat geser yang maksimum dikarenakan pengurangan air yang besar dapat diimbangi oleh workabilitas yang besar dari penambahan SP, sehingga campuran menjadi lebih lecah, dapat membuat jarak butir-butir halus lebih rapat, pori-pori udara tertutupi dan akhirnya membentuk beton yang padat dan kuat.

5.4 Pengaruh Pengurangan Air dan Penambahan *Superplasticizer* terhadap Permeabilitas Beton

Salah satu faktor yang mempengaruhi durabilitas beton adalah permeabilitas beton, yaitu kemudahan beton untuk dapat dilalui air. Jika beton mampu dilewati air, maka beton tersebut permeabel. Jika sebaliknya, maka beton dikatakan impermeabel. Maka sifat permeabilitas yang penting pada beton adalah permeabilitas terhadap air (Sugiharto H. dkk., 2004). Salah satu kelemahan beton adalah beton sulit untuk kedap air secara sempurna, sehingga selalu dapat dimasuki air, dan air yang membawa kandungan garam dapat merusakkan beton (Tjokrodinuljo, 1992).

Kinerja beton dapat diperbaiki dari segi kekuatan dan keawetan terutama sifat-sifat impermeabilitasnya yang dapat ditingkatkan dengan penggunaan fas yang lebih rendah dan dengan bahan-bahan tambah pozolan seperti abu terbang dan *silica fume* (Rajasekaran dan Almaraj, 2001). Beton mutu tinggi dapat dihasilkan dengan menggunakan fas yang rendah. Jumlah air rendah pada beton

menyebabkan jarak butir-butir halus lebih rapat, maka akan menghasilkan beton yang rapat. Dengan kata lain akan menghasilkan beton kuat tekan tinggi sekaligus permeabilitasnya rendah, sehingga beton keras akan memiliki durabilitas yang lebih tinggi (Ilham, 2005). Nilai fas yang terlalu rendah akan menyebabkan mutu beton menjadi turun, karena akan menyebabkan kesulitan pada pematatan. Hal ini akan berpengaruh juga terhadap permeabilitas beton. Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap sifat kedap air beton adalah perbandingan air-semen yang rendah, karena hal ini yang mengakibatkan beton berkecenderungan berisi rongga akibat adanya gelembung-gelembung udara yang terbentuk selama atau sesudah pencetakan (Murdock dan Brook, 1991).

Superplasticizer dapat memungkinkan pengurangan kandungan air pada campuran beton dan dapat menghasilkan beton yang mengalir, sehingga workabilitas beton akan menjadi tinggi. Hal ini dapat menjadikan beton dengan fas yang rendah menjadi lebih lecah, sehingga beton dengan fas rendah menjadi lebih mudah untuk dikerjakan dan dipadatkan, lebih banyak menutup pori-pori udara dan akhirnya menjadi lebih padat, kuat dan kedap air.

Permeabilitas beton dilakukan dengan cara merendam benda uji sampai dengan umur 28 hari. Benda uji berbentuk silinder (diameter 150 mm dan tinggi 300 mm) dan pada tiap variasi terdapat 1 buah benda uji dalam 7 macam variasi pengurangan air. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh pengurangan kandungan air dan penambahan SP dalam campuran beton terhadap besarnya permeabilitas beton tersebut. Data lengkap hasil pengujian permeabilitas ini dapat dilihat pada *Lampiran D* pada *Tabel D.7* dan *D.8*, dan berikut ini adalah tabel hubungan antara permeabilitas air dengan pengurangan air dan penambahan SP pada mutu beton 25 dan 30 MPa.

Tabel 5.9 Hubungan pengurangan air dan penambahan SP dengan permeabilitas beton mutu rencana 25 dan 30 MPa

Mutu Rencana (MPa)	Sampel Uji	Variasi		Waktu Perendaman (menit)	Kedalaman Resapan Air rata-rata (mm)	Kecepatan Resapan Air rata-rata (mm/dtk)
		Pengurangan Air (%)	Penambahan SP (%)			
25	BS25-0%	0	0,30	60	22,8750	0,0064
	BS25-5%	5	0,45	60	11,8625	0,0033
	BS25-10%	10	1,35	60	10,5375	0,0029
	BS25-15%	15	1,50	60	16,0000	0,0044
	BS25-20%	20	1,53	60	18,7500	0,0052
	BS25-25%	25	1,95	60	18,5000	0,0051
	BS25-30%	30	3,29	60	15,6250	0,0043
30	BN30-0%	0	0,00	60	23,7500	0,0066
	BS30-5%	5	0,41	60	14,0000	0,0039
	BS30-10%	10	0,55	60	11,8750	0,0033
	BS30-15%	15	1,26	60	10,3750	0,0029
	BS30-20%	20	1,10	60	13,7500	0,0038
	BS30-25%	25	1,37	60	13,0000	0,0036
	BS30-30%	30	2,20	60	10,6250	0,0030

Dari *Tabel 5.9* di atas dapat kita lihat bahwa besarnya pengurangan air dan penambahan SP dapat berpengaruh terhadap permeabilitas beton yang ditunjukkan dalam besarnya kecepatan resapan air ke dalam beton. Dari tabel tersebut terlihat bahwa sebagian besar sampel mengalami penurunan nilai permeabilitasnya seiring dengan semakin besar pengurangan air dan penambahan SP pada campuran. Akan tetapi ada beberapa sampel yang juga mengalami peningkatan permeabilitasnya meskipun pengurangan air dan penambahan SP semakin besar.

Pada mutu rencana 25 MPa terlihat bahwa pada pengurangan air 0% dan penambahan SP 0,3% dari berat semen kecepatan resapan air merupakan yang paling besar, yaitu sebesar 0,0064 mm/detik. Untuk beton mutu rencana 30 MPa didapatkan bahwa pada pengurangan air 0% tanpa penambahan SP dicapai kecepatan resapan yang paling besar, yaitu sebesar 0,0066 mm/detik. Jika dibandingkan dengan sampel yang lain yang sudah dikurangi kandungan airnya, dua sampel ini merupakan yang paling besar meresapkan air ke dalam beton. Dari

hasil ini menunjukkan bahwa beton tanpa pengurangan air ini menjadi yang paling permeabel dan juga meresapkan air yang paling besar dan cepat dibandingkan sampel lain yang sudah dikurangi kandungan airnya. Jumlah air yang paling besar pada campuran ini menyebabkan butir-butir halus menjadi kurang rapat dan menimbulkan pori-pori udara yang banyak, dan akhirnya beton menjadi paling keropos. Hal ini sesuai dengan pendapat Ilham (2005) yang menyatakan bahwa jumlah air yang rendah pada beton dapat menghasilkan beton dengan kuat tekan tinggi dan permeabilitasnya rendah, sedangkan pada sampel ini jumlah airnya paling besar, sehingga permeabilitasnya paling besar juga.

Pada mutu rencana 25 MPa kecepatan resapan yang paling rendah terdapat pada sampel dengan pengurangan air 10% (BS25-10%) dan penambahan SP 1,35% dari berat semen, yaitu sebesar 0,0029 mm/detik. Kecepatan resapan meningkat lagi pada variasi pengurangan air 15 dan 20% dan kemudian menurun lagi dan mendekati kecepatan resapan minimal pada pengurangan air 25 dan 30%. Hal yang sama juga terjadi pada hubungan kuat tarik, lentur dan geser terhadap pengurangan air dan penambahan SP, yang mana pada variasi pengurangan air 15 dan 20% kekuatan beton menurun dan meningkat lagi pada variasi pengurangan air 25 dan 30%. Hal ini dikarenakan pada variasi pengurangan air 15 dan 20% pada mutu rencana 25 MPa berat volume betonnya lebih kecil daripada berat volume beton variasi yang lainnya yang diperkirakan akibat dari kandungan pori-pori udara yang lebih besar pada beton daripada variasi yang lainnya, sehingga menghasilkan beton yang kurang padat, kekuatannya rendah dan permeabilitasnya besar.

Untuk beton mutu rencana 30 MPa kecepatan resapan yang terkecil dicapai pada variasi pengurangan air 15% (BS30-15%) dan penambahan SP sebesar 1,26 % dari berat semen dengan kecepatan resapan sebesar 0,0029 mm/detik. Pada sampel ini kecepatan resapan juga meningkat lagi pada variasi pengurangan air 20% dan kemudian menurun lagi dan mendekati kecepatan resapan minimal pada pengurangan air 25 dan 30%. Hal yang sama juga terjadi pada hubungan kuat tarik, lentur dan geser terhadap pengurangan air dan penambahan SP, yang mana pada variasi pengurangan air 20% kekuatan beton

menurun dan meningkat lagi pada variasi pengurangan air 25 dan 30%. Hal ini dikarenakan pada variasi pengurangan air 20% pada mutu rencana 30 MPa terjadi penurunan kandungan jumlah SP yang mengakibatkan kelecakan beton juga lebih rendah sehingga pemadatan kurang sempurna dan menghasilkan beton yang lebih porous, lebih rendah kekuatannya dan lebih besar permeabilitasnya.

5.5 Hubungan antara Kuat Tekan dengan Kuat Tarik, Lentur, dan Geser

Pada bagian ini akan dibahas tentang analisis hubungan antara kuat tarik, lentur, dan geser beton terhadap kuat tekan beton pada umur 28 hari. Analisis hubungan ini bertujuan untuk mendapatkan persentase besarnya nilai kuat tarik, lentur dan geser terhadap kuat tekan beton mutu 25 dan 30 MPa. Besarnya nilai-nilai persentase tersebut dapat digunakan sebagai sarana pembandingan atau dapat juga sebagai acuan untuk penentuan besarnya kuat tarik, geser dan lentur dengan adanya kuat tekan.

Data kuat tekan rencana 25 MPa diambil dari data hasil penelitian Firmansyah, sedangkan data kuat tekan rencana 30 MPa diambil dari data hasil penelitian M.Arief Amirudin. Hal ini dikarenakan sampel uji kuat tekan 25 dan 30 MPa tersebut masih merupakan satu adukan dengan sampel uji penelitian ini, jadi data hasil kuat tekan tersebut dapat dijadikan acuan untuk analisis ini. Data lengkap hasil pengujian kuat tekan 25 dan 30 MPa dapat dilihat di *Lampiran D* pada *Tabel D.9 dan D.10*.

5.5.1 Hubungan antara Kuat Tekan dengan Kuat Tarik

Beton mempunyai keuntungan dengan kuat tekannya yang tinggi, tetapi lemah pada kuat tariknya. Setiap peningkatan kuat tekan beton hanya memberikan sedikit peningkatan kuat tariknya. Nilai kuat tarik bahan beton normal berkisar 9-15% dari kuat tekannya (Dipohusodo, 1994). Pernyataan lain juga disampaikan oleh Pillai dan Menon (1993) yang menyatakan bahwa besarnya nilai kuat tarik langsung berkisar antara 7-15% dari kuat tekannya. Penentuan kuat tarik di lapangan dapat ditentukan melalui uji belah silinder, tetapi sebagai penentuan kuat tarik tanpa pengujian dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan *modulus*

of rupture. Nilai *modulus of rupture* akan sedikit lebih besar dari pada nilai kuat tarik uji belah silinder (Wahyudi dan Rahim, 1997). Hubungan kuat tarik dengan kuat tekan dinyatakan dalam persentase, seperti pada **Tabel 5.10** dan **5.11**.

Tabel 5.10 Hubungan kuat tarik dengan kuat tekan beton 25 MPa

No	Sampel Uji	Penambahan SP (%)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik Hasil Uji (MPa)	Persentase Kuat Tarik terhadap Kuat Tekan (%)	Kuat Tarik Teoritis $0,7\sqrt{f_c}$ (MPa)
1	BS25-0%	0,30	33,7465	3,9783	11,7887	4,0664
2	BS25-5%	0,45	36,4670	3,3631	9,2223	4,2272
3	BS25-10%	1,35	37,5852	3,9912	10,6192	4,2915
4	BS25-15%	1,50	41,2977	3,3293	8,0616	4,4984
5	BS25-20%	1,53	43,5642	4,2222	9,6920	4,6202
6	BS25-25%	1,95	45,8731	4,3194	9,4160	4,7411
7	BS25-30%	3,29	49,1983	4,7647	9,6848	4,9099

Tabel 5.11 Hubungan kuat tarik dengan kuat tekan beton 30 MPa

No	Sampel Uji	Penambahan SP (%)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik Hasil Uji (MPa)	Persentase Kuat Tarik terhadap Kuat Tekan (%)	Kuat Tarik Teoritis $0,7\sqrt{f_c}$ (MPa)
1	BN30-0%	0,00	31,7585	3,8050	11,9812	3,9448
2	BS30-5%	0,41	32,5633	4,1146	12,6356	3,9945
3	BS30-10%	0,55	37,6437	4,3462	11,5456	4,2948
4	BS30-15%	1,26	38,6731	4,1005	10,6030	4,3531
5	BS30-20%	1,10	44,2744	3,5081	7,9235	4,6577
6	BS30-25%	1,37	55,6171	3,8123	6,8545	5,2204
7	BS30-30%	2,20	62,2388	4,6475	7,4673	5,5224

Dari **Tabel 5.10** dan **5.11** terlihat bahwa kuat tekan beton semakin besar seiring meningkatnya pengurangan kandungan air. Untuk kuat tekan rencana 25 MPa (**Tabel 5.10**) peningkatan kuat tekan akibat pengurangan air juga diikuti peningkatan kuat tariknya, kecuali pada variasi pengurangan air 5% dan 15% (BS25-5% dan BS25-15%) yang mengalami penurunan kuat tarik. Begitu juga dengan kuat tekan rencana 30 MPa (**Tabel 5.11**) yang kuat tariknya meningkat

mengikuti kuat tekannya yang meningkat juga, kecuali pada variasi pengurangan air 20 dan 25% (BS30-20% dan BS30-25%).

Kuat tarik dan kuat tekan maksimum mutu beton rencana 25 dan 30 MPa sama-sama terjadi pada variasi pengurangan air 30%, yaitu pada BS25-30% dan BS30-30%. Kuat tekan maksimum pada BS25-30% adalah 49,1983 MPa dan pada BS30-30% adalah 65,0476 MPa. Kuat tarik maksimum pada BS25-30% dan BS30-30% mempunyai persentase kuat tarik sebesar 9,6848% dan 7,1448% dari kuat tekannya. Hal ini membuktikan bahwa pada variasi pengurangan air 30% dan penambahan SP yang sebesar 3,29% (pada BS25-30%) dan 2,20% (pada BS30-30%) dari berat semen pada kedua mutu rencana didapatkan kesesuaian campuran dimana pori-pori udara akibat pengurangan air yang besar dapat ditutupi oleh workabilitas campuran yang tinggi dari penambahan SP, sehingga didapatkan beton yang paling padat dan kuat.

Nilai kuat tarik untuk mutu rencana 25 MPa (*Tabel 5.10*) besarnya antara 8,0616-11,7887% dari kuat tekannya, sedangkan pada mutu rencana 30 MPa (*Tabel 5.11*) besar nilai kuat tariknya berkisar antara 6,8545-12,6356% dari kuat tekannya. Nilai-nilai persentase kuat tarik tersebut mendekati pernyataan Dipohusodo (1994) yang menyatakan bahwa nilai kuat tarik beton berkisar antara 9-15% dari kuat tekannya. Hasil tersebut juga mendekati pernyataan Pillai dan Menon (1993) yang menyatakan bahwa nilai kuat tarik langsung berkisar antara 7-15% dari kuat tekannya.

Nilai kuat tarik dari kedua tabel di atas juga dibandingkan dengan persamaan *modulus of rupture* atau modulus kuat tarik yang nilainya adalah $0,70\sqrt{f_c}$. Dari kedua tabel di atas didapatkan bahwa nilai kuat tarik hasil perhitungan *modulus of rupture* sedikit lebih besar daripada nilai kuat tarik hasil pengujian tarik-belah silinder beton. Hal ini sesuai dengan pendapat dari Wahyudi dan Rahim (1997) yang menyatakan bahwa nilai *modulus of rupture* akan sedikit lebih besar daripada nilai kuat tarik sesungguhnya, yang saat ini lebih sering ditentukan oleh kekuatan belah silinder beton.

5.5.2 Hubungan antara Kuat Tekan dengan Kuat Lentur

Kuat lentur merupakan salah satu hal penting yang harus diperhitungkan terutama untuk struktur balok. Lenturan ekstrim pada balok, merupakan hasil dari desak pada bagian atas dan tarik pada bagian bawah, dapat dihitung dengan rumus balok biasa (Murdock dan Brook, 1991). Pada penelitian ini metode pengujian dan perhitungan yang dipakai adalah metode dari SK-SNI-M-06-1996-03 tentang pengujian kuat lentur pada pembebanan dua titik. Nilai kuat lentur beton berkisar antara 11-23% dari kuat tekan kubus beton (N.Jackson, 1983). Hubungan antara kuat lentur dengan kuat tekan pada beton 25 dan 30 MPa dari penelitian ini dapat dilihat pada *Tabel 5.12* dan *5.13*.

Tabel 5.12 Hubungan kuat lentur dengan kuat tekan beton 25 MPa

No	Sampel Uji	Penambahan SP (%)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Lentur Hasil Uji (MPa)	Persentase Kuat Lentur terhadap Kuat Tekan (%)
1	BS25-0%	0,30	33,7465	4,1698	12,3562
2	BS25-5%	0,45	36,4670	4,3130	11,8272
3	BS25-10%	1,35	37,5852	4,5141	12,0104
4	BS25-15%	1,50	41,2977	4,4950	10,8844
5	BS25-20%	1,53	43,5642	4,4741	10,2702
6	BS25-25%	1,95	45,8731	5,5062	12,0031
7	BS25-30%	3,29	49,1983	5,6057	11,3941

Tabel 5.13 Hubungan kuat lentur dengan kuat tekan beton 30 MPa

No	Sampel Uji	Penambahan SP (%)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Lentur Hasil Uji (MPa)	Persentase Kuat Lentur terhadap Kuat Tekan (%)
1	BN30-0%	0,00	31,7585	4,0066	12,6158
2	BS30-5%	0,41	32,5633	4,0915	12,5649
3	BS30-10%	0,55	37,6437	4,8798	12,9632
4	BS30-15%	1,26	38,6731	7,4780	11,6545
5	BS30-20%	1,10	44,2744	4,7017	10,4524
6	BS30-25%	1,37	55,6171	5,2331	8,8680
7	BS30-30%	2,20	62,2388	8,7244	9,8196

Pada *Tabel 5.12* dan *5.13* di atas menunjukkan bahwa beberapa sampel uji kuat lentur juga mengalami peningkatan mengikuti peningkatan nilai kuat tekan

beton tersebut. Namun ada juga beberapa sampel yang mengalami penurunan kuat lentur, diantaranya adalah BS25-15%, BS25-20%, BS25-25%, BS30-15% dan BS30-20.

Sama halnya dengan kuat tarik, kuat lentur beton juga maksimum pada pengurangan air 30%. Pada mutu rencana 25 MPa kuat lentur maksimum pada BS25-30% yang juga merupakan kuat tekan maksimumnya, persentase kuat lentur sebesar 11,3941% dari kuat tekannya. Untuk beton mutu rencana 30 MPa kuat lentur maksimum pada BS30-30% yang juga merupakan kuat tekan maksimumnya, didapatkan kuat lentur sebesar 9,8196% dari kuat tekannya. Hal ini membuktikan bahwa pada variasi pengurangan air 30% dan penambahan SP yang sebesar 3,29% (pada BS25-30%) dan 2,20% (pada BS30-30%) dari berat semen pada kedua mutu rencana didapatkan kesesuaian campuran dimana pori-pori udara akibat pengurangan air yang besar dapat ditutupi oleh kelecakan dan workabilitas campuran yang tinggi dari penambahan SP, sehingga didapatkan beton yang paling padat dan kuat.

Pada penelitian ini persentase kuat lentur terhadap kuat tekan yang dihasilkan pada beton mutu rencana 25 MPa berkisar antara 10,2702-12,3562% dari kuat tekan. Untuk beton mutu rencana 30 MPa kuat lentur berkisar antara 8,8680-12,9632% dari kuat tekan. Hasil kedua penelitian ini mendekati pernyataan N. Jackson (1983) yang menyatakan bahwa kuat lentur beton berkisar antara 11-23% dari kuat tekan kubus beton.

5.5.3 Hubungan antara Kuat Tekan dengan Kuat Geser

Selain lemah pada sisi tarik dan lenturnya, beton juga lemah pada sisi gesernya. Menurut Murdock dan Brook (1991), geser dalam beton terjadi karena desak dan tarik oleh karena adanya lenturan. Menurut Pillai dan Menon (1993), kuat geser beton lebih besar daripada kuat tariknya. Pillai dan Menon juga memberikan pernyataan bahwa dari beberapa penelitian, kekuatan beton pada geser murni telah didapatkan sekitar 10-20% dari kuat tekannya. Pernyataan lain dikemukakan oleh Ilham (2004), bahwa besar kekuatan geser pada beton berkisar antara 8-13% dari kuat tekannya. Hubungan antara kuat geser dengan kuat tekan

dari penelitian ini dihitung dalam persentase seperti yang dapat dilihat pada *Tabel 5.14* dan *5.15*.

Tabel 5.14 Hubungan kuat geser dengan kuat tekan beton 25 MPa

No	Sampel Uji	Penambahan SP (%)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Geser Hasil Uji (MPa)	Persentase Kuat Geser terhadap Kuat Tekan (%)	Kuat Geser SNI $1/6\sqrt{f_c}$ (MPa)
1	BN30-0%	0,30	33,7465	4,1223	12,2155	0,9682
2	BS30-5%	0,45	36,4670	4,7163	12,9330	1,0065
3	BS30-10%	1,35	37,5852	5,0345	13,3948	1,0218
4	BS30-15%	1,50	41,2977	5,5522	13,4444	1,0711
5	BS30-20%	1,53	43,5642	5,5863	12,8231	1,1001
6	BS30-25%	1,95	45,8731	5,6185	12,2479	1,1288
7	BS30-30%	3,29	49,1983	7,3555	14,9508	1,1690

Tabel 5.15 Hubungan kuat geser dengan kuat tekan beton 30 MPa

No	Sampel Uji	Penambahan SP (%)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Geser Hasil Uji (MPa)	Persentase Kuat Geser terhadap Kuat Tekan (%)	Kuat Geser SNI $1/6\sqrt{f_c}$ (MPa)
1	BN30-0%	0,00	31,7585	4,7594	14,9861	0,9392
2	BS30-5%	0,41	32,5633	5,1598	15,8456	0,9511
3	BS30-10%	0,55	37,6437	7,0554	18,7427	1,0226
4	BS30-15%	1,26	38,6731	7,4780	19,3365	1,0365
5	BS30-20%	1,10	44,2744	4,7017	10,6194	1,1090
6	BS30-25%	1,37	55,6171	5,2331	9,4091	1,2429
7	BS30-30%	2,20	62,2388	8,7244	14,0176	1,3149

Pada *Tabel 5.14* dan *5.15* di atas menunjukkan bahwa kuat geser beberapa sampel uji mengalami peningkatan mengikuti peningkatan besarnya nilai kuat tekan beton tersebut. Selain itu terjadi juga penurunan kuat geser pada beberapa sampel uji, meskipun kuat tekannya terus mengalami peningkatan, seperti pada BS30-20% dan BS30-25%.

Kuat geser dan kuat tekan maksimum pada kedua beton mutu rencana 25 dan 30 MPa tersebut sama-sama terjadi pada variasi pengurangan air 30%, yaitu

pada BS25-30% dan BS30-30%. Pada BS25-30% besarnya kuat geser adalah 14,9508% dari kuat tekannya, sedangkan pada BS30-30% besarnya kuat geser adalah 14,0176% dari kuat tekannya. Hal ini membuktikan bahwa pada pengurangan air 30% dan penambahan SP yang sebesar 3,29% (BS25-30%) dan 2,20% (BS30-30%) dari berat semen didapatkan kesesuaian campuran dimana pori-pori udara akibat pengurangan air yang besar dapat ditutupi oleh kelecakan dan workabilitas campuran yang tinggi dari penambahan SP, sehingga didapatkan beton yang paling padat dan kuat.

Nilai persentase kuat geser yang didapatkan dari penelitian ini pada mutu rencana 25 MPa berkisar antara 12,2155-14,9508% dari kuat tekannya, sedangkan pada mutu rencana 30 MPa persentase kuat geser berkisar antara 9,4091-19,3365% dari kuat tekannya. Hasil penelitian ini mendekati dengan pernyataan Pillai dan Menon (1993) yang menyatakan bahwa dari beberapa penelitian, kekuatan geser murni beton didapatkan sekitar 10-20% dari kuat tekannya. Hasil penelitian ini juga kurang sesuai dengan hasil penelitian Ilham (2004) yang menyatakan bahwa besar kuat geser berkisar antara 8-13% dari kuat tekan beton.

SK SNI T-15-1991-03 memberikan kapasitas/kemampuan beton tanpa penulangan geser atau V_c untuk menahan gaya geser sebesar $1/6 \sqrt{f_c}$. Dari dua tabel di atas tampak bahwa selisih antara kuat geser beton rumusan SNI jauh lebih kecil daripada kuat geser beton pengujian di laboratorium. Hal ini dikarenakan rumusan kuat geser SNI ($1/6 \sqrt{f_c}$) sudah mencakup angka aman yang digunakan dalam perhitungan kuat geser di lapangan, sehingga SNI membuat kuat geser perencanaan jauh lebih kecil daripada kuat geser pengujian di laboratorium agar struktur beton di lapangan menjadi jauh lebih aman untuk menahan beban geser.

5.5 Hubungan Gabungan antara Kuat Tarik, Lentur, Geser dan Tekan Beton Mutu Rencana 25 dan 30 MPa.

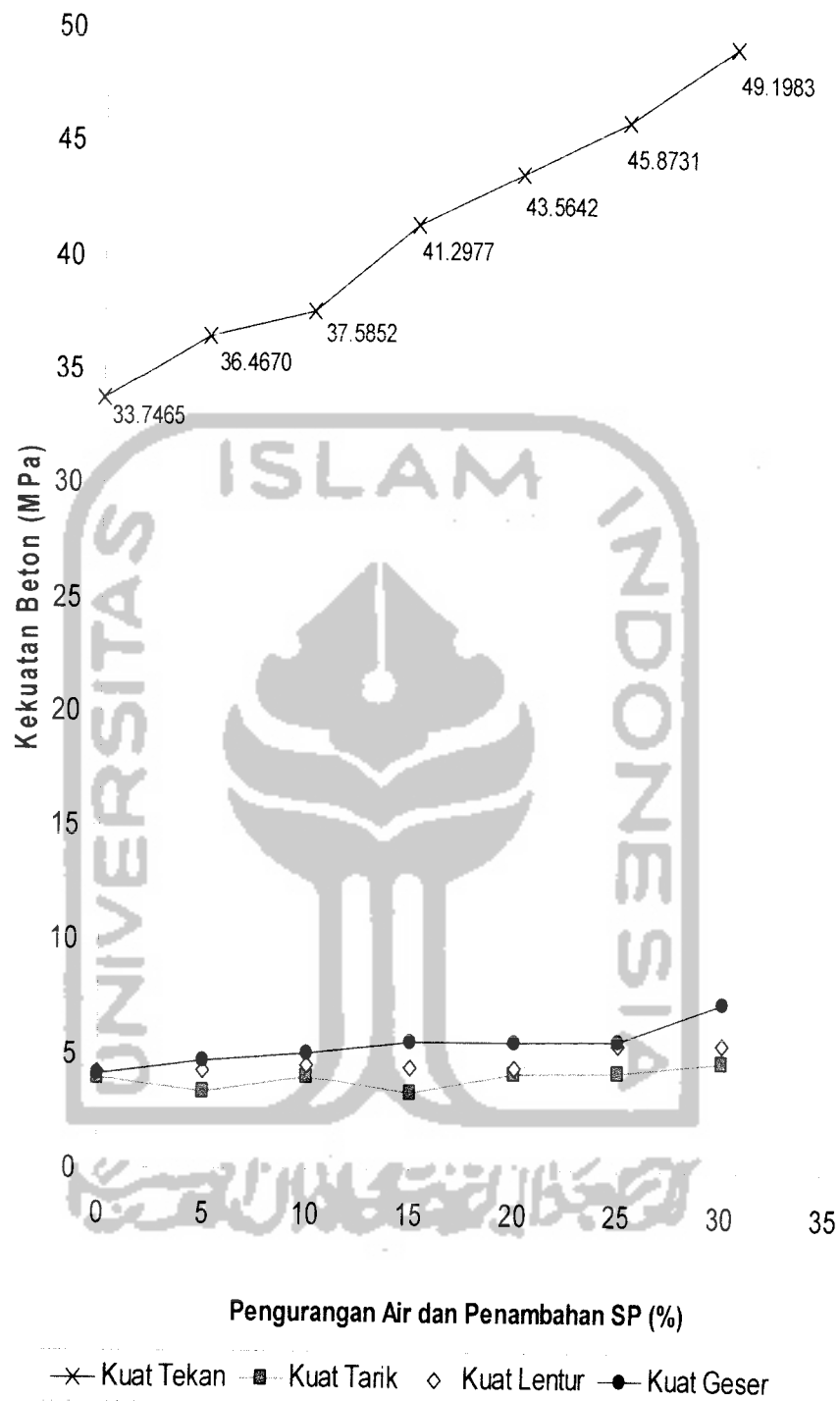
Pada kajian ini ditampilkan nilai-nilai kuat tekan, tarik, lentur, dan geser beton umur 28 hari dan juga besarnya pengurangan air dan penambahan SP pada campuran. Maksud kajian ini adalah untuk menghubungkan dan membandingkan bagaimana besarnya kekuatan beton yang satu terhadap kekuatan beton yang lain dengan adanya pengurangan air dan penambahan SP pada campuran beton. Hubungan gabungan tersebut dapat dilihat pada *Tabel 5.16* dan *5.17* di bawah ini.

Tabel 5.16 Hubungan kuat tekan, tarik, lentur dan geser beton mutu rencana 25 MPa

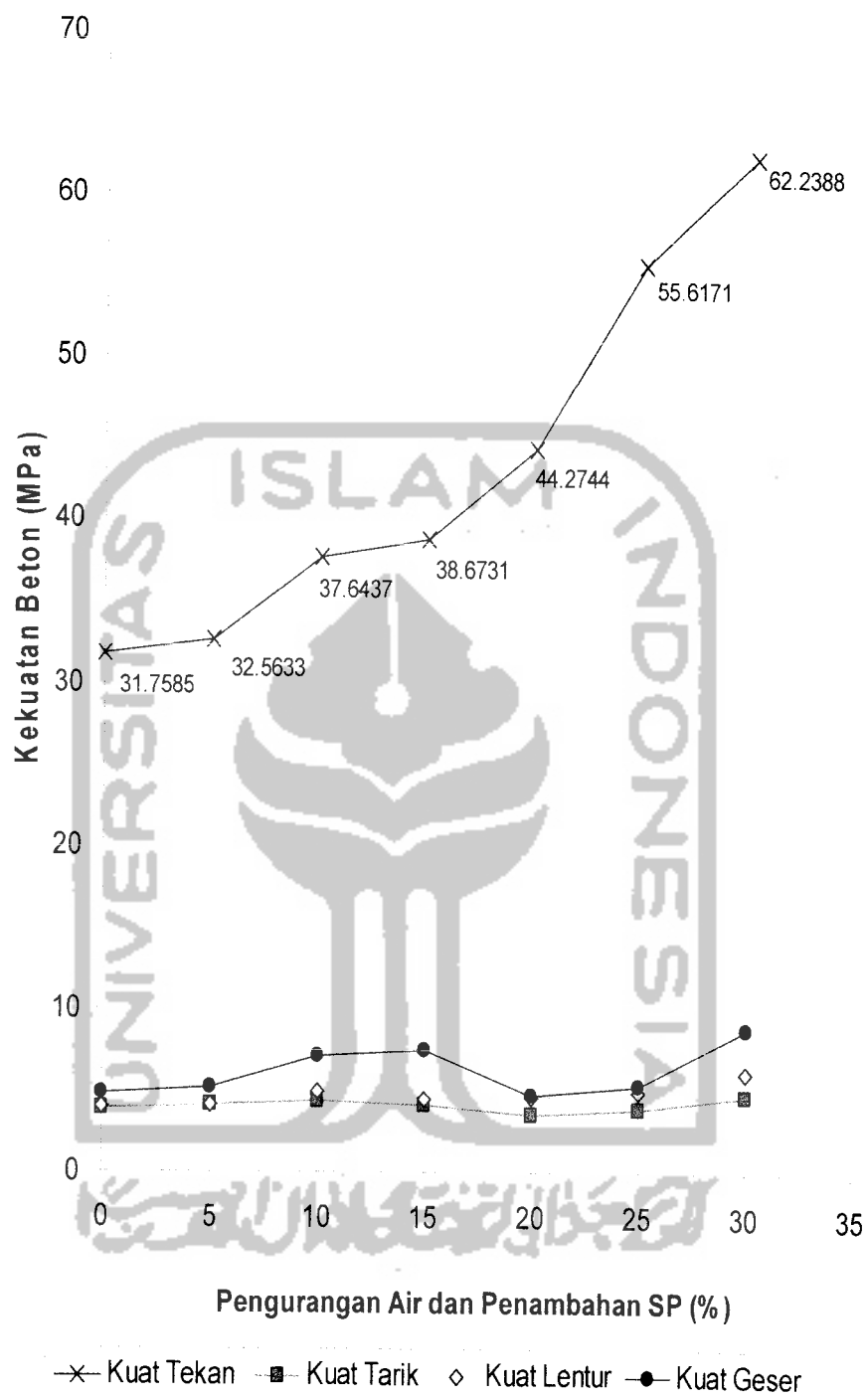
No	Sampel Uji	Pengurangan Air (%)	Penambahan SP (%)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Geser (MPa)
1	BS25-0%	0	0.30	33.7465	3.9783	4.1698	4.1223
2	BS25-5%	5	0.45	36.4670	3.3631	4.3130	4.7163
3	BS25-10%	10	1.35	37.5852	3.9912	4.5141	5.0345
4	BS25-15%	15	1.50	41.2977	3.3293	4.4950	5.5522
5	BS25-20%	20	1.53	43.5642	4.2222	4.4741	5.5863
6	BS25-25%	25	1.95	45.8731	4.3194	5.5062	5.6185
7	BS25-30%	30	3.29	49.1983	4.7647	5.6057	7.3555

Tabel 5.17 Hubungan kuat tekan, tarik, lentur dan geser beton mutu rencana 30 MPa

No	Sampel Uji	Pengurangan Air (%)	Penambahan SP (%)	Kuat Tekan (MPa)	Kuat Tarik (MPa)	Kuat Lentur (MPa)	Kuat Geser (MPa)
1	BN30-0%	0	0.00	31.7585	3.8050	4.0066	4.7594
2	BS30-5%	5	0.41	32.5633	4.1146	4.0915	5.1598
3	BS30-10%	10	0.55	37.6437	4.3462	4.8798	7.0554
4	BS30-15%	15	1.26	39.0516	4.1005	4.5072	7.4780
5	BS30-20%	20	1.10	44.5783	3.5081	4.6277	4.7017
6	BS30-25%	25	1.37	53.1025	3.8123	4.9321	5.2331
7	BS30-30%	30	2.20	65.0476	4.6475	6.1116	8.7244



Gambar 5.7 Hubungan pengurangan air dan penambahan SP terhadap kekuatan beton keras 25 MPa



Gambar 5.9 Hubungan pengurangan air dan penambahan SP terhadap kekuatan beton keras 30 MPa

Dapat dilihat dari *Gambar 5.7* dan *5.8* di atas bahwa terjadi selisih yang besar antara nilai kuat tekan dibandingkan nilai kuat tarik, lentur dan gesernya, hal ini dikarenakan beton memang kuat dari sisi tekannya dan lemah pada sisi tarik, lentur dan gesernya. Dari gambar tersebut juga tampak bahwa kuat tekan semakin besar seiring pengurangan air dan penambahan SP yang juga semakin besar hingga mencapai maksimum, sedangkan pada kuat tarik, lentur dan geser, pengurangan air dan penambahan SP yang semakin besar tidak selalu diikuti oleh peningkatan kekuatannya.

Dapat dilihat juga dari *Gambar 5.7* dan *5.8* di atas tentang perbandingan antara kuat tarik, lentur dan gesernya. Dari beton mutu rencana 25 dan 30 MPa di atas dapat dilihat bahwa terjadi selisih antara ketiga kekuatan beton tersebut, yang mana tampak bahwa kuat geser lebih besar daripada kuat tarik dan lenturnya, sedangkan kuat lentur lebih besar daripada kuat tariknya. Hal ini juga sesuai dengan pendapat Pillai dan Menon (1993) yang menyatakan bahwa kuat geser beton lebih besar daripada kuat tariknya. Dan pada penelitian ini kuat lentur juga lebih besar dari kuat tarik, tetapi masih lebih kecil dari kuat gesernya. Berarti kuat tarik beton pada penelitian ini merupakan kekuatan beton yang paling kecil dibandingkan dengan kuat lentur, geser dan juga tekannya.



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

الجامعة الإسلامية في إندونيسيا