

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Umum

Pengkajian terhadap kuat tekan, kuat tarik, dan kuat lentur beton yang diperbaiki oleh adanya penambahan *fiber* dilakukan dengan menggunakan benda-benda uji berskala kecil. Dengan mengikuti prosedur yang berlaku diharapkan benda-benda uji tersebut cukup mewakili sifat-sifat beton yang diselidiki.

Pada dasarnya beton yang *brittle* akan ditingkatkan kekuatannya oleh adanya *fiber* karena retak-retak yang sering terjadi pada beton akan ditahan oleh kuat tarik yang dimiliki oleh *fiber* tersebut, sehingga pada daerah beton yang sudah retak peranan kuat *fiber* akan sangat dominan. Retak yang terjadi pada beton tersebut ditahan oleh *fiber* dengan dua cara yaitu lekatan antara *fiber* dengan pasta semen (*bond strength*) dan kekuatan dari *fiber* itu sendiri. Bentuk geometri *fiber* yang lurus tanpa kait mengakibatkan *pull out resistance* hanya mengandalkan pada lekatan antara *fiber* dengan betonnya.

Pada tampang pecah banyak sekali terlihat *fiber* yang tercabut dari beton dengan posisi *fiber* sembarang (*random*). Begitu pula dengan panjang *fiber* tercabut serta posisi *retak* yang tidak teratur. Perbandingan jumlah *fiber* pada tampang pecah sudah cukup proporsional paling tidak untuk konsentrasi *fiber* 1%, 2%, dan 3% sehingga teknik pencampuran dan pengadukan beton *fiber* sudah relatif baik.

5.2 Workability

Pada penelitian ini beton normal sebelum ditambahkan *fiber* kawat bendrat dan *superplasticizer* ditetapkan memiliki nilai *slump* sebesar 60 - 180 mm dengan faktor air semen sebesar 0.41.

Selama proses pengadukan, adanya penambahan *fiber* ke dalam adukan akan mempersulit proses pengerjaan beton. Hal tersebut dapat dilihat dari penurunan nilai *slump* akibat adanya penambahan *fiber* sebagaimana tersaji pada tabel 5.1 di bawah ini:

Tabel 5.1
Nilai *Slump* Adukan Beton Akibat
Penambahan *Fiber* Kawat Bendrat dan *Superplasticizer*

No.	Kode Benda Uji	Variasi Penambahan		<i>Slump</i> mm
		KB	SP	
1	BN	0%	0%	120
2	KB 1%	1%	0%	85
3	KB 2%	2%	0%	50
4	KB 3%	3%	0%	20
5	KB 1% SP	1%	1%	260
6	KB 2% SP	2%	1%	200
7	KB 3% SP	3%	1%	150

Keterangan

BN : Beton Normal
KB : Kawat Bendrat
SP : *Superplasticizer*

Dari tabel di atas terlihat bahwa dengan semakin meningkatnya konsentrasi penambahan *fiber* kawat bendrat akan semakin menurunkan nilai *slump*, dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penambahan *fiber* kawat bendrat akan menurunkan kelecakan adukan sangat besar, sehingga akan mempersulit proses, pengadukan, pengangkutan, dan pengecoran beton. Hal

tersebut disebabkan sifat adhesi *fiber* kawat bendrat akan mengikat semen yang dapat menyebabkan *balling effect* sehingga semen tidak berfungsi maksimal sebagai pengikat agregat pada adukan beton. Pada proses pengadukan belum nampak terjadi *balling effect* (*fiber* yang ditambahkan cenderung menggumpal menjadi satu) yang cukup berarti, walaupun pada penambahan *fiber* 3% tanpa *superplasticizer* ada sebagian kecil *fiber* yang nampak mulai menggumpal. Hal tersebut dimungkinkan karena aspek rasio *fiber* sebesar 91.837 sudah mendekati batas kritis (100) sehingga *fiber* sudah mulai sulit disebarkan oleh alat pengaduk beton. Sesuai dengan rumus (2.4) dan (2.5) maka berat *fiber* yang akan menyebabkan adukan mulai sulit dan tidak mungkin diaduk adalah:

$$\begin{aligned} PW_{crit} &= 75 \frac{\pi \gamma_f}{\gamma_c} \frac{d}{l} K \\ &= 75 \frac{\pi \cdot 4.72}{2.4} \frac{0.98}{90} K \\ &= 5.04778 K \end{aligned}$$

dimana

$$\begin{aligned} K &= \frac{W_m}{W_m + W_a} \\ &= \frac{550 + 225 + 625}{795 + 550 + 225 + 625} \\ &= 0.63781 \end{aligned}$$

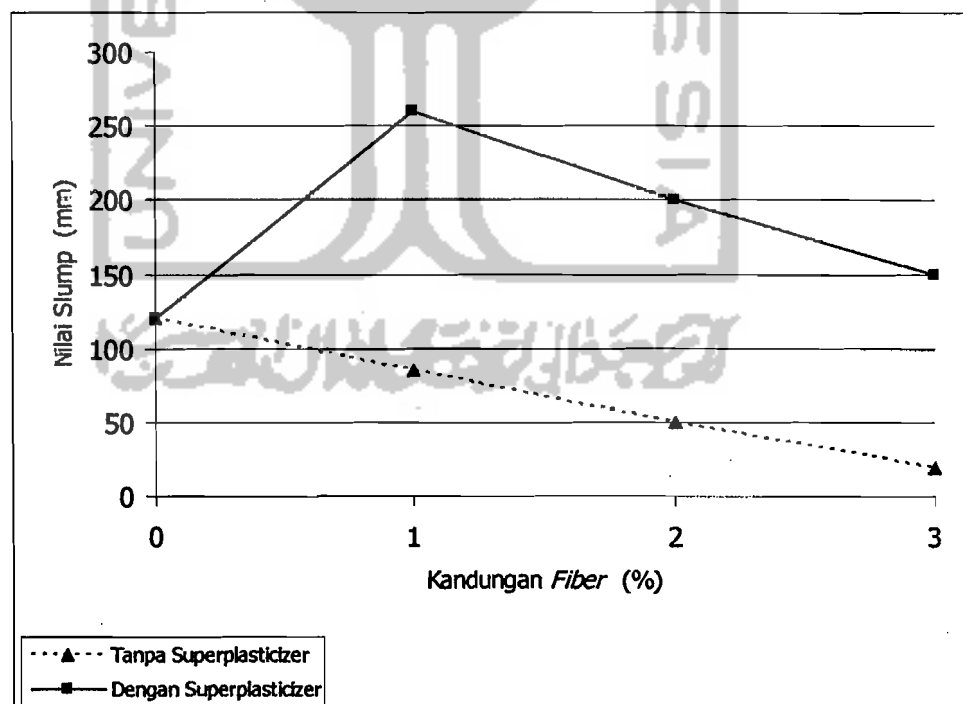
$$\begin{aligned} \text{sehingga } PW_{crit} &= 5.04778 \times 0.63781 \\ &= 3.21952 \% \text{ (terhadap adukan beton)} \end{aligned}$$

Berat adukan beton (W_c) untuk tiap pengujian menggunakan benda uji silinder adalah 70.08 kg, sehingga berat kandungan *fiber* kritis adalah sebesar :

$$\begin{aligned} W_{fb} &= 3.28391\% \times 70.08 \text{ kg} \\ &= 2.30135 \text{ kg} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat disimpulkan bahwa penambahan *fiber* sebesar 3% dari adukan beton atau seberat 2.1024 kg ($3\% \times 70.08 \text{ kg}$) sudah hampir mendekati batas kritis kemudahan dalam proses pengadukan beton.

Penambahan *superplasticizer* pada adukan beton sebesar 1% dari berat semen, secara drastis menaikkan nilai *slump* pada konsentrasi *fiber* yang sama sebagaimana tersaji pada Tabel 5.1 dan Gambar 5.1 sehingga pada saat pengadukan *fiber* dapat terdistribusi dengan baik.



Gambar 5.1
Grafik Hubungan Antara Kandungan *Fiber* Dengan Nilai *Slump*

5.3 Kuat Tekan

Sebagaimana ditunjukkan dalam tabel 5.2 dan serta gambar 5.2, penambahan *fiber* kawat bendrat ke dalam adukan beton akan meningkatkan kuat tekannya. Hal tersebut dimungkinkan karena *fiber* kawat bendrat dalam beton akan membatasi ukuran retak sehingga keruntuhan beton akan lebih lama karena tertahan oleh kuat lekatan (*bond strength*) antara *fiber* kawat bendrat dan beton. Peningkatan kuat tekan terbesar terjadi pada konsentrasi penambahan *fiber* sebesar 3% dari berat adukan beton dan *superplasticizer* sebesar 1% dari berat semen, yaitu sebesar 37.450%.

Contoh penghitungan untuk mencari kuat tekan benda uji beton silinder sebagaimana tersaji dalam Tabel 5.2 adalah sebagai berikut:

Dari data pengamatan dan pengujian benda uji BN-1 (Beton Normal) didapat:

$$F = 640 \text{ KN}$$

$$= 64000 \text{ kg}$$

$$d = 14.960 \text{ cm}$$

$$A = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot d^2$$

$$= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot (14.960 \text{ cm})^2$$

$$= 175.684 \text{ cm}^2$$

$$\sigma_{tk} = \frac{F}{A}$$

$$= \frac{64000}{175.684}$$

$$= 364.28990 \text{ kg/cm}^2$$

Demikian seterusnya sehingga didapatkan data kuat tekan beton normal masing-masing benda uji, selanjutnya dirata-rata untuk mendapatkan nilai kuat tekan betonnya. Hal tersebut diulang untuk setiap variabel benda uji.

Adapun contoh penghitungan untuk persentase penambahan kuat tekan dengan atau tanpa zat *additive superplasticizer* terhadap beton normal sebagaimana dapat dilihat pada tabel 5.3 dan 5.4 adalah sebagai berikut:

Dari tabel 5.2 didapatkan data:

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan BN} &= 364.18003 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Kuat tekan BN + KB 1\%} &= 425.67944 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Penambahan Kuat tekan} &= \frac{(425.67944 - 364.18003)}{364.18003} \cdot 100\% \\ &= 16.887\% \end{aligned}$$

demikian seterusnya untuk variabel yang berbeda dengan pengurang dan pembagi tetap yaitu kuat tekan beton normalnya.

Sedangkan untuk penghitungan tabel 5.5 didapatkan dari penambahan kuat tekan beton *fiber* dengan *superplasticizer* terhadap kuat tekan beton *fiber* tanpa *superplasticizer*. Contoh penghitungan untuk tabel 5.5 dapat disajikan sebagai berikut:

Dari tabel 5.3 dan tabel 5.4 didapatkan data:

$$\begin{aligned} \text{Kuat tekan beton BN + KB 1\%} &= 425.67944 \text{ kg/cm}^2 \\ \text{Kuat tekan beton BN + KB 1\% + SP} &= 437.41005 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Penambahan kuat tekan akibat zat *additive superplasticizer* adalah sebesar

$$= \frac{(437.41005 - 425.67944)}{425.67944} 100\%$$

$$= 2.756 \%$$

Tabel 5.2
Hasil Pengujian Kuat Tekan Beton

No.	Variasi Penambahan		Kuat Tekan (kg/cm ²)
	KB	SP	
1	0%	0%	364.18003
2	1%	0%	425.67944
3	2%	0%	467.08792
4	3%	0%	490.22080
5	1%	1%	437.41005
6	2%	1%	476.65026
7	3%	1%	500.56407

Tabel 5.3
Persentase Perubahan Kuat Tekan Beton *Fiber* Tanpa *Superplasticizer*
Terhadap Beton Non *Fiber*

No.	Kode Benda Uji	Kuat Tekan	Penambahan
		(kg/cm ²)	(%)
1	BN	364.18003	0
2	BN + KB 1%	425.67944	16.887
3	BN + KB 2%	467.08792	28.257
4	BN + KB 3%	490.22080	34.609

Tabel 5.4
Persentase Perubahan Kuat Tekan Beton *Fiber* Dengan *Superplasticizer*
Terhadap Beton Non *Fiber*

No.	Kode Benda Uji	Kuat Tekan	Penambahan
		(kg/cm ²)	(%)
1	BN	364.18003	0
2	BN -- KB 1% + SP	437.41005	20.108
3	BN -- KB 2% + SP	476.65026	30.883
4	BN -- KB 3% + SP	500.56407	37.450

Tabel 5.5
 Persentase Perubahan Kuat Tekan Beton *Fiber*
 Akibat Penambahan *Superplasticizer*

No.	Variasi Fiber	Kuat Tekan Beton Fiber	Kuat Tekan Beton Fiber-SP	Penambahan
		(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)
1	1%	425.67944	437.41005	2.756
2	2%	467.08792	476.65026	2.047
3	3%	490.22080	500.56407	2.110
Penambahan Rata-Rata				2.304

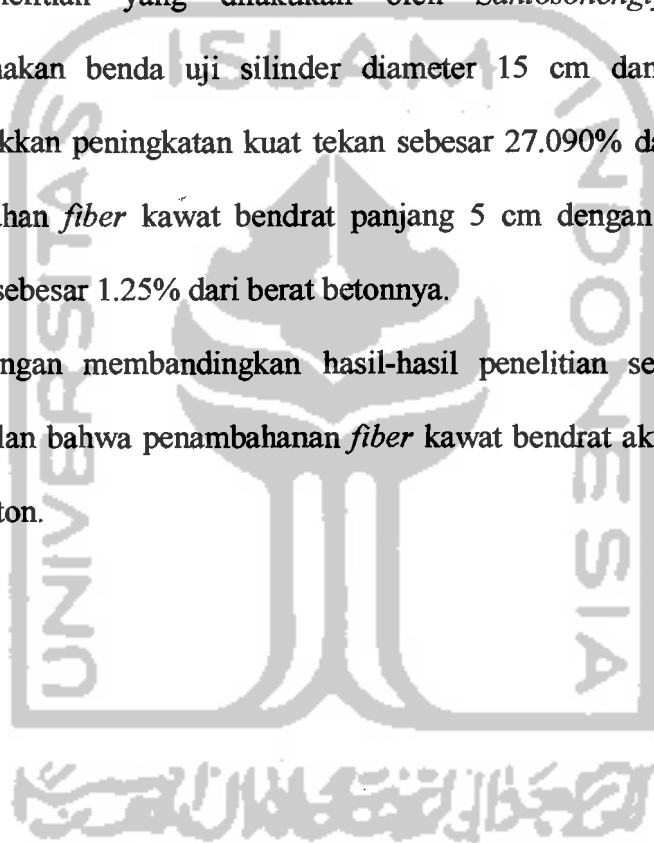
Dari Tabel 5.3 dan Tabel 5.4 dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan konsentrasi *fiber* kawat bendrat akan semakin meningkatkan kuat tekan beton tersebut. Pada tampang pecah dan retak terlihat bahwa benda uji beton non *fiber* memiliki ukuran retak yang cukup besar dan arah retak yang relatif beraturan. Sedangkan untuk benda uji beton *fiber*, ukuran retak relatif kecil dan arah retak yang sembarang. Hal tersebut disebabkan oleh orientasi random dari sebaran *fiber* akan dapat menghalangi ukuran retak yang berlebihan akibat pembebanan.

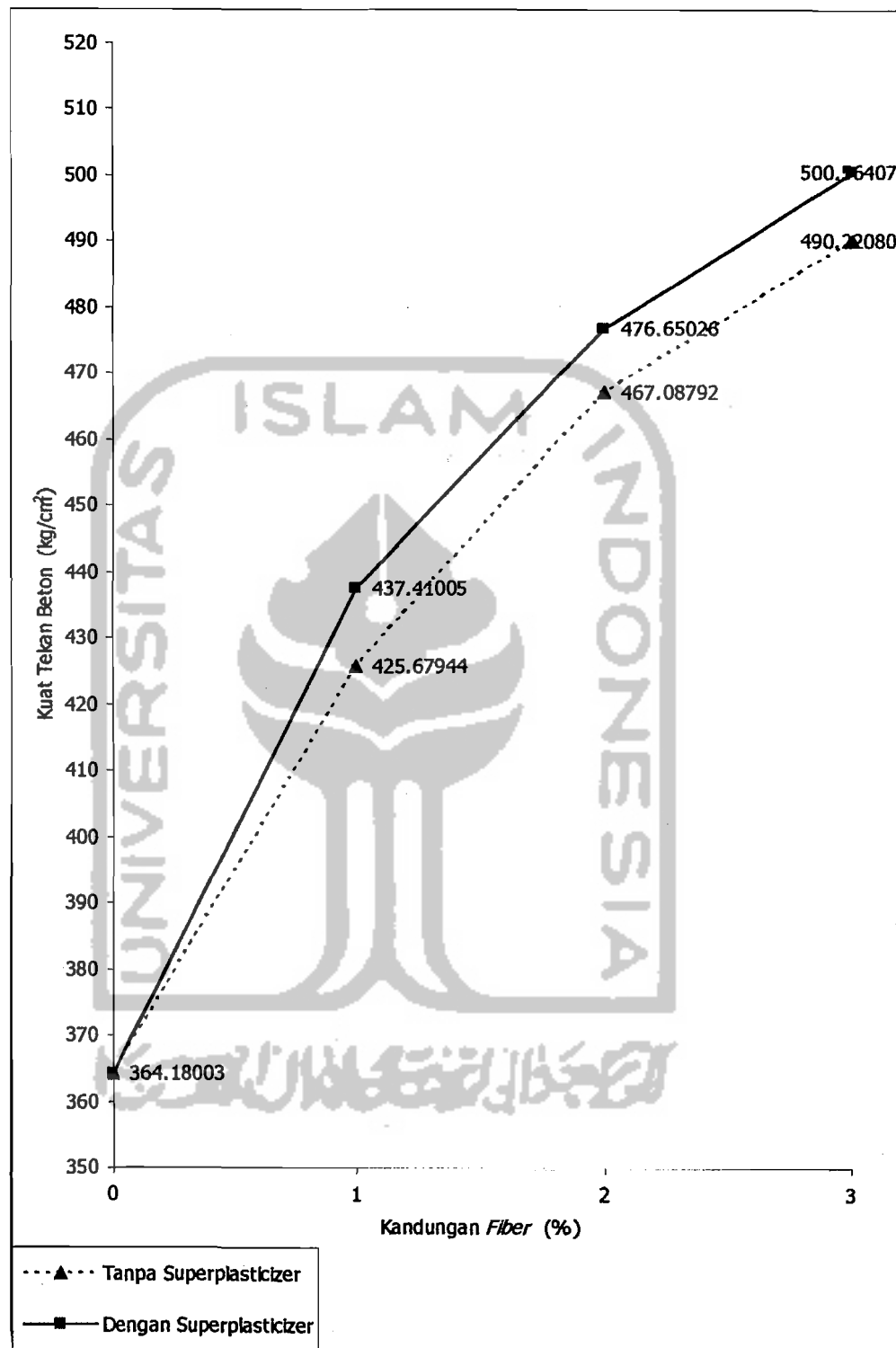
Pada tabel 5.5 dapat dilihat bahwa penggunaan *superplasticizer* akan meningkatkan kuat tekan beton *fiber* rata-rata sebesar 2.304%. Peningkatan terbesar dicapai pada kandungan *fiber* 1% yaitu sebesar 2.756%, selanjutnya pada kandungan *fiber* 3% sebesar 2.110%, dan terakhir adalah kandungan *fiber* 2% sebesar 2.047%. Peningkatan kuat tekan akibat adanya penambahan *superplasticizer* ini dimungkinkan terjadi karena semakin meratanya *fiber dispersion* pada adukan beton sehingga *fiber* berfungsi layaknya tulangan pada beton.

Hasil yang sama ditunjukkan oleh *Rahayu dan Trihandoko* (1996) dengan menggunakan benda uji kubus 15 x 15x 15 (cm) dan jenis *steel fibers* berupa kawat bendrat yang dipotong sepanjang 5 cm mendapatkan hasil peningkatan kuat tekan sebesar 22.0036% dan 36.1554% dari kuat tekan beton normal untuk konsentrasi penambahan *fiber* sebesar 2% dan 3% dari berat betonnya.

Penelitian yang dilakukan oleh *Santosenengtyas* (1991) dengan menggunakan benda uji silinder diameter 15 cm dan tinggi 30 cm juga menunjukkan peningkatan kuat tekan sebesar 27.090% dari beton normal pada penambahan *fiber* kawat bendrat panjang 5 cm dengan orientasi penyebaran random sebesar 1.25% dari berat betonnya.

Dengan membandingkan hasil-hasil penelitian sebelumnya didapatkan kesimpulan bahwa penambahan *fiber* kawat bendrat akan meningkatkan kuat tekan beton.





Gambar 5.2
Grafik Hubungan Kuat Tekan Silinder Beton
Pada Tiap Kenaikan Kandungan *Fiber*

5.4 Kuat Tarik

Pengujian kuat tarik dilakukan dengan metode uji belah silinder (*tensile splitting cylinder test*). Peningkatan kuat tarik tertinggi sebesar 67.297% sebagaimana tersaji dalam tabel 5.5 dan Tabel 5.7 dicapai oleh beton dengan kandungan *fiber* sebesar 3% dari berat adukan beton dengan penambahan *superplasticizer* sebesar 1% dari berat semen.

Adapun contoh penghitungan untuk mencari kuat tarik benda uji beton silinder sebagaimana tersaji dalam Tabel 5.6 dengan menggunakan rumus (4.4) adalah sebagai berikut:

Dari data pengamatan dan pengujian benda uji BN-1 (Beton Normal) didapat:

$$F = 230 \text{ KN}$$

$$= 23000 \text{ kg}$$

$$l = 30.000 \text{ cm}$$

$$d = 14.980 \text{ cm}$$

$$\sigma_u = \frac{2 F}{\pi l d}$$

$$= \frac{2 \cdot 23000}{\pi \cdot 30 \cdot 14.980}$$

$$= 32.59831 \text{ kg/cm}^2$$

Demikian seterusnya sehingga didapatkan data kuat tarik beton normal masing-masing benda uji, selanjutnya dirata-rata untuk mendapatkan nilai kuat tarik betonnya. Hal tersebut diulang untuk setiap variabel benda uji.

Adapun untuk penghitungan Tabel 5.7, Tabel 5.8, dan Tabel 5.9 sama seperti penghitungan secara berurutan untuk Tabel 5.3, Tabel 5.4, dan Tabel 5.5.

Tabel 5.6
Hasil Pengujian Kuat Tarik

No.	Variasi Penambahan		Kuat Tarik (kg/cm ²)
	KB	SP	
1	0%	0%	32.34189
2	1%	0%	40.35611
3	2%	0%	46.21567
4	3%	0%	50.75478
5	1%	1%	42.94993
6	2%	1%	47.35727
7	3%	1%	54.10710

Tabel 5.7
Persentase Perubahan Kuat Tarik Beton *Fiber* Tanpa *Superplasticizer*
Terhadap Beton Non *Fiber*

No.	Kode Benda Uji	Kuat Tarik	Penambahan
		(kg/cm ²)	(%)
1	BN	32.34189	0
2	BN + KB 1%	40.35611	24.780
3	BN + KB 2%	46.21567	42.897
4	BN + KB 3%	50.75478	56.932

Tabel 5.8
Persentase Perubahan Kuat Tarik Beton *Fiber* Dengan *Superplasticizer*
Terhadap Beton Non *Fiber*

No.	Kode Benda Uji	Kuat Tarik	Penambahan
		(kg/cm ²)	(%)
1	BN	32.34189	0
2	BN + KB 1% + SP	42.94993	32.800
3	BN + KB 2% + SP	47.35727	46.427
4	BN + KB 3% + SP	54.10710	67.297

Tabel 5.9
 Persentase Perubahan Kuat Tarik Beton *Fiber*
 Akibat Penambahan *Superplasticizer*

No.	Variasi Fiber	Kuat Tekan Beton Fiber	Kuat Tarik Beton Fiber SP	Penambahan
		(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)
1	1%	40.35611	42.94993	6.427
2	2%	46.21567	47.35727	2.470
3	3%	50.75478	54.10710	6.605
Penambahan Rata-Rata				5.167

Sejalan dengan kenaikan kandungan *fiber* menunjukkan kuat tarik beton *fiber* semakin meningkat (tabel 5.6 dan gambar 5.3). Kenaikan kuat tarik beton tersebut disebabkan semakin tinggi konsentrasi penambahan *fiber* berarti jumlah *fiber* tiap satuan volume untuk menahan tarikan akan meningkat, sehingga untuk konsentrasi *fiber* tinggi beton *fiber* akan lebih mampu menahan tarikan.

Penambahan *superplasticizer* pada adukan beton akan mengakibatkan kenaikan nilai *slump* beton *fiber* sehingga adukan beton lebih mudah dikerjakan. Dengan semakin mudahnya pengerjaan adukan beton maka *fiber* dalam beton *fiber* dapat tersebar merata pada seluruh bagian beton sehingga akan berfungsi layaknya tulangan yang mampu menahan tarik.

Pada pengujian kuat tarik ini silinder beton akan pecah/retak searah dengan panjang silinder. Pada pengujian kuat tarik beton non *fiber*, pecahnya benda uji terjadi secara tiba-tiba tanpa suatu tanda awal dengan diiringi bunyi letusan. Benda uji terbelah sempurna dan tiap bagian akan rebah ke samping. Hasil berbeda ditunjukkan oleh beton *fiber*, yaitu benda uji silinder akan retak secara perlahan karena energi tarikan akan ditahan oleh *fiber* yang ada didalam

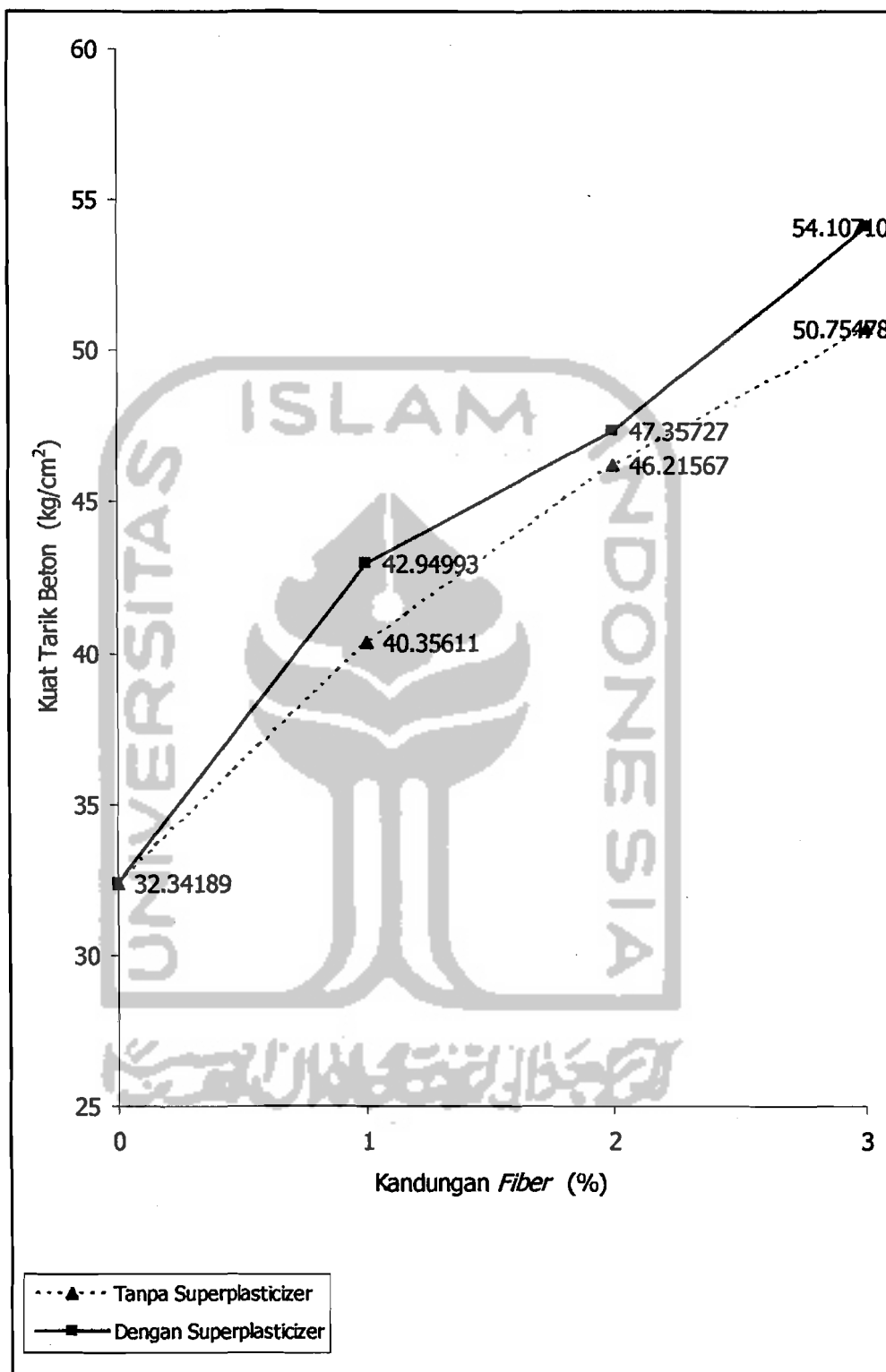
beton, sehingga retak benda uji tidak diiringi bunyi letusan. Pada benda uji beton *fiber*, *fiber* yang ada sudah mampu menahan tarikan sehingga tidak diperoleh belah yang sempurna dan pecahan silinder masih tetap dalam posisi bergandengan ditahan oleh *fiber* yang ada.

Pemeriksaan tampang pecah terlihat bahwa beberapa *fiber* tercabut dari betonnya dan ada sebagian yang terputus. Hal ini menunjukkan bahwa kuat tarik serat kawat bendrat mampu menahan tegangan tarik yang terjadi, sedang retak/pecahnya benda uji silinder diakibatkan oleh karena tegangan lekat (*bond strength*) antara *fiber* dengan beton serta kuat tarik yang dimiliki *fiber* kawat bendrat telah dilampaui oleh tegangan tarik akibat pembebanan.

Pengujian yang dilakukan oleh Santosonengtyas (1991) juga memperlihatkan peningkatan kuat tarik akibat adanya penambahan *fiber* kawat bendrat sepanjang 5 cm tanpa pembengkokan dikedua ujungnya. Konsentrasi penambahan *fiber* sebesar 0.5%, 0.75%, 1.0%, dan 1.25% dari berat betonnya akan meningkatkan kuat tarik beton sebesar 2.106%, 3.855%, 13.767%, dan 28.831% terhadap kuat tarik beton normalnya.

Demikian halnya yang pada penelitian yang dilakukan oleh Suhendro (1997) dalam Yulianto dan Hamdi (2000) memberikan hasil adanya peningkatan sebesar 52% pada beton *fiber* dengan konsentrasi penambahan sebesar 0.7% dari berat betonnya.

Merujuk dari dua penelitian di atas dapat diberikan kesimpulan bahwa penambahan *fiber* kawat bendrat akan meningkatkan kuat tarik beton seiring dengan penambahan konsentrasi *fiber* kawat bendrat dalam betonnya..



Gambar 5.3
Grafik Hubungan Kuat Tarik Beton Pada Tiap Kenaikan Kandungan *Fiber*

5.5 Kuat Lentur

Pengujian kuat lentur dilakukan terhadap benda uji balok dengan dua tumpuan dan dua titik pembebanan. Sehingga didapat daerah momen maksimum pada daerah $L/3$ tepat di tengah-tengah bentang.

Pada pengujian balok uji beton non *fiber*, pada saat beban mencapai maksimum dan terjadi retak pertama maka balok akan segera runtuh. Sedangkan pada balok uji beton *fiber*, secara umum beban masih dapat meningkat setelah terjadi retak pertama meskipun peningkatan tersebut tidak begitu besar. Keruntuhan akan terjadi secara perlahan diawali suatu retak kecil yang makin lama makin bertambah besar. Adapun keruntuhan balok uji beton *fiber* tidak terjadi secara total karena retak-retak akan tertahan oleh serat kawat bendrat yang ada.

Hasil pengujian kuat lentur sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 5.10 dan Gambar 5.4 bahwa peningkatan kuat lentur balok uji beton seiring dengan naiknya konsentrasi *fiber* terhadap adukan beton. Kenaikan lebih tinggi didapat pada balok uji beton *fiber* dengan tambahan zat *additive superplasticizer* sebesar 1% dari berat semen.

Penambahan *superplasticizer* akan meningkatkan nilai *slump* dan *workability* sehingga *fiber* dapat tersebar dengan merata pada setiap bagian balok uji beton. Dengan semakin tingginya konsentrasi *fiber* terhadap adukan beton maka jumlah *fiber* tiap satuan volume akan semakin tinggi pula sehingga akan lebih mampu menahan kuat lentur yang terjadi.

Adapun contoh penghitungan untuk mencari kuat lentur benda uji balok beton sebagaimana tersaji dalam Tabel 5.10 digunakan rumus (4.5) adalah sebagai berikut:

Dari data pengamatan dan pengujian benda uji BN-1 (Beton Normal) didapat:

$$F = 1702.5 \text{ kg}$$

$$L = 30.00 \text{ cm}$$

$$b = 9.90 \text{ cm}$$

$$h = 10.50 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{tr} &= \frac{F}{b} \frac{L}{h^2} \\ &= \frac{1702.5}{9.90} \frac{30}{(10.50)^2} \\ &= 46.79448 \text{ kg/cm}^2\end{aligned}$$

Demikian seterusnya sehingga didapatkan data kuat lentur beton normal masing-masing benda uji, selanjutnya dirata-rata untuk mendapatkan nilai kuat lentur betonnya. Hal tersebut diulang untuk setiap variabel benda uji.

Adapun untuk penghitungan Tabel 5.11, Tabel 5.12, dan Tabel 5.13 sama seperti penghitungan secara berurutan untuk Tabel 5.3, Tabel 5.4, dan Tabel 5.5.

Tabel 5.10
Hasil Pengujian Kuat Lentur

No.	Variasi Penambahan		Kuat Lentur (kg/cm ²)
	KB	SP	
1	0%	0%	47.42903
2	1%	0%	56.00569
3	2%	0%	61.14537
4	3%	0%	66.44269
5	1%	1%	59.35838
6	2%	1%	63.91476
7	3%	1%	72.09465

Tabel 5.11
Persentase Penambahan Kuat Lentur Beton *Fiber* Tanpa *Superplasticizer*
Terhadap Beton Non *Fiber*

No.	Kode: Benda Uji	Kuat Lentur	Penambahan
		(kg/cm ²)	(%)
1	BN	47.42903	0
2	BN + KB 1%	56.00569	18.083
3	BN + KB 2%	61.14537	28.920
4	BN + KB 3%	66.44269	40.089

Tabel 5.12
Persentase Penambahan Kuat Lentur Beton *Fiber* Dengan *Superplasticizer*
Terhadap Beton Non *Fiber*

No.	Kode: Benda Uji	Kuat Lentur	Penambahan
		(kg/cm ²)	(%)
1	BN	47.42903	0
2	BN + KB 1% + SP	59.35838	25.152
3	BN + KB 2% + SP	63.91476	34.759
4	BN + KB 3% + SP	72.09465	52.005

Tabel 5.13
 Persentase Perubahan Kuat Lentur Beton *Fiber*
 Akibat Penambahan *Superplasticizer*

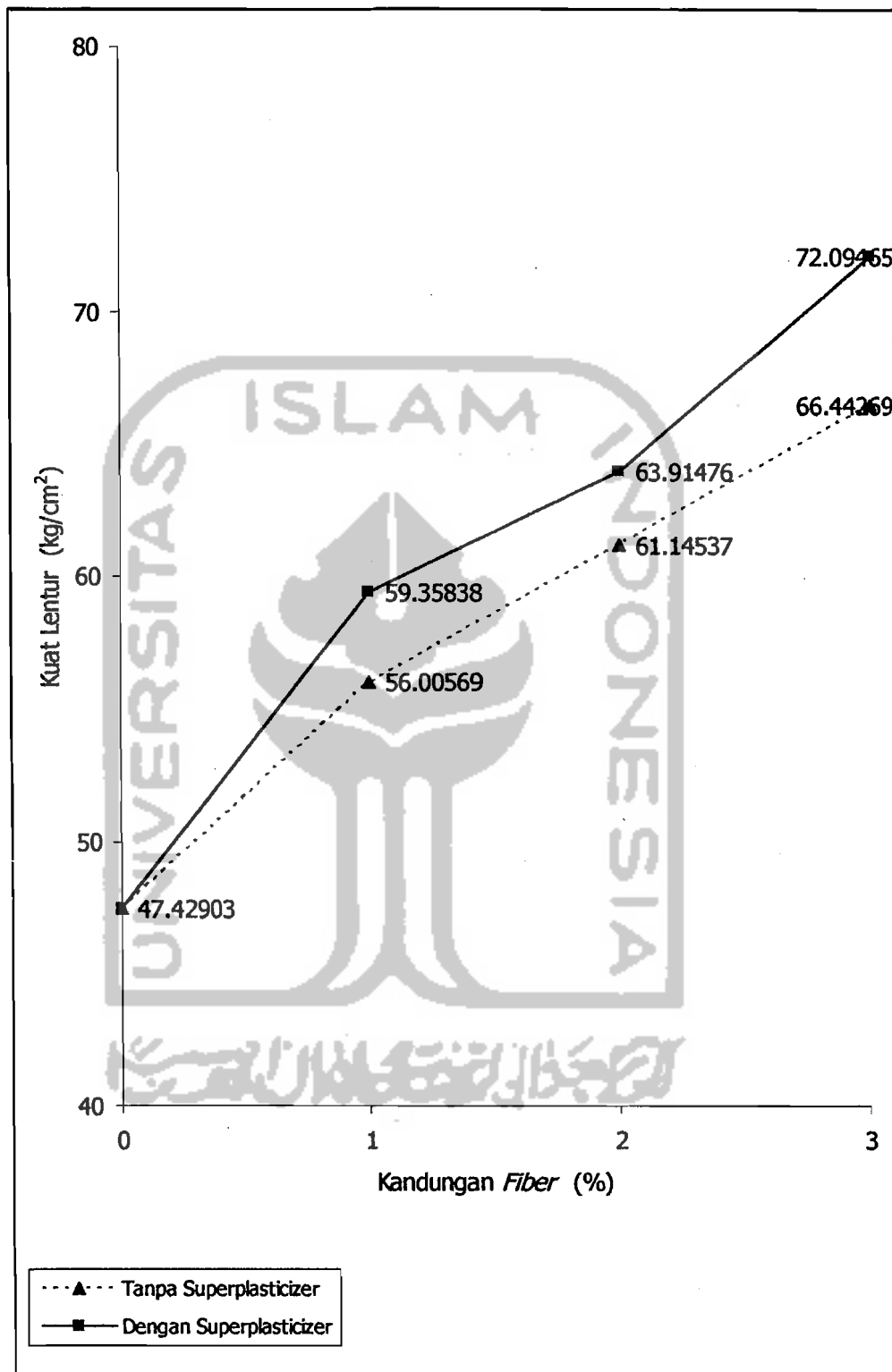
No.	Variasi Fiber	Kuat Tekan Beton Fiber	Kuat Lentur Beton Fiber SP	Penambahan
		(kg/cm ²)	(kg/cm ²)	(%)
1	1%	56.00569	59.35838	5.986
2	2%	61.14537	63.91476	4.529
3	3%	66.44269	72.09465	8.507
Penambahan Rata-Rata				6.341

Pada tampang pecah balok uji beton non *fiber*, retakan yang terjadi hampir tepat di tengah-tengah bentang. Adapun balok uji beton *fiber*, retakan yang terjadi tidak pasti tepat di tengah-tengah bentang dan terlihat banyaknya *fiber* yang tercabut dan terputus dengan panjang yang bervariasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa posisi retakan pada beton *fiber* sangat ditentukan oleh posisi *fiber* dalam beton.

Santosenengtyas (1991) memberikan kesimpulan bahwa dengan adanya penambahan *fiber* kawat bendrat beraspek rasio 32.34 ke dalam adukan beton sebesar 0.5%, 0.75%, 1.0%, dan 1.25% dari berat adukan beton akan meningkatkan kuat lentur beton sebesar 1.007%, 1.405%, 5.034%, dan -3.146% terhadap beton normalnya.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *fiber* kawat bendrat sebesar 1%, 2%, dan 3% dari berat beton akan meningkatkan kuat lentur beton sebesar 18.083%, 28.920%, dan 40.089% dari beton normalnya.

Penurunan yang terjadi pada penelitian yang dilakukan oleh Santosonengtyas (1991) dimungkinkan semakin sulitnya penyebaran *fiber* karena semakin tingginya konsentrasi *fiber*. Hal lain yang menyebabkan semakin sulitnya penyebaran *fiber* tersebut juga karena nilai *slump* yang digunakan dalam perencanaan hanya berkisar 30 – 60 mm sehingga saat ditambahkan *fiber* kawat bendrat dengan konsentrasi 1.25% dari berat beton sudah menyebabkan *balling effect* yang akan mempersulit proses pendistribusian *fiber* kawat bendrat pada adukan beton. Namun demikian aspek rasio *fiber* pada penelitian Santosonengtyas (1991) hanya 32.34, seharusnya berdasarkan teori yang dikemukakan Brigg, dkk (1974) masih relatif mudah dalam pengerjaannya walaupun tidak akan terjadi ikatan yang baik dengan betonnya serta dapat dipencarkan oleh suatu getaran, sehingga dapat dikatakan bahwa proses pengerjaan (pengadukan, pengangkutan, dan pengecoran) benda uji kurang sempurna.



Gambar 5.4
Grafik Hubungan Kuat Lentur Beton Pada Tiap Kenaikan Kandungan *Fiber*

5.6 Modulus Elastisitas

Kemampuan bahan untuk menahan beban yang didukung dan perubahan bentuk (deformasi) yang terjadi sangat tergantung pada sifat tegangan dan regangannya. Secara teoritis penambahan *fiber* ke dalam adukan beton akan meningkatkan kekakuan beton, yaitu ketahanan terhadap perubahan bentuk. Hal ini dapat ditunjukkan dengan semakin meningkatnya modulus elastisitas pada diagram tegangan-regangan beton *fiber*.

Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan bahwa akibat penambahan *fiber* ke dalam adukan akan meningkatkan nilai modulus elastisitas meskipun peningkatan yang terjadi tidak begitu besar. Modulus elastisitas terbesar dicapai oleh kandungan *fiber* 2% dengan tambahan *superplasticizer*, yaitu sebesar 167865.057 kg/cm².

Hal terpenting yang perlu diperhatikan dalam pengujian tegangan-regangan adalah kondisi permukaan benda uji silinder. Permukaan yang lebih rata akan menghasilkan nilai modulus elastisitas yang cukup representatif karena distribusi beban akan tersebar secara merata ke seluruh permukaan benda uji.

Adapun cara penghitungan modulus elastisitas (E) didapatkan sebagai berikut:

Untuk benda uji beton *fiber* kawat bendrat 1% - 1 (KB 1% - 1) didapatkan data

$$\sigma_{maks} : 433.17431 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{maks \frac{1}{2}} : 216.58716 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varepsilon_{\frac{1}{2}} : 1.37333 \times 10^{-3}$$

$$\begin{aligned}
 E &= \frac{\frac{1}{2}\sigma_{maks}}{\epsilon_{\frac{1}{2}}} \\
 &= \frac{216.58716}{1.37333 \times 10^{-3}} \\
 &= 157709.476
 \end{aligned}$$

dari ketiga benda uji dicari masing-masing nilai modulus elastisitasnya kemudian dirata-rata sehingga didapatkan modulus elastisitas benda uji pada variabel tersebut.

Tabel 5.14
Modulus Elastisitas Beton

No.	Variasi Penambahan		Modulus Elastisitas (kg/cm ²)
	KB	SP	
1	0%	0%	137723.940
2	1%	0%	155538.554
3	2%	0%	164373.526
4	3%	0%	163251.490
5	1%	1%	159681.896
6	2%	1%	167865.057
7	3%	1%	161112.005