

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, didapatkan data primer berupa kuat desak silender beton, dan kuat lentur beton bertulang dengan atau tanpa bahan tambah berupa gergajian batu andesit. Data tersebut di analisis untuk memperoleh kekakuan dari beban dan lendutan serta faktor kekakuan dari momen kelengkungan.

5.1.1 Hasil uji kandungan kimia gergajian batu andesit

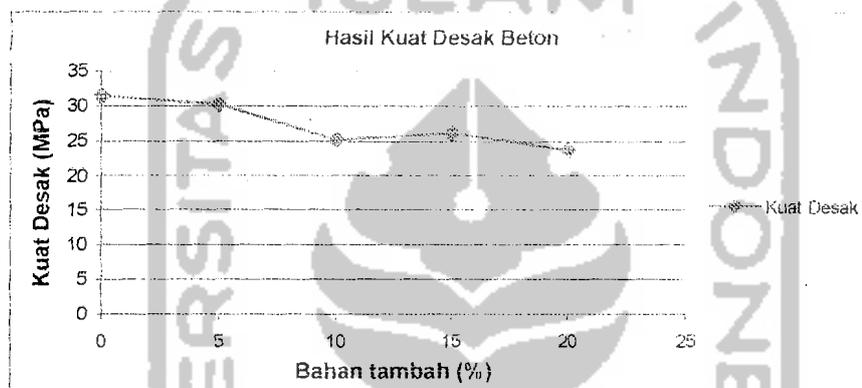
Berdasarkan hasil uji kandungan kimia, di peroleh prosentasi silika sebesar 15,76%. Data tersebut kemudian dianalisa dan dicari pengaruhnya terhadap perubahan jumlah senyawa kimia semen Portland jenis I seperti tampak pada Tabel 5.1

Tabel 5.1 Hasil Analisis Silika Gergajian Batu Andesit

Jenis Semen	Prosentasi (%)				Silika Ratio (SR)
	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	
Jenis I	54,1	16,61	10,83	9,12	2,22
Modifikasi 5%	44,42	23,29	10,68	8,66	2,27

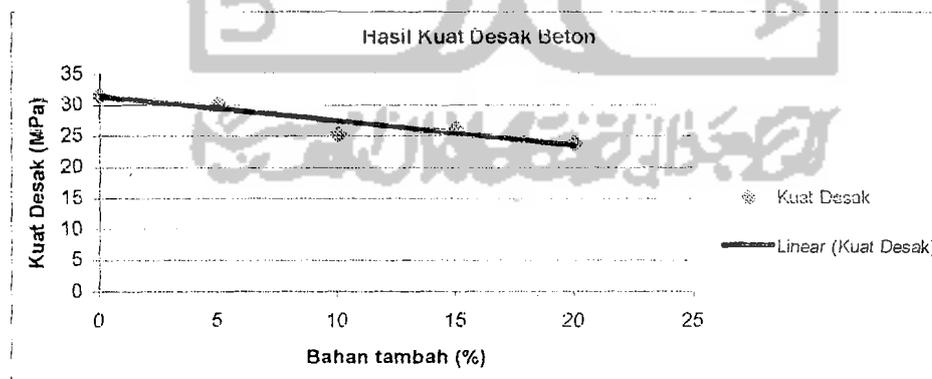
5.1.2 Hasil uji kuat desak beton

Kuat desak beton yang direncanakan pada umur 28 hari adalah 22.5 MPa. Dari hasil uji kuat desak beton, dapat digambarkan diagram yang memberikan hubungan prosentasi gergajian batu andesit terhadap penurunan kuat desak beton sebagai berikut.



Gambar 5.1 Grafik Penurunan Kuat Desak Silender Beton

Dari Gambar 5.1 kemudian diregresi menghasilkan Gambar 5.2.



Gambar 5.2 Grafik Hasil regresi Penurunan Kuat Desak Silender Beton

Hasil analisis dari Gambar 5.1 dapat dilihat dari Tabel 5.2 berikut:

Tabel 5.2 Hasil Uji Desak Silender Beton

Sampel	f'_{cr} (MPa)	Standar Deviasi	f'_{c} (MPa)	f'_{c} (%)
Variasi 0%	33,51	1,220	31,50	100.00
Variasi 5%	33,34	1,860	30,29	96.16
Variasi 10%	27,69	1,504	25,23	80.10
Variasi 15%	28,20	1,250	26,15	83.02
Variasi 20%	26,16	1,490	23,72	75.30

5.13 Hasil uji kuat tarik baja tulangan

Untuk mengetahui Kualitas baja tulangan yang terpasang dalam sampel balok, dilakukan uji tarik baja ditunjukkan pada Tabel 5.3 berikut:

Tabel 5.3 Hasil Uji Tarik Baja

Diameter (mm)	Kuat Lelah (MPa)	Kuat Tarik Maximum (MPa)
6	284,76	396,89
8	280,33	404,53
12	353,98	514,31

5.1.4 Hasil uji lentur balok beton bertulang

Hasil pengujian balok beton bertulang dengan atau tanpa bahan tambah gergajian batu andesit pada penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

1. Hubungan beban dan lendutan

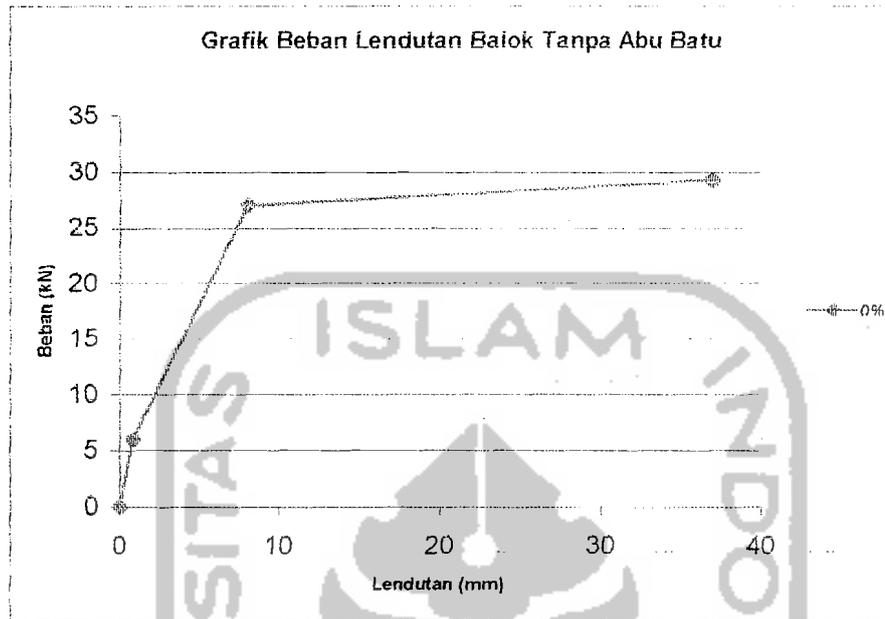
Pelaksanaan uji kuat lentur dilaksanakan di laboratorium struktur Fakultas Teknik sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia. Pada pengujian kuat lentur

balok diberi pembebanan dengan metoda "Central Difference". Pembebanan dilakukan dengan kenaikan sebesar 1,5 kN, kemudian tahap pembebanan lendutan yang terjadi dicatat. Di bawah ini disajikan hasil pengujian balok normal.

Tabel. 5.4 Hasil Pengujian Lentur Balok Tanpa Abu Batu

No	P (kN)	Defleksi ($\times 10^{-2}$ m)		
		D1	d2	d3
1	0.00	0.0	0.0	0.0
2	1.50	13.0	18.0	16.0
3	3.00	31.0	36.0	34.0
4	4.50	57.8	63.0	58.5
5	6.00	81.0	86.0	81.5
6	7.50	116.0	128.0	115.0
7	9.00	159.0	175.0	158.0
8	10.50	212.0	237.0	215.0
9	12.00	258.0	293.0	260.0
10	13.50	305.0	346.0	309.0
11	15.00	355.0	407.0	358.0
12	16.50	408.0	472.0	411.0
13	18.00	458.0	529.0	480.0
14	19.50	510.0	594.0	522.0
15	21.00	559.0	652.0	564.0
16	22.50	607.0	705.0	605.0
17	24.00	657.0	755.0	648.0
18	25.50	704.0	810.5	705.0
19	27.00	922.0	1035.0	930.0
20	27.50	1460.0	1586.0	1483.0
21	27.75	1620.0	1753.0	1615.0
22	28.50	1934.0	2153.0	1935.0
23	28.50	2875.0	3200.0	2865.0
24	28.50	3154.0	3745.0	3160.0

Berdasarkan hasil pengujian kuat lentur balok normal yang terdapat dalam Tabel 5.4 dapat digambarkan grafik hubungan beban dengan lendutan (P- Δ). Sedangkan grafik hubungan beban lendutan (P- Δ) dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut ini.



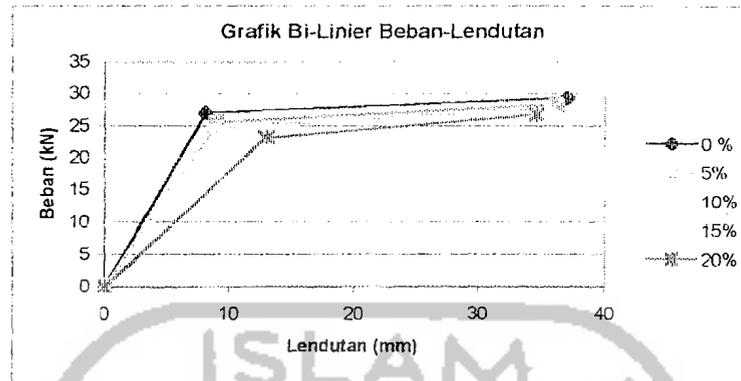
Gambar 5.3 Diagram Hubungan Beban dan Lendutan

Hubungan beban – lendutan uji kuat lentur balok normal, dan balok dengan penggantian sebagian semen ditunjukkan dalam lampiran 13. Dari Gambar 5.3 nampak pada saat beton sebelum retak nilai kekakuan struktur balok lebih besar, kemudian pada saat setelah retak kekakuan berkurang, dan pada saat elastis kekakuan balok paling kecil, hal ini disebabkan beban yang terjadi relatif konstan tetapi lendutan balok semakin besar.

2. Grafik beban – lendutan balok normal, balok dengan penggantian sebagian semen

Grafik beban – lendutan balok normal, balok dengan penggantian sebagian semen ditunjukkan pada Gambar 5.4 sebagai berikut:





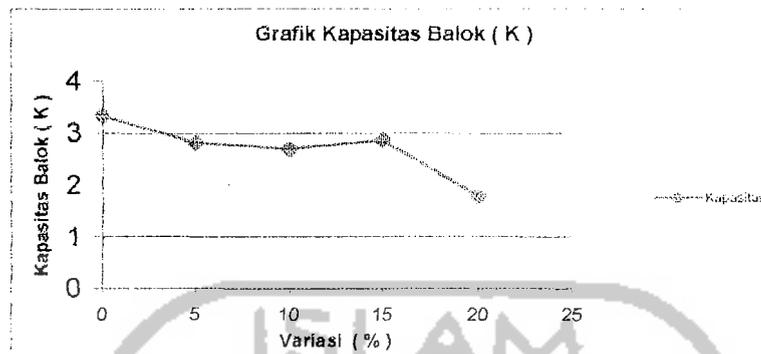
Gambar 5.4 Diagram Hubungan Beban Lendutan Balok Normal dan Balok Dengan Penggantian sebagian semen

Dari Gambar 5.4 terlihat bahwa kekakuan balok pada saat elastis lebih besar dibandingkan dengan pada saat plastis. Hasil analisis hubungan beban dan lendutan dapat dilihat pada Tabel 5.5. Balok tanpa bahan tambah (Variasi 0 %) dianggap mempunyai kekakuan 100 %.

Tabel 5.5 Hasil Analisis Hubungan beban dan Lendutan

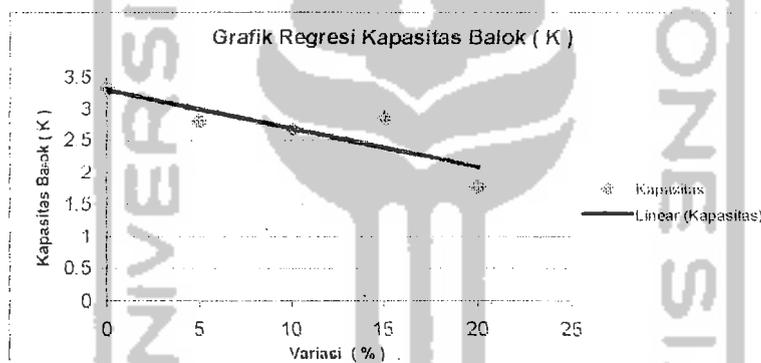
V_{ult} (%)	P (kN)	P (%)	Δ_p (mm)	K (kN/mm)	K (%)
0	27.00	100.00	8.10	3.33	100.00
5	25.50	94.44	9.06	2.81	84.38
10	24.75	91.67	9.20	2.69	80.78
15	24.75	91.67	8.65	2.86	85.89
20	23.25	86.11	13.00	1.79	53.75

Dari hasil analisis beban dan lendutan dapat digambarkan grafik penurunan kekakuan balok beton bertulang seperti tampak pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Grafik Penurunan Kekakuan Balok

Dari Gambar 5.5 kemudian diregresi menghasilkan Gambar 5.6



Gambar 5.6 Grafik Regresi Penurunan Kekakuan Balok

3. Hubungan momen - kelengkungan

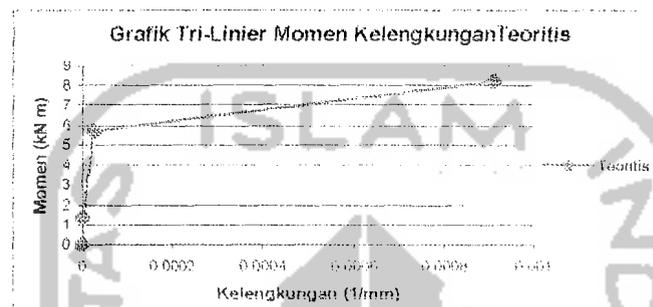
Hasil perhitungan momen dan kelengkungan secara teoritis disajikan pada

Tabel 5.6 berikut:

Tabel 5.6 Hasil Hitungan Momen-Kelengkungan Teoritis

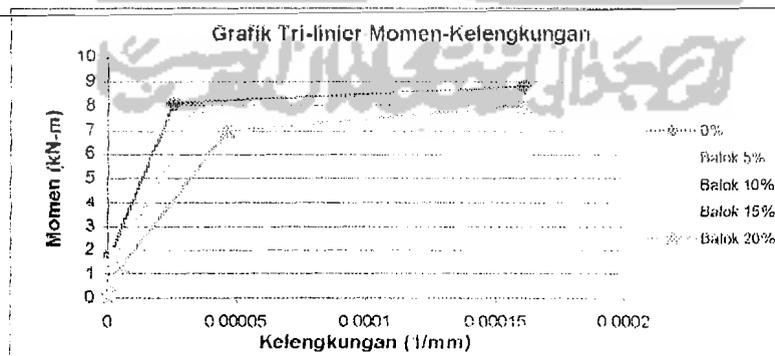
M_{cr} (KN mm)	M_y (KN mm)	M_u (KN mm)	ϕ_{cr} (rad/mm)	ϕ_y (rad/mm)	ϕ_u (rad/mm)
1.38	5.74	8.239	$1.68 \cdot 10^{-1}$	$2.48 \cdot 10^{-5}$	$9.10 \cdot 10^{-1}$

Berdasarkan data hasil hitungan momen kelengkungan teoritis di atas maka dapat digambarkan grafik hubungan antara momen dan kelengkungannya (Gambar 5.7).



Gambar 5.7 Grafik Tri-linier Momen - Kelengkungan

Dari Gambar 5.7 terlihat bahwa faktor kekakuan struktur terbesar pada saat balok beton sebelum retak, kemudian berkurang setelah balok retak dan faktor kekakuan paling kecil pada saat beton plastis karena momen relatif tetap sedangkan kelengkungan bertambah. Gambar gabungan grafik tri-linier momen - kelengkungan dari setiap variasi balok beton bertulang seperti di tunjukkan pada Gambar 5.8



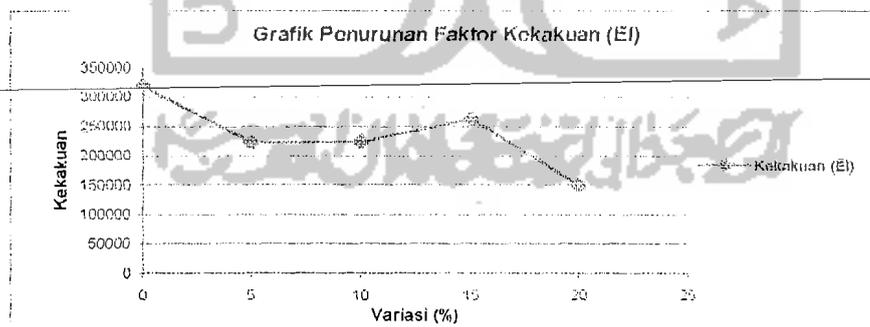
Gambar 5.8 Grafik Tri-linier Momen Kelengkungan Untuk Balok Normal dan Balok Dengan Penggantian Sebagian Semen

Dari hasil analisis momen dan kelengkungan didapatkan faktor kekakuan yang disajikan pada Tabel 5.7. Balok tanpa penggantian semen (variasi 0 %) dianggap mempunyai momen dan faktor kekakuan 100 %.

Tabel 5.7 Hasil Analisis Momen Kelengkungan dengan faktor kekakuan

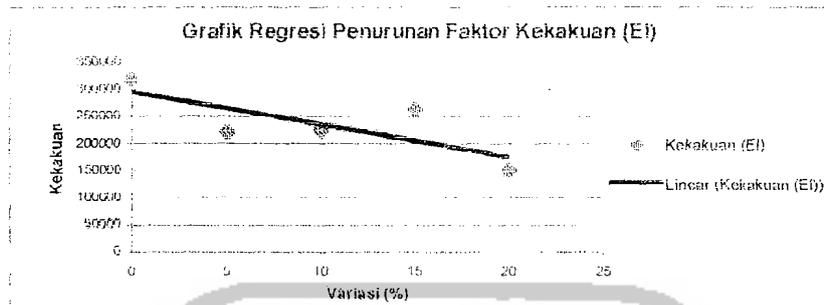
Var. (%)	M_y (kN-mm)	ψ_y (1/mm)	EI (kN-mm ²)	M_y (%)	EI (%)
Teori (0%)	5.740	$2.48 \cdot 10^{-5}$	231451.61	70.86	72.58
0	8.100	$2.54 \cdot 10^{-5}$	318897.60	100.00	100.00
5	7.650	$3.44 \cdot 10^{-5}$	222383.70	94.44	69.74
10	6.975	$3.10 \cdot 10^{-5}$	225000.00	86.11	70.56
15	7.425	$2.82 \cdot 10^{-5}$	263297.90	91.66	82.56
20	6.975	$4.62 \cdot 10^{-5}$	150974.00	86.11	47.34

Dari data pada Tabel 5.7 dapat digambarkan Grafik penurunan faktor kekakuan (EI) seperti ditunjukkan pada Gambar 5.9



Gambar 5.9 Grafik Penurunan Faktor Kekakuan

Dari Gambar 5.9 kemudian diregresi menghasilkan Gambar 5.10



Gambar 5.10 Grafik Regresi Penurunan Faktor Kekakuan (EI)

5.2 Pembahasan

Dalam hasil analisis ini kami tidak membahas kandungan pori-pori yang terdapat dalam beton.

5.2.1 Kandungan silika gergajian batu andesit

Kandungan unsur kimia yang terdapat dalam gergajian batu andesit dianalisa di Laboratorium Analisis Kimia dan Fisika UGM Yogyakarta. Dari hasil penelitian tersebut ternyata kandungan unsur kimia yang terdapat dalam gergajian batu andesit tersebut mengalami penurunan, terutama unsur SiO_2 , Al_2O_3 , CaO yang merupakan unsur pendukung pokok dari semen. Penurunan kandungan unsur kimia terutama SiO_2 ini disebabkan karena ikatan kovalen antara molekul-molekul SiO_2 yang terdapat dalam batu andesit tersebut terpotongnya akibat adanya pengergajian batu tersebut. Hasil analisis kandungan kimia Gergajian batu andesit (Tabel 5.8).

Tabel 5.8 Kandungan Unsur Kimia Limbah Gergajian Batu Andesit

Parameter	Hasil analisa (%)
SiO_2	15.72
CaO	0.1034
Al_2O_3	2.97

Sumber: Laboratorium Analisa Kimia dan Fisika UGM Yogyakarta

Dari data prosentase silika Gergajian batu andesit dapat dihitung perubahan jumlah senyawa kimia semen portland. Dengan membandingkan kandungan senyawa kimia untuk semen portland jenis I dan semen dengan penggantian semen dengan Gergajian batu andesit dapat diketahui adanya penurunan jumlah senyawa kimia semen. Hasil dari perhitungan tersebut kemudian dibandingkan dengan data pada Lampiran 12 dan ternyata penambahan gergajian batu andesit 10% dari berat semen mengubah sifat semen portland dari jenis I menjadi jenis semen lain.

5.2.2 Kuat desak beton

Dari beban (P) dan luas penampang (A) silinder beton, kuat desak yang terjadi dapat diketahui. Dengan membandingkan kuat desak silinder beton untuk variasi normal dengan variasi campuran abu batu andesit akan didapatkan besarnya prosentase kenaikan/penurunan kuat desak sebagai berikut:

- a. Silinder beton dengan variasi campuran abu batu andesit 5% dari berat semen mengalami penurunan kuat desak beton sebesar 1.21 Mpa atau 3.84%
- b. Silinder beton dengan variasi campuran abu batu andesit 10% dari berat semen mengalami penurunan kuat desak beton sebesar 6.27 Mpa atau 19.90%
- c. Silinder beton dengan variasi campuran abu batu andesit 15% dari berat semen mengalami penurunan kuat desak beton sebesar 5.35 Mpa atau 16.98%
- d. Silinder beton dengan variasi campuran abu batu andesit 20% dari berat semen mengalami penurunan kuat desak beton sebesar 7.78 Mpa atau 24.70%.

Dengan memperhatikan data-data di atas terlihat bahwa penggantian sebagian semen dengan gergajian batu andesit ternyata mengakibatkan terjadinya penurunan

kuat desak beton. Hal ini dikarenakan kandungan senyawa C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF berkurang akibat penggantian semen dengan gergajian batu andesit (Lampiran 12). Kandungan senyawa C_3S , C_2S , C_3A dan C_4AF berkurang diakibatkan ikatan molekul-molekul kovalen yang terdapat dalam SiO_2 terputus akibat penggergajian batu tersebut.

5.2.3 Workability

Untuk menentukan kemudahan dari pengerjaan beton maka dapat dilihat dari nilai slump (Lampiran 19). Penggantian semen dengan gergajian batu andesit menghasilkan nilai slump yang hampir sama. Hal ini memperlihatkan bahwa penggantian sebagian semen dengan gergajian batu andesit kurang berpengaruh terhadap kelecakan dari mortar beton. Untuk penggantian semen sebesar 10% nilai slump lebih tinggi bila dibandingkan dengan variasi penggantian semen yang lainnya, hal ini disebabkan kondisi agregat pada waktu sebelum pengecoran beton dengan penggantian semen sebesar 10% dalam kondisi basah akibat hujan pada malam sebelum pengecoran dilakukan.

5.2.4 Kuat tarik baja

Dari uji tarik terhadap tulangan baja yang digunakan yaitu D_6 untuk tulangan sengkang, D_8 untuk tulangan baja desak, dan D_{12} untuk tulangan baja tarik dapat diketahui besarnya gaya (P) saat baja mengalami leleh (Lampiran 7). Tegangan leleh dihitung dengan cara membagi gaya (P) dengan luasan penampang baja yang diuji.

5.2.5 Kuat lentur

Kuat lentur berhubungan dengan lendutan yang terjadi. Kemampuan struktur untuk tidak melendut menunjukkan kemampuan struktur menahan momen yang bekerja, sedangkan lendutan berkaitan dengan kelengkungan. Hubungan momen - kelengkungan menunjukkan faktor kekakuan (EI), jadi kuat lentur berhubungan dengan faktor kekakuan (EI). Faktor kekakuan didapat dari M/ϕ (Persamaan 3.47), faktor kekakuan pada balok dengan variasi penggantian sebagian semen secara umum berbeda. Gambar 5.8 menunjukkan grafik faktor kekakuan yang diperoleh dari data percobaan di laboratorium.

Dengan membandingkan grafik momen - kelengkungan balok variasi normal dengan variasi penggantian sebagian semen, dapat diketahui faktor kekakuan seperti disajikan dalam Tabel 5.7. Grafik momen-kelengkungan balok variasi normal dianggap mempunyai kekakuan 100%, sedangkan untuk variasi penggantian sebagian semen faktor kekakuan dibandingkan dengan grafik momen-kelengkungan balok variasi normal sehingga didapat kenaikan momen dan faktor kekakuan untuk perhitungan secara teoritis, sedang apabila balok beton normal dibandingkan dengan penggantian sebagian semen mengalami penurunan. Hasil analisis dapat dijabarkan sebagai berikut:

- a. Untuk perhitungan secara teoritis terjadi kenaikan momen sebesar 29,14 % dan penurunan faktor kekakuan sebesar 27,42 %,

- b. Balok dengan variasi campuran abu batu andesit sebanyak 5% dari berat semen terjadi penurunan momen dari beton normal sebesar 5,56% dan penurunan faktor kekakuan sebesar 30,26%,
- c. Balok dengan variasi campuran abu batu andesit sebanyak 10% dari berat semen terjadi penurunan momen dari beton normal sebesar 13,89% dan penurunan faktor kekakuan sebesar 29,44%,
- d. Balok dengan variasi campuran abu batu andesit sebanyak 15% dari berat semen terjadi penurunan momen dari beton normal sebesar 8,34% dan penurunan faktor kekakuan sebesar 17,44%,
- e. Balok dengan variasi campuran abu batu andesit sebanyak 20% dari berat semen terjadi penurunan momen dari beton normal sebesar 13,89% dan penurunan faktor kekakuan sebesar 52,66%.

Dari data di atas terlihat bahwa semakin banyak penggantian semen dengan gergajian batu andesit mengakibatkan terjadi penurunan momen dan faktor kekakuan, hal ini disebabkan kuat desak beton menurun. Penurunan kuat desak beton mengakibatkan modulus elastisitas beton menurun. Dengan turunnya modulus elastisitas beton maka faktor kekakuan balok menurun sehingga kuat lentur dari struktur juga menurun.

5.2.6 Kekakuan

Dari Tabel 5.5 dapat diamati dan dianalisa pengaruh abu batu andesit terhadap kuat lentur balok dalam menahan beban, serta perilaku lendutan yang terjadi pada

benda uji. Dari penelitian didapat hubungan beban (P) dan lendutan (Δ), dalam hal ini nilai kekakuan didapat dari $\text{tg } \alpha = P/\Delta$ (Persamaan 3.38). Perbedaan perilaku kekakuan pada balok dengan atau tanpa variasi campuran secara umum tidak berbeda jauh.

Dengan membandingkan grafik beban dan lendutan balok variasi normal dengan campuran dapat diketahui besarnya nilai kekakuan. Grafik beban dan lendutan dianggap mempunyai kekakuan 100%, sedangkan pada balok dengan variasi campuran kekakuan harus dibandingkan dengan grafik beban dan lendutan balok variasi normal. Dengan demikian diperoleh angka penurunan nilai kekakuan sebagai berikut:

- a) Balok dengan variasi campuran batu andesit 5% dari berat semen mengalami penurunan kapasitas beban sebesar 3,59% atau mempunyai kapasitas sebesar 94,44% penurunan kekakuan sebesar 15,62%,
- b) Balok dengan variasi campuran batu andesit 10% dari berat semen mengalami penurunan kapasitas beban sebesar 8,33 % atau mempunyai kapasitas sebesar 91,67% dan penurunan kekakuan sebesar 19,22%,
- c) Balok dengan variasi campuran batu andesit 15% dari berat semen mengalami penurunan kapasitas beban sebesar 8,33% atau mempunyai kapasitas sebesar 91,67% dan penurunan kekakuan sebesar 14,11%,

- d) Balok dengan variasi campuran batu andesit 20% dari berat semen mengalami penurunan kapasitas beban sebesar 13,89% atau mempunyai kapasitas sebesar 86,11% dan penurunan kekakuan sebesar 46,25%.

Dari data di atas terlihat bahwa semakin banyak penggantian semen dengan gergajian batu andesit mengakibatkan terjadi penurunan kapasitas beban dan kekakuan, hal ini disebabkan modulus elastisitas beton menurun. Dengan turunnya modulus elastisitas beton maka kekakuan balok dan beban mengalami penurunan.

