

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Pengujian dan Analisa Material Penyusun Benda Uji

Benda uji yang digunakan merupakan dinding geser dengan pondasi beton bertulang dengan tumpuan jepit-jepit. Bahan penyusun benda uji merupakan beton dan tulangan baja. Untuk mengetahui karakteristik dari bahan penyusun tersebut dilakukan analisis dari tiga pengujian yang dilakukan di Laboratorium Struktur Universitas Brawijaya, yaitu:

- a. Uji slump
- b. Uji tekan beton
- c. Uji tarik baja tulangan

##### 4.1.1 Beton

Nilai kuat tekan beton yang digunakan direncanakan memiliki kekuatan tekan  $f'_c = 20$  Mpa pada hari ke 28 atau  $f'_c = 15,7$  Mpa pada hari ke 14. Perencanaan beton dilakukan dengan *mix design* dan menghasilkan perbandingan aktual semen : air : agregrat halus : agregrat kasar sebesar 1 : 0,60 : 2,12 : 2,60. Perancangan *mix design* beton ditunjukkan oleh tabel di bawah ini.

Pengecoran satu benda uji dinding geser membutuhkan 3 kali pembuatan dengan molen, oleh karena itu diambil 3 buah sampel yang berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm untuk masing-masing benda uji yang berasal dari bagian pondasi dan bagian dinding geser. Pada pembuatan beton tahap pertama dapat mencakup sebagian pondasi, kemudian pada tahap berikutnya mencakup seluruh dinding geser dan sisanya untuk sebagian pondasi, dan pada tahap terakhir untuk memenuhi seluruh bagian pondasi yang belum terisi.

Pengujian beban siklik dilakukan saat umur beton lebih dari hari ke 28, sehingga hasil uji kuat tekan beton dikonversikan ke hari 28 dengan anggapan penambahan kuat tekan beton akan sangat kecil setelah hari ke 28. Pengujian mutu beton dilakukan dengan menggunakan uji silinder, dan *analog hammer test*. Pada akhirnya, nilai mutu beton yang digunakan adalah mutu beton yang dibaca melalui *analog hammer test*. Hal ini dikarenakan Hal ini dikarenakan sistem pembacaan *analog hammer test* yang mengambil nilai tengah di setiap pembacaan. Hasil dari pembacaan uji silinder tidak digunakan dalam menentukan

nilai mutu beton. Mutu beton dari uji silinder tidak sesuai dengan mutu beton rencana sehingga tidak dapat digunakan sebagai penentuan nilai mutu beton. Permasalahan teknis saat pelaksanaan dapat mempengaruhi nilai dari mutu benda uji tersebut. Berikut ini merupakan hasil uji mutu beton.



**Gambar 4.1** Pengujian Kuat Tekan Beton

*Sumber : Dokumentasi Penelitian*

Berikut ini merupakan hasil uji mutu beton.

**Tabel 4.1** Mutu Beton Tiap Spesimen

Kolom	Analog Hammer Test (MPa)	Uji Tekan Silinder (MPa)
SW – 50	29,47	13,35
DGK – 75	23,30	23,30
DGK – 150	21,42	14,351

*Sumber : Hasil Pengujian dan Perhitungan*

Dari tabel 4.1 di atas, didapatkan nilai mutu beton untuk spesimen SW-50, DGK-75, dan DGK-10 dari hasil pembacaan *analog hammer test* berturut-turut adalah sebesar 29,47 Mpa, 23,30 Mpa, dan 21,42 Mpa. Sementara mutu beton dari uji tekan silinder berturut-turut untuk spesimen SW-50, DGK-75, dan DGK-10 sebesar 13,35 Mpa, 23,30 Mpa, dan 14,351 Mpa. Mutu beton dari masing-masing benda uji tersebut yang akan digunakan untuk analisis selanjutnya. Tampak bahwa mutu beton masing-masing spesimen walaupun pada awalnya direncanakan sebesar 20 Mpa. Hal ini dikarenakan ketika pelaksanaan untuk benda uji tekan beton tidak dilakukan dengan benar. Material dari adukan molen dengan ukuran

besar dan kecil tidak tersebar secara merata karena dimasukkan dengan memilah-milah dan memasukkan material kasar dan besar terlebih dahulu dan pada bagian atas yang terakhir dimasukkan material yang kecil dan halus.

Berdasarkan tabel tersebut diketahui pula nilai slump berkisar antara 9,5-19 cm untuk semua variasi dinding geser. Keberagaman dari nilai uji slump ini dikarenakan pada saat pengecoran agregat halus ataupun agregat kasar yang digunakan dalam kondisi cukup kering atau basah sehingga kadar air pada campuran beton beragam. Berikut adalah cakupan nilai standar berdasarkan PBI 1971 untuk struktur dinding.

**Tabel 4.2 Nilai Standar Slump**

	maks	min
-dinding	12,5	5
-pelat pondasi		
-pondasi telapak bertulang		
-pondasi telapak tidak bertulang	9	2,5
-kaison		
-konstruksi di bawah tanah		
-pelat	15	7,5
-balok		
-kolom		
-dinding		
pengerasan jalan	7,5	5
pembetonan masal	7,5	2,5

*Sumber : PBI 1971*

#### 4.1.2 Slump

Untuk setiap pengecoran diambil 1 buah sampel berbentuk silinder dengan diameter 15 cm dan tinggi 30 cm, begitu juga dengan uji slump yaitu dilakukan pada setiap pengecoran dengan cara dicetak pada cetakan berbentuk kerucut untuk mengukur penurunan cetakan seperti pada gambar 4.2. Pengujian slump ini bertujuan untuk mengetahui tingkat *workability* atau tingkat kemudahan untuk dikerjakan dan juga kekentalan pada beton segar. Campuran beton yang terlalu cair akan menyebabkan mutu beton rendah, dan lama

mengering. Sedangkan campuran beton yang terlalu kental menyebabkan adukan tidak merata dan sulit untuk dicetak.



**Gambar 4.2** Pengujian Slump

*Sumber : Dokumentasi Penelitian*

Berikut ini merupakan hasil uji slump dan uji kuat tekan beton.

**Tabel 4.3** Nilai Slump dan Mutu Beton Dinding Geser Berdasarkan Uji Tekan

Benda Uji	Slump (cm)	Umur Beton (hari)	Berat (kg)	Kuat Tekan (kg/cm <sup>2</sup> )	Mutu Beton f'c 28 hari (Mpa)
SW-50	9.5	28	12.4	109.837	11.20
	19		12.3	164.756	16.79
	17		12.4	118.330	12.06
			<b>Rata-rata</b>		<b>13.35</b>
DGK-75	15		12.15	285.916	29.15
	14.5		12.35	260.439	26.55
	12.5		12.3	139.278	14.20
			<b>Rata-rata</b>		<b>23.30</b>
DGK-150	10.5		12.1	144.374	14.72
	16		12.4	125.690	12.81
	17		12.55	152.300	15.52
			<b>Rata-rata</b>		<b>14.351</b>

*Sumber : Data hasil pengujian*

#### 4.1.3 Analog Hammer Test

Analog hammer test merupakan suatu metode yang digunakan untuk mencari nilai mutu beton tanpa merusak beton. Karena tidak merusak beton, maka tidak diperlukan benda uji tambahan sehingga dapat mengurangi biaya. Penggunaannya tergolong mudah karena dapat langsung diaplikasikan kepada spesimen yang akan dihitung nilai mutunya. Metode

analog hammer test menggunakan alat yang sederhana yang sifatnya portabel dan mudah dalam pengoperasiannya sehingga tidak memerlukan keahlian khusus dalam membaca nilai yang dihasilkan saat pengujian berlangsung dan hanya memerlukan waktu yang relatif singkat untuk mendapatkan semua data yang diinginkan dibandingkan dengan metode uji tekan beton. Berikut ini merupakan hasil uji analog hammer test.

**Tabel 4.4 Mutu Beton Dinding Geser Berdasarkan Uji Analog Hammer Test**

SUDUT PUKULAN	0°	0°	0°	0°	0°	0°	0°	
KODE BIDANG UJI	SW - 50	DGK - 75	DGK - 150	SW - 30	SW - 40	SD - 150	SD - 300	
TITIK TEMBAKAN KE								
NILAI LENTING PALU BETON ( R )	1	40	34	34	34	36	36	38
	2	40	32	30	36	35	36	38
	3	38	32	32	36	33	35	36
	4	38	36	34	38	32	35	36
	5	40	32	30	34	36	34	38
	6	36	36	33	38	32	35	38
	7	36	35	32	36	34	34	38
	8	36	33	30	34	34	38	34
	9	40	34	34	36	34	34	36
	10	36	35	33	34	34	34	34
<b>Jumlah N</b>	10	10	10	10	10	10	10	
<b>R MAKSIMUM</b>	40	36	34	40	36	34	34	
<b>R MINIMUM</b>	36	32	30	36	32	30	30	
<b>R RATA-RATA</b>	38.0	33.9	32.2	35.6	34	35.1	36.6	
<b>R RATA-RATA TERKOREKSI</b>	38.0	33.9	32.2	35.6	34.0	35.1	36.6	
<b>PERKIRAAN KUAT TEKAN</b>	355.04	280.74	258.13	326.35	302.19	320.32	343.1	
<b>Koreksi ke silinder</b>	0.83	29.47	23.30	21.42	27.09	25.08	26.59	28.48

Sumber : Dokumentasi Pengujian

Berikut ini merupakan nilai mutu beton berdasarkan uji *analog hammer test*.

**Tabel 4.5 Mutu Beton Dinding Geser Berdasarkan Uji Analog Hammer Test**

Kolom	Analog Hammer Test (MPa)
SW – 50	29,47
DGK – 75	23,30
DGK – 150	21,42

Sumber : Dokumentasi Pengujian

#### 4.1.4 Baja Tulangan

Analisa baja tulangan dilakukan dengan uji tarik baja tulangan untuk mengetahui tegangan leleh ( $f_y$ ) pada setiap tulangan yang digunakan di benda uji dinding geser. Uji tarik baja dilakukan pada tulangan longitudinal dan tulangan transversal pada dinding geser. Terdapat tiga buah sampel tulangan yang dilakukan pengujian dengan diameter  $\varnothing 8$  untuk

diperoleh rata-rata tegangan leleh ( $f_y$ ) yang digunakan pada benda uji dinding geser. Sampel uji tarik dipotong sepanjang 20 cm ( untuk memenuhi  $20x_d \geq 20\text{cm}$ ).



**Gambar 4.3 Pengujian Tarik Tulangan Baja**

*Sumber : Dokumentasi Pengujian*

Pengujian dilakukan dengan meletakkan sample pada alat uji tarik, dimana minimal 5x $d$  pada setiap ujung sample dijepit lateral, dan 10x $d$  bagian tengah sampel bebas. Setelah itu, dilakukanlah uji tarik pada sample, dan hasil dari uji tarik ini berupa grafik tegangan regangan yang selanjutnya dilakukan analisis untuk diperoleh tegangan lelehnya.

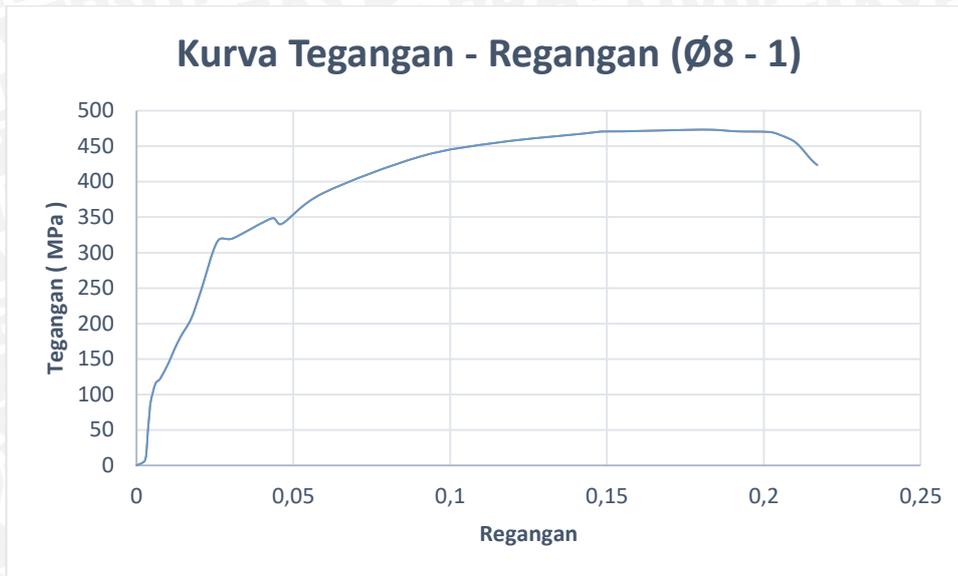
Tulangan dengan diameter  $\varnothing 8$  tersebut digunakan pada dinding geser dan pondasi dari setiap benda uji. Berikut ini merupakan hasil uji tarik baja tulangan.

**Tabel 4.6 Tegangan Leleh Tulangan Kolom**

Nomor Tulangan	Diameter	Diameter Aktual ( $\text{mm}^2$ )	A ( $\text{mm}^2$ )	P (N)	$f_y$ (Mpa)
1	$\varnothing 8$	7,88	48,744	16406	336,57
2	$\varnothing 8$	7,88	48,744	19660	403,33
3	$\varnothing 8$	7,88	48,744	19335	396,66
<b>Fy rata-rata</b>					<b>378,86</b>

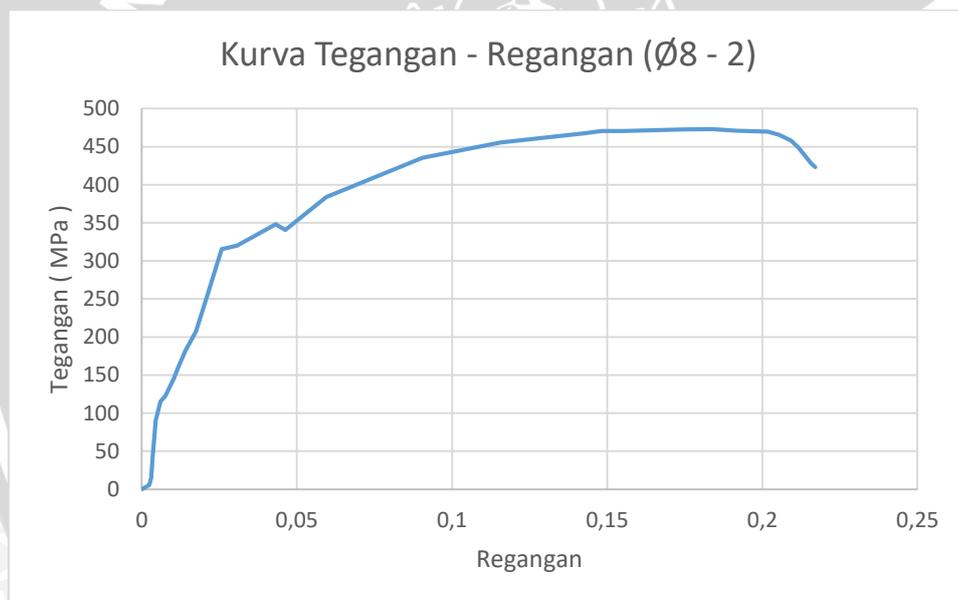
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari tabel 4.6 di atas didapatkan tegangan leleh ( $f_y$ ) rata-rata untuk diameter  $\varnothing 8$  sebesar 378,86 MPa.



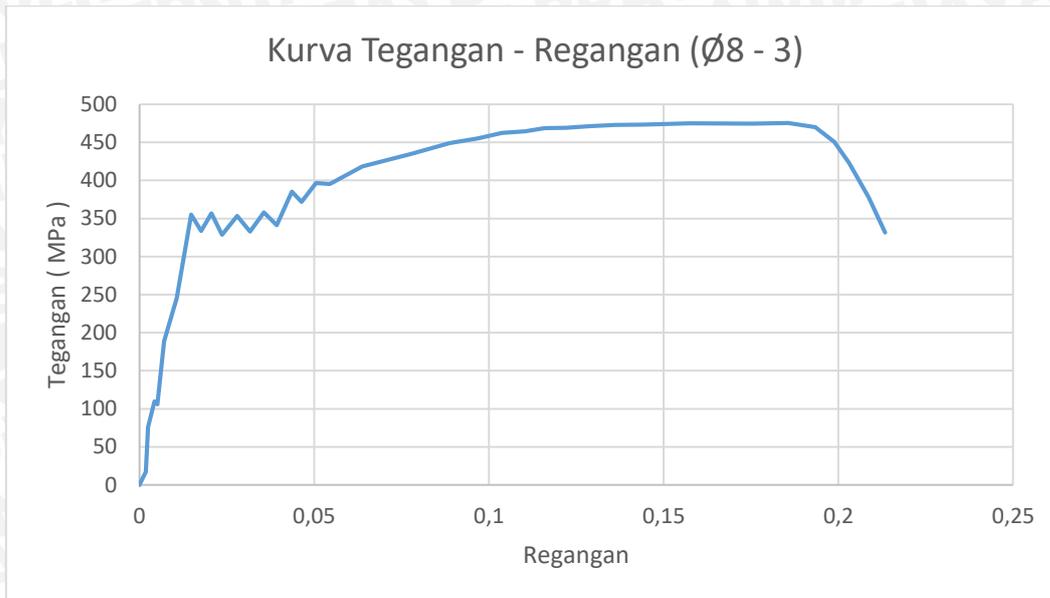
**Gambar 4.4** Pengujian Tarik Tulangan Baja

*Sumber : Dokumentasi Pengujian*



**Gambar 4.5** Pengujian Tarik Tulangan Baja

*Sumber : Dokumentasi Pengujian*



**Gambar 4.6 Pengujian Tarik Tulangan Baja**

Sumber : Dokumentasi Pengujian

#### 4.2 Kekuatan Dinding Geser Teoritis

Perhitungan kekuatan dinding geser secara teoritis bertujuan untuk mencari nilai beban lateral maksimum ( $P_h$ ), dan Momen ultimit ( $M_u$ ) yang terjadi dengan beban aksial sebesar  $0,1 P_u$ . Perhitungan dilakukan untuk rasio tulangan longitudinal ( $\rho_v$ ) 0,8% dan 1,1% dengan  $f'_c$  sesuai hasil pembacaan *analog hammer test* masing-masing spesimen seperti yang telah disebutkan sebelumnya..

Perhitungan dinding geser secara teoritis menggunakan analisa kolom segi empat bertulangan 2 sisi dengan asumsi tumpuan jepit bebas. Hasil perhitungan dinding geser teoritis ditunjukkan oleh tabel di bawah ini.

**Tabel 4.7 Hasil Perhitungan Dinding Geser Teoritis**

Kolom	0,05 $P_u$ (kN)	$P_h$ (kg)	$M_u$ (kgm)
SW-50	43.45	72.2241	40.5
DGK-75	36.906	70.7786	39.2
DGK-150	34.9	70.07073	38.6

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari tabel 4.7 di atas nampak bahwa perbedaan jarak sengkang memberikan pengaruh yang tidak terlalu signifikan pada nilai momen nominal ( $M_n$ ) dan beban lateral maksimum ( $P_u$ ) untuk ukuran tulangan longitudinal yang sama. Sedangkan perbedaan rasio tulangan

longitudinal dapat mempengaruhi nilai momen nominal ( $M_n$ ) dan beban lateral maksimum ( $P_u$ ). Semakin besar rasio tulangan longitudinal maka dinding geser akan semakin mampu menahan momen nominal dan beban lateral.

### 4.3 Hasil Pengujian Beban Lateral Siklik

Pengujian beban lateral siklik dilakukan ketika usia beton di atas 28 hari. Data yang didapatkan dari pengujian siklik berupa data beban lateral yang terjadi saat nilai perpindahan total yang telah ditentukan setiap siklusnya tercapai. Penggunaan *displacement control* pada pengujian ini membagi pengujian dalam beberapa siklus dengan kenaikan drift sebesar 0,25% sampai drift mencapai 1% dan dilanjutkan dengan kenaikan drift 0,5 % hingga spesimen mengalami keruntuhan beban lateral.

Untuk satu siklus pengujian dilakukan sekali pengulangan beban, sehingga didapatkan dua data beban untuk perpindahan yang sama. Analisis hubungan beban-perpindahan untuk kurva positif dilakukan dengan merata-rata hasil setiap siklus yang sama, begitu juga dengan kurva negatif. Sehingga, kurva positif dan negatif memiliki bentuk yang tidak harus sama, nantinya hasil dari kurva positif akan dibandingkan dengan hasil kurva positif lainnya, sama halnya dengan kurva negatif yang akan dibandingkan dengan kurva negatif. Hal tersebut dilakukan karena hasil dari pengujian beban lateral siklik antara kurva positif dan negatif tidak dapat dibandingkan secara langsung karena pada saat pengujian siklus negatif pada spesimen sudah terjadi penurunan kekuatan akibat pengujian siklus positif yang dilakukan sebelumnya.

Pada pengujian setiap spesimen dinding geser didapatkan hasil yang sangat signifikan pada kurva negatif dan positif. Kurva positif menunjukkan perpindahan yang lebih pendek dari kurva negatif. Hal ini dikarenakan keterbatasan alat sensor pembaca beban yang hanya memiliki kapasitas 5 ton saja sementara sensor untuk membaca beban arah negatif memiliki kapasitas 10 ton. Sehingga ketika pembacaan beban sudah mendekati 5 ton maka pengujian searah positif dihentikan dan hanya dilakukan pengujian searah positif. Hal ini akan mempengaruhi pada analisis data dan kesimpulan dari penelitian. Dimana kurva yang didapatkan dari hasil pengujian tidak akan dapat digunakan sepenuhnya karena tidak menunjukkan nilai perpindahan saat beban maksimum maupun kondisi saat sudah terjadi penurunan. Dua kondisi tersebut sangat penting untuk menentukan daktilitas dan kekakuan dari dinding geser. Maka dari itu hanya digunakan analisis data dari kurva negatif yang

memuat informasi perpindahan saat kondisi beban maksimum dan sesudah terjadi penurunan kekuatan.

#### 4.3.1 Analisis Beban Lateral Maksimum

Beban lateral maksimum merupakan salah satu hal yang sangat penting dalam perhitungan daktilitas perpindahan serta kekakuan. Pada perhitungan daktilitas perpindahan seperti perpindahan saat leleh dan perpindahan saat ultimit sangat berkaitan dengan beban lateral maksimum. Pada perhitungan kekakuan, nilai beban lateral maksimum digunakan dalam penentuan kemiringan garis antara hubungan beban dan perpindahan dalam metode sekan maupun tangen. Oleh karena itu perlu adanya kontrol terhadap nilai beban lateral maksimum yang terjadi saat pengujian. Berikut ini merupakan data beban lateral maksimum yang didapatkan dari hasil eksperimen pada masing-masing spesimen.

**Tabel 4.8 Beban Lateral Maksimum Searah Negatif**

Kolom	Ph Aktual (kg)	Ph Teoritis (kg)	Selisih %
DGK-150	-6460.00	-5066.57	27.50252
DGK-75	-6528.00	-4903.79	33.12158
SW-50	-6780.00	-4829.52	40.38654

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari tabel 4.8 di atas nampak bahwa nilai dari beban lateral maksimum hasil eksperimen lebih besar dari hasil teoritis. Namun angka yang ditunjukkan dari hasil eksperimen hanya nilai negatif saja. Hal ini dikarenakan ketika pemberian beban dilakukan searah positif, sensor beban telah mencapai batas maksimumnya sehingga percobaan tidak bisa dilanjutkan. Seperti yang sudah dibahas di atas, nilai beban lateral maksimum searah positif tidak bisa didapatkan dikarenakan keterbatasan alat uji sehingga hanya digunakan nilai dari hasil pengujian searah negatif. Walaupun alat uji searah positif memiliki keterbatasan, namun pengujian semi siklik yang mengharuskan adanya pengujian searah positif tetap dilakukan dengan harapan benda uji akan mencapai beban lateral maksimum sebelum mencapai 5 ton sesuai dengan analisa beban lateral maksimum untuk benda uji DGK-75 dan SW-50 seperti pada tabel 4.8 di atas. Namun pada pelaksanaannya, kedua benda uji tersebut memiliki nilai beban lateral yang lebih besar dari perhitungan teoritis sehingga nilai beban lateral maksimum tidak dapat didapat dari hasil pengujian. Selain itu, sifat dari dinding geser setelah mengalami perlakuan pembebanan searah sumbu positif akan berubah dan mempengaruhi hasil pada saat pengujian searah negatif.

Dari tabel 4.8 dapat dilihat bahwa benda uji SW-50 memiliki nilai beban lateral aktual yang cukup signifikan dari nilai teoritisnya dibandingkan dengan benda uji lainnya. Walaupun benda uji SW-50 dan DGK-150 sama-sama memiliki jarak antar sengkang yang sama, namun nilai beban lateralnya berbeda jauh. Hal ini dikarenakan tulangan vertikal SW-50 lebih dirapatkan ke masing-masing tepi dinding yang akhirnya memberikan kekuatan lebih pada dinding untuk menahan gaya lateral.

#### 4.3.2 Analisa Daktilitas Perpindahan

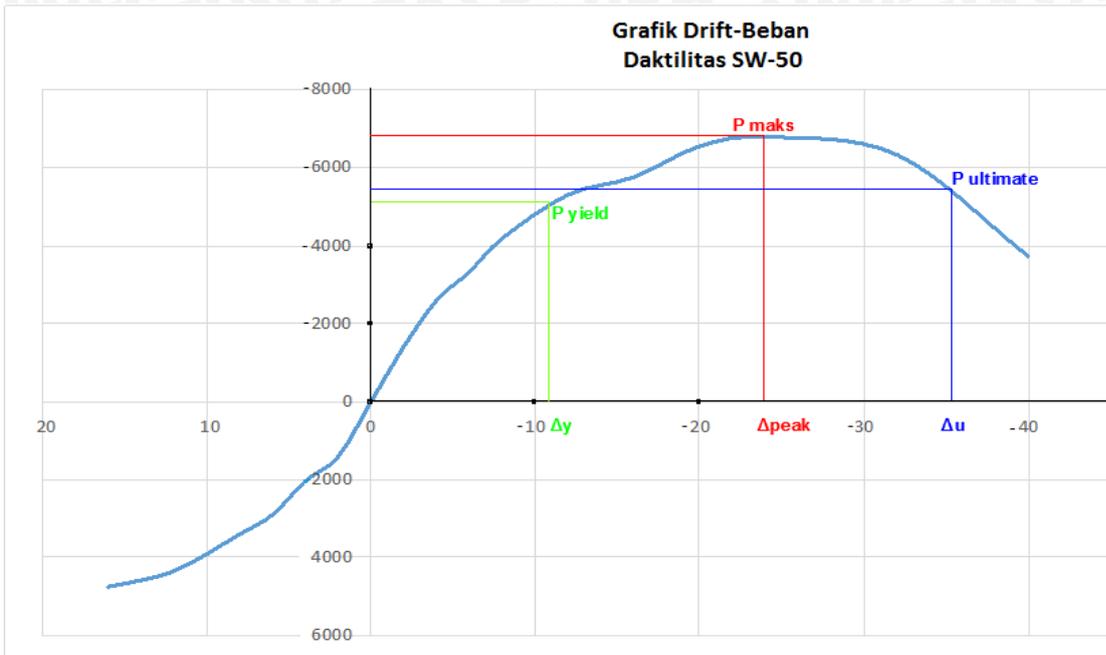
Daktilitas perpindahan didapatkan dengan membagi nilai perpindahan saat ultimit ( $\Delta_u$ ) dengan perpindahan saat leleh ( $\Delta_y$ ). Perpindahan saat ultimit didapatkan dengan mengalikan 80% dari beban lateral maksimum. Pengurangan kekuatan sebesar 20% terjadi setelah beban mengalami penurunan dimana diasumsikan terjadi keruntuhan lateral. Sementara nilai perpindahan saat leleh didapatkan saat kekuatan mencapai 75% sebelum kekuatan lateral maksimum. Berikut ini nilai dari perpindahan saat ultimit dan leleh.

**Tabel 4.9 Nilai Beban Lateral Aktual**

Kolom	Ph (kg)	0.75 Ph (kg)	0.8 Ph (kg)
DGK-150	-6460,00	-4845,00	-5168,00
DGK-75	-6528,00	-4896,00	-5222,40
SW-50	-6780,00	-5085,00	-5424,00

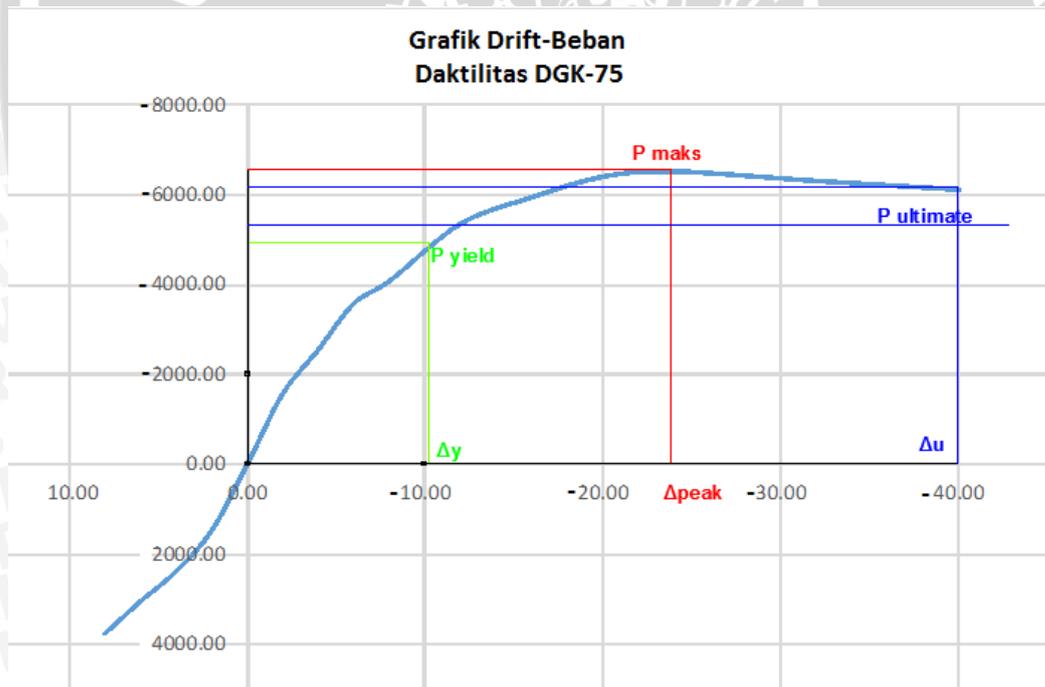
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari tabel 4.9 dapat dilihat bahwa dengan semakin rapatnya jarak kekangan akan meningkatkan nilai kapasitas beban lateral. Hal ini terbukti dari tabel bahwa nilai beban lateral dari DGK-75 lebih besar dari DGK-150. Sementara dengan semakin rapatnya tulangan vertikal ke arah tepi dinding geser dapat menaikkan nilai beban lateral. Hal ini terbukti dari tabel bahwa SW-50 memiliki nilai lateral paling tinggi.



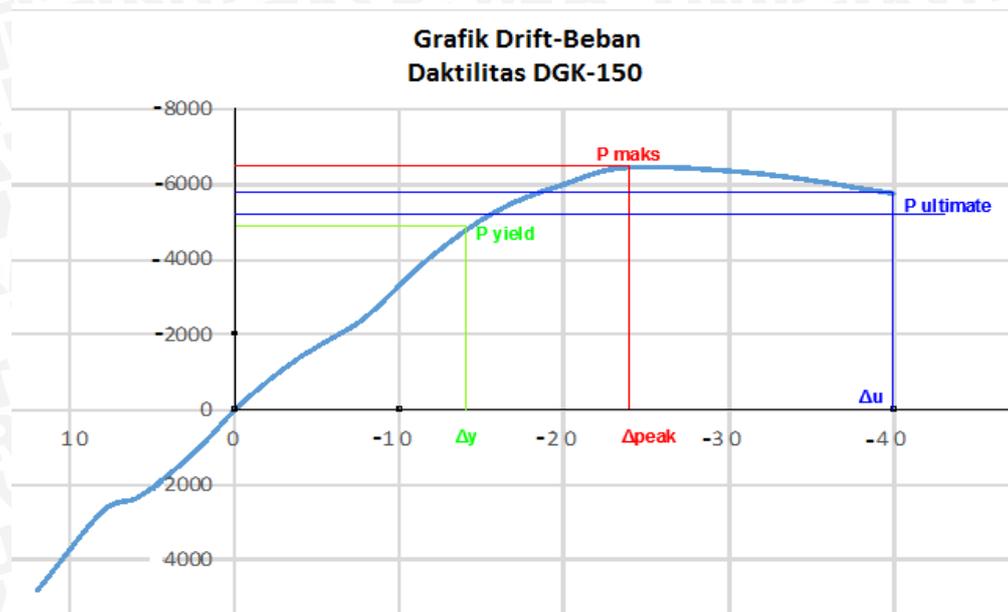
**Gambar 4.7 Perpindahan saat Ultimit dan Leleh SW-50**

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan



**Gambar 4.8 Perpindahan saat Ultimit dan Leleh DGK-75**

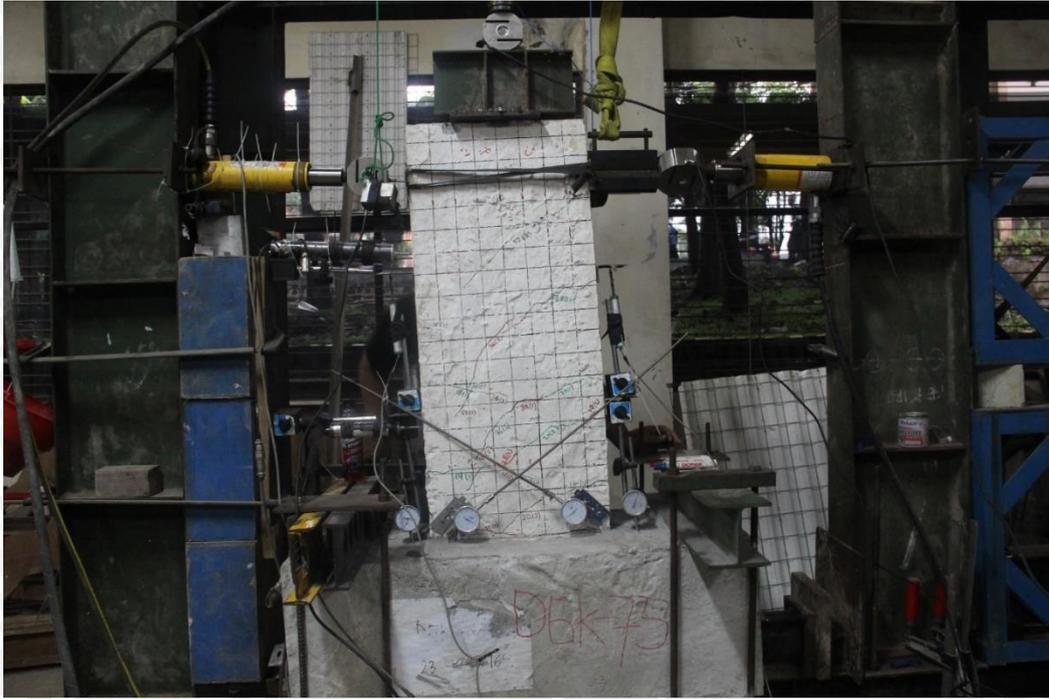
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan



**Gambar 4.9 Perpindahan saat Ultimit dan Leleh DGK-150**

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari gambar-gambar di atas dapat dilihat bahwa hanya SW-50 yang nilai ultimitnya dapat dihitung. Hal ini dikarenakan SW-50 telah mencapai penurunan beban lateral sebesar 20% sebelum perpindahan mencapai nilai 40 mm searah negatif. Sementara DGK-75 dan DGK-150 masih membutuhkan perpindahan yang lebih besar agar mencapai penurunan beban lateral sebesar 20%. Pada pengujian di laboratorium saat perpindahan telah terjadi sebesar 5% atau 40 mm searah negatif, maka pengujian akan dihentikan walaupun benda uji belum runtuh. Hal ini dikarenakan keterbatasan panjang lengan dari hydraulic jack, panjang LVDT pada posisi sejajar dengan beban lateral, serta jarak dari puncak dinding geser dengan frame yang tidak cukup besar bila dilakukan pengujian lebih lanjut.



**Gambar 4.10 Kondisi Akhir Percobaan DGK-75 Belum Runtuh**

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Sehingga untuk membandingkan nilai daktilitas ( $\mu\Delta$ ) dari masing-masing spesimen tidak dapat digunakan nilai perpindahan saat ultimit ( $\Delta_u$ ) maupun menggunakan data akhir (ujung grafik) dari perpindahan ( $\Delta_{akhir}$ ). Untuk membandingkan nilai daktilitas dari masing-masing spesimen, maka nilai perpindahan saat ultimit diganti dengan nilai dari perpindahan saat beban lateral maksimum ( $\Delta_{peak}$ ).

Dapat dilihat juga bahwa benda uji DGK-75 memiliki bentuk grafik yang sangat curam sebelum kondisi leleh bila dibandingkan dengan benda uji lainnya. Sementara grafik pada benda uji SW-50 setelah mencapai beban lateral maksimum menunjukkan penurunan nilai yang lebih tajam dibandingkan dengan benda uji lainnya yang cenderung turun dengan grafik linear dengan kemiringan yang rendah. Seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.9 bahwa benda uji SW-50 memiliki nilai beban lateral maksimum paling besar di antara semuanya namun penurunan setelah beban lateral maksimum sangat curam. Hal tersebut menunjukkan bahwa penurunan pada benda uji tipe DGK dengan rasio tulangan  $\rho_h$  0,8% memiliki penurunan beban lateral setelah beban lateral maksimum yang cenderung kecil dibandingkan dengan benda uji SW dengan rasio tulangan  $\rho_h$  1,1% yang cenderung curam. Berikut ini tabel dari daktilitas masing-masing benda uji.

Tabel 4.10 Nilai Daktilitas

Kolom	$\Delta u$ (mm)	$\Delta y$ (mm)	$\mu\Delta$	$\Delta u$ peak (mm)	$\Delta u$ akhir (mm)	$\mu\Delta$ akhir	$\mu\Delta$ peak
DGK-150	-	-14,1099279	0	-24	-40	2,834883	1,70093
DGK-75	-	-10,3066293	0	-24	-40	3,880997	2,328598
SW-50	-35,444	-10,91762	3,246493283	-24	-40	3,663802	2,198281

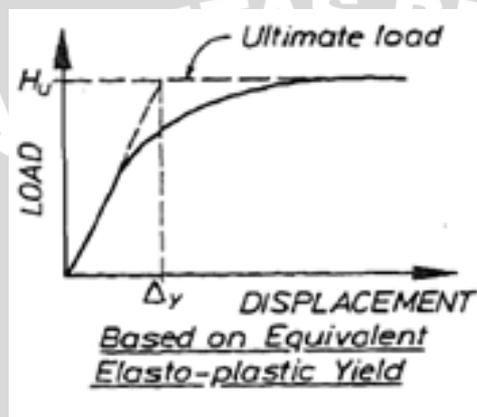
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari tabel 4.10 dapat dilihat bahwa nilai daktilitas akhir ( $\mu\Delta$  akhir) lebih besar dari nilai daktilitas puncak ( $\mu\Delta$  peak). Nilai daktilitas akhir ( $\mu\Delta$  akhir) diambil dari data akhir percobaan saat perpindahan sebesar -40 mm atau saat *drift* mencapai nilai 5% sementara nilai daktilitas puncak ( $\mu\Delta$  peak) didapatkan dari data beban lateral maksimum. Bila dilihat nilai daktilitas akhir lebih besar dari nilai daktilitas puncak. Hal ini dikarenakan perpindahan saat puncak lebih kecil dari nilai perpindahan saat penelitian dihentikan. Nilai perpindahan saat beban lateral mencapai puncak dapat diperoleh lebih dahulu dibandingkan saat penelitian benda uji dihentikan. Bahkan nilai perpindahan saat beban lateral puncak dapat mencapai setengah bahkan sekitar 60% dari nilai perpindahan saat penelitian benda uji dihentikan. Itu sebabnya nilai daktilitas saat akhir bisa mencapai hampir dua kali dari nilai perpindahan saat puncak.

Dari tabel 4.10 juga dapat dilihat bahwa nilai daktilitas puncak dari DGK-75 merupakan yang terbesar sebesar 2,328598 dan yang nilai daktilitas puncak terkecil oleh DGK-150 sebesar 1,70093. Nilai daktilitas puncak dari DGK-75 dan DGK-150 membuktikan bahwa dengan semakin rapatnya jarak kekangan akan meningkatkan nilai daktilitas yang sangat signifikan. Sementara nilai daktilitas puncak dari SW-50 menunjukkan bahwa semakin rapatnya tulangan vertikal ke arah tepi dinding geser dapat meningkatkan daktilitas bahkan hampir menyamai dengan dinding geser yang memiliki kekangan dengan jarak sengkang yang sama yaitu DGK-75. Dikarenakan nilai perpindahan saat beban ultimit belum didapatkan pada masing-masing benda uji DGK karena keterbatasan kemampuan alat uji, maka digunakan perbandingan daktilitas saat puncak ( $\mu\Delta$  peak). Namun bila grafik pada masing-masing benda uji DGK diperpanjang dan didapatkan nilai 80% beban lateral atau saat mencapai komposisi ultimit, benda uji DGK-150 memiliki daktilitas ultimit lebih besar dibandingkan dengan SW-50.

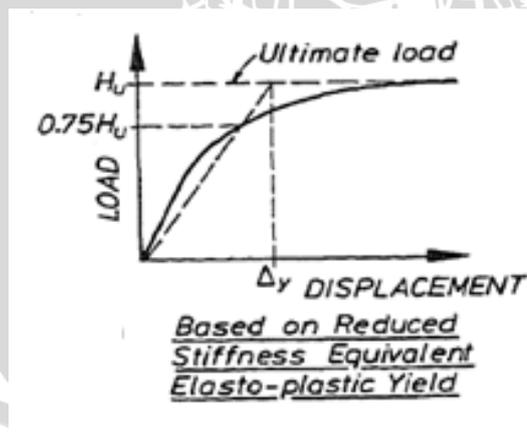
### 4.3.3 Analisis Kekakuan

Nilai kekakuan suatu benda dapat dicari dengan membagi nilai beban lateral terhadap perpindahan yang terjadi. Dalam hal ini bisa dikatakan nilai kekakuan dapat dicari dengan menghitung besarnya nilai kemiringan atau gradien dari satu garis hubungan antara beban lateral dan perpindahan. Pada dasarnya ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk mencari nilai kekakuan, namun dalam hal ini digunakan metode tangen dan sekan. Kedua metode ini memiliki kesamaan, yaitu sama-sama menggunakan data beban lateral maksimum. Yang membedakannya adalah metode sekan membutuhkan data tambahan dari perpindahan saat beban lateral sebesar 75% dari beban maksimum atau saat kondisi leleh.



**Gambar 4.11 Metode Tangen**

Sumber: Park , 1988

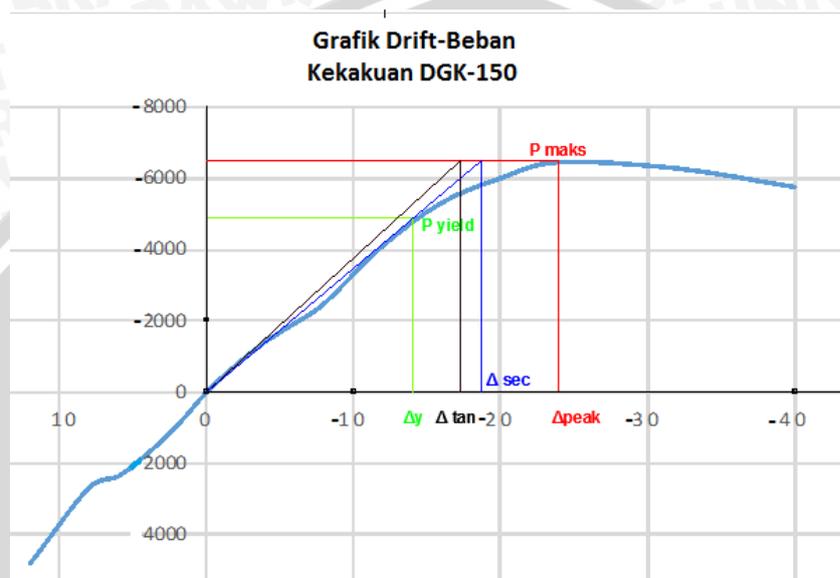


**Gambar 4.12 Metode Sekan**

Sumber: Park , 1988

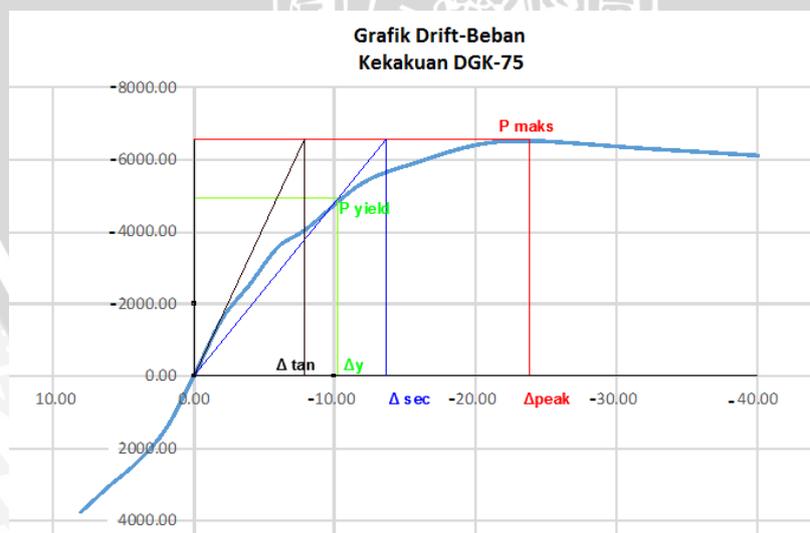
Gambar 4.11 dan 4.12 menunjukkan bahwa metode sekan lebih landai dari metode tangen. Hal ini dikarenakan metode sekan melalui titik leleh sebesar 0,75 dari beban maksimum yang membuat perpindahannya lebih besar dari perpindahan bila menggunakan

metode sekan. Hal ini tentu akan mempengaruhi besarnya nilai kekakuan dari benda uji. Nilai kekakuan bila menggunakan metode tangen akan lebih besar dibandingkan bila menggunakan metode sekan. Namun metode sekan dianggap lebih pasti menggambarkan kondisi dari benda uji karena grafiknya menunjukkan keadaan rata-rata saat sesudah leleh dan sebelum mencapai beban maksimum. Berikut ini merupakan grafik yang menunjukkan metode sekan dan tangen untuk mencari kekakuan.



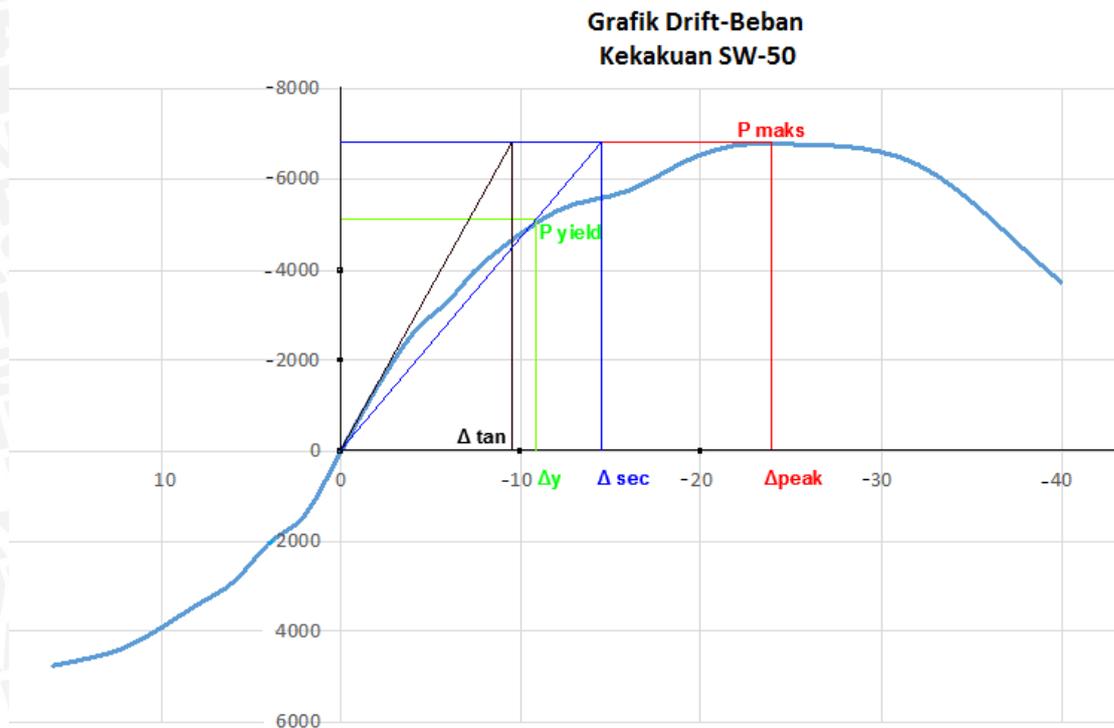
**Gambar 4.13 Grafik Kekakuan DGK-150**

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan



**Gambar 4.14 Grafik Kekakuan DGK-75**

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan



**Gambar 4.15 Grafik Kekakuan SW-50**

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa kemiringan dari metode sekan lebih curam dari metode tangen. Metode sekan dapat dikatakan lebih tepat dalam menggambarkan kekakuan suatu benda uji dikarenakan posisinya yang berada diantara kondisi leleh maupun kondisi maksimum. Sedangkan metode tangen hanya menggambarkan keadaan saat kondisi leleh. Dari grafik juga dapat dilihat bahwa garis lurus pada awal grafik dimulai dari titik nol yang menggambarkan kondisi sebelum leleh tidak selalu memiliki nilai 75% dari kekuatan beban lateral maksimum bahkan jauh di bawahnya. Hal inilah yang membuat metode sekan dibutuhkan dalam percobaan ini. Namun pada analisa kekakuan dari hasil percobaan tetap akan dicari nilai kekakuan dari kedua metode tersebut dan akan dilihat perbandingannya.

Bila dilihat dari grafik di atas, kemiringan grafik DGK-150 sebelum kondisi leleh sangat landai dibandingkan dengan benda uji lainnya, sementara pada DGK-75 paling curam. Hal ini sangat berpengaruh pada pencarian nilai kekakuan dimana pada tabel 4.11 dibawah dibuktikan bahwa DGK-75 merupakan benda uji dengan nilai kekakuan paling tinggi sementara DGK-150 memiliki nilai kekakuan paling rendah. Berikut ini merupakan tabel kekakuan dari masing-masing spesimen dengan menggunakan metode tangen.

**Tabel 4.11 Nilai Kekakuan dengan Metode Tangen**

<b>Kolom</b>	<b><math>\Delta</math> (mm)</b>	<b>Ph (kg)</b>	<b>k (kg/mm)</b>
DGK-150	-17,7968	-6460	362,9875
DGK-75	-7,9358	-6528	822,5972
SW-50	-9,6038	-6780	705,9670

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari tabel 4.11 di atas didapatkan nilai kekakuan paling besar dimiliki oleh benda uji DGK-75 sebesar 822,5972 kg/mm dan nilai kekakuan paling kecil dimiliki oleh benda uji DGK-150 sebesar 362,9875. Perbedaan jarak kekangan benda uji DGK-75 dan DGK-150 sebesar 75 mm memberikan perbedaan kekakuan yang sangat signifikan sebesar 55,87%. Sementara benda uji DGK-150 dan SW-50 yang sama-sama memiliki jarak kekangan sebesar 150 mm memiliki perbedaan nilai kekakuan sebesar 48,58%. Walaupun DGK-150 dan SW-50 sama-sama memiliki jarak kekangan sebesar 150 mm, namun DGK-150 memiliki rasio tulangan horizontal  $\rho_h$  sebesar 0,8% dan SW-50 memiliki  $\rho_h$  sebesar 1,1%. Perbedaan nilai rasio tulangan horizontal  $\rho_h$  sebesar 0,3% dapat mengakibatkan perbedaan nilai kekakuan yang sangat signifikan.

Bila kita membandingkan nilai kekakuan dari benda uji DGK-75 dan SW-50, kita dapat menemukan perbedaan kekuatan kekakuan sebesar 14,18%. Walaupun jarak kekangan DGK-75 lebih rapat sebesar 75 mm dari SW-50, namun perbedaan  $\rho_h$  sebesar 0,3% memberikan nilai kekakuan yang tidak terlalu signifikan. Namun perlu diperhatikan bahwa nilai  $\rho_h$  mempengaruhi penggunaan tulangan pada dinding geser. Semakin besar nilai  $\rho_h$ , maka penggunaan tulangan semakin banyak. Bila dilihat dari segi ekonomisnya, SW-50 lebih ekonomis dari DGK-75 karena nilai  $\rho_h$  SW-50 lebih kecil dari DGK-75. Hal ini dikarenakan jarak tulangan horizontal SW-50 yang lebih besar dari DGK-75 yang membuat penggunaan tulangan lebih sedikit.

Berikut ini merupakan tabel kekakuan dari masing-masing spesimen dengan menggunakan metode sekan.

**Tabel 4.12 Nilai Kekakuan dengan Metode Sekan**

Kolom	$\Delta$ (mm)	Ph (kg)	k (kg/mm)
DGK-150	-19,2628	-6460	335,3621
DGK-75	-13,7422	-6528	475,0327
SW-50	-14,5568	-6780	465,7617

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari tabel 4.12 di atas dapat dilihat bahwa nilai kekakuan terbesar dimiliki oleh DGK-75 sebesar 475,0327 dan nilai kekakuan terkecil dimiliki oleh DGK-150 sebesar 335,3621. Perbedaan kekakuan benda uji DGK-75 yang lebih rapat sebesar 75 mm dari DGK-150 menghasilkan perbedaan kekakuan sebesar 29,402%. Perbedaan persentase kekakuan tersebut lebih kecil sebesar 26,47% dibandingkan dengan kekakuan yang menggunakan metode tangen.

Berikut ini merupakan tabel yang menunjukkan perbandingan nilai kekakuan menggunakan metode tangen dan metode sekan.

**Tabel 4.13 Perbandingan Nilai Kekakuan**

Kolom	Tangen (kg/mm)	Sekan (kg/mm)	Selisih %
DGK-150	362,988	335,362	7,610573
DGK-75	822,597	475,033	42,25209
SW-50	705,967	465,762	34,02501

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan

Dari tabel 4.13 di atas dapat kita lihat bahwa perbedaan nilai kekakuan pada DGK-150 saat menggunakan metode tangen maupun metode sekan tidak terlalu signifikan. Berbeda halnya dengan benda uji DGK-75 dan SW-50. Metode tangen menunjukkan bahwa perbedaan nilai kekakuan setiap spesimen sangat besar. Sementara metode perbedaan nilai kekakuan pada metode sekan tidak terlalu signifikan. Seperti yang sudah dibahas di atas bahwa metode sekan merupakan metode yang lebih masuk akal karena merupakan nilai rata-rata antara kondisi sesudah leleh dan sebelum kondisi puncak serta ultimit. Sementara metode tangen menggambarkan nilai kekakuan saat kondisi belum leleh.

Dari tabel 4.13 dapat kita lihat bahwa nilai kekakuan yang diperoleh menggunakan metode sekan lebih kecil dari metode tangen. Selisih terbesar dari nilai kekakuan kedua metode tersebut sebesar 42,25% yang dimiliki oleh benda uji DGK-75. Sementara selisih

terkecil dari nilai kekakuan kedua metode tersebut sebesar 7,61% yang dimiliki oleh benda uji DGK-150. Walaupun demikian, nilai kekakuan terbesar hingga terkecil berturut-turut dengan menggunakan metode tangen dan sekan dimiliki oleh DGK-75, SW-50, dan DGK-150. Ini membuktikan bahwa pengaruh kekangan di kedua tepi dinding geser dengan jarak 75 mm dapat meningkatkan kekakuan yang cukup signifikan dibandingkan dengan jarak kekangan yang lebih besar 1 kali lipat atau sebesar 150 mm seperti yang ditunjukkan oleh benda uji DGK-50 yang lebih besar dari DGK-150. Selain itu, perhitungan kekakuan tersebut membuktikan juga bahwa jarak kekangan yang sama besar namun bisa meningkatkan nilai kekakuan yang cukup signifikan apabila dilakukan peningkatan rasio tulangan horizontal sebesar 0,3% seperti yang ditunjukkan oleh hasil dari SW-50 yang lebih besar dari DGK-150.



