

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xx
DAFTAR NOTASI.....	viii
INTISARI.....	ix
<i>ABSTRACT</i> .....	x
Latar Belakang.....	1
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	5
1.3. Hipotesis.....	6
1.4. Tujuan Penelitian.....	7
1.5. Batasan Penelitian.....	7
1.6. Manfaat Penelitian.....	7
1.7. Keaslian Penelitian.....	8
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Struktur Komposit Baja Beton Bertulang.....	10
2.2. Baja Beton Bertulang ( <i>SRC</i> ) pada Hubungan Balok Kolom.....	12
2.3. Peranan Sengkang pada Kekuatan Geser Hubungan Balok Kolom Beton Bertulang.....	17
2.4. Eksperimental Riset HBK oleh Park dan Paulay (1972).....	19
2.5. Eksperimental Riset HBK oleh Paulay dan Scarpas (1981).....	26
2.6. Eksperimental Riset HBK oleh Sasmal (2009).....	30
2.7. Eksperimental Riset HBK oleh Chen dkk (2009).....	34
2.8. Eksperimental Riset HBK oleh Kaung dan Wong (2011).....	37
2.9. Eksperimental Riset HBK oleh Lu dkk (2011).....	41

2.10.	Eksperimental Riset HBK oleh Asha dan Sundararajan (2011).....	46
2.11.	Eksperimental Riset HBK Ashtiani dkk (2013).....	50
2.12.	Eksperimental Riset HBK oleh Masi dkk (2013).....	56
2.13.	Eksperimental Riset HBK oleh Rajagopal dan Prabavathy (2013)....	60
2.14.	Eksperimental Riset HBK oleh Bin-yang Li dkk (2018).....	64
2.15.	Eksperimental Riset HBK oleh Khaloo dan Doost (2018).....	68
2.16.	Eksperimental Riset HBK oleh Jingchen Liu dkk (2017).....	70
2.17.	Eksperimental Riset HBK oleh Campione dkk (2015).....	72

### BAB III LANDASAN TEORI

3.1.	Kuat Kebutuhan dan Kapasitas Geser Hubungan Balok Kolom .....	76
3.2.	Kebutuhan Geser pada Hubungan Balok Kolom (HBK).....	76
3.3.	Kapasitas Geser pada Hubungan Balok Kolom (HBK).....	79
3.3.1.	Kondisi Kapasitas geser HBK berdasarkan Park dan Paulay, 1974...	79
3.3.2.	Kapasitas geser HBK berdasarkan SNI 03-2847-1992.....	82
3.3.3.	Kapasitas geser HBK berdasarkan ACI-ASCE 352R-02.....	83
3.3.4.	Kapasitas geser HBK berdasarkan SNI 03-2847-2013.....	85
3.3.5.	Kapasitas geser HBK berdasarkan ACI 318-14.....	87
3.3.6.	Kapasitas geser HBK berdasarkan Paulay dan Priestly, 1992.....	88
3.4.	Kekuatan Geser Komponen Struktur Baja dengan <i>Web</i> Tidak Diperkaku atau Diperkaku AISC 360-10.....	91
3.5.	Kekuatan Geser pada HBK Baja Beton Bertulang Interior (Chen dan Lin, 2009).....	92
3.6.	Penjangkaran Tulangan dalam Kondisi Tarik untuk Tulangan Lurus (Park dan Paulay, 1974).....	95
3.7.	Pengaruh Penjangkaran Tulangan terhadap Kekuatan HBK (Paulay dan Priestly, 1992).....	96
3.8.	Tulangan Balok dan Kolom yang Melewati HBK (ACI-ASCE 352R-02) .....	99
3.9.	Panjang Penyaluran Batang Tulangan dalam Kondisi Tarik (SNI 2847- 2013).....	100

3.10.	Daktilitas.....	100
3.11.	Kekakuan.....	102
3.12.	<i>Drift Ratio</i> .....	103
3.13.	Kriteria Keandalan Sistem Struktur.....	103
3.13.1.	<i>Observed Hysteresis Curve</i> .....	104
3.13.2.	<i>Envelope Curve</i> .....	104
3.13.3.	<i>Hysteretic Loops</i> .....	104
3.13.4	<i>Hysteretic Energy (HE)</i> .....	105
3.13.5	Kekakuan Siklus ( $K_c$ ).....	105
3.14.	Ketentuan Pengujian.....	106
3.15.	Kriteria Penerimaan.....	107

#### BAB IV METODE PENELITIAN

4.1.	Uji Pendahuluan.....	112
4.1.1	Rancangan campuran dan uji tekan silinder beton.....	112
4.1.2	Profil baja king cross sebagai bahan perkuatan HBK.....	112
4.2.	Perancangan Model.....	114
4.2.1	Struktur prototip.....	114
4.3.	Pembuatan dan Pengujian Benda Uji Balok Kolom.....	116
4.3.1	Benda uji balok kolom.....	116
4.3.2	Set up benda uji dan pengujian.....	123

#### BAB V HASIL UJI DAN PEMBAHASAN

5.1.	Hasil Uji Pendahuluan.....	129
5.1.1.	Hasil pengujian tulangan baja.....	129
5.1.2.	Hasil pengujian plat baja.....	131
5.1.3.	Hasil pengujian tekan silinder beton.....	134
5.2.	Hasil Pengujian Hubungan Balok Kolom.....	136
5.2.1.	Formasi retak dan mode kegagalan.....	136
5.2.2.	<i>Hysteretic loop</i> .....	154
5.2.3.	Kurva beban lateral dan <i>drift ratio</i> .....	160
5.2.4.	Kekakuan siklus.....	168

5.2.5. <i>Hysteretic energy</i> .....	175
5.2.6. Daktilitas.....	177
5.3. Kriteria Penerimaan.....	181
5.4. Analisis Kapasitas Geser Benda Uji berdasarkan SNI 2847:2013 dan Park/Paulay, 1974.....	187
5.4.1. Kapasitas geser desain HBK menurut SNI 2847:2013.....	187
5.4.2. Syarat sengkang minimum HBK menurut SNI 2847:2013.....	188
5.4.3. Kapasitas geser desain HBK menurut SNI 2847:2013 dan profil baja <i>king cross</i> .....	188
5.4.4. Kapasitas geser desain HBK menurut Park dan Paulay.....	189
5.4.5. Kapasitas geser desain HBK menurut Park dan Paulay dan profil baja <i>king cross</i> .....	184
5.4.6. Perbandingan kapasitas geser desain HBK menurut SNI 2847:2013 dan Park Paulay (1974).....	190
5.5. Perbandingan Kinerja BHK dengan Penelitian Sebelumnya.....	195
5.6. Perbandingan Faktor Daktilitas dengan Penelitian Sebelumnya.....	198
<b>BAB VI KESIMPULAN</b>	
6.1 Kesimpulan.....	200
6.2 Saran.....	201
<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	202

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Variasi benda uji penelitian Montava dkk, 2011	16
Tabel 2.2	Kesimpulan pengujian Unit 1 (Park dan Paulay, 1972)	24
Tabel 2.3	Kesimpulan pengujian Unit 2 (Park dan Paulay, 1972)	25
Tabel 2.4	Kesimpulan pengujian Paulay dan Scarpas (1981)	30
Tabel 2.5	Kesimpulan pengujian Sasmal (2009)	33
Tabel 2.6	Kesimpulan pengujian Chen dkk (2009)	37
Tabel 2.7	Detil spesimen Kaung dan Wong (2009)	38
Tabel. 2.8	Kesimpulan pengujian Kaung dan Wong (2011)	40
Tabel 2.9	Kesimpulan pengujian Lu dkk (2011)	45
Tabel 2.10	Kesimpulan pengujian Asha dan Sundararajan, 2011	50
Tabel 2.11	Detail spesimen HBK balok kolom Asthianti dkk (2013)	51
Tabel 2.12	Kesimpulan pengujian Ashtiani dkk (2013)	55
Tabel 2.13	Karakteristik spesimen tes Masi dkk (2013)	56
Tabel 2.14	Kesimpulan pengujian Masi dkk (2013)	59
Tabel 2.15	<i>Displacement</i> , beban ultimit, daktilitas dan kekakuan spesimen (Rajagopal dan Prabavaty, 2013)	63
Tabel 2.16	Kesimpulan pengujian Rajagopal dan Prabavathy (2013)	63
Tabel 2.17	Detail Parameter spesimen Bin-yang Li dkk (2018)	65
Tabel 3.1	Nilai $\gamma$ untuk HBK	84
Tabel 3.2	Kapasitas geser beton HBK ( $V_n$ )	87
Tabel 3.3	Tulangan transversal kolom rangka momen khusus	88
Tabel 3.4	Faktor $R$ , $C_d$ , $\Omega_0$ Untuk Sistem Penahan Gempa (SNI-176-2012, Tabel 9)	101
Tabel 3.5	Simpangan Antar Lantai Ijin, $\Delta_a^{a,b}$ (SNI-1726-2012, Tabel 16)	103
Tabel 4.1	Rancangan campuran beton untuk benda uji balok kolom	112

Tabel 4.2	Variasi benda uji balok kolom	116
Tabel 4.3	Karakteristik benda uji balok kolom	117
Tabel 5.1	Hasil pengujian terhadap karakteristik baja	130
Tabel 5.2	Hasil pengujian terhadap karakteristik baja	132
Tabel 5.3	Hasil pengujian kuat tekan silinder beton	135
Tabel 5.4	Deskripsi retak pertama	137
Tabel 5.5	Kesimpulan hasil eksperimen semua spesimen berdasarkan tingkat beban	161
Tabel 5.6	Kesimpulan hasil eksperimen semua spesimen berdasarkan <i>drift ratio</i>	161
Tabel 5.7	Perbandingan beban maksimum spesimen NR, S30 dan SKC30	162
Tabel 5.8	Perbandingan beban maksimum spesimen NR, KC30 dan KC100	164
Tabel 5.9	Perbandingan beban maksimum spesimen SKC30, KC30 dan KC100	167
Tabel 5.10	Faktor daktilitas	180
Tabel 5.11	Perbandingan $E_n$ dan $E$ pada <i>drift</i> < 2%	181
Tabel 5.12	Perbandingan $0,75E_{max}$ dan $E$ pada drift 3,5% siklus ketiga	182
Tabel 5.13	Nilai $\beta$	183
Tabel 5.14	Perbandingan 0,05 Kekakuan awal dan kekakuan sekan 0,35%	186
Tabel 5.15	Perbandingan kapasitas geser HBK terpasang ( $V_n$ ) SNI 2847:2013 dan kapasitas geser perlu HBK ( $V_u$ )	187
Tabel 5.16	Perbandingan $(Ash/s)_{terpasang}$ dan $(Ash/s)_{perlu}$ SNI 2847:2013	188
Tabel 5.17	Perbandingan kapasitas geser $(V_k+V_n)$ (terpasang) SNI	189

	2847:2013 dan kapasitas geser perlu ( $V_u$ ) berdasarkan kapasitas lentur balok	
Tabel 5.18	Perbandingan kapasitas geser HBK terpasang ( $V_n$ ) Park dan Paulay,1974 terhadap kapasitas geser perlu HBK ( $V_u$ )	189
Tabel 5.19	Perbandingan kapasitas geser HBK terpasang ( $V_k+V_c+V_s$ ) Park dan Paulay,1974 terhadap kapasitas geser perlu HBK ( $V_u$ )	190
Tabel 5.20	Perbandingan $V_n$ dan P lateral berdasarkan SNI 2847:2013, Park/Paulay (1974) dan eksperimen	191
Tabel 5.21	Perbandingan $V_n+V_k$ dan P lateral berdasarkan SNI 2847:2013, Park/Paulay (1974) dan eksperimen	192
Tabel 5.22	Perbandingan $P_{eks}/P_{teori}$ beberapa metode dengan penelitian sebelumnya	196
Tabel 5.23	Perbandingan $P_{eks}/P_{teori}$ dengan penelitian sebelumnya	197
Tabel 5.24	Perbandingan faktor daktilitas dengan penelitian sebelumnya	199

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Kerusakan HBK pada salah satu sisi Hotel Ambacang akibat Gempa Padang, 2009 <a href="http://duniatekniksipil.web.id/667/oleh-oleh-dari-padang/">http://duniatekniksipil.web.id/667/oleh-oleh-dari-padang/</a>	3
Gambar 1.2	Reruntuhan Hotel Ambacang akibat Gempa Padang, 2009 <a href="https://mukhliscaniago.wordpress.com/2010/07/22/gempa-padang-dalam-kenangan/">https://mukhliscaniago.wordpress.com/2010/07/22/gempa-padang-dalam-kenangan/</a>	3
Gambar 1.3	Kerusakan akibat kurangnya detail penulangan HBK pada Gedung Ketahanan Pangan Padang akibat Gempa Padang 2009 (Paul Grundy, 2010)	4
Gambar 2.1	Tipe penampang melintang kolom komposit dengan penampang H terbungkus beton ( <i>concrete encased</i> ) penuh atau sebagian (Albdoor, 2013)	11
Gambar 2.2	Tipe penampang melintang kolom komposit dengan penampang berlubang berisi beton ( <i>concrete filled</i> ) (Albdoor, 2013)	11
Gambar 2.3	(a) Detail plat dukung ; (b) <i>Extended FBP</i> , kolom baja dan detail <i>stud</i> geser (Sheikh dkk, 1989)	13
Gambar 2.4	Detail hubungan kolom profil <i>king cross</i> dengan sayap balok profil H (Chen dan Lin, 2009)	14
Gamabar 2.5	Perbandingan beban P spesimen SRC dengan profil XH (SRC-XH) dan spesimen dengan profil H (SRC H) pada loop histeristik beban - <i>displacement</i> (Chen dan Lin, 2009)	14
Gamabar 2.6	Benda uji HBK baja beton bertulang (Changwang dan Jinqing, 2010)	15
Gambar 2.7	Benda uji HBK menggunakan baja beton bertulang (Montava dkk, 2011)	15
Gambar 2.8	Kurva beban- <i>displacement</i> penampang baja beton	16



	bertulang, SRC (P04) (Montasva dkk, 2011)	
Gambar 2.9	Detail hubungan balok kolom (Hwang dkk, 2005)	19
Gambar 2.10	Detail unit tes seri 1 (Park dan Paulay, 1972)	20
Gambar 2.11	Detail unit tes seri 2 (Park dan Paulay, 1972)	21
Gambar 2.12	Aplikasi beban terhadap daktilitas penampang balok untuk unit M3, terjadi kegagalan geser HBK pada deformasi positif dan negatif (Park dan Paulay, 1972)	22
Gambar 2.13	Aplikasi beban terhadap <i>displacement</i> balok unit R3, terjadi kegagalan penjangkaran tulangan balok pada kolom (Park dan Paulay, 1972)	22
Gambar 2.14	Aplikasi beban terhadap <i>displacement</i> balok untuk unit P3, terjadi kegagalan geser joint (Park dan Paulay, 1972)	23
Gambar 2.15	Detail spesimen tes Unit 1 - 3 (Paulay dan Scarpas, 1981)	27
Gambar 2.16	Respon beban – <i>displacement</i> unit (1),(2) dan (3) (Paulay dan Scarpas, 1981)	28
Gambar 2.17	<i>Beam shear failure</i> (Paulay dan Scarpas, 1981)	29
Gambar 2.18	<i>Joint shear failure</i> pada Unit 2 (Paulay dan Scarpas, 1981)	29
Gambar 2.19	Detail penulangan spesimen (Sasmal, 2009)	31
Gambar 2.20	Respon beban – <i>displacement</i> (Sasmal, 2009)	31
Gambar 2.21	<i>Bond Joint Failure</i> SP1 (Sasmal, 2009)	32
Gambar 2.22	Kegagalan geser HBK (Sasmal, 2009)	32
Gambar 2.23	Detail spesimen HBK SRC (Chen dkk, 2009)	34
Gambar 2.24	Respon beban – <i>joint displacement</i> SRC (Chen dkk, 2009)	35
Gambar 2.25	<i>Joint failure</i> SRC-XH1 – SRC-XH2-A2 (Chen, 2009)	36
Gambar 2.26	Detail spesimen tes (Kaung dan Wong, 2011)	38
Gambar 2.27	Aksi gaya internal dan eksternal joint balok kolom	39
Gambar 2.28	Loop histeristik beban <i>displacement</i> (Kaung dan Wong, 2011)	39

Gambar 2.29	Detail spesimen tes (Lu dkk, 2011)	42
Gambar 2.30	Loop histeristik beban <i>displacement</i> (Lu dkk, 2011)	43
Gambar 2.31	Kegagalan lentur balok pada J1-1 dan J1-2	44
Gambar 2.32	Kegagalan lentur balok pada J1-3	44
Gambar 2.33	Kegagalan geser HBK pada J1-4, <i>beam failure</i> pada J2-2	44
Gambar 2.34	Kegagalan balok pada J3-2 dan J4	44
Gambar 2.35	Detail spesimen tes (Asha dan Sundararajan, 2011)	47
Gambar 2.36	Loop histeretik beban <i>displacement</i> (Asha dan Sundararajan, 2011)	48
Gambar 2.37	Pola retak (Asha dan Sundararajan, 2011)	49
Gambar 2.38	Detail dari instrumentasi dan rakitan balok kolom (Ashtiani dkk, 2013)	51
Gambar 2.39	Hubungan geser tingkat terhadap simpangan tingkat seluruh spesimen	52
Gambar 2.40	Gambar kondisi retak pada rasio simpangan 1,5%, 2,5% dan 4,5%	54
Gambar 2.41	(a) Detil HBK Z2 ( <i>zona seismic</i> 2) dan (b) detail HBK NE (beban gravitasi saja)	56
Gambar 2.42	Hasil tes dan tahap kerusakan akhir HBK T1 dan T6	58
Gambar 2.43	Hasil tes dan tahap kerusakan akhir HBK T3 dan T5	59
Gambar 2.44	Detail spesimen tes (Rajagopal dan Prabavaty, 2013)	61
Gambar 2.45	Beban vs perpindahan (Rajagopal dan Prabavaty, 2013)	62
Gambar 2.46	Elevasi spesimen JS-1 (satuan:mm) (Bin-yang Li, 2018)	65
Gambar 2.47	Pelat menerus pada HBK spesimen JS-1 (Bin-yang Li, 2018)	65
Gambar 2.48	Elevasi dan detail HBK spesimen JD-1 dan JD-2 (Bin-yang Li, 2018)	66
Gambar 2.49	Kurva histeretik beban horisontal- <i>displacement</i> (Bin-yang	67

	Li dkk, 2018)	
Gambar 2.50	<i>Envelope curve</i> dan kurva momen rotasi JD-1,2 (Bin-yang Li dkk, 2018)	67
Gambar 2.51	Detail spesimen PRCS1 dan PRCS3 (Khaloo dan Doost, 2018)	68
Gambar 2.52	Detail spesimen PRCS2 (Khaloo dan Doost, 2018)	69
Gambar 2.53	Detail spesimen PRCS4 (Khaloo dan Doost, 2018)	69
Gambar 2.54	<i>Envelope curve</i> rata-rata beban tarik dan tekan- <i>displacement</i> spesimen (Khaloo dan Doost, 2018)	70
Gambar 2.55	Detail spesimen J1/J2, J3 dan J4 (Jingchen Liu dkk, 2018)	71
Gambar 2.56	Detail spesimen C1 (Campione dkk, 2015)	73
Gambar 2.57	Detail spesimen C2R (Campione dkk, 2015)	73
Gambar 2.58	Detail spesimen C1RR, C2RR, C3RR (Campione dkk, 2018)	74
Gambar 2.59	Detail spesimen C4RR (Campione dkk, 2018)	74
Gambar 3.1	Aksi HBK interior pada rangka bidang bertingkat (Park dan Paulay, 1974)	77
Gambar 3.2.	Aksi internal dan pola retak (Park dan Paulay, 1974)	77
Gambar 3.3	Transfer geser oleh mekanisme tekan (Park dan Paulay, 1974)	78
Gambar 3.4	Idealisasi penempatan gaya pada inti joint dengan beban tekan pada kolom (Park dan Paulay, 1974)	78
Gambar 3.5	Perbandingan Pers 3.2, 3.3 dengan hasil eksperimen (ACI, 1962 dalam Park dan Paulay, 1974)	80
Gambar 3.6	Senggang efektif penahan geser pada joint balok kolom eksterior (Park dan Paulay, 1974)	82
Gambar 3.7	Luas HBK efektif (dalam SNI 03-2847-2013)	86
Gambar 3.8	Resultan tegangan internal pada HBK interior (Paulay dan	89

	Priestly, 1992)	
Gambar 3.9	Detail utama mekanisme geser HBK (Paulay dan Priestly, 1992)	89
Gambar 3.10	Profil baja XH pada kolom SRC (Chen dan Lin, 2009)	93
Gambar 3.11	Penampang kolom baja <i>wide flange</i> (Chen dan Lin, 2009)	93
Gambar 3.12	Definisi daktilitas struktur (ASTM E 2126-02a)	102
Gambar 3.13	Penentuan nilai kekakuan	103
Gambar 3.14	Observed hysteretic curve and envelope curve (ASTM E 2126-02a, 2003)	104
Gambar 3.15	<i>Hysteretic loops</i> dan <i>potential energy</i>	105
Gambar 3.16	Siklus pembebanan dengan kontrol perpindahan (ACI T1.1-01)	107
Gambar 3.17	Besaran untuk evaluasi kriteria penerimaan (ACI T1.1-01)	108
Gambar 3.18	Disipasi Energi relatif (ACI T1.1-01)	108
Gambar 3.19	Perilaku histeretik yang tidak dapat diterima (ACI T1.1-01)	109
Gambar 4.1	Profil Baja <i>king cross</i> yang digunakan sebagai perkuatan geser pada HBK	113
Gambar 4.2	Profil baja <i>king cross</i> pada benda uji (a) SKC30 (b) KC30 (c) KC100	113
Gambar 4.3	Dimensi balok dan kolom dari hasil analisis struktur menggunakan SAP 2000 (Wijaya, 2015)	114
Gambar 4.4	Tinggi profil baja <i>king cross</i> pada benda uji SKC30, KC30 dan KC100	114
Gambar 4.5	Dimensi balok dan kolom dari hasil analisis struktur menggunakan SAP 2000 (Wijaya, 2015)	115
Gambar 4.6	Idealisasi struktur balok kolom yang dibebani beban gempa dan gravitasi	115
Gambar 4.7	Detail benda uji NR	118

Gambar 4.8	Detail benda uji S30	119
Gambar 4.9	Detail benda uji SKC30	120
Gambar 4.10	Detail benda uji KC30	121
Gambar 4.11	Detail benda uji KC100	122
Gambar 4.12	Setup pengujian balok kolom	124
Gambar 4.13	Skema pengujian balok kolom	125
Gambar 4.14	Urutan skenario <i>displacement</i> spesimen NR	126
Gambar 4.15	Urutan skenario <i>displacement</i> spesimen S30	126
Gambar 4.16	Urutan skenario <i>displacement</i> spesimen SKC30	127
Gambar 4.17	Urutan skenario <i>displacement</i> spesimen KC30	127
Gambar 4.18	Urutan skenario <i>displacement</i> spesimen KC100	128
Gambar 4.19	Urutan skenario <i>displacement</i> ACI T1.1-01	128
Gambar 5.1	Grafik tegangan regangan tulangan polos diameter 6 mm	130
Gambar 5.2	Grafik tegangan regangan tulangan polos diameter 8 mm	131
Gambar 5.3	Grafik tegangan regangan tulangan ulir diameter 13 mm	131
Gambar 5.4	Grafik tegangan regangan pelat baja 4 mm	132
Gambar 5.5	Grafik tegangan regangan pelat baja 5,5 mm	133
Gambar 5.6	Grafik tegangan regangan pelat baja 10 mm	133
Gambar 5.7	Retak pertama spesimen NR pada daerah lentur dan momen maksimum balok ( <i>drift</i> 0,35% siklus 1)	137
Gambar 5.8	Retak pertama spesimen S30 pada daerah lentur dan momen maksimum balok ( <i>drift</i> 0,35% siklus 3)	138
Gambar 5.9	Retak pertama spesimen SKC30 pada daerah lentur dan momen maksimum balok ( <i>drift</i> 0,25% siklus 1)	138
Gambar 5.10	Retak pertama spesimen KC30 pada daerah lentur dan momen maksimum balok ( <i>drift</i> 0,25% siklus 1)	139
Gambar 5.11	Retak pertama spesimen KC100 pada daerah lentur dan momen maksimum balok ( <i>drift</i> 0,25% siklus 3)	139

Gambar 5.12	Hysteretic loop dan failure mode spesimen NR	141
Gambar 5.13	Hysteretic loop dan failure mode spesimen S30	143
Gambar 5.14	Hysteretic loop dan failure mode spesimen SKC30	145
Gambar 5.15	Hysteretic loop dan failure mode spesimen KC30	147
Gambar 5.16	Hysteretic loop dan failure mode spesimen KC100	149
Gambar 5.17	Retak pada HBK spesimen NR ( <i>drift</i> 3,5%)	153
Gambar 5.18	Retak pada HBK spesimen S30 ( <i>drift</i> 3,5%)	153
Gambar 5.19	Retak pada HBK spesimen SKC30 ( <i>drift</i> 3,5%)	153
Gambar 5.20	Retak pada HBK spesimen KC30 ( <i>drift</i> 3,5%)	153
Gambar 5.21	Retak pada HBK spesimen KC100 ( <i>drift</i> 2,75%)	153
Gambar 5.22	<i>Hysteretic loop</i> spesimen NR	154
Gambar 5.23	<i>Hysteretic loop</i> spesimen S30	155
Gambar 5.24	<i>Hysteretic loop</i> spesimen SKC30	155
Gambar 5.25	<i>Hysteretic loop</i> spesimen KC30	156
Gambar 5.26	<i>Hysteretic loop</i> spesimen KC100	156
Gambar 5.27	<i>Hysteretic loop</i> NR pada <i>drift</i> 3,5% siklus pertama	157
Gambar 5.28	<i>Hysteretic loop</i> S30 pada <i>drift</i> 3,5% siklus pertama	158
Gambar 5.29	<i>Hysteretic loop</i> SKC30 pada <i>drift</i> 2,75% siklus pertama	158
Gambar 5.30	<i>Hysteretic loop</i> KC30 pada <i>drift</i> 2,75% siklus pertama	159
Gambar 5.31	<i>Hysteretic loop</i> KC100 pada <i>drift</i> 2,75% siklus pertama	159
Gambar 5.32	<i>Envelope curve</i> spesimen NR, S30, SKC30, KC30 dan KC100	161
Gambar 5.33	<i>Envelope curve</i> spesimen NR, S30, SKC30	163
Gambar 5.34	<i>Envelope curve</i> spesimen NR, KC30, KC100	164
Gambar 5.35	Perbandingan beban maksimum spesimen NR, KC30 dan KC100 pada respon positif siklus pertama, kedua dan ketiga	165
Gambar 5.36	Perbandingan beban maksimum spesimen NR, KC30 dan	

	KC100 pada respon negatif siklus pertama, kedua dan ketiga	166
Gambar 5.37	<i>Envelope curve</i> spesimen SKC30, KC30, KC100	167
Gambar 5.38	Kekakuan respon positif siklus pertama benda uji S30 dan SKC30	168
Gambar 5.39	Kekakuan respon negatif siklus pertama benda uji S30 dan SKC30	169
Gambar 5.40	Kekakuan respon positif siklus ketiga benda uji S30 dan SKC30	169
Gambar 5.41	Kekakuan respon negatif siklus pertama benda uji S30 dan SKC30	170
Gambar 5.42	Kekakuan respon positif siklus pertama benda uji NR, SKC30, KC30 dan KC100	170
Gambar 5.43	Kekakuan respon negatif siklus pertama benda uji NR, SKC30, KC30 dan KC100	171
Gambar 5.44	Kekakuan respon positif siklus ketiga benda uji NR, SKC30, KC30 dan KC100	171
Gambar 5.45	Kekakuan respon negatif siklus ketiga benda uji NR, SKC30, KC30 dan KC100	172
Gambar 5.46	Kekakuan respon positif siklus pertama benda uji NR, KC30 dan KC100	173
Gambar 5.47	Kekakuan respon negatif siklus pertama benda uji NR, KC30 dan KC100	173
Gambar 5.48	Kekakuan respon positif siklus ketiga benda uji NR, KC30 dan KC100	174
Gambar 5.49	Kekakuan respon negatif siklus ketiga benda uji NR, KC30 dan KC100	174
Gambar 5.50	<i>Hysteretic energy</i> siklus pertama arah respon positif	175

Gambar 5.51	<i>Hysteretic Energy</i> siklus pertama arah respon negatif	176
Gambar 5.52	<i>Hysteretic energy</i> siklus ketiga arah respon positif	176
Gambar 5.53	<i>Hysteretic energy</i> siklus ketiga arah respon negatif	177
Gambar 5.54	Kekakuan elastis dan kekakuan efektif pada <i>envelope curve</i> spesimen NR	178
Gambar 5.55	Kekakuan elastis dan kekakuan efektif pada <i>envelope curve</i> spesimen S30	178
Gambar 5.56	Kekakuan elastis dan kekakuan efektif pada <i>envelope curve</i> spesimen SKC30	179
Gambar 5.57	Kekakuan elastis dan kekakuan efektif pada <i>envelope curve</i> spesimen KC30	179
Gambar 5.58	Kekakuan elastis dan kekakuan efektif pada <i>envelope curve</i> spesimen KC100	180
Gambar 5.59	Rasio disipasi relatif spesimen NR	184
Gambar 5.60	Rasio disipasi relatif spesimen S30	184
Gambar 5.61	Rasio disipasi relatif spesimen SKC30	185
Gambar 5.62	Rasio disipasi relatif spesimen KC30	185
Gambar 5.63	Rasio disipasi relatif spesimen KC100	186
Gambar 5.64	Perbandingan beban lateral eksperimen terhadap teoritis spesimen NR	192
Gambar 5.65	Perbandingan beban lateral eksperimen terhadap teoritis spesimen S30	193
Gambar 5.66	Perbandingan beban lateral eksperimen terhadap teoritis spesimen SKC30	193
Gambar 5.67	Perbandingan beban lateral eksperimen terhadap teoritis spesimen KC30	194
Gambar 5.68	Perbandingan beban lateral eksperimen terhadap teoritis spesimen KC100	194



Gambar 5.69 Perbandingan Peks/Pteori dengan penelitian sebelumnya

197

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Tegangan Geser Profil Baja <i>King Cross</i>	207
Lampiran 2	Desain Kolom	210
Lampiran 3	Desain Balok dan HBK Benda Uji NR, S30, SKC30, KC30 dan KC100	213
Lampiran 4	Kapasitas Geser HBK Terpasang ( $V_n$ ) SNI 2847:2013	219
Lampiran 5	Perhitungan $E_n$ pada Kriteria Penerimaan	220
Lampiran 6	$(A_{sh}/s)_{\text{terpasang}}$ dan $(A_{sh}/s)_{\text{perlu}}$ Benda Uji S30, SKC30	222
Lampiran 7	Pembacaan Strain Gauge	217
Lampiran 8	Mix design beton benda uji	225

## DAFTAR NOTASI

$A_b$	Luas tulangan tunggal, mm <sup>2</sup>
$A_c$	Luas inti kolom diukur dari sisi luar sengkang, mm <sup>2</sup>
$A_{ch}$	Luas penampang komponen struktur yang diukur sampai tepi luar tulangan transversal, mm <sup>2</sup>
$A_f$	Luas penampang sayap profil King cross, mm <sup>2</sup>
$A_g$	Luas bruto penampang, mm <sup>2</sup>
$A_j$	Luas penampang efektif pada HBK di bidang yang paralel terhadap bidang tulangan yang menimbulkan geser dalam HBK, mm <sup>2</sup>
$A_s$	Luas tulangan tarik, mm <sup>2</sup>
$A'_s$	Luas tulangan tekan, mm <sup>2</sup>
$A_{sh}$	luas tulangan sengkang, mm <sup>2</sup>
$A_v$	Luas tulangan geser dalam jarak s, mm <sup>2</sup>
$A_w$	Luas badan, keseluruhan tinggi dikali tebal badan, mm <sup>2</sup>
$\beta$	Rasio tulangan tarik terhadap tulangan tekan
$b_b$	Lebar badan balok, mm
$b_c$	Dimensi inti kolom, diukur dari sisi luar tulangan transversal, tegak lurus luas tulangan transversal yang didesain, mm
$b_{cf}$	Lebar sayap profil king cross, mm
$b_j$	Lebar efektif HBK, mm

$b_w$	Lebar badan, mm
$C_2$	Gaya tekan aksial balok, N
$C'_c$	Gaya tekan beton internal, N
$C_v$	Koefisien geser
$d$	Jarak dari serat tekan maksimum ke pusat tulangan tarik, mm
$d'$	Jarak dari serat tekan maksimum ke pusat tulangan tekan, mm
$d_b$	Diameter tulangan nominal balok, mm
$d_c$	Diameter tulangan nominal kolom, mm
$\Delta$	Perpindahan, mm
$E$	Modulus elastisitas baja, MPa
$E_c$	Modulus elastis beton, MPa
$E_{sh}$	Modulus strain hardening baja tulangan, MPa
$f'_c$	Kekuatan tekan beton, MPa
$f_{yf}$	Tegangan leleh sayap profil King cross, MPa
$f_s$	Tegangan tarik baja, MPa
$f_y$	Tegangan leleh tulangan, MPa
$f_{yh}$	Tegangan leleh tulangan geser, MPa
$f_{yt}$	Tegangan leleh tulangan transversal, MPa
$F_{yw}$	Tegangan leleh badan profil King cross
$h_c$	Tinggi kolom, mm

$h_x$	Spasi horizontal kait silanga tau kaki sengkang tertutup pusat ke pusat maksimum pada semua muka kolom, mm
$l_d$	Panjang penyaluran tulangan lurus, mm
$l_b$	Panjang bentang balok, mm
$l_c$	Panjang kolom, mm
$\lambda_o$	Faktor peningkatan kekuatan baja
$\rho$	Rasio luas tulangan total kolom
$M_b$	Momen balok, Nmm
$M_u$	Momen akibat kombinasi aksi beban dan gaya terfaktor, Nm
$\mu_u$	Kapasitas daktilitas
$N_{u,k}$	Gaya tekan vertikal, N
$N_u$	Gaya tekan vertikal, N
$P_u$	Gaya aksial desain, N
$P_c$	Beban lateral ujung kolom, N
$P_b$	Beban vertikal ujung balok, N
$T_s$	Gaya Tarik tulangan, N
$T_{cf}$	Tebal sayap profil King cross, mm
$t_w$	Tebal badan profil King cross, mm
$s$	Spasi antara sengkang sepanjang elemen struktur, mm
$V'$	Gaya geser kolom berdasarkan kapasitas momen balok, N
$V_c$	Kapasitas geser beton HBK, N

$v_c$	Tegangan geser beton HBK, MPa
$V_{col}$	Gaya geser desain kolom, N
$V_{ch}$	Kekuatan geser HBK horizontal, N
$V_j$	Gaya geser horizontal HBK, N
$V_n$	Kekuatan geser nominal HBK, N
$V_{rc}$	Kekuatan geser berdasarkan penampang beton, N
$V_s$	Kekuatan geser yang disediakan oleh tulangan geser, N
$V_{sh}$	Kekuatan geser HBK horizontal yang disediakan tulangan geser HBK horizontal, N
$V_{slf}$	Kekuatan geser yang disediakan oleh dua sayap longitudinal profil King cross, N
$V_u$	Syarat kekuatan geser akibat kombinasi aksi gaya, N
$V_{sw}$	Kekuatan geser yang disediakan oleh badan, N