

BAB VI

DESAIN STRUKTUR BETON BERTULANG TAHAN GEMPA

Desain struktur penelitian numeris ini dilakukan dengan menggunakan hasil analisis struktur dari SAP90 dan dilakukan dengan menggunakan Standar Nasional Indonesia SKSNI T-15-1991-03. Struktur yang akan didesain adalah struktur 18 tingkat.

6.1 Desain Balok

Momen balok didapatkan dari hasil analisis struktur dengan SAP90. Momen hasil analisis struktur yang didapat merupakan momen pada ujung balok atau as kolom, yang kemudian di kombinasikan berdasarkan ke-3 tipe pembebanan di bawah ini;

$$\text{Kombinasi pembebanan 1 : } Mu = 1,2 M_D + 1,6 M_D$$

$$\text{Kombinasi pembebanan 2 : } Mu = 1,05 (M_D + 0,75 M_L \pm M_E)$$

$$\text{Kombinasi pembebanan 3 : } Mu = 0,9 M_D \pm M_E$$

Kombinasi momen balok tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.1 berikut ini.

Tabel 6.1.a Kombinasi momen balok portal C

Lantai	Rangka	Elemen	Sect	MD (kNm)	MI (kNm)	MFx (kNm)	Mey (kNm)	1,2MD+				0,9(MD+ME)				1,05(MD+0,75ML+ME)				Mmax (kNm)	Mmin (kNm)
								1,6ML (kNm)	Ex ki (kNm)	Ex ka (kNm)	Ey ki (kNm)	Ey ka (kNm)	Ex ki (kNm)	Ex ka (kNm)	Ey ki (kNm)	Ey ka (kNm)	Ex ki (kNm)	Ex ka (kNm)	Ey ki (kNm)		
1	1-2	843	0,0	-191,19	-44,87	340,80	-0,53	-301,22	134,65	-478,79	-172,55	-171,59	128,82	-586,86	-229,57	-228,46	134,65	-586,86			
			4,5	109,05	25,22	9,14	0,02	171,21	106,37	89,92	98,16	98,13	139,99	120,79	130,41	130,37	171,21	89,92			
			9,0	-193,41	-43,87	-322,53	0,58	-302,28	-44,35	116,21	-173,55	-174,59	-569,38	107,94	-230,11	-231,33	116,21	-569,38			
	2-3	858	0,0	-193,41	-43,87	322,43	0,58	-302,28	116,12	-464,26	-173,55	-174,59	107,83	-569,27	-230,11	-231,33	116,12	-569,27			
			4,5	109,05	25,22	-9,08	0,02	171,21	89,97	106,32	98,16	98,13	120,86	139,93	130,41	130,37	171,21	89,97			
			9,0	-191,19	-44,87	-340,58	-0,53	-301,22	-478,59	134,45	-172,55	-171,59	-586,63	128,59	-229,57	-228,46	134,45	-586,63			
	2	1-2	873	0,0	-214,56	-50,81	359,66	-0,96	-338,77	130,59	-516,80	-193,97	-192,24	120,34	-634,94	-258,31	-256,29	130,59	-634,94		
				4,5	107,25	24,81	7,01	0,03	168,40	102,83	90,22	96,55	96,50	135,60	120,88	128,27	128,21	168,40	90,22		
				9,0	-173,65	-38,75	-345,65	1,03	-270,38	-467,37	154,80	-155,36	-157,21	-569,68	156,19	-205,66	-207,83	156,19	-569,68		
2-3		888	0,0	-173,65	-38,75	345,59	1,03	-270,38	154,75	-467,32	-155,36	-157,21	156,12	-569,61	-205,66	-207,83	156,12	-569,61			
			4,5	107,25	24,81	-7,96	0,03	168,40	90,26	102,79	96,55	96,50	120,93	135,55	128,27	128,21	168,40	90,26			
			9,0	-214,56	-50,81	-359,51	-0,96	-338,77	-516,66	130,46	-193,97	-192,24	-634,78	120,19	-258,31	-256,29	130,46	-634,78			
3		1-2	903	0,0	-227,23	-54,20	364,96	-1,37	-359,40	123,96	-532,97	-205,74	-203,27	110,47	-655,95	-274,18	-271,30	123,96	-655,95		
				4,5	107,81	24,95	7,44	0,05	169,29	103,73	90,33	97,07	96,98	136,73	121,11	128,97	128,87	169,29	90,33		
				9,0	-159,86	-35,07	-350,09	1,46	-247,94	-458,96	171,21	-142,56	-145,19	-557,54	177,65	-188,41	-191,48	177,65	-557,54		
	2-3	918	0,0	-159,86	-35,07	350,04	1,46	-247,94	171,16	-458,91	-142,56	-145,19	177,59	-557,49	-188,41	-191,48	177,59	-557,49			
			4,5	107,81	24,95	-7,38	0,05	169,29	90,39	103,67	97,07	96,98	121,17	136,67	128,97	128,87	169,29	90,39			
			9,0	-227,23	-54,20	-364,81	-1,37	-359,40	-532,84	123,82	-205,74	-203,27	-655,79	110,31	-274,18	-271,30	123,82	-655,79			
	4	1-2	933	0,0	-239,22	-57,40	366,13	-1,77	-378,90	114,22	-544,82	-216,89	-213,71	97,09	-671,78	-289,20	-285,48	114,22	-671,78		
				4,5	108,21	25,06	7,44	0,06	169,95	104,09	90,69	97,44	97,34	137,22	121,60	129,47	129,35	169,95	90,69		
				9,0	-147,05	-31,66	-351,25	1,89	-227,12	-448,47	183,78	-130,64	-134,05	-543,16	194,46	-172,36	-176,33	194,46	-543,16		
2-3		948	0,0	-147,05	-31,66	351,21	1,89	-227,12	183,74	-448,43	-130,64	-134,05	194,42	-543,12	-172,36	-176,33	194,42	-543,12			
			4,5	108,21	25,06	-7,39	0,06	169,95	90,74	104,04	97,44	97,34	121,65	137,17	129,47	129,35	169,95	90,74			
			9,0	-239,22	-57,40	-365,99	-1,77	-378,90	-544,69	114,09	-216,89	-213,71	-671,63	96,95	-289,20	-285,48	114,09	-671,63			
5		1-2	963	0,0	-251,05	-60,53	366,02	-2,16	-398,11	103,47	-555,36	-227,89	-224,00	82,58	-686,06	-304,00	-299,47	103,47	-686,06		
				4,5	108,36	25,10	7,20	0,07	170,19	104,00	91,04	97,59	97,46	137,15	122,03	129,66	129,52	170,19	91,04		
				9,0	-134,93	-28,45	-351,63	2,30	-207,44	-437,90	195,03	-119,37	-123,51	-528,81	209,61	-157,19	-162,02	209,61	-528,81		
	2-3	978	0,0	-134,93	-28,45	351,61	2,30	-207,44	195,01	-437,89	-119,37	-123,51	209,59	-528,79	-157,19	-162,02	209,59	-528,79			
			4,5	108,36	25,10	-7,14	0,07	170,19	91,10	103,95	97,59	97,46	122,09	137,09	129,66	129,52	170,19	91,10			
			9,0	-251,05	-60,53	-365,90	-2,16	-398,11	-555,26	103,37	-227,89	-224,00	-685,93	82,46	-304,00	-299,47	103,37	-685,93			
	6	1-2	993	0,0	-254,37	-61,58	370,33	-2,43	-403,77	104,36	-562,23	-231,12	-226,75	82,96	-694,73	-308,44	-303,33	104,36	-694,73		
				4,5	110,40	25,60	8,61	0,10	173,44	107,11	91,61	99,45	99,27	141,09	123,01	132,15	131,94	173,44	91,61		
				9,0	-127,53	-26,40	-353,11	2,64	-195,28	-432,58	203,02	-112,40	-117,15	-521,30	220,23	-147,77	-153,31	220,23	-521,30		
2-3		1008	0,0	-127,53	-26,40	353,08	2,64	-195,28	203,00	-432,55	-112,40	-117,15	220,20	-521,27	-147,77	-153,31	220,20	-521,27			
			4,5	110,40	25,60	-8,55	0,10	173,44	91,67	107,06	99,45	99,27	123,07	141,03	132,15	131,94	173,44	91,67			
			9,0	-254,37	-61,58	-370,19	-2,43	-403,77	-562,10	104,24	-231,12	-226,75	-694,58	82,82	-308,44	-303,33	104,24	-694,58			
7		1-2	1023	0,0	-246,20	-59,96	341,21	-2,34	-391,38	85,51	-528,67	-223,69	-219,47	61,99	-654,56	-298,74	-293,83	85,51	-654,56		
				4,5	108,98	25,56	7,71	0,09	171,67	105,02	91,14	98,16	98,00	138,63	122,44	130,63	130,44	171,67	91,14		
				9,0	-131,47	-28,10	-325,78	2,53	-202,72	-411,53	174,88	-116,05	-120,60	-497,82	186,32	-153,09	-158,40	186,32	-497,82		
	2-3	1038	0,0	-131,47	-28,10	325,76	2,53	-202,72	174,86	-111,51	-116,05	-120,60	186,30	-497,79	-153,09	-158,40	186,30	-497,79			
			4,5	108,98	25,56	-7,66	0,09	171,67	91,19	104,98	98,16	98,00	122,49	138,57	130,63	130,44	171,67	91,19			
			9,0	-246,20	-59,96	-341,08	-2,34	-391,38	-528,55	85,39	-223,69	-219,47	-654,42	61,85	-298,74	-293,83	85,39	-654,42			

Tabel 6.1.b Kombinasi momen balok portal C

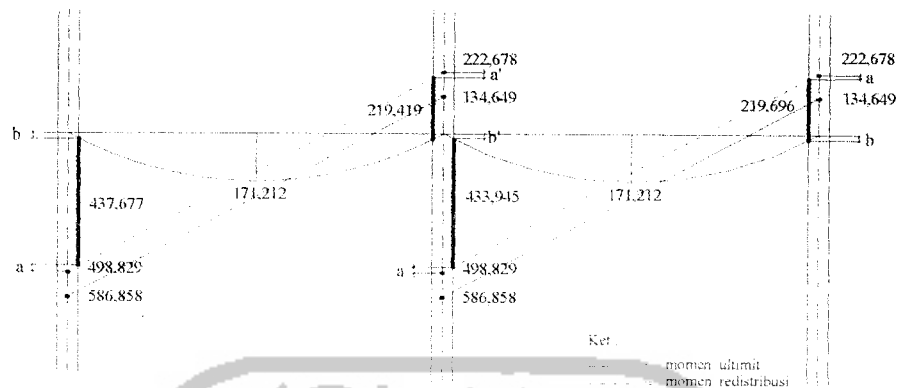
Lantai	Balok	Elm	Sect	MD (kNm)	ML (kNm)	MEx (kNm)	Mey (kNm)	1,2MD+ 1,6ML (kNm)	0,9(MD+ME)				1,05(MD+0,75ML+ME)				Mmax (kNm)	Mmin (kNm)	
									Ex ki (kNm)	Ex ka (kNm)	Ey ki (kNm)	Ey ka (kNm)	Ex ki (kNm)	Ex ka (kNm)	Ey ki (kNm)	Ey ka (kNm)			
8	1053	0,0	4,5	-254,1	-62,1	339,66	-2,6	-404,2	77,031	-534,4	-231,0	-226,3	50,772	-662,5	-308,6	-303,1	77,031	-662,5	
				109,13	25,6	7,61	0,11	171,92	105,07	91,368	98,316	98,118	138,71	122,72	130,83	130,6	171,92	91,368	
				-123,31	-25,92	-324,43	2,83	-189,44	-402,97	181,01	-108,43	-113,53	-486,46	194,85	-142,83	-148,78	194,85	-486,46	
	2-3	1068	0,0	4,5	-123,31	-25,92	324,45	2,83	-189,44	18,03	-402,98	-108,43	-113,53	194,87	-486,48	-142,83	-148,78	194,87	-486,48
					109,13	25,60	-7,57	0,11	171,92	91,40	105,03	98,32	98,12	122,77	138,66	130,83	130,60	171,92	91,40
					-254,07	-62,06	-339,58	-2,62	-404,18	-534,29	76,96	-231,02	-226,51	-662,43	50,69	-308,62	-303,12	76,96	-662,43
9	1-2	1083	0,0	-260,59	-63,80	328,99	-2,88	-414,79	61,56	-530,62	-237,12	-231,94	31,63	-659,25	-316,84	-310,79	61,56	-659,25	
				109,39	25,67	7,35	0,12	172,34	105,07	91,84	98,56	98,34	138,75	123,31	131,16	130,91	172,34	91,84	
				-116,27	-24,04	-314,29	3,12	-177,99	-387,50	178,22	-101,84	-107,45	-467,23	192,78	-133,95	-140,50	192,78	-467,23	
	2-3	1098	0,0	4,5	-116,27	-24,04	314,31	3,12	-177,99	178,24	-387,52	-101,84	-107,45	192,80	-467,25	-133,95	-140,50	192,80	-467,25
					109,39	25,67	-7,31	0,12	172,34	91,87	105,03	98,56	98,34	123,36	138,71	131,16	130,91	172,34	91,87
					-260,59	-63,80	-328,93	-2,88	-414,79	-530,57	61,51	-237,12	-231,94	-659,19	31,56	-316,84	-310,79	61,51	-659,19
10	1-2	1113	0,0	-266,32	-65,32	314,80	-3,11	-424,10	43,63	-523,01	-242,49	-236,89	9,75	-651,33	-324,05	-317,52	43,63	-651,33	
				109,64	25,74	7,07	0,13	172,75	105,04	92,31	98,79	98,56	138,76	123,91	131,47	131,20	172,75	92,31	
				-110,04	-22,38	-300,66	3,37	-167,86	-369,63	171,56	-96,00	-102,07	-445,33	186,05	-126,10	-133,18	186,05	-445,33	
	2-3	1128	0,0	4,5	-110,04	-22,38	300,69	3,37	-167,86	17,59	-369,66	-96,00	-102,07	186,08	-445,37	-126,10	-133,18	186,08	-445,37
					109,64	25,74	-7,03	0,13	172,75	92,35	105,00	98,79	98,56	123,96	138,72	131,47	131,20	172,75	92,35
					-266,32	-65,32	-314,74	-3,11	-424,10	-522,95	43,58	-242,49	-236,89	-651,26	9,69	-324,05	-317,52	43,58	-651,26
11	1-2	1143	0,0	-272,80	-67,01	298,55	-3,34	-434,58	23,18	-514,22	-248,53	-242,51	-15,18	-642,13	-332,16	-325,15	23,18	-642,13	
				109,50	25,71	6,47	0,13	172,54	104,37	92,73	98,67	98,43	137,97	124,38	131,31	131,04	172,54	92,73	
				-103,84	-20,75	-285,61	3,60	-157,81	-350,51	163,59	-90,22	-96,70	-422,00	177,79	-118,32	-125,88	177,79	-422,00	
	2-3	1158	0,0	4,5	-103,84	-20,75	285,66	3,60	-157,81	163,64	-350,55	-90,22	-96,70	177,84	-422,05	-118,32	-125,88	177,84	-422,05
					109,50	25,71	-6,42	0,13	172,54	92,77	104,33	98,67	98,43	124,43	137,91	131,31	131,04	172,54	92,77
					-272,80	-67,01	-298,50	-3,34	-434,58	-514,17	23,13	-248,53	-242,51	-642,08	-15,23	-332,16	-325,15	23,13	-642,08
12	1-2	1173	0,0	-267,51	-65,79	285,56	-3,36	-426,28	16,25	-497,76	-243,78	-237,74	-22,50	-622,17	-325,86	-318,81	16,25	-622,17	
				112,16	26,37	7,42	0,18	176,78	107,62	94,27	101,11	100,78	142,17	126,59	134,57	134,19	176,78	94,27	
				-103,80	-20,66	-270,73	3,71	-157,62	-337,08	150,24	-90,08	-96,76	-406,27	162,26	-118,11	-125,90	162,26	-406,27	
	2-3	1188	0,0	4,5	-103,80	-20,66	270,76	3,71	-157,62	150,26	-337,10	-90,08	-96,76	162,29	-406,30	-118,11	-125,90	162,29	-406,30
					112,16	26,37	-7,35	0,18	176,78	94,33	107,56	101,11	100,78	126,66	142,10	134,57	134,19	176,78	94,33
					-267,51	-65,79	-285,47	-3,36	-426,28	-497,68	16,16	-243,78	-237,74	-622,08	-22,59	-325,86	-318,81	16,16	-622,08
13	1-2	1203	0,0	-248,78	-61,34	245,34	-2,89	-396,68	-3,10	-444,71	-226,50	-221,30	-42,26	-557,47	-302,90	-296,83	-3,10	-557,47	
				110,53	26,26	6,28	0,15	174,65	105,13	93,83	99,61	99,34	139,19	126,01	132,76	132,44	174,65	93,83	
				-118,74	-25,31	-232,77	3,18	-182,98	-316,36	102,63	-104,00	-109,73	-385,03	103,79	-137,28	-143,96	103,79	-385,03	
	2-3	1218	0,0	4,5	-118,74	-25,31	232,79	3,18	-182,98	102,65	-316,38	-104,00	-109,73	103,81	-385,05	-137,28	-143,96	103,81	-385,05
					110,53	26,26	-6,23	0,15	174,65	93,87	105,08	99,61	99,34	126,06	139,14	132,76	132,44	174,65	93,87
					-248,78	-61,34	-245,25	-2,89	-396,68	-444,63	-3,18	-226,50	-221,30	-557,38	-42,35	-302,90	-296,83	-3,18	-557,38
14	1-2	1233	0,0	-252,43	-62,28	224,18	-2,99	-402,56	-25,16	-429,22	-229,88	-224,50	-68,58	-539,99	-307,43	-301,15	-25,16	-539,99	
				110,43	26,24	5,66	0,15	174,50	104,48	94,29	99,52	99,25	138,43	126,54	132,64	132,33	174,50	94,29	
				-115,29	-24,42	-213,16	3,30	-177,42	-295,61	88,08	-100,79	-106,73	-360,26	87,38	-132,97	-139,90	88,08	-360,26	
	2-3	1248	0,0	4,5	-115,29	-24,42	213,22	3,30	-177,42	88,14	-295,66	-100,79	-106,73	87,44	-360,32	-132,97	-139,90	88,14	-360,32
					110,43	26,24	-5,52	0,15	174,50	94,33	104,45	99,52	99,25	126,58	138,38	132,64	132,33	174,50	94,33
					-252,43	-62,28	-224,47	-2,99	-402,56	-429,21	-25,16	-229,88	-224,50	-539,98	-68,59	-307,43	-301,15	-25,16	-539,98

Tabel 6.1.c Kombinasi momen balok portal C

Lantai	Balok	Elm	Seet	MD (kNm)	ML (kNm)	ME _x (kNm)	ME _y (kNm)	0,9(MD±ME)				1,05(MD+0,75ML±ME)				M _{max} (kNm)	M _{min} (kNm)	
								1,2MD+ 1,6ML (kNm)	Ex ki (kNm)	Ex ka (kNm)	Ey ki (kNm)	Ey ka (kNm)	Ex ki (kNm)	Ex ka (kNm)	Ey ki (kNm)			Ey ka (kNm)
15	1-2	1263	0,0	-254,44	-62,79	195,48	-3,09	-405,79	-53,06	-404,93	-231,78	-226,22	-101,47	-511,97	-309,96	-303,48	-53,06	-511,97
			4,5	110,55	26,27	4,93	0,16	174,69	103,93	95,06	99,64	99,35	137,80	127,45	132,80	132,46	174,69	95,06
			9,0	-113,05	-23,85	-185,62	3,40	-173,82	-268,80	65,31	-98,69	-104,81	-328,63	61,17	-130,16	-137,30	65,31	-328,63
	2-3	1278	0,0	-113,05	-23,85	185,68	3,40	-173,82	65,37	-268,86	-98,69	-104,81	61,24	-328,69	-130,16	-137,30	65,37	-328,69
			4,5	110,55	26,27	-4,89	0,16	174,69	95,09	103,90	99,64	99,35	127,49	137,76	132,80	132,46	174,69	95,09
			9,0	-254,44	-62,79	-195,46	-3,09	-405,79	-404,91	-53,08	-231,78	-226,22	-511,95	-101,49	-309,96	-303,48	-53,08	-511,95
16	1-2	1293	0,0	-255,76	-63,16	161,23	-3,14	-407,97	-85,08	-375,29	-233,01	-227,36	-139,05	-477,63	-311,64	-305,04	-85,08	-477,63
			4,5	110,66	26,28	4,11	0,16	174,84	103,29	95,90	99,74	99,45	137,06	128,43	132,92	132,58	174,84	95,90
			9,0	-111,51	-23,45	-153,02	3,47	-171,33	-238,08	37,36	-97,24	-103,48	-292,53	28,81	-128,22	-135,50	37,36	-292,53
	2-3	1308	0,0	-111,51	-23,45	153,16	3,47	-171,33	37,49	-238,20	-97,24	-103,48	28,96	-292,68	-128,22	-135,50	37,49	-292,68
			4,5	110,66	26,28	-4,10	0,16	174,84	95,90	103,28	99,74	99,45	128,44	137,05	132,92	132,58	174,84	95,90
			9,0	-255,76	-63,16	-161,36	-3,14	-407,97	-375,41	-84,96	-233,01	-227,36	-477,77	-138,91	-311,64	-305,04	-84,96	-477,77
17	1-2	1323	0,0	-258,40	-63,28	120,33	-3,31	-411,33	-121,26	-340,86	-235,54	-229,58	-184,84	-437,53	-314,66	-307,71	-124,26	-437,53
			4,5	110,25	26,31	3,01	0,13	174,40	101,93	96,52	99,34	99,11	135,50	129,18	132,47	132,20	174,40	96,52
			9,0	-109,70	-23,29	-114,32	3,58	-168,90	-201,62	4,16	-95,51	-101,95	-249,89	-9,82	-126,10	-133,62	4,16	-249,89
	2-3	1338	0,0	-109,70	-23,29	113,98	3,58	-168,90	3,85	-201,31	-95,51	-101,95	-10,18	-249,54	-126,10	-133,62	3,85	-249,54
			4,5	110,25	26,31	-2,74	0,13	174,40	96,76	101,69	99,34	99,11	129,46	135,21	132,47	132,20	174,40	96,76
			9,0	-258,40	-63,28	-119,47	3,31	-411,33	-340,08	-125,04	-235,54	-229,58	-436,63	-185,74	-314,66	-307,71	-125,04	-436,63
18	1-2	1353	0,0	-151,05	-33,51	67,26	-2,46	-234,88	-75,41	-196,48	-138,16	-133,73	-109,09	-250,34	-182,30	-177,13	-75,41	-250,34
			4,5	71,34	12,88	3,31	0,35	106,22	67,19	61,23	64,52	63,89	86,50	79,55	83,39	82,65	106,22	61,23
			9,0	-31,29	3,60	-60,65	3,17	-31,79	-82,75	26,42	-25,31	-31,01	-94,27	33,10	-27,26	-33,92	33,10	-94,27
	2-3	1368	0,0	-31,29	3,60	60,00	3,17	-31,79	25,84	-82,16	-25,31	-31,01	32,41	-93,59	-27,26	-33,92	32,41	-93,59
			4,5	71,34	12,88	-2,88	0,35	106,22	61,61	66,80	64,52	63,89	80,00	86,05	83,39	82,65	106,22	61,61
			9,0	-151,05	-33,51	-65,76	-2,46	-234,88	-195,13	-76,76	-138,16	-133,73	-248,76	-110,67	-182,30	-177,13	-76,76	-248,76

6.1.1 Momen rencana balok

Momen rencana balok yang digunakan adalah momen pada sisi muka kolom, yaitu momen sejauh $\frac{1}{2}$ tebal kolom dari titik pusat joint, yang merupakan superposisi dari ke-3 kombinasi momen. Momen rencana balok ini dapat didistribusikan agar didapatkan hasil perencanaan yang lebih ekonomis. Hasil dari redistribusi dan superposisi momen tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.2. Contoh perhitungan redistribusi momen sebagai berikut:



Gambar. 6.1 Redistribusi momen

1. Momen akibat beban gravitasi pada balok lantai 1

$$Mu = 171,212 \text{ kNm}$$

2. Momen akibat beban gempa pada balok lantai 1

$$Mu^- = -586,858 \text{ kNm}$$

$$Mu^+ = 134,649 \text{ kNm}$$

3. Momen redistribusi

$$Mu^- = 586,858 - (0,15 \cdot 586,858) = -498,829 \text{ kNm}$$

$$Mu^+ = 134,649 + (0,15 \cdot 586,858) = 222,678 \text{ kNm}$$

$$4. \text{ 1-2} : a = (0,4/9) \cdot (498,829 + 222,678) = 32,067 \text{ kNm}$$

$$a' = (0,425/9) \cdot (498,829 - 222,678) = 34,071 \text{ kNm}$$

$$2-3 : a = (0,4/9) \cdot (586,858 + 222,678) = 32,067 \text{ kNm}$$

$$a' = (0,425/9) \cdot (586,858 + 222,678) = 34,071 \text{ kNm}$$

$$5. \text{ 1-2} : b = (4 \cdot 171,212 \cdot 0,4 \cdot (9-0,4))/(9^2) = 29,085 \text{ kNm}$$

$$b' = (4 \cdot 171,212 \cdot 0,425 \cdot (9-0,425))/(9^2) = 30,085 \text{ kNm}$$

$$2-3 : b = (4 \cdot 171,212 \cdot 0,4 \cdot (9-0,4))/(9^2) = 29,085 \text{ kNm}$$

$$b' = (4 \cdot 171,212 \cdot 0,425 \cdot (9-0,425))/(9^2) = 30,813 \text{ kNm}$$

6. Momen balok pada muka kolom

$$1-2 : Mu^- = 498,829 - 32,067 - 29,085 = -437,677 \text{ kNm}$$

$$Mu^+ = 222,678 - 34,071 + 30,813 = 219,419 \text{ kNm}$$

$$2-3 : Mu^- = 498,829 - 34,071 - 30,813 = -433,945 \text{ kNm}$$

$$Mu^+ = 222,678 - 32,067 + 29,085 = 219,696 \text{ kNm}$$

Tabel 6.2 Redistribusi Momen

Lantai	Balok	M. Gempa		M. gravitasi (kNm)	Distribusi busi (kNm)	M. terdistribusi		0,5 kolom		a (tepi) (kNm)	a' (kNm)	b (tepi) (kNm)	b' (kNm)	Momen balok muka kolom	
		neg (kNm)	pos (kNm)			neg (kNm)	pos (kNm)	tepi (m)	tengah (m)					neg	pos
1	1-2	-586,858	134,649	171,212	88,029	-498,829	222,678	0,4	0,425	32,067	34,071	29,085	30,813	-437,677	219,419
	2-3	-586,858	134,649	171,212	88,029	-498,829	222,678	0,4	0,425	32,067	34,071	29,085	30,813	-433,945	219,696
2	1-2	-634,941	156,188	168,396	95,241	-539,700	251,429	0,4	0,425	35,161	37,359	28,607	30,306	-475,932	244,376
	2-3	-634,941	156,188	168,396	95,241	-539,700	251,429	0,4	0,425	35,161	37,359	28,607	30,306	-472,035	244,874
3	1-2	-655,946	177,647	169,292	85,273	-570,673	262,920	0,4	0,425	37,049	39,364	28,759	30,467	-504,865	254,024
	2-3	-655,946	177,647	169,292	85,273	-570,673	262,920	0,4	0,425	37,049	39,364	28,759	30,467	-500,841	254,630
4	1-2	-671,780	194,464	169,948	80,614	-591,166	275,078	0,4	0,425	38,500	40,906	28,870	30,585	-523,796	264,757
	2-3	-671,780	194,464	169,948	80,614	-591,166	275,078	0,4	0,425	38,500	40,906	28,870	30,585	-519,675	265,448
5	1-2	-686,057	209,612	170,192	75,466	-610,591	285,078	0,4	0,425	39,808	42,295	28,912	30,629	-541,872	273,412
	2-3	-686,057	209,612	170,192	75,466	-610,591	285,078	0,4	0,425	39,808	42,295	28,912	30,629	-537,666	274,182
6	1-2	-694,730	220,227	173,440	69,473	-625,257	289,700	0,4	0,375	40,665	43,206	29,463	31,214	-555,129	277,708
	2-3	-694,730	220,227	173,440	69,473	-625,257	289,700	0,4	0,375	40,665	43,206	29,463	31,214	-550,837	278,499
7	1-2	-654,555	186,323	171,672	78,547	-576,009	264,869	0,35	0,375	37,372	39,708	29,163	30,896	-509,473	256,057
	2-3	-654,555	186,323	171,672	78,547	-576,009	264,869	0,35	0,375	37,372	39,708	29,163	30,896	-505,405	256,660
8	1-2	-662,514	194,867	171,916	79,502	-583,013	274,369	0,35	0,375	38,106	40,487	29,204	30,940	-515,702	264,821
	2-3	-662,514	194,867	171,916	79,502	-583,013	274,369	0,35	0,375	38,106	40,487	29,204	30,940	-511,586	265,468
9	1-2	-659,253	192,797	172,340	79,110	-580,143	271,907	0,35	0,375	37,869	40,236	29,277	31,016	-512,997	262,687
	2-3	-659,253	192,797	172,340	79,110	-580,143	271,907	0,35	0,375	37,869	40,236	29,277	31,016	-508,891	263,315
10	1-2	-651,328	186,083	172,752	78,159	-573,168	264,242	0,35	0,375	37,218	39,544	29,347	31,090	-506,604	255,788
	2-3	-651,328	186,083	172,752	78,159	-573,168	264,242	0,35	0,375	37,218	39,544	29,347	31,090	-502,534	256,371
11	1-2	-642,134	177,839	172,536	83,477	-558,656	261,316	0,35	0,375	36,443	38,721	29,310	31,051	-492,903	253,646
	2-3	-642,134	177,839	172,536	83,477	-558,656	261,316	0,35	0,375	36,443	38,721	29,310	31,051	-488,884	254,182
12	1-2	-622,171	162,292	176,784	87,104	-535,067	249,396	0,35	0,375	34,865	37,044	30,031	31,816	-470,171	244,168
	2-3	-622,171	162,292	176,784	87,104	-535,067	249,396	0,35	0,375	34,865	37,044	30,031	31,816	-466,207	244,563
13	1-2	-557,470	103,807	174,652	100,345	-457,126	204,152	0,3	0,325	29,390	31,227	29,669	31,432	-398,066	204,357
	2-3	-557,470	103,807	174,652	100,345	-457,126	204,152	0,3	0,325	29,390	31,227	29,669	31,432	-394,467	204,431
14	1-2	-539,992	88,137	174,500	102,598	-437,393	190,735	0,3	0,325	27,917	29,662	29,643	31,405	-379,833	192,478
	2-3	-539,992	88,137	174,500	102,598	-437,393	190,735	0,3	0,325	27,917	29,662	29,643	31,405	-376,327	192,462

15	1-2	-511,974	65,367	174,692	107,514	-404,459	172,881	0,3	0,325	25,660	27,263	29,676	31,439	-349,124	177,057
	2-3	-511,974	65,367	174,692	107,514	-404,459	172,881	0,3	0,325	25,660	27,263	29,676	31,439	-345,757	176,898
16	1-2	-477,767	37,485	174,840	114,664	-363,103	152,149	0,3	0,325	22,900	24,331	29,701	31,466	-310,501	159,284
	2-3	-477,767	37,485	174,840	114,664	-363,103	152,149	0,3	0,325	22,900	24,331	29,701	31,466	-307,306	158,950
17	1-2	-437,533	4,158	174,396	122,509	-315,024	126,667	0,3	0,325	19,631	20,858	29,626	31,386	-265,767	137,195
	2-3	-437,533	4,158	174,396	122,509	-315,024	126,667	0,3	0,325	19,631	20,858	29,626	31,386	-262,780	136,662
18	1-2	-250,337	33,096	106,216	47,564	-202,773	80,660	0,3	0,325	12,597	13,384	18,044	19,116	-172,132	86,391
	2-3	-250,337	33,096	106,216	47,564	-202,773	80,660	0,3	0,325	12,597	13,384	18,044	19,116	-170,273	86,107

6.1.2 Hitungan Tulangan Longitudinal Balok

Perhitungan tulangan longitudinal balok didasarkan pada momen di sisi muka kolom. Untuk contoh akan didesain bentang balok C2-3 tingkat 1, sedang untuk balok-balok yang lainnya dapat dilihat pada tabel 6.3.

a. Tulangan tumpuan negatif

$$M(-) = 437,677 \text{ kNm}, \quad M_n(-) = 437,677/0,8 = 547,096 \text{ kNm},$$

$$M(+)= 219,419 \text{ kNm}, \quad M_n(+)= 219,419/0,8 = 274,274 \text{ kNm},$$

$$f_c' = 30 \text{ MPa}, \quad f_y = 400 \text{ MPa}$$

$$\frac{\rho'}{\rho} = \frac{274,274}{547,096} = 0,5013$$

$$\text{tersedia } b = 400 \text{ mm}, \quad h = 800 \text{ mm}$$

$$\text{diambil } d_s = 70 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s = 800 - 70 = 730 \text{ mm}$$

$$\frac{M_n}{(b \cdot d^2)} = \frac{547,096}{(0,4 \cdot 0,73^2)} = 2566,60 \text{ kN/m}^2, \text{ dari tabel lampiran 4 didapat } \rho = 0,0086$$

Luas tulangan tarik :

$$A_s = \rho \cdot b \cdot d = 0,0086 \cdot 400 \cdot 730 = 2506,26 \text{ mm}^2$$

Luas tulangan desak :

$$A_s' = (\rho'/\rho) \cdot A_s = 0,5013 \cdot 2506,26 = 1256,46 \text{ mm}^2$$

b. Tulangan tumpuan positif

$$\frac{\rho}{\rho'} = \frac{547,096}{274,274} = 1,9947 \text{ dipakai } \frac{\rho'}{\rho} = 1$$

$$\frac{Mn}{(b \cdot d^2)} = \frac{274,274}{(0,4 \cdot 0,73^2)} = 1286,71 \text{ kN/m}^2, \text{ dari tabel lampiran 4 didapat } \rho = 0,00426$$

Luas tulangan tarik = luas tulangan desak

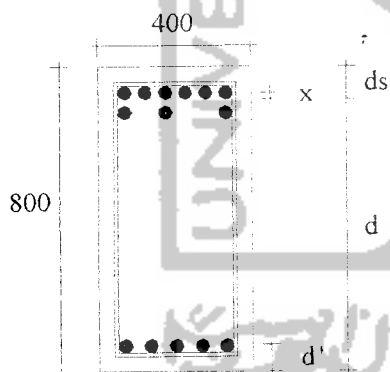
$$A_s = A_s' = \rho \cdot b \cdot d = 0,00426 \cdot 400 \cdot 730 = 1243,95 \text{ mm}^2$$

Tulangan tumpuan terpasang diambil dari nilai terbesar dari hitungan di atas yaitu:

$$A_s = 2506,26 \text{ mm}^2, \text{ dipasang tulangan } 9D_{19} \text{ dengan } A_s = 2551,76 \text{ mm}^2$$

$$A_s' = 1256,46 \text{ mm}^2, \text{ dipasang tulangan } 5D_{19} \text{ dengan } A_s' = 1417,64 \text{ mm}^2$$

Cek momen nominal



$$d' = P_b + \varnothing_s + \frac{1}{2} \cdot D_{19} = 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 19 = 59,5 \approx 60 \text{ mm}$$

Jarak titik berat tulangan (λ),

$$x = \frac{4(19/2 + 25 + 19/2)}{9} = 15 \text{ mm}$$

$$d_s = x + P_b + \varnothing_s + \frac{1}{2} \cdot D_{19}$$

$$= 11 + 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 19 = 75 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s = 800 - 75 = 725 \text{ mm}$$

$$jbd = \frac{(b - (Pb + 10).2 - n.D)20}{(n-1)} = \frac{(400 - (40 + 10).2 - 6.20)}{(6-1)} = 37,2 \text{ mm} > 25 \text{ mm}$$

Anggap tulangan baja desak belum leleh :

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1 \cdot c \cdot b$$

$$C_s = f_s \cdot A_s' = \frac{c - d'}{c} \cdot 600 \cdot A_s'$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

Keseimbangan gaya-gaya dalam menjadi :

$$T = C_c + C_s$$

$$(0,85 \cdot f_c' \cdot \beta_1) \cdot c^2 + (600 \cdot A_s' - A_s \cdot f_y) \cdot c - (600 \cdot A_s' \cdot d') = 0$$

$$8670 \cdot c^2 - 251327,4c - 45238934,2 = 0$$

$$\text{didapat } c = 86,84 \text{ mm,}$$

$$a = \beta_1 \cdot c = 73,81 \text{ mm}$$

cek baja tulangan desak :

$$f_s' = \frac{c - d'}{c} \cdot 600 = \frac{84,84 - 60}{84,84} \cdot 600 = 188,90 \text{ MPa} < f_y = 400 \text{ MPa}$$

Berarti tulangan desak belum leleh, anggapan benar.

Maka :

$$Mn_1 = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot (d - a/2)$$

$$= 0,85 \cdot 30 \cdot 73,81 \cdot 400 \cdot (725 - 73,81/2) \cdot 10^{-6}$$

$$= 518,070 \text{ kNm}$$

$$Mn_2 = A_s' \cdot f_s' \cdot (d - d') \cdot 10^{-6}$$

$$= 1417,64 \cdot 188,90 \cdot (725 - 60) \cdot 10^{-6}$$

$$= 178,218 \text{ kNm}$$

$$T = C = 10200 \cdot a = 10200 \cdot (29,33) = 299181,83 \text{ N}$$

$$\text{Luas tulangan } (A_s) = T/f_y = 747,95 \text{ mm}^2$$

Dipakai tulangan 4D₁₉, dengan $A_s = 1134,11 \text{ mm}^2$

Periksa rasio tulangan :

$$\rho_b = \frac{0,85 \cdot f_c'}{f_y} \cdot \beta_1 \left(\frac{600}{(600 + f_y)} \right) = \frac{0,85 \cdot 30}{400} \cdot 0,85 \left(\frac{600}{(600 + 400)} \right) = 0,03251$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \cdot \rho_b = 0,75 \cdot 0,03251 = 0,0244$$

$$\rho_{\min} = 1,4/f_y = 0,0035$$

$$\rho_{\min} < \rho_b < \rho_{\max} \quad \dots \text{O.K}$$

Periksa penampang :

$$d_s = P_b + \varnothing_s + \frac{1}{2} \cdot D_{19} = 40 + 10 + \frac{1}{2} \cdot 19 \approx 60 \text{ mm}$$

$$d = h - d_s = 800 - 60 = 740 \text{ mm}$$

$$C = T$$

$$0,85 \cdot f_c' \cdot b \cdot a = A_s \cdot f_y$$

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1134,11 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} = 44,48 \text{ mm}$$

$$M_n = T \cdot (d - a/2)$$

$$= A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2)$$

$$= 1134,11 \cdot 400 \cdot (741 - 44,48/2)$$

$$= 321,074 \text{ kNm} > 214,02 \text{ kNm} \quad \dots \text{O.K}$$

Tabel 6.3 Tulangan dan momen nominal aktual balok portal C

Lt	Ukuran Balok	Posisi	Momen Per'u (kNm)		Tulangan Atas		Tulangan Bawah		Momen Nak	
			(-)	(+)	As (mm ²)	Dipakai	As (mm ²)	Dipakai	(-)	(+)
1	400x800	Tump.	437,677	219,419	2506,26	9 D19	1256,46	5 D19	696,288	178,218
		Lap.		171,212			1256,64	4 D19		
2	400x800	Tump.	475,932	244,376	2735,53	10 D19	1404,61	5 D19	767,198	208,648
		Lap.		169,948			1256,64	4 D19		
3	400x800	Tump.	504,865	254,024	2908,93	11 D19	1463,63	6 D19	838,633	263,801
		Lap.		170,192			1256,64	4 D19		
4	400x800	Tump.	523,796	264,757	3022,39	11 D19	1527,69	6 D19	838,633	263,801
		Lap.		173,440			1256,64	4 D19		
5	400x800	Tump.	541,872	273,412	3130,72	12 D19	1579,66	6 D19	908,886	293,147
		Lap.		171,212			1256,64	4 D19		
6	400x800	Tump.	555,129	277,708	3210,17	12 D19	1605,91	6 D19	908,886	293,147
		Lap.		171,916			1256,64	4 D19		
7	400x750	Tump.	509,473	256,057	3163,20	12 D19	1589,79	6 D19	840,839	270,871
		Lap.		173,440			1256,64	4 D19		
8	400x750	Tump.	515,702	264,821	3197,55	12 D19	1641,99	6 D19	840,839	270,871
		Lap.		172,752			1256,64	4 D19		
9	400x750	Tump.	512,997	262,687	3182,63	12 D19	1629,71	6 D19	840,839	270,871
		Lap.		172,536			1256,64	4 D19		
10	400x750	Tump.	506,604	255,788	3147,37	12 D19	1589,13	6 D19	840,839	270,871
		Lap.		176,784			1256,64	4 D19		
11	400x750	Tump.	492,903	253,646	3062,45	11 D19	1575,93	6 D19	776,257	243,818
		Lap.		172,752			1256,64	4 D19		
12	400x750	Tump.	470,171	244,168	2916,20	11 D19	1514,43	6 D19	776,257	243,818
		Lap.		174,500			1256,64	4 D19		
13	400x700	Tump.	398,066	204,357	2663,55	10 D19	1367,40	5 D19	653,786	177,154
		Lap.		176,784			1256,64	4 D19		
14	400x700	Tump.	379,833	192,478	2536,93	9 D19	1285,58	5 D19	594,218	151,438
		Lap.		174,840			1256,64	4 D19		
15	400x700	Tump.	349,124	177,057	2323,67	9 D19	1178,44	5 D19	594,218	151,438
		Lap.		174,692			1256,64	4 D19		
16	400x700	Tump.	310,501	159,284	2055,46	8 D19	1054,43	4 D19	533,941	108,525
		Lap.		174,840			1256,64	4 D19		
17	400x700	Tump.	265,767	137,195	1758,35	7 D19	907,70	4 D19	473,700	81,512
		Lap.		174,500			1256,64	4 D19		
18	400x700	Tump.	172,132	86,391	1125,40	5 D19	564,82	2 D19	347,059	11,390
		Lap.		106,216			942,48	3 D19		

6.2 Desain Senggang Balok

6.2.1 Momen Kapasitas Balok

Momen kapasitas balok adalah kuat lentur nominal balok yang dihitung berdasarkan luas tulangan yang sebenarnya terpasang pada penampang balok ujung yang ditinjau dikalikan dengan faktor penambah kekuatan yang ditetapkan sebesar 1,25 untuk $f_y \leq 400$ MPa dan 1,40 untuk $f_y > 400$ MPa. Nilai kapasitas lentur sendi plastis balok yang besarnya ditentukan sebagai berikut:

$$M_{kap,b} = \phi \cdot M_{nak,b}$$

Sebagai contoh hitungan ditinjau pada balok lantai 1.

$$M_{nak,b} = 696,288 \text{ kNm}, \quad M_{kap,b} = 1,25 \cdot 696,288 = 870,361 \text{ kNm}$$

$$M_{nak,b} = 178,218 \text{ kNm}, \quad M_{kap,b} = 1,25 \cdot 178,218 = 222,772 \text{ kNm}$$

6.2.2 Gaya Geser Rencana Balok

Gaya geser rencana balok didapatkan dari persamaan berikut:

$$V_{u,b} = 0,70 \frac{M_{kap}^- + M_{kap}^+}{l_n} + 1,05 V_g$$

tetapi tidak perlu lebih besar dari

$$V_{u,b} = 1,05 \left(V_{D,b} + V_{L,b} + \frac{4,0}{K} V_{E,b} \right)$$

Sebagai contoh hitungan ditinjau pada pada balok lantai 1.

$$M_{kap}^- = 870,361 \text{ kNm}, \quad M_{kap}^+ = 222,772 \text{ kNm}$$

$$V_D = 121,78 \text{ kN}, \quad V_L = 28,29 \text{ kN}, \quad V_E = 73,70 \text{ kN}$$

$$l_n = 9 - \frac{(0,85 + 0,8)}{2} = 8,175 \text{ m}$$

$$V_{u,bl} = 0,7 \frac{870,361 + 222,772}{8,175} + 200,977 = 294,579 \text{ kN}$$

$$V_{u,b2} = 1,05 \cdot (121,78 + 28,29 + \frac{4}{1} \cdot 73,70) = 467,119 \text{ kN}$$

Dipakai $V_{u,b} =$

$$\left[1,05 \cdot V_g - 0,7 \left(\frac{M_{kap,b} + M_{kap,b}}{\ln} \right) + \frac{\ln - d}{\ln} \times \left(V_{u,b} - 1,05 \cdot V_g - 0,7 \left(\frac{M_{kap,b} + M_{kap,b}}{\ln} \right) \right) \right]$$

$$\left[200,977 - 0,7 \left(\frac{870,361 + 222,772}{8,175} \right) + \frac{8,175 - 0,722}{8,175} \times \left(294,579 - 200,977 - 0,7 \left(\frac{870,361 + 222,772}{8,175} \right) \right) \right]$$

$V_{u,b}$ terpakai = 277,976 kN

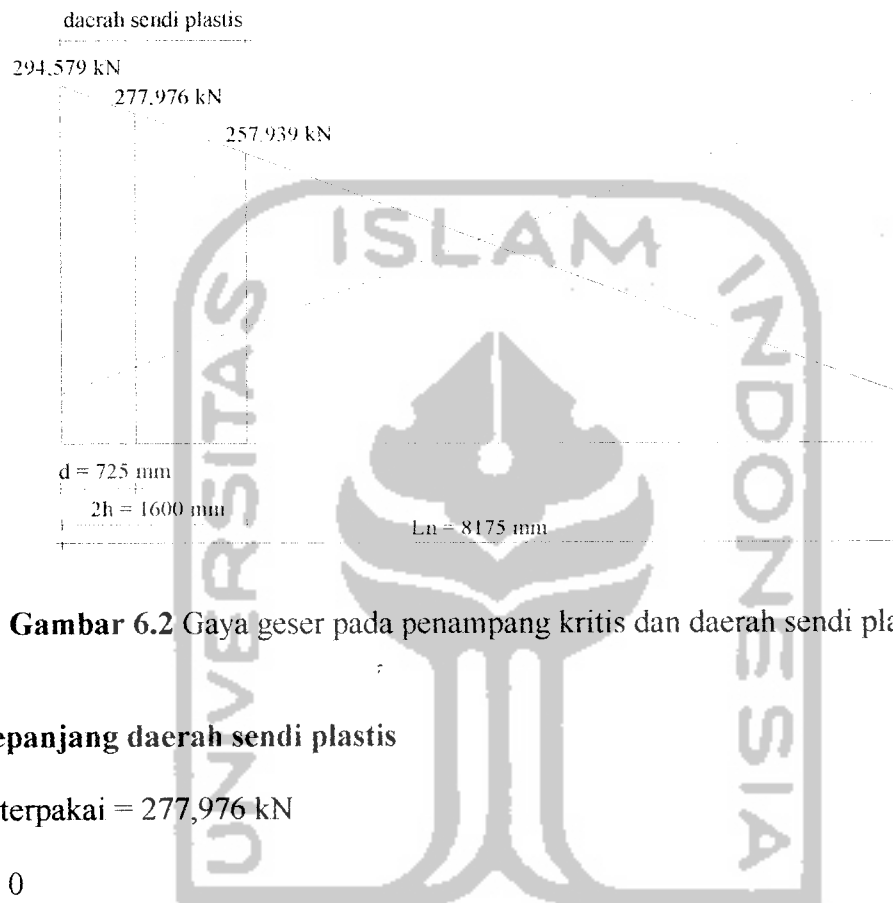
Dengan cara yang sama didapat gaya-gaya geser terpakai dari semua balok yang ditunjukkan dalam Tabel 6.4. berikut ini.

Tabel 6.4 Gaya geser balok portal C

Balok Lantai	Mkap (kN-m)		Ln (m)	VD (kN)	VL (kN)	VE (kN)	1,05 Vg (kN)	Vu,b,1 (kN)	Vu,b,2 (kN)	Vu,b terpakai
	Mkap-	Mkap+								
1	870,361	222,772	8,175	121,78	28,29	73,70	200,977	294,579	467,119	277,976
2	958,997	260,810	8,175	126,57	29,52	78,37	209,079	313,527	493,054	295,078
3	1048,292	329,752	8,175	129,51	30,30	79,45	214,094	332,092	501,497	311,320
4	1048,292	329,752	8,175	132,27	31,04	79,71	218,802	336,800	506,253	316,028
5	1136,108	366,434	8,175	134,93	31,74	79,74	223,331	351,989	509,908	329,405
6	1136,108	366,434	8,175	136,12	32,09	80,38	225,429	354,087	514,222	331,503
7	1051,049	338,589	8,275	134,82	32,06	74,11	223,735	341,288	486,486	322,323
8	1051,049	338,589	8,275	136,60	32,53	73,79	226,768	344,321	487,505	325,356
9	1051,049	338,589	8,275	138,10	32,94	71,48	229,359	346,911	479,818	327,947
10	1051,049	338,589	8,275	139,43	33,29	68,38	231,623	349,175	468,562	330,210
11	970,321	304,772	8,275	140,84	33,66	64,91	234,021	341,884	455,857	324,429
12	970,321	304,772	8,275	140,26	33,53	61,81	233,060	340,923	442,082	323,468
13	817,233	221,442	8,375	136,52	32,87	53,12	227,234	314,048	400,962	301,153
14	742,773	189,298	8,375	137,31	33,08	48,63	228,582	306,486	383,154	294,859
15	742,773	189,298	8,375	137,79	33,19	42,34	229,372	307,276	357,355	295,649
16	667,426	135,656	8,375	138,10	33,28	34,92	229,913	297,037	326,611	286,958
17	592,125	101,890	8,375	138,60	33,31	26,07	230,594	288,602	289,998	279,825
18	433,824	14,238	8,375	80,72	15,67	14,21	128,019	165,469	160,881	159,745

6.2.3 Hitungan Tulangan Geser Balok

Ditinjau pada balok lantai 1



Gambar 6.2 Gaya geser pada penampang kritis dan daerah sendi plastis

a. Sepanjang daerah sendi plastis

$$V_{u,b} \text{ terpakai} = 277,976 \text{ kN}$$

$$V_c = 0$$

$$V_s = \frac{Vu,b}{\Phi} = \frac{277,976}{0,6} = 463,294 \text{ kN}$$

$$V_{\text{maks}} = 2/3 \cdot \sqrt{fc'} \cdot b \cdot d = 2/3 \cdot \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 725 = 1966,384 \text{ kN}$$

Dipakai sengkang $\emptyset 10$ mm dengan mutu baja $f_y = 240$ MPa

$$S = \frac{Av \cdot fy \cdot d}{Vs} = \frac{2 \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 240 \cdot 725}{459,90 \cdot 10^3} = 58,99 \text{ mm} < d/4 = 180,5 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang $\emptyset 10 - 50$ mm

b. Di luar daerah sendi plastis

$$V_{u,b} \text{ terpakai} = 257,939 \text{ kN}$$

$$V_c = 1/6 \cdot \sqrt{f_c'} \cdot b \cdot d = 1/6 \cdot \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 725 = 264,733 \text{ kN}$$

$$V_s = V_{u,b}/\phi - V_c = 257,939/0,6 - 264,733 = 165,166 \text{ kN}$$

$$S = \frac{A_v \cdot f_y \cdot d}{V_s} = \frac{2 \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot 10^2 \cdot 240 \cdot 725}{165,166 \cdot 10^3} = 165,48 \text{ mm} < d/2 = 362,5 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang $\phi_{10} - 160 \text{ mm}$

Hasil perhitungan tulangan geser untuk semua balok disajikan pada Tabel 6.5 berikut ini.

Tabel 6.5 Tulangan geser balok portal C

Balok Lantai	Sepanjang daerah sendi plastis				Diluar daerah sendi plastis				
	$V_{u,b}$ (kN)	V_s (kN)	S (mm)	Terpakai $\phi_{10} - S$	$V_{u,b}$ (kN)	V_c (kN)	V_s (kN)	S (mm)	Terpakai $\phi_{10} - S$
1	277,976	463,294	58,99	50	257,939	264,733	165,166	165,48	160
2	295,078	491,796	55,35	50	272,642	263,637	190,766	142,68	140
3	311,320	518,867	52,28	50	285,903	262,741	213,765	126,90	120
4	316,028	526,714	51,50	50	290,611	262,741	221,611	122,40	120
5	329,405	549,008	49,27	40	301,627	261,994	240,718	112,37	110
6	331,503	552,506	48,96	40	303,726	261,994	244,216	110,76	110
7	322,323	537,205	46,84	40	298,671	243,737	254,048	99,05	90
8	325,356	542,260	45,41	40	301,704	243,737	259,103	97,12	90
9	327,947	546,578	46,04	40	304,294	243,737	263,420	95,53	90
10	330,210	550,351	45,72	40	306,558	243,737	267,193	94,18	90
11	324,429	540,715	46,68	40	302,779	244,483	260,149	97,03	90
12	323,468	539,114	46,82	40	301,819	244,483	258,548	97,63	90
13	301,153	501,922	46,72	40	285,024	227,122	247,918	94,58	90
14	294,859	491,432	47,95	40	280,441	228,218	239,184	98,51	90
15	295,649	492,748	47,82	40	281,231	228,218	240,500	97,97	90
16	286,958	478,264	49,56	40	274,596	229,587	228,072	103,93	100
17	279,825	466,375	51,21	50	269,208	231,348	217,333	109,90	100
18	159,745	266,241	90,62	80	152,948	233,695	21,218	1137,10	200

6.3 Desain Kolom

6.3.1 Desain Penulangan Kolom Akibat Beban Lentur dan Aksial

Momen rencana kolom dihitung berdasarkan pada anggapan bahwa sendi plastis terjadi pada ujung-ujung balok pada pertemuan antara balok dan kolom. Dalam hal ini momen kapasitas balok diperhitungkan sebagai momen rencana yang bekerja pada kolom setelah sebelumnya dikalikan dengan beberapa faktor.

Momen rencana kolom dapat dihitung berdasarkan persamaan dibawah ini,

$$M_{nk} = \frac{h}{h_n} \cdot 0,7 \cdot \omega d \cdot \phi_c \cdot \alpha_k \cdot \left[\frac{I_{ki}}{I_{nki}} \cdot M_{nak, b_{ki}} + \frac{I_{ku}}{I_{nku}} \cdot M_{nak, b_{ku}} \right]$$

dimana,

$$\alpha_k = \frac{K_a \text{ di atas pertemuan}}{K_a \text{ di bawah} + K_b \text{ di atas pertemuan}}$$

dengan,

- h = tinggi kolom dari titik pertemuan ke pertemuan
- h_n = tinggi bersih kolom
- I_{ki} = bentang balok sebelah kiri, diukur dari titik pertemuan ke titik pertemuan
- I_{nki} = bentang bersih balok sebelah kiri
- I_{ku} = bentang balok sebelah kanan, diukur dari titik pertemuan ke titik pertemuan
- I_{nku} = bentang bersih balok sebelah kanan
- M_{nak} = kuat momen lentur nominal
- α_k = faktor distribusi momen dari kolom yang ditinjau

Gaya aksial dan momen rencana untuk kolom harus diperhitungkan pula terhadap 30% arah tegak lurus nya sesuai dengan Pedoman Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Rumah dan Gedung. Dalam tugas akhir ini, 30% arah tegak lurus dari sumbu utama yang ditinjau dijumlahkan secara aljabar agar dapat memudahkan perhitungan dengan tetap menggunakan rumus-rumus uniaxial (Gideon 1994).

1. Momen rencana kolom

Momen rencana kolom lantai 1 interior

$$\phi_o = 1,25 \text{ untuk } f_y \leq 400 \text{ Mpa}$$

$$K = 1$$

$$\omega_d = 1 \text{ kecuali untuk lantai 2 sampai lantai 17 } \omega_d = 1,3$$

$$l_{bx} = 4,00 \text{ m}$$

$$l_{nbx} = 3,5 \text{ m}$$

$$l_{bx}/l_{nbx} = 4/3,5 = 1,1429 \text{ m}$$

$$l_{by} = 9,00 \text{ m}$$

$$l_{nby} = 8,175 \text{ m}$$

$$l_{by}/l_{nby} = 9/8,175 = 1,1009 \text{ m}$$

$$h_{kolom} = 5,25 \text{ m}$$

$$h_{nkolom} = 4,45 \text{ m}$$

$$h_k/h_{nk} = 5,25/4,45 = 1,1798 \text{ m}$$

Contoh hitungan kolom tengah lantai 1,

K lantai 1 atas = 148,028 kN-m

K lantai 2 bawah = 212,492 kN-m

Nilai distribusi momen kolom portal α_k menurut Gideon (1994) adalah sebagai berikut:

$$\alpha_{katas} = \frac{148,028}{148,028 + 212,492} = 0,41$$

Momen perlu kolom dihitung dengan cara berikut :

$$M_{uk} = \frac{h}{h_n} \cdot 0,7 \cdot \omega d \cdot \phi_c \cdot \alpha_k \cdot \left[\frac{l_{kx}}{l_{nkx}} \cdot M_{mak, b_{kx}} + \frac{l_{ky}}{l_{nky}} \cdot 30\% \cdot M_{mak, b_{ky}} \right]$$

$$\begin{aligned} M_{u,kx} \text{ lt}_{1atas} &= 1,1798 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 0,41 \cdot (1,1429 \cdot 838,633 + 1,1009 \cdot 0,3 \cdot 696,288) \\ &= 503,717 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{u,ky} \text{ lt}_{1atas} &= 1,1798 \cdot 0,7 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 0,41 \cdot (1,1429 \cdot 0,3 \cdot 838,633 + 1,1009 \cdot 696,288) \\ &= 446,785 \text{ kN-m} \end{aligned}$$

Khusus untuk kolom lantai 1 bawah dimana sendi plastis dimungkinkan terjadi maka $\alpha_{kbawah} = 0$. Untuk itu, momen rencana kolom lantai 1 dihitung berdasarkan besar gaya gempa yang diperoleh dari hasil SAP90, yang besarnya,

$$M_{u,k} \text{ lt}_{1bawah x} = M_{E,kx} + 0,3 \cdot M_{E,ky}$$

$$M_{u,k} \text{ lt}_{1bawah x} = 265,020 + 0,3 \cdot 766,280 = 494,904 \text{ kN-m}$$

$$M_{u,k} \text{ lt}_{1bawah y} = 0,3 \cdot 265,020 + 766,280 = 845,786 \text{ kN-m}$$

Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 dalam segala hal nilai momen rencana kolom ini tidak boleh melampaui momen maksimal pada kolom. Apabila momen rencana kolom nilainya melebihi momen maksimum yang terjadi, maka yang dipakai

dalam perhitungan adalah momen maksimum kolom yang diperoleh dari perhitungan sebagai berikut.

2. Momen maksimum kolom

a. Momen maksimum kolom 1 atas dan bawah arah x

$$M_{u,k_x} It_{atas} = 1,05.(0 + 0 + 4.(265,020 + 0,3.766,280)) = 2078,600 \text{ kN-m}$$

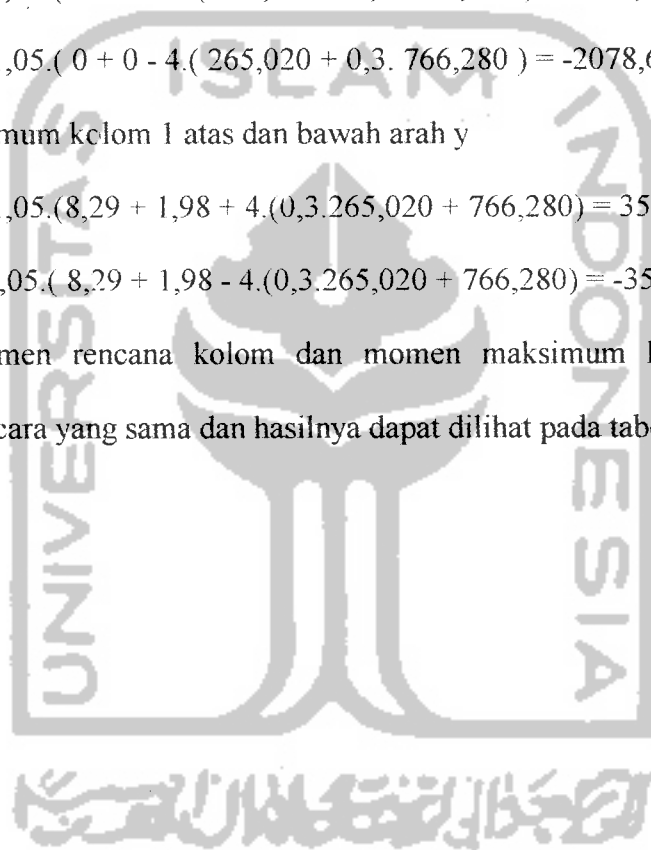
$$M_{u,k_x} It_{bawah} = 1,05.(0 + 0 - 4.(265,020 + 0,3.766,280)) = -2078,600 \text{ kN-m}$$

b. Momen maksimum kolom 1 atas dan bawah arah y

$$M_{u,k_y} It_{atas} = 1,05.(8,29 + 1,98 + 4.(0,3.265,020 + 766,280)) = 3563,085 \text{ kN-m}$$

$$M_{u,k_y} It_{bawah} = 1,05.(8,29 + 1,98 - 4.(0,3.265,020 + 766,280)) = -3550,222 \text{ kN-m}$$

Perhitungan momen rencana kolom dan momen maksimum kolom lainnya dihitung dengan cara yang sama dan hasilnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini.



Tabel 6.6 Momen rencana kolom C-2 dan C-3

Tingkat	Kolom	K		a		Mnak, b-x (k-Nm)		Mnak, b-y (k-Nm)		Mu,k-x		Mu,k-y	
		atas	bawah	ka	kb	Neg	Pos	Neg	Pos	Atas	Bwh	Atas	Bwh
1	2	148,028	148,028	0,41	1,00	838,633	263,801	696,288	178,218	503,717	494,904	446,785	845,786
	3	123,412	123,412	0,41	1,00	838,633	263,801	696,288		503,717	376,084	446,785	808,320
2	2	212,492	212,492	0,50	0,59	838,633	263,801	767,198	208,648	867,090	283,809	810,083	270,036
	3	177,156	177,156	0,50	0,59	838,633	263,801	767,198		867,090	231,007	810,083	76,288
3	2	212,492	212,492	0,50	0,50	838,633	263,801	838,633	263,801	883,971	252,599	866,355	272,521
	3	177,156	177,156	0,50	0,50	838,633	263,801	838,633		883,971	195,967	866,355	64,716
4	2	212,492	212,492	0,50	0,50	776,257	243,818	838,633	263,801	832,964	252,599	851,053	272,521
	3	177,156	177,156	0,50	0,50	776,257	243,818	838,633		832,964	181,122	851,053	59,814
5	2	212,492	212,492	0,50	0,50	776,257	243,818	908,886	293,147	849,566	244,054	906,393	290,735
	3	177,156	177,156	0,50	0,50	776,257	243,818	908,886		849,566	181,122	906,393	59,814
6	2	212,492	212,492	0,60	0,50	776,257	243,818	908,886	293,147	1013,772	244,054	1081,583	290,735
	3	177,156	177,156	0,60	0,50	776,257	243,818	908,886		1022,439	181,122	1087,262	59,814
7	2	143,655	143,655	0,50	0,40	767,198	208,648	840,839	270,871	810,601	192,458	829,190	214,840
	3	116,797	116,797	0,50	0,40	767,198	208,648	840,839		810,601	123,169	829,190	40,030
8	2	143,655	143,655	0,50	0,50	767,198	208,648	840,839	270,871	810,601	212,443	829,190	257,823
	3	116,797	116,797	0,50	0,50	767,198	208,648	840,839		810,601	154,996	829,190	50,374
9	2	143,655	143,655	0,50	0,50	767,198	208,648	840,839	270,871	810,601	212,443	829,190	257,823
	3	116,797	116,797	0,50	0,50	767,198	208,648	840,839		810,601	154,996	829,190	50,374
10	2	143,655	143,655	0,50	0,50	594,218	151,438	840,839	270,871	671,394	212,443	787,427	257,823
	3	116,797	116,797	0,50	0,50	594,218	151,438	840,839		671,394	112,497	787,427	36,562
11	2	143,655	143,655	0,50	0,50	594,218	151,438	776,257	243,818	656,556	164,207	737,966	223,292
	3	116,797	116,797	0,50	0,50	594,218	151,438	776,257		656,556	112,497	737,966	36,562
12	2	143,655	143,655	0,61	0,50	594,218	151,438	776,257	243,818	800,291	164,207	899,525	223,292
	3	116,797	116,797	0,52	0,50	594,218	151,438	776,257		809,291	112,497	906,718	36,562
13	2	92,053	92,053	0,50	0,39	533,941	108,525	653,786	177,154	569,081	116,865	613,895	131,182
	3	72,402	72,402	0,50	0,38	533,941	108,525	653,786		569,081	61,702	613,895	19,740
14	2	92,053	92,053	0,50	0,50	533,941	108,525	594,218	151,438	555,770	112,353	569,523	138,597
	3	72,402	72,402	0,50	0,50	533,941	108,525	594,218		555,770	80,619	569,523	25,792
15	2	92,053	92,053	0,50	0,50	533,941	108,525	594,218	151,438	555,770	112,353	569,523	138,597
	3	72,402	72,402	0,50	0,50	533,941	108,525	594,218		555,770	80,619	569,523	25,792
16	2	92,053	92,053	0,50	0,50	473,700	81,512	533,941	108,525	494,578	103,360	510,306	106,631
	3	72,402	72,402	0,50	0,50	473,700	81,512	533,941		494,578	60,552	510,306	19,372
17	2	92,053	92,053	0,50	0,50	473,700	81,512	473,700	81,512	481,116	77,633	465,434	80,090
	3	72,402	72,402	0,50	0,50	473,700	81,512	473,700		481,116	60,552	465,434	19,372
18	2	92,053	92,053	1,00	0,50	473,700	81,512	347,059	11,390	696,640	48,414	570,922	21,428
	3	72,402	72,402	1,00	0,50	473,700	81,512	347,059		696,640	46,578	570,922	14,901

Tabel 6.7 Momen maksimum kolom C-2 dan C-3

Ting Kat	Ko lom	MDk-x (kNm)	MDk-y (kNm)	MLk-x (kNm)	MLk-y (kNm)	MEk-x (kNm)	MEk-y (kNm)	Muk-x (kN-m)		Muk-y (kN-m)	
								Atas	Bwh	Atas	Bawah
1	2	0	8,290	0	1,980	265,020	766,280	2078,597	-2078,597	3563,085	-3550,222
	3	0	74,710	0	17,460	146,800	764,280	1579,553	-1579,553	3491,723	-3376,611
2	2	0	11,120	0	2,680	332,010	560,090	2100,155	-2100,155	2785,201	-2767,897
	3	0	106,010	0	25,040	166,500	518,420	1352,509	-1352,509	2524,757	-2360,862
3	2	0	17,590	0	4,220	340,220	534,240	2102,066	-2102,066	2695,386	-2668,054
	3	0	111,710	0	26,590	175,050	513,190	1381,829	-1381,829	2521,176	-2348,042
4	2	0	23,510	0	5,640	344,650	525,010	2109,043	-2109,043	2669,909	-2633,379
	3	0	117,730	0	28,200	177,310	505,130	1381,166	-1381,166	2498,183	-2315,347
5	2	0	29,190	0	7,000	343,800	511,080	2087,921	-2087,921	2617,724	-2572,374
	3	0	122,200	0	29,420	178,620	491,850	1369,935	-1369,935	2450,032	-2259,940
6	2	0	33,280	0	7,950	348,960	500,560	2096,338	-2096,338	2585,333	-2533,694
	3	0	140,450	0	33,950	170,580	477,940	1318,640	-1318,640	2405,399	-2186,631
7	2	0	33,770	0	8,080	316,570	490,950	1948,191	-1948,191	2504,811	-2452,384
	3	0	120,780	0	29,370	163,910	473,810	1285,423	-1285,423	2354,186	-2165,690
8	2	0	37,950	0	9,090	328,690	447,580	1944,449	-1944,449	2343,377	-2284,441
	3	0	125,870	0	30,720	172,760	429,330	1266,548	-1266,548	2185,283	-1988,608
9	2	0	40,850	0	9,780	323,150	418,450	1884,477	-1884,477	2217,821	-2154,390
	3	0	129,180	0	31,600	170,720	400,290	1221,389	-1221,389	2065,144	-1863,145
10	2	0	44,290	0	10,600	312,600	386,880	1800,389	-1800,389	2076,407	-2007,642
	3	0	132,310	0	32,430	165,570	369,660	1161,166	-1161,166	1934,167	-1727,139
11	2	0	47,650	0	11,400	297,420	352,790	1693,679	-1693,679	1918,470	-1844,497
	3	0	133,060	0	32,670	159,250	336,270	1092,550	-1092,550	1787,006	-1578,686
12	2	0	48,980	0	11,700	286,090	320,980	1606,013	-1606,013	1772,303	-1696,304
	3	0	151,950	0	37,350	144,980	302,410	989,953	-989,953	1651,562	-1413,579
13	2	0	43,880	0	10,490	243,720	287,630	1386,038	-1386,038	1572,222	-1504,119
	3	0	122,240	0	30,120	130,620	274,830	894,890	-894,890	1478,845	-1287,241
14	2	0	45,500	0	10,880	234,350	229,120	1272,961	-1272,961	1316,784	-1246,161
	3	0	125,790	0	31,030	126,930	216,750	806,211	-806,211	1234,943	-1037,700
15	2	0	45,680	0	10,920	210,990	181,480	1114,823	-1114,823	1087,493	-1016,597
	3	0	126,710	0	31,270	115,320	170,310	698,935	-698,935	1026,484	-827,772
16	2	0	47,010	0	11,230	183,290	131,400	935,382	-935,382	843,977	-771,034
	3	0	127,730	0	31,460	101,200	122,450	579,327	-579,327	808,952	-608,769
17	2	0	52,380	0	12,500	150,290	77,010	728,251	-728,251	580,931	-499,682
	3	0	126,120	0	31,680	86,630	70,550	452,739	-452,739	571,154	-372,200
18	2	0	39,410	0	9,470	119,260	26,780	534,635	-534,635	314,068	-252,800
	3	0	150,170	0	33,310	64,600	17,970	293,962	-293,962	349,524	-121,895

6.3.2 Gaya aksial rencana dan maksimum kolom

Gaya aksial kolom dihitung sama seperti pada perhitungan momen rencana kolom diatas yaitu 100% sumbu utama + 30% arah tegak lurus sumbu utama.

1. Gaya aksial rencana kolom

Persamaan diatas dapat juga ditulis dalam bentuk,

$$N_{u,k} = 1,05 \cdot N_{g,k} + 0,7 \cdot R_v \cdot \frac{\phi_o}{l_b} \left[\sum_{i=1}^Q (M_{nak,bxki} - M_{nak,bxka}) + 0,3 \cdot \sum_{i=1}^Q (M_{nak,byki} - M_{nak,byka}) \right]$$

dengan,

$M_{nak,bki}$ = momen nominal aktual balok sebelah kiri yang masuk kedalam kolom,

$M_{nak,bka}$ = momen nominal aktual balok sebelah kanan yang masuk kedalam kolom.

Dimana,

$$\phi_o = 1,25 \text{ untuk } f_y \leq 400 \text{ Mpa}$$

$$l_{b-x} = 4,00 \text{ m}$$

$$l_{b-y} = 9,00 \text{ m}$$

$$\frac{\phi_o}{l_{b-x}} = \frac{1,25}{4,00} = 0,3125$$

$$\frac{\phi_o}{l_{b-y}} = \frac{1,25}{9,00} = 0,1389$$

$$R_v = 1,1 - 0,025 \cdot 17 = 0,675$$

a. Gaya aksial rencana kolom tengah tingkat 1 arah x

$$N_{gk} = N_{DK} + N_{LK} + \sum \text{berat sendiri kolom}$$

$$= 6032,97 + 1197,14 + 631,80$$

$$= 7861,91 \text{ kN}$$

$$N_{u,k1-x \text{ atas}} = (1,05 \cdot 7861,91) + 0,7 \cdot 0,675 \cdot 0,3125 \cdot (11951,841 - 3173,227) + 0,3 \cdot (13071,319 - 3753,341) = 9963,980 \text{ kN}$$

$$N_{u,k1-x \text{ bwh}} = (1,05 \cdot 7861,91) - 0,7 \cdot 0,675 \cdot 0,3125 \cdot (11951,841 - 3173,227) + 0,3 \cdot (13071,319 - 3753,341) = 6546,031 \text{ kN}$$

b. Gaya aksial rencana kolom tengah tingkat 1 arah y

$$N_{u,k1-y \text{ atas}} = (1,05 \cdot 7861,91) + 0,7 \cdot 0,675 \cdot 0,1389 \cdot 0,3 \cdot (11951,841 - 3173,227) + (13071,319 - 3753,341) = 9039,327 \text{ kN}$$

$$N_{u,k1-y \text{ bwh}} = (1,05 \cdot 7861,91) + 0,7 \cdot 0,675 \cdot 0,1389 \cdot 0,3 \cdot (11951,841 - 3173,227) + (13071,319 - 3753,341) = 7470,684 \text{ kN}$$

Berdasarkan SKSNI T-15-1991-03 dalam segala hal nilai gaya aksial rencana kolom, tidak boleh melebihi nilai gaya aksial maksimum kolom. Apabila nilai gaya aksial rencana melebihi gaya aksial maksimum, maka yang dipakai dalam perhitungan adalah nilai gaya maksimum. Gaya aksial maksimum tersebut diperoleh dari perhitungan sebagai berikut ini.

2. Gaya aksial maksimum kolom

a. Gaya aksial maksimum kolom tengah tingkat 1 arah x

$$N_{u,k1-x \text{ atas}} = 1,05 \cdot 7861,91 + 4 \cdot (-0,47 + 0,3 \cdot 25,16) = 8284,733 \text{ kN}$$

$$N_{u,k1-x \text{ bwh}} = 1,05 \cdot 7861,91 - 4 \cdot (-0,47 + 0,3 \cdot 25,16) = 8225,278 \text{ kN}$$

b. Gaya aksial maksimum kolom tengah tingkat 1 arah y

$$N_{u,k1-y \text{ atas}} = 1,05 \cdot 7861,91 + 4 \cdot (0,3 \cdot (-0,47) + 25,16) = 8360,085 \text{ kN}$$

$$N_{u,k1-y \text{ bwh}} = 1,05 \cdot 7861,91 - 4 \cdot (0,3 \cdot (-0,47) + 25,16) = 8149,926 \text{ kN}$$

Gaya aksial rencana dan gaya aksial maksimum kolom untuk semua tingkat dihitung dengan cara yang sama dan ditabelkan pada Tabel 6.8 dan Tabel 6.9.

Tabel 6.8 Gaya aksial rencana kolom C-2 dan C-3

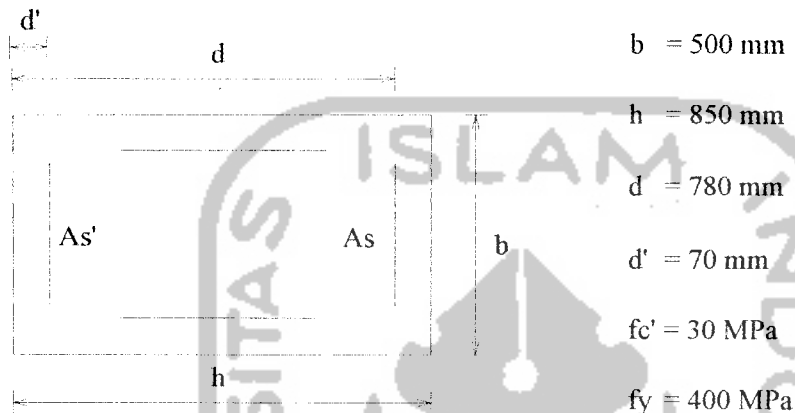
Tingkat	Kolom	Ng,k (KN)	Rv	Mnak,b-x (kN-m)		Mnak,b-y (kN-m)		Nu,k-x (KN)		Nu,k-y (KN)	
				Kiri	Kanan	Kiri	Kanan	Atas	Bwh	Atas	Bwh
1	2	7861,910	0,675	838,633	263,801	696,288	178,218	9963,980	6546,031	9039,327	7470,684
	3	5512,060	0,675	838,633	263,801	696,288		7662,899	3912,427	6943,243	4757,029
2	2	7337,510	0,700	838,633	263,801	767,198	208,648	9364,835	6043,936	9076,178	6938,009
	3	5186,590	0,700	838,633	263,801	767,198		7270,602	3621,237	6574,405	4436,236
3	2	6836,510	0,725	838,633	263,801	838,633	263,801	8780,348	5576,323	8507,025	6436,114
	3	4863,680	0,725	838,633	263,801	838,633		6869,047	3344,681	6198,263	4127,352
4	2	6347,090	0,750	776,257	243,818	838,633	263,801	8199,098	5129,791	7934,449	5951,118
	3	4539,190	0,750	776,257	243,818	838,633		6453,512	3078,787	5809,917	3826,587
5	2	5868,710	0,775	776,257	243,818	908,886	293,147	7628,453	4695,838	7368,360	5480,389
	3	4213,280	0,775	776,257	243,818	908,886		6034,635	2813,253	5416,257	3528,286
6	2	5401,150	0,800	776,257	243,818	908,886	293,147	7059,312	4283,103	6799,039	5027,773
	3	3886,010	0,800	776,257	243,818	908,886		5602,066	2558,555	5010,141	3238,875
7	2	4940,860	0,825	767,198	208,648	840,839	270,871	6489,961	3885,845	6230,021	4586,561
	3	3560,540	0,825	767,198	208,648	840,839		5162,581	2314,553	4600,009	2956,549
8	2	4489,660	0,850	767,198	208,648	840,839	270,871	5920,008	3508,278	5671,776	4155,527
	3	3247,000	0,850	767,198	208,648	840,839		4725,757	2092,943	4203,217	2686,968
9	2	4045,410	0,875	767,198	208,648	840,839	270,871	5349,374	3145,987	5114,003	3735,376
	3	2932,500	0,875	767,198	208,648	840,839		4279,057	1879,193	3799,907	2421,281
10	2	3607,660	0,900	594,218	151,438	840,839	270,871	4777,585	2798,501	4556,227	3325,636
	3	2617,490	0,900	594,218	151,438	840,839		3822,954	1673,775	3390,551	2159,960
11	2	3175,670	0,925	594,218	151,438	776,257	243,818	4227,290	2441,617	4003,882	2922,405
	3	2302,040	0,925	594,218	151,438	776,257		3380,946	1453,338	2981,433	1899,956
12	2	2749,630	0,950	594,218	151,438	776,257	243,818	3678,869	2095,354	3459,756	2525,372
	3	1986,000	0,950	594,218	151,438	776,257		2934,743	1235,857	2572,485	1638,101
13	2	2323,690	0,975	533,941	108,525	653,786	177,154	3123,964	1755,785	2909,690	2131,678
	3	1672,680	0,975	533,941	108,525	653,786		2484,006	1028,622	2161,532	1383,521
14	2	1897,200	1,000	533,941	108,525	594,218	151,438	2569,351	1414,769	2374,397	1734,708
	3	1372,420	1,000	533,941	108,525	594,218		2051,427	830,655	1774,349	1134,659
15	2	1473,200	1,025	533,941	108,525	594,218	151,438	2013,413	1080,307	1845,242	1339,916
	3	1071,460	1,025	533,941	108,525	594,218		1615,322	634,744	1388,251	882,925
16	2	1051,410	1,050	473,700	81,512	533,941	108,525	1453,690	754,271	1313,845	950,218
	3	770,430	1,050	473,700	81,512	533,941		1172,541	445,362	998,254	634,627
17	2	631,060	1,075	473,700	81,512	473,700	81,512	898,412	426,814	792,920	561,948
	3	469,340	1,075	473,700	81,512	473,700		735,160	250,454	613,404	382,433
18	2	213,640	1,100	473,700	81,512	347,059	11,390	342,923	105,721	280,469	175,841
	3	168,600	1,100	473,700	81,512	347,059		296,454	57,606	231,959	127,331

Tabel 6.9 Gaya aksial maksimum kolom C-2 dan C-3

Ting kat	Ko lom	Ng,k (kN)	Nekx (kN)	Neky (kN)	Nu,k-x (kN)		Nu,k-y (kN)	
					Atas	Bwh	Atas	Bwh
1	2	7861,910	-0,470	25,160	8284,733	8225,278	8360,085	8149,926
	3	5512,060	-1254,910	61,630	594,695	10980,631	4465,322	7110,004
2	2	7337,510	-0,440	19,950	7727,675	7681,097	7787,621	7621,150
	3	5186,590	-1180,010	58,340	563,386	10328,453	4204,135	6687,704
3	2	6836,510	-0,420	21,210	7203,296	7153,375	7266,888	7089,783
	3	4863,680	-1093,910	58,460	565,102	9648,626	3967,769	6245,959
4	2	6347,090	-0,390	21,110	6689,405	6639,484	6752,615	6576,274
	3	4539,190	-1015,400	57,460	573,869	8958,430	3728,078	5804,222
5	2	5868,710	-0,380	21,740	6187,942	6136,349	6252,975	6071,316
	3	4213,280	-930,280	56,420	587,857	8260,031	3488,755	5359,133
6	2	5401,150	-0,360	22,890	5698,537	5643,878	5766,892	5575,523
	3	3886,010	-843,790	55,120	605,844	7554,777	3248,639	4911,982
7	2	4940,860	-0,340	23,300	5215,833	5159,973	5285,335	5090,471
	3	3560,540	-756,110	53,440	630,239	6846,895	3010,316	4466,818
8	2	4489,660	-0,330	23,170	4741,951	4686,335	4811,041	4617,245
	3	3247,000	-673,940	50,800	642,810	6175,890	2773,546	4045,154
9	2	4045,410	-0,330	22,650	4274,834	4220,528	4342,395	4152,966
	3	2932,500	-591,250	47,680	655,952	5502,298	2534,406	3623,844
10	2	3607,660	-0,320	21,760	3814,117	3761,969	3879,032	3697,054
	3	2617,490	-509,920	44,010	662,153	4834,576	2290,707	3206,022
11	2	3175,670	-0,320	20,350	3358,751	3310,157	3419,520	3249,387
	3	2302,040	-430,830	39,780	657,779	4176,505	2041,372	2792,912
12	2	2749,630	-0,330	18,770	2909,376	2864,847	2965,530	2808,693
	3	1986,000	-354,420	35,130	641,000	3529,600	1786,277	2384,323
13	2	2323,690	-0,320	16,630	2459,484	2420,265	2509,317	2370,432
	3	1672,680	-281,310	30,420	613,141	2899,487	1529,627	1983,001
14	2	1897,200	-0,320	14,180	2008,583	1975,537	2051,213	1932,907
	3	1372,420	-217,650	25,570	559,129	2322,953	1274,196	1607,886
15	2	1473,200	-0,330	11,400	1559,838	1533,882	1594,324	1499,396
	3	1071,460	-158,250	20,470	486,175	1763,891	1011,612	1238,454
16	2	1051,410	-0,330	8,400	1113,179	1094,783	1138,845	1069,116
	3	770,430	-104,760	15,110	387,998	1229,905	740,416	877,487
17	2	631,060	-0,370	5,120	667,510	657,716	683,651	641,575
	3	469,340	-58,380	9,500	259,581	726,033	459,148	526,466
18	2	213,640	-0,240	1,140	224,750	223,894	228,808	219,836
	3	168,600	-20,450	2,970	94,882	259,178	163,737	190,323

6.3.3 Grafik Interaksi Kolom dan Contoh Perhitungan

Sebagai contoh perhitungan grafik interaksi kolom digunakan kolom lantai 1 dengan mutu bahan dan dimensi kolom adalah:



Luas tulangan total yang digunakan disebarakan ke empat sisi kolom sesuai persyaratan ketahanan gempa. Karena kolom menahan beban gempa secara siklis yang arahnya merupakan kombinasi dari arah x dan y, sehingga $A_s = A_s' = 0,25.A_{st}$. Dicoba luas tulangan minimum 1% dari luas bruto (A_g).

$$A_{st} = 1\% \cdot 500 \cdot 850 = 4250 \text{ mm}^2$$

1. Kondisi beban sentris

Gaya desak P berimpit dengan sumbu memanjang kolom sehingga tegangan desak terjadi diseluruh penampang kolom yang menyebabkan seluruh tulangan mengalami gaya desak. Karena itu luas tulangan yang digunakan adalah luas tulangan total (A_{st}).

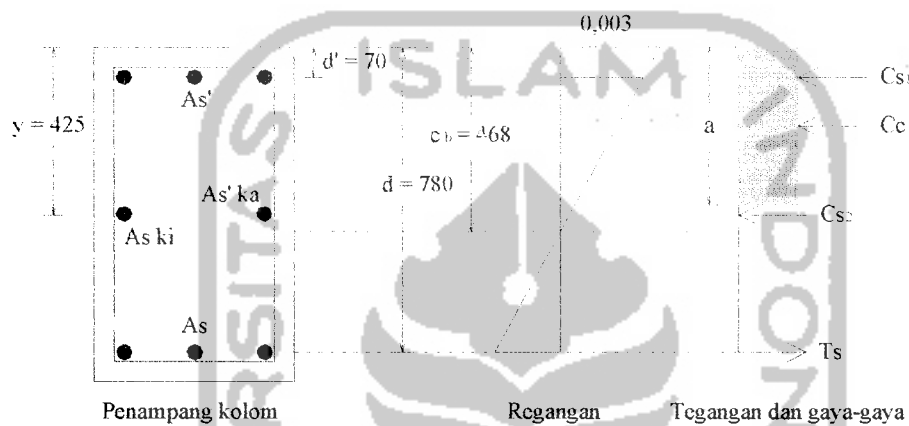
$$P_o = 0,85 \cdot f_c' \cdot (A_g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}$$

$$= (0,85 \cdot 30 \cdot (425000 - 4250) + 400 \cdot 4250) \cdot 10^{-3} = 12429,13 \text{ kN.}$$

Nilai P_o ditunjukkan pada Gambar 6.8a sebagai titik A ($0, P_o$)

$$\begin{aligned}
 P_n \text{ maks} &= 0,8 \cdot (0,85 \cdot f_c' \cdot (\Delta g - A_{st}) + f_y \cdot A_{st}) \\
 &= 0,8 \cdot 12429,13 = 10283,3 \text{ kN} \\
 \Phi P_n &= 0,65 \cdot 10283,3 = 6684,15 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

2. Kondisi *balance*



Gambar 6.3 Diagram regangan dan tegangan pada kondisi *balance*

Letak garis netral dalam kondisi seimbang adalah,

$$c_b = \frac{600 \cdot d}{600 + f_y} = \frac{600 \cdot 780}{600 + 400} = 468 \text{ mm}$$

$$a_b = \beta_1 \cdot c_b = 0,85 \cdot 468 = 397,8 \text{ mm}$$

Cek regangan yang terjadi,

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 400 / 200000 = 0,002$$

$$\epsilon_{s'1} = \frac{c_b - d'}{c_b} \cdot 0,003 = \frac{468 - 70}{468} \cdot 0,003 = 0,00255 > \epsilon_y = 0,002, \text{ baja desak leleh.}$$

$$\epsilon_{s'2} = \frac{c_b - y}{c_b} \cdot 0,003 = \frac{468 - 425}{468} \cdot 0,003 = 0,00028 < \epsilon_y = 0,002,$$

baja desak belum leleh

$$\epsilon_s = \frac{d - c_b}{c_b} \cdot 0,003 = \frac{780 - 468}{468} \cdot 0,003 = 0,002 = \epsilon_y = 0,002, \text{ baja tarik leleh.}$$

Tegangan pada bagian baja desak yang belum leleh adalah,

$$f_s'2 = E_s \cdot \frac{C_b - y}{c_b} \cdot 0,003 = E_s \cdot \epsilon_{s'2} = 200000 \cdot 0,00028 = 55,13 \text{ MPa}$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a_b \cdot b \cdot 10^{-3} = 0,85 \cdot 30 \cdot 397,8 \cdot 500 \cdot 10^{-3} = 5071,95 \text{ kN}$$

Tulangan yang berada dekat garis netral mempunyai tegangan-tegangan yang lebih kecil dari tegangan luluh baja, sehingga dari sumbu netral C dapat dicari tegangan baja yang terjadi pada penampang kolom tersebut. Berdasarkan gambar tersebut, maka luas tulangan $A_s = A_s'$.

$$A_s = A_s' = (0,25 + (0,25/2)) \cdot A_{st} = 0,375 \cdot 4250 = 1593,8 \text{ mm}^2$$

$$\text{Pada sisi, } A_{sk1} = A_{sk} = 0,25 \cdot A_{st} = 0,25 \cdot 4250 = 1062,5 \text{ mm}^2$$

$$\text{Tegangan desak baja, } C_{s1} = A_s' \cdot f_y = 1593,8 \cdot 400 \cdot 10^{-3} = 637,5 \text{ kN}$$

$$C_{s2} = A_{sk1} = A_{sk} \cdot f_s'2 = 1062,5 \cdot 55,13 \cdot 10^{-3} = 58,57 \text{ kN}$$

$$T_s = A_s \cdot f_y = 1593,8 \cdot 400 \cdot 10^{-3} = 637,5 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} P_{nb} &= C_c + C_{s1} + C_{s2} - T_s \\ &= 5071,95 + 637,5 + 58,57 - 637,5 = 5130,52 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{nb} &= C_c \cdot (y - a_b/2) + C_{s1} \cdot (y - d') + C_{s2} \cdot (0) + T_s \cdot (d - y) \\ &= 5071,95 \cdot (425 - 397,8) + 637,5 \cdot (425 - 70) + 58,57 \cdot (0) - 637,5 \cdot (780 - 425) \\ &= 1599,39 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Nilai P_{nb} dan M_{nb} ditunjukkan pada Gambar 6.8a sebagai titik **B** (M_{nb} , P_{nb}).

$$e_b = M_{nb}/P_{nb} = 1599,39/5130,52 = 0,3117 \text{ m} = 311,7 \text{ mm}$$

$$\Phi P_{nb} = 0,65 \cdot 5130,52 = 3334,84 \text{ kN}$$

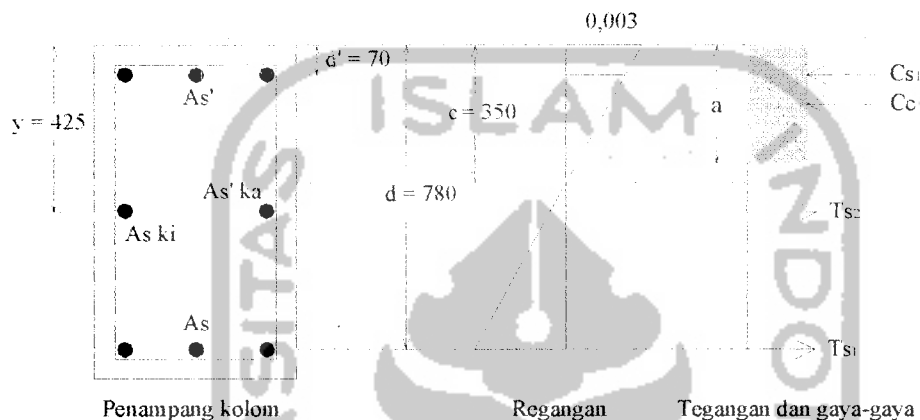
$$\Phi M_{nb} = 0,65 \cdot 1599,39 = 1039,61 \text{ kNm}$$

3. Kondisi patah tarik (keruntuhan tarik)

Syarat keruntuhan tarik, $e > e_b$ atau $P_n < P_{nb}$

a. Diambil $c = 350 \text{ mm} < c_b = 468 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \cdot c = 0,85 \cdot 350 = 297,5 \text{ mm}$$



Gambar 6.4 Diagram regangan dan tegangan pada kondisi patah tarik

Cek regangan yang terjadi,

$$\epsilon_y = f_y / E_s = 400 / 200000 = 0,002$$

$$\epsilon_{s'} = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003 = \frac{350 - 70}{350} \cdot 0,003 = 0,0024 > \epsilon_y = 0,002$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{d - c}{c} \cdot 0,003 = \frac{780 - 350}{350} \cdot 0,003 = 0,0037 > \epsilon_y = 0,002$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{y - c}{c} \cdot 0,003 = \frac{425 - 350}{350} \cdot 0,003 = 0,0006 < \epsilon_y = 0,002$$

$$f_{s2} = E_s \cdot \epsilon_{s2} = 200000 \cdot 0,0006 = 128,57 \text{ MPa}$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot 10^{-3} = 0,85 \cdot 30 \cdot 297,5 \cdot 500 \cdot 10^{-3} = 3793,13 \text{ kN}$$

$$C_{s1} = A_{s'} \cdot f_y = 1593,8 \cdot 400 \cdot 10^{-3} = 637,5 \text{ kN}$$

$$T_{s2} = A_{s1} \cdot f_{s2} = 1062,5 \cdot 128,57 \cdot 10^{-3} = 136,61 \text{ kN}$$

$$T_{s1} = A_s \cdot f_y = 1593,8 \cdot 400 \cdot 10^{-3} = 637,5 \text{ kN}$$

$$P_n = C_c + C_{s1} - T_{s2} - T_{s1}$$

$$= 3793,13 + 637,5 - 136,61 - 637,5 = 3656,52 \text{ kN} < P_{nb} = 5130,52 \text{ kN}$$

$$M_n = C_c \cdot (y - a/2) + C_{s1} \cdot (y - d') + T_{s2} \cdot (0) + T_{s1} \cdot (y - d')$$

$$= 5071,95 \cdot (425 - 297,5) + 637,5 \cdot (425 - 70) + 136,61 \cdot (0) - 637,5 \cdot (425 - 70)$$

$$= 1500,48 \text{ kNm}$$

Nilai P_n dan M_n ditunjukkan pada Gambar 6.8a sebagai titik C (M_{n1trk} , P_{n1trk}).

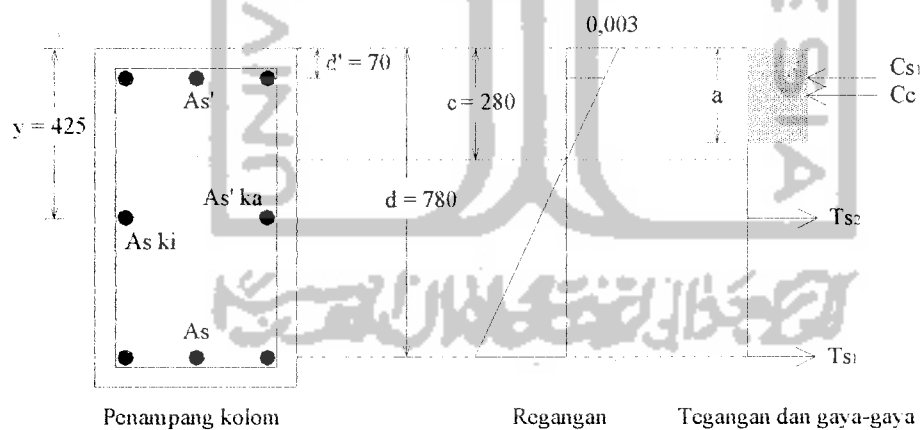
$$e = M_n/P_n = 1500,48/3656,52 = 0,4104 \text{ m} = 410,4 \text{ mm} > e_b = 311,7 \text{ mm}$$

$$\Phi P_n = 0,65 \cdot 3656,52 = 2376,74 \text{ kN}$$

$$\Phi M_n = 0,65 \cdot 1500,48 = 975,31 \text{ kNm}$$

b. Diambil $c = 280 \text{ mm} < c_1 = 468 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \cdot c = 0,85 \cdot 280 = 238 \text{ mm}$$



Gambar 6.5 Diagram regangan dan tegangan pada kondisi patah tarik

Cek regangan yang terjadi,

$$\varepsilon_y = f_y/E_s = 400/200000 = 0,002$$

$$\varepsilon_s = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003 = \frac{280 - 70}{280} \cdot 0,003 = 0,00225 > \varepsilon_y = 0,002$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{d-c}{c} \cdot 0,003 = \frac{780-280}{280} \cdot 0,003 = 0,00536 > \varepsilon_y = 0,002.$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{y-c}{c} \cdot 0,003 = \frac{425-280}{280} \cdot 0,003 = 0,00155 < \varepsilon_y = 0,002$$

$$f_{s2} = E_s \cdot \varepsilon_{s2} = 200000 \cdot 0,00155 = 310,71 \text{ MPa}$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot 10^{-3} = 0,85 \cdot 30 \cdot 238 \cdot 500 \cdot 10^{-3} = 3034,50 \text{ kN}$$

$$C_{s1} = A_s \cdot f_y = 1593,8 \cdot 400 \cdot 10^{-3} = 637,5 \text{ kN}$$

$$T_{s2} = A_{sk} = A_{ska} \cdot f_{s2} = 1062,5 \cdot 310,71 \cdot 10^{-3} = 330,13 \text{ kN}$$

$$T_{s1} = A_s \cdot f_y = 1593,8 \cdot 400 \cdot 10^{-3} = 637,5 \text{ kN}$$

$$P_n = C_c + C_{s1} - T_{s2} - T_{s1}$$

$$= 3034,50 + 637,5 - 330,13 - 637,5 = 2704,37 \text{ kN} < P_{nb} = 5130,52 \text{ kN}$$

$$M_n = C_c \cdot (y - a/2) + C_{s1} \cdot (y - d') + T_{s2} \cdot (0) + T_{s1} \cdot (y - d')$$

$$= 3034,50 \cdot (425 - 238/2) + 637,5 \cdot (425 - 70) + 330,13 \cdot (0) + 637,5 \cdot (425 - 70)$$

$$= 1381,18 \text{ kNm}$$

Nilai P_n dan M_n ditunjukkan pada Gambar 6.8a sebagai titik **D** (M_{n2trk} , P_{n2trk}).

$$e = M_n/P_n = 1381,18/2704,37 = 0,51072 \text{ m} = 510,72 \text{ mm} > e_b = 311,7 \text{ mm}$$

$$\Phi P_n = 0,65 \cdot 2704,37 = 1757,84 \text{ kN}$$

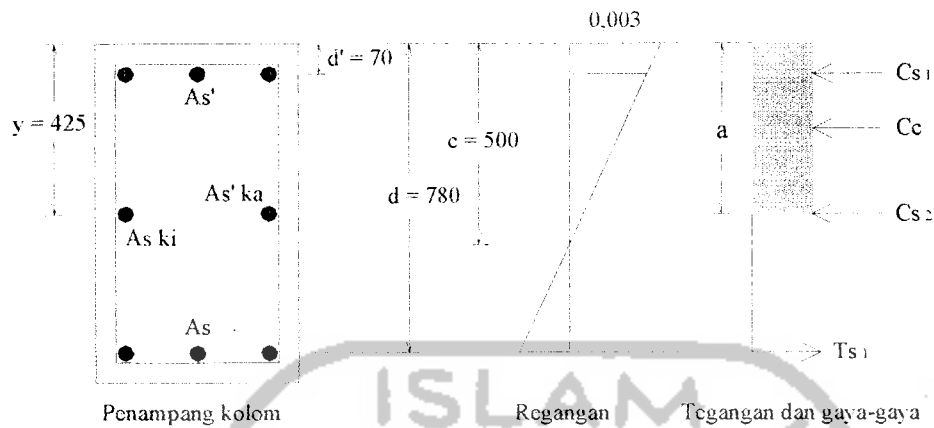
$$\Phi M_n = 0,65 \cdot 1381,18 = 897,77 \text{ kNm}$$

4. Kondisi patah tekan (keruntuhan tekan)

Syarat keruntuhan tekan, $e < e_b$ atau $P_n > P_{nb}$

a. Diambil $c = 500 \text{ mm} > c_i = 468 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \cdot c = 0,85 \cdot 500 = 425 \text{ mm}$$



Gambar 6.6 Diagram regangan dan tegangan pada kondisi patah tekan

Cek regangan yang terjadi,

$$\varepsilon_y = f_y/E_s = 400/200000 = 0,002$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{c-d'}{c} \cdot 0,003 = \frac{500-70}{500} \cdot 0,003 = 0,00258 > \varepsilon_y = 0,002$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{c-y}{y} \cdot 0,003 = \frac{500-425}{425} \cdot 0,003 = 0,00045 < \varepsilon_y = 0,002$$

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} \cdot 0,003 = \frac{780-500}{500} \cdot 0,003 = 0,00168 < \varepsilon_y = 0,002$$

$$f_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E_s = 0,00045 \cdot 200000 = 90 \text{ MPa}$$

$$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s = 0,00168 \cdot 200000 = 336 \text{ Mpa}$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot 10^{-3} = 0,85 \cdot 30 \cdot 425 \cdot 500 \cdot 10^{-3} = 5418,75 \text{ kN}$$

$$C_{s1} = A_{s'} \cdot f_y = 1593,8 \cdot 400 \cdot 10^{-3} = 637,5 \text{ kN}$$

$$C_{s2} = 0,25 \cdot A_{st} \cdot f_s' = 0,25 \cdot 4250 \cdot 90 \cdot 10^{-3} = 95,63 \text{ kN}$$

$$T_s = A_s \cdot f_s = 1593,75 \cdot 336 \cdot 10^{-3} = 535,50 \text{ kN}$$

$$P_n = C_c + C_{s1} + C_{s2} - T_s$$

$$= 5418,75 + 637,5 + 95,63 - 535,50 = 5616,38 \text{ kN} > P_{nb} = 5130,52 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= C_c \cdot (y - a/2) + C_{s1} \cdot (y - d') + C_{s2} \cdot (0) + T_s \cdot (d - y) \\
 &= 5071,95 \cdot (425 - 297,5) + 637,5 \cdot (425 - 70) + 95,63 \cdot (0) + 535,50 \cdot (780 - 425) \\
 &= 1567,90 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Nilai P_n dan M_n ditunjukkan pada Gambar 6.8a sebagai titik **E** ($M_{n,dsk}$, $P_{n,dsk}$).

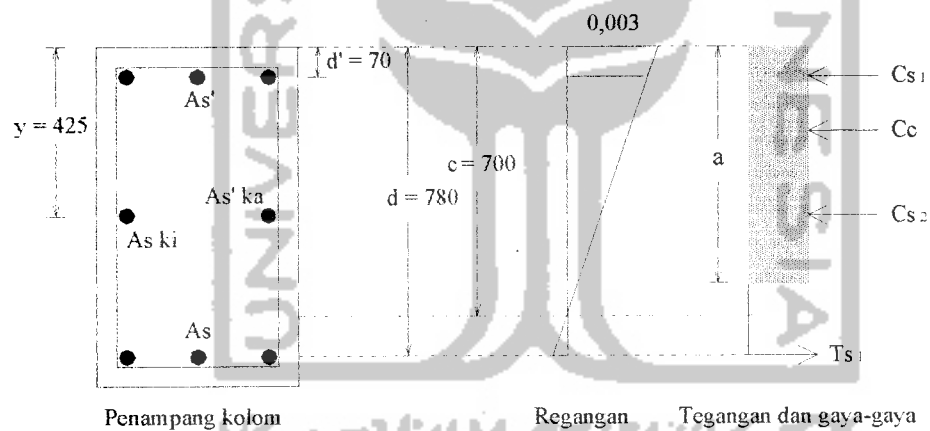
$$e = M_n/P_n = 1567,90/5616,38 = 0,27917 \text{ m} = 279,17 \text{ mm} < e_b = 311,7 \text{ mm}$$

$$\Phi P_n = 0,65 \cdot 5616,38 = 3650,64 \text{ kN}$$

$$\Phi M_n = 0,65 \cdot 1567,90 = 101 \text{ kNm}$$

b. Diambil $c = 700 \text{ mm} > c_b = 468 \text{ mm}$

$$a = \beta_1 \cdot c = 0,85 \cdot 700 = 595 \text{ mm}$$



Gambar 6.7 Diagram regangan dan tegangan pada kondisi patah tekan

Cek regangan yang terjadi,

$$\varepsilon_y = f_y/E_s = 400/200000 = 0,002$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{c - d'}{c} \cdot 0,003 = \frac{700 - 70}{700} \cdot 0,003 = 0,00270 > \varepsilon_y = 0,002$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{c - y}{y} \cdot 0,003 = \frac{700 - 425}{425} \cdot 0,003 = 0,00118 < \varepsilon_y = 0,002$$

$$\varepsilon_s = \frac{d-c}{c} \cdot 0,003 = \frac{780-700}{700} \cdot 0,003 = 0,00034 < \varepsilon_y = 0,002.$$

$$f_{s2} = \varepsilon_{s2} \cdot E_s = 0,00118 \cdot 200000 = 235,71 \text{ MPa}$$

$$f_s = \varepsilon_s \cdot E_s = 0,00034 \cdot 200000 = 68,57 \text{ Mpa}$$

$$C_c = 0,85 \cdot f_c' \cdot a \cdot b \cdot 10^{-3} = 0,85 \cdot 30 \cdot 595 \cdot 500 \cdot 10^{-3} = 7586,25 \text{ kN}$$

$$C_{s1} = A_s' \cdot f_y = 1593,8 \cdot 400 \cdot 10^{-3} = 637,5 \text{ kN}$$

$$C_{s2} = 0,25 \cdot A_{st} \cdot f_{s2} = 0,25 \cdot 4250 \cdot 235,71 \cdot 10^{-3} = 250,45 \text{ kN}$$

$$T_s = A_s \cdot f_s = 1593,75 \cdot 68,57 \cdot 10^{-3} = 109,29 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} P_n &= C_c + C_{s1} + C_{s2} - T_s \\ &= 7586,25 + 637,5 + 250,45 - 109,29 = 8364,91 \text{ kN} > P_{nb} = 5130,52 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= C_c \cdot (y - a/2) + C_{s1} \cdot (y - d') + C_{s2} \cdot (0) + T_s \cdot (d - y) \\ &= 7586,25 \cdot (425 - 595/2) + 637,5 \cdot (425 - 70) + 250,45 \cdot (0) + 109,29 \cdot (780 - 425) \\ &= 1232,36 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Nilai P_n dan M_n ditunjukkan pada Gambar 6.8a titik F (M_{n2dsk} , P_{n2dsk}).

$$e = M_n/P_n = 1567,90/5616,38 = 0,14732 \text{ m} = 147,32 \text{ mm} < e_b = 311,7 \text{ mm}$$

$$\Phi P_n = 0,65 \cdot 8364,91 = 5437,19 \text{ kN}$$

$$\Phi M_n = 0,65 \cdot 1232,36 = 801,03 \text{ kNm}$$

5. Kondisi momen murni

Pada kondisi momen murni gaya aksial $P = 0$, sehingga kontribusi tulangan desak A_s' dapat diabaikan dalam perhitungan, karena untuk $P = 0$, luas tulangan desak tidak menentukan (Nawy, 1990).

$A_s = 1593,8 \text{ mm}^2$, dianggap tulangan tarik telah leleh, sehingga;

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \cdot f_c' \cdot b} = \frac{1593,8 \cdot 400}{0,85 \cdot 30 \cdot 400} = 50,0 \text{ mm}$$

$$c = a/\beta_1 = 50/0,85 = 58,8 \text{ mm}$$

Cek regangan yang terjadi,

$$\epsilon_{s2} = \frac{y-c}{c} \cdot 0,003 = \frac{425-58,8}{58,8} \cdot 0,003 = 0,01868 > \epsilon_y = 0,002$$

$$\epsilon_{s1} = \frac{d-c}{c} \cdot 0,003 = \frac{780-58,8}{58,8} \cdot 0,003 = 0,03678 > \epsilon_y = 0,002$$

$$\begin{aligned} M_{no} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - a/2) + (0,25 \cdot A_{st}) \cdot f_y \cdot (y - a/2) \\ &= (1593,8 \cdot 400)(780 - 50) + 0,25 \cdot 4250 \cdot 400 \cdot (425 - 50/2) \cdot 10^{-6} \\ &= 651,31 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Nilai M_{no} ditunjukkan pada Gambar 6.8a sebagai titik G (M_{no} , 0).

Perhitungan grafik interaksi kolom selanjutnya dilakukan dengan cara yang sama dengan luas tulangan yang digunakan masing-masing setelah 1% adalah 2%, 3%, 4%, 5% dan 6% yang disajikan dalam bentuk tabel sebelum diplotkan dalam bentuk grafik interaksi kolom. Persyaratan luas tulangan terhadap luas tampang yang digunakan harus memenuhi $1\% \leq A_s \leq 6\%$.

Tabel 6.10.a Hasil perhitungan grafik interaksi kolom ukuran 500/850

R (%)	Po (kN)	Pn (maks) (kN)	Pnb (kN)	Mnb (kNm)	Pn tarik a (kN)	Mn tarik a (kNm)	Pn tarik b (kN)	Mn tarik b (kNm)	Pn tekan a (kN)	Mn tekan a (kNm)	Pn tekan b (kN)	Mn tekan b (kNm)	Mo (kNm)
1	12429,13	10283,30	5130,52	1599,39	3656,52	1500,48	2704,37	1381,18	5616,38	1567,90	8364,91	1232,36	651,31
2	14020,75	11896,60	5189,10	2052,02	3519,91	1953,10	2574,23	1833,81	5814,00	1984,31	9143,57	1497,46	1249,50
3	15612,38	13509,90	5247,67	2504,64	3383,30	2405,73	2044,10	2286,43	6011,63	2400,73	9922,23	1762,57	1794,56
4	17204,00	15123,20	5306,24	2957,27	3246,70	2858,35	1713,96	2739,06	6209,25	2817,14	10700,89	2027,68	2286,50
5	18795,63	16736,50	5364,82	3409,89	3110,09	3310,98	1333,83	3191,68	6406,88	3233,56	11479,55	2292,79	2725,31
6	20387,25	18349,80	5423,39	3802,52	2973,48	3763,60	1053,70	3644,31	6604,50	3649,97	12258,21	2557,90	3111,00

Tabel 6.10.b Hasil perhitungan grafik interaksi kolom ukuran 500/800

R (%)	Po (kN)	Pn (maks) (kN)	Pnb (kN)	Mnb (kNm)	Pn tarik a (kN)	Mn tarik a (kNm)	Pn tarik b (kN)	Mn tarik b (kNm)	Pn tekan a (kN)	Mn tekan a (kNm)	Pn tekan b (kN)	Mn tekan b (kNm)	Mo (kNm)
1	11698,00	9678,40	4798,88	1411,11	3707,41	1349,02	2777,36	1248,69	5724,75	1350,64	8404,82	988,32	574,47
2	13196,00	11196,80	4850,93	1807,11	3621,70	1745,02	2520,21	1644,69	6030,75	1685,26	9223,39	1199,05	1101,88
3	14694,00	12715,20	4902,99	2203,11	3535,98	2141,02	2263,07	2040,69	6336,75	2019,88	10041,96	1409,78	1582,24
4	16192,00	14233,60	4955,04	2599,11	3450,27	2537,02	2005,93	2436,69	6642,75	2354,50	10860,54	1620,50	2015,53
5	17690,00	15752,00	5007,10	2995,11	3364,55	2933,02	1748,79	2832,69	6948,75	2689,12	11679,11	1831,23	2401,76
6	19188,00	17270,40	5059,15	3391,11	3278,84	3329,02	1491,64	3228,69	7254,75	3023,74	12497,68	2041,96	2740,94

Tabel 6.10.c Hasil perhitungan grafik interaksi kolom ukuran 500/750

R (%)	Po (kN)	Pn (maks) (kN)	Pnb (kN)	Mnb (kNm)	Pn tarik a (kN)	Mn tarik a (kNm)	Pn tarik b (kN)	Mn tarik b (kNm)	Pn tekan a (kN)	Mn tekan a (kNm)	Pn tekan b (kN)	Mn tekan b (kNm)	Mo (kNm)
1	10966,88	9073,50	4467,20	1234,54	3752,95	1201,32	2843,65	1119,96	5101,88	1199,22	7805,91	879,07	502,44
2	12371,25	10497,00	4512,69	1577,66	3712,77	1544,44	2652,80	1463,08	5326,88	1502,31	8567,45	1062,51	963,53
3	13775,63	11920,50	4558,19	1920,79	3672,59	1887,57	2461,96	1806,21	5551,88	1805,41	9328,99	1245,95	1383,25
4	15180,00	13344,00	4603,69	2263,91	3632,41	2230,69	2271,11	2149,33	5776,88	2108,50	10090,53	1429,39	1761,62
5	16584,38	14767,50	4649,18	2607,04	3592,23	2573,82	2080,26	2492,46	6001,88	2411,59	10852,07	1612,83	2098,62
6	17988,75	16191,00	4694,68	2950,16	3552,05	2916,94	1889,41	2835,58	6226,88	2714,69	11613,61	1796,27	2394,26

Tabel 6.10.d Hasil perhitungan grafik interaksi kolom ukuran 500/700

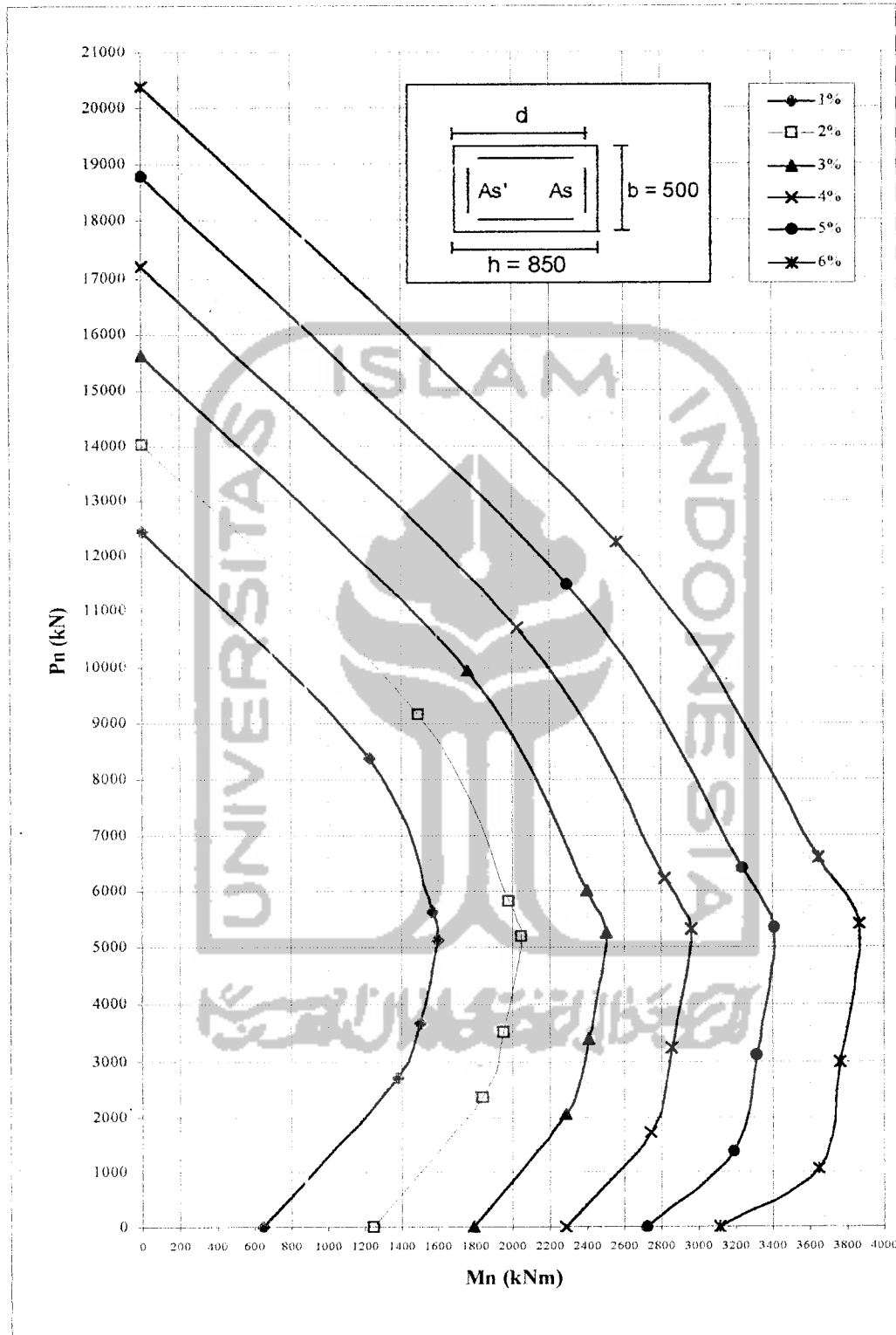
R (%)	Po (kN)	Pn (maks) (kN)	Pnb (kN)	Mnb (kNm)	Pn tarik a (kN)	Mn tarik a (kNm)	Pn tarik b (kN)	Mn tarik b (kNm)	Mn tarik b (kNm)	Pn tekan a (kN)	Mn tekan a (kNm)	Pn tekan b (kN)	Mn tekan b (kNm)	Mo (kNm)
1	10235,75	8468,60	4135,46	1069,69	3163,75	1017,40	2499,38	954,41	5203,54	1009,40	7835,91	659,74	435,24	
2	11546,50	9797,20	4174,35	1363,69	3076,25	1311,40	2289,38	1248,41	5530,21	1244,60	8627,45	799,95	834,44	
3	12857,25	11125,80	4213,24	1657,69	2988,75	1605,40	2079,38	1542,41	5856,88	1479,80	9418,99	940,17	1197,62	
4	14168,00	12454,40	4252,13	1951,69	2901,25	1899,40	1869,38	1836,41	6183,54	1715,00	10210,53	1080,38	1524,76	
5	15478,75	13783,00	4291,02	2245,69	2813,75	2193,40	1659,38	2130,41	6510,21	1950,20	11002,07	1220,60	1815,88	
6	16789,50	15111,60	4329,91	2539,69	2726,25	2487,40	1449,38	2424,41	6836,88	2185,40	11793,61	1360,81	2070,97	

Tabel 6.10.e Hasil perhitungan grafik interaksi kolom ukuran 500/650

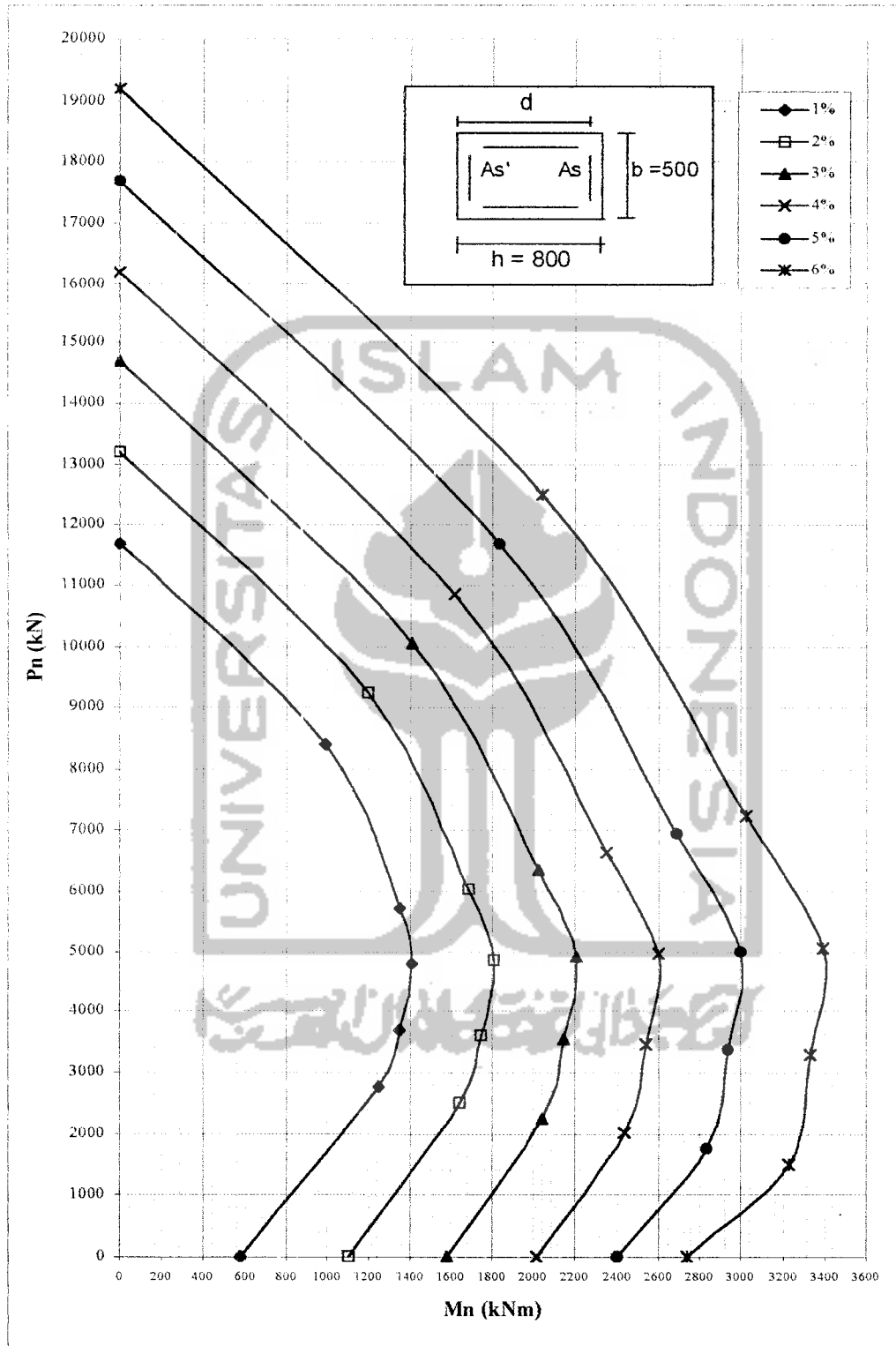
R (%)	Po (kN)	Pn (maks) (kN)	Pnb (kN)	Mnb (kNm)	Pn tarik a (kN)	Mn tarik a (kNm)	Pn tarik b (kN)	Mn tarik b (kNm)	Mn tarik b (kNm)	Pn tekan a (kN)	Mn tekan a (kNm)	Pn tekan b (kN)	Mn tekan b (kNm)	Mo (kNm)
1	9504,63	7863,70	3803,67	916,55	3210,63	890,75	2563,13	841,30	4584,84	880,15	7237,81	573,27	372,84	
2	10721,75	9097,40	3835,89	1165,17	3170,00	1139,37	2416,88	1089,93	4834,69	1088,37	7973,13	691,37	714,62	
3	11938,88	10331,10	3868,11	1413,80	3129,38	1388,00	2270,63	1338,55	5084,53	1296,60	8708,44	809,47	1025,33	
4	13156,00	11564,80	3900,33	1662,42	3088,75	1636,62	2124,38	1587,18	5334,38	1504,82	9443,75	927,56	1304,97	
5	14373,13	12798,50	3932,55	1911,05	3048,13	1885,25	1978,13	1835,80	5584,22	1713,04	10179,06	1045,66	1553,55	
6	15590,25	14032,20	3964,77	2159,67	3007,50	2133,87	1831,88	2084,43	5834,06	1921,27	10914,38	1163,76	1771,06	

Tabel 6.10.f Hasil perhitungan grafik interaksi kolom ukuran 500/600

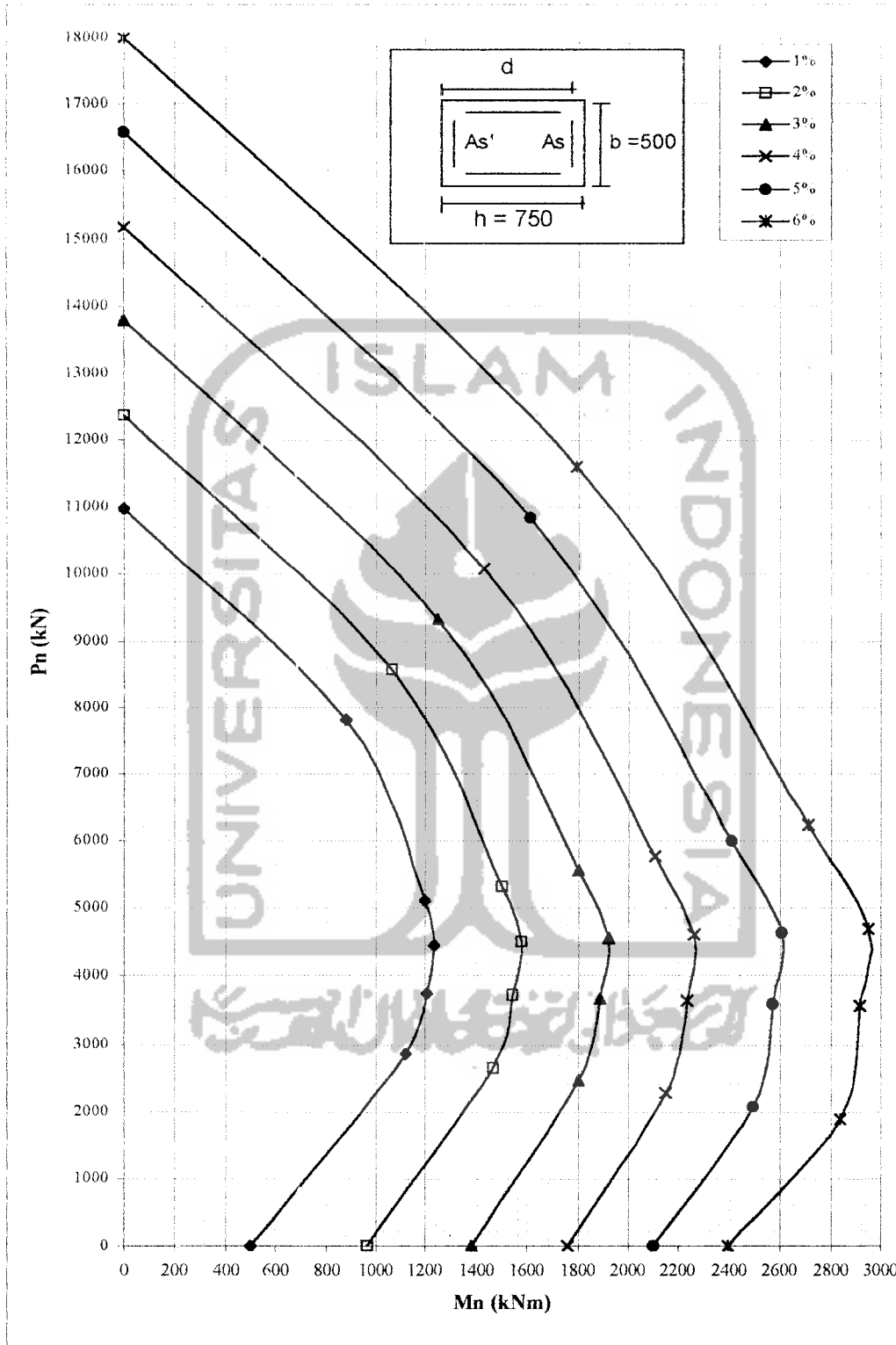
R (%)	Po (kN)	Pn (maks) (kN)	Pnb (kN)	Mnb (kNm)	Pn tarik a (kN)	Mn tarik a (kNm)	Pn tarik b (kN)	Mn tarik b (kNm)	Mn tarik b (kNm)	Pn tekan a (kN)	Mn tekan a (kNm)	Pn tekan b (kN)	Mn tekan b (kNm)	Mo (kNm)
1	8773,50	7258,80	3471,80	775,13	2619,38	731,94	1942,50	673,01	3960,27	757,05	7256,25	378,00	315,26	
2	9897,00	8397,60	3497,27	982,13	2529,38	938,94	1717,50	880,01	4127,41	940,40	8010,00	463,39	604,06	
3	11020,50	9536,40	3522,74	1189,13	2439,38	1145,94	1492,50	1087,01	4294,55	1123,74	8763,75	548,78	866,38	
4	12144,00	10675,20	3548,21	1396,13	2349,38	1352,94	1267,50	1294,01	4461,70	1307,08	9517,50	634,16	1102,24	
5	13267,50	11814,00	3573,68	1603,13	2259,38	1559,94	1042,50	1501,01	4628,84	1490,42	10271,25	719,55	1311,62	
6	14391,00	12952,80	3599,16	1810,13	2169,38	1766,94	817,50	1708,01	4795,98	1673,77	11025,00	804,94	1494,53	



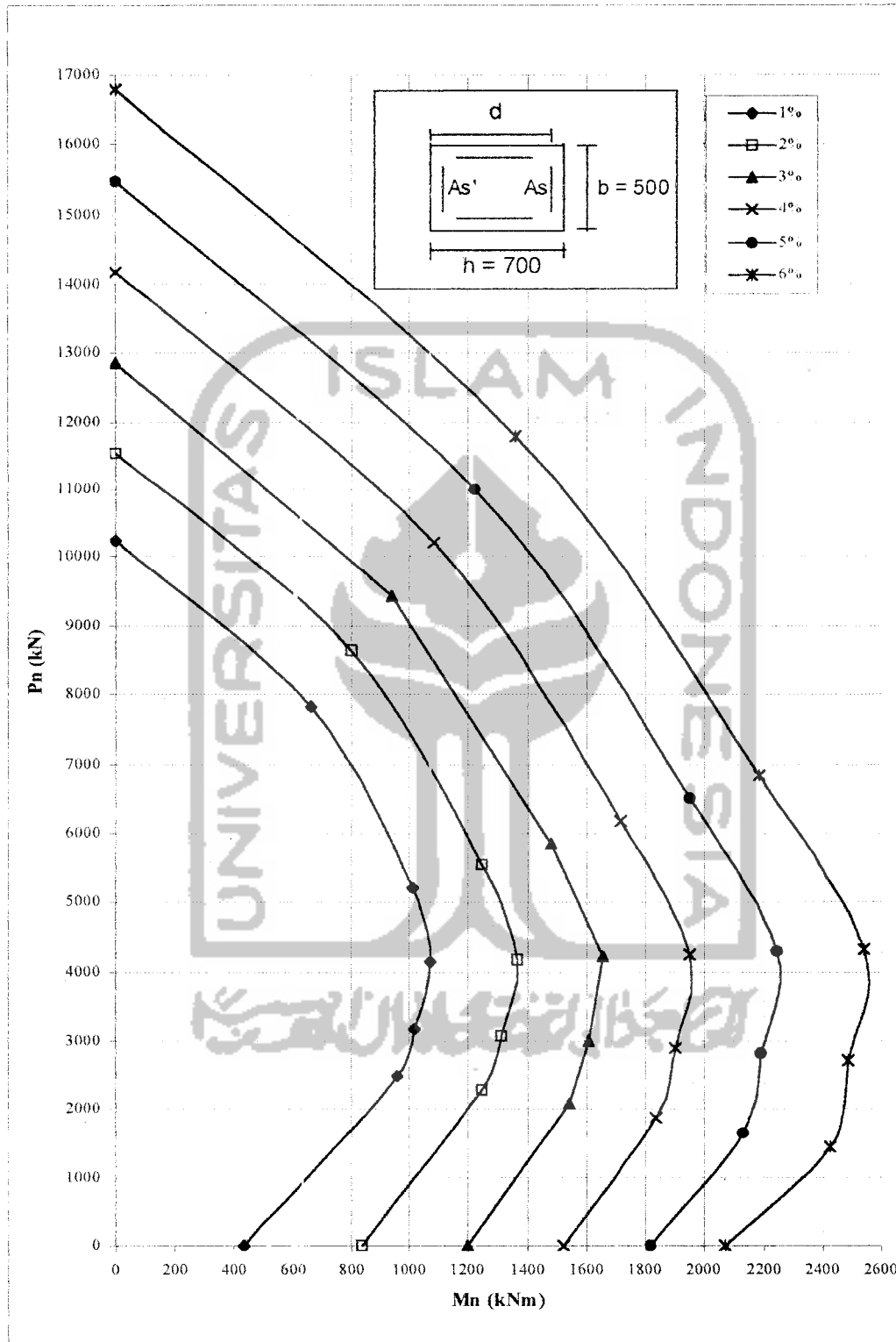
Gambar 6.8.a Grafik interaksi kolom ukuran 500/850



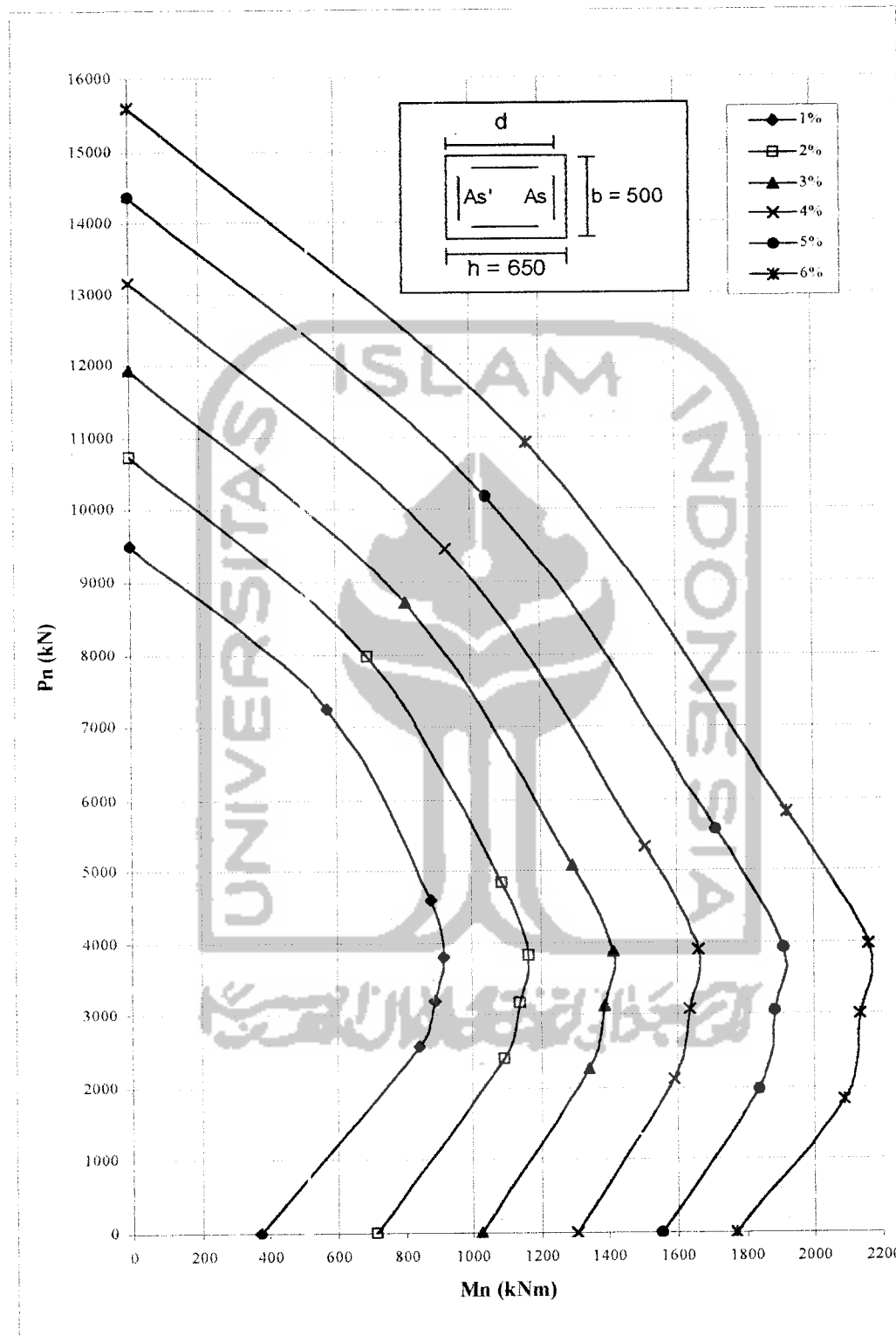
Gambar 6.8.b Grafik interaksi kolom ukuran 500/800



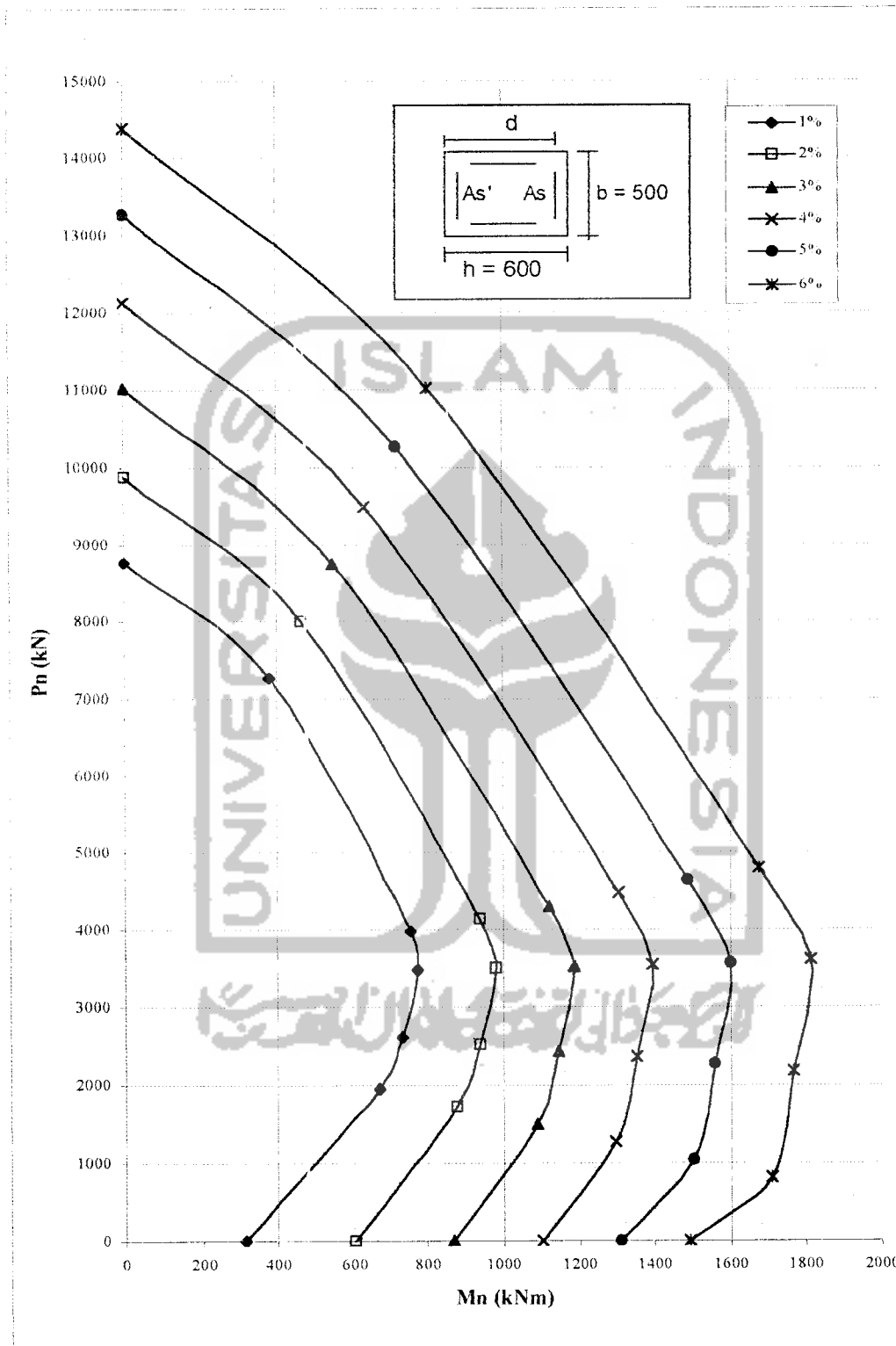
Gambar 6.8.c Grafik interaksi kolom ukuran 500/750



Gambar 6.8.d Grafik interaksi kolom ukuran 500/700



Gambar 6.8.e Grafik interaksi kolom ukuran 500/650



Gambar 6.8.f Grafik interaksi kolom ukuran 500/600

6.3.4 Perhitungan Penulangan Kolom

Untuk penulangan kolom, $M_{u,k}$ yang dipergunakan adalah $M_{u,k}$ yang terbesar antara $M_{u,k}$ atas dan bawah. Sebagai contoh perhitungan kolom, digunakan kolom tengah lantai 1:

$$M_{u,k} = 845,786 \text{ kN-m}$$

$$N_{u,k} = P_u = 8149,926 \text{ kN}$$

$$M_{n,k} = M_{u,k} / \phi = 845,786 / 0,65 = 1301,209 \text{ kN-m}$$

$$N_{n,k} = P_n = N_{u,k} / \phi = 8149,926 / 0,65 = 12538,347 \text{ kN}$$

$$e = M_{n,k} / P_n = 1301,209 / 12538,347 = 103,778 \text{ mm}$$

Karena eksentrisitas yang didapat $e = 103,778 \text{ mm}$ lebih kecil dari $e_b = 311,741 \text{ mm}$, maka keruntuhan kolom adalah keruntuhan desak.

$$\text{Luas tulangan dicoba } 3,19\% \cdot 500 \cdot 850 = 13539,68 \text{ mm}^2$$

$$\text{Dicoba dengan } 22D28 = 13539,68 \text{ mm}^2$$

Kontrol gaya aksial yang terjadi pada keruntuhan desak berdasarkan pendekatan Whitney.

$$P_n = \frac{As' \cdot fy}{\frac{e}{d-d'} + 0,5} + \frac{b \cdot h \cdot fc'}{\frac{3 \cdot h \cdot e}{d^2} + 1,18}$$

$$= \frac{13539,68 \cdot 400}{\frac{103,778}{730-70} + 0,5} + \frac{500 \cdot 850 \cdot 30}{\frac{3 \cdot 850 \cdot 103,778}{730^2} + 1,18} = 16276,430 \text{ kN}$$

$$\phi P_n = 0,65 \cdot 16276,430 = 10579,680 \text{ kN} > P_u = 8149,926 \text{ kN}$$

$$M_n = P_n \cdot e = 16276,430 \cdot 103,778 = 1689,141 \text{ kN-m} > M_{n,k} = 1301,209 \text{ kN-m}$$

Dengan cara yang sama pada semua kolom didapatkan dimensi dan jumlah tulangan kolom terpakai yang ditunjukkan dalam Tabel 6.11 berikut ini.

Tabel 6.11 Penulangan kolom

Tingkat	Kolom	Ukuran Kolom (mm)	Mu, k/φ (kN)	Nu, k/φ (kN)	e (mm)	ρ (%)	As Perlu (mm)	Tulangan terpakai
1	2	500x850	1301,209	12538,347	103,78	3,19	13539,68	22D28
	3	500x800	1243,569	10938,467	113,69	3,08	12308,80	20D28
2	2	500x850	1246,281	11724,846	106,29	3,19	13539,68	22D28
	3	500x800	1246,281	10288,776	121,13	3,08	12308,80	20D28
3	2	500x850	1332,854	10907,358	122,20	3,19	13539,68	22D28
	3	500x800	1332,854	9609,167	138,71	3,08	12308,80	20D28
4	2	500x850	1309,312	10117,344	129,41	3,19	13539,68	22D28
	3	500x800	1309,312	8929,572	146,63	3,08	12308,80	20D28
5	2	500x850	1394,451	9340,487	149,29	3,19	13539,68	22D28
	3	500x800	1394,451	8244,820	169,13	3,08	12308,80	20D28
6	2	500x850	1663,974	8577,728	193,99	3,19	13539,68	22D28
	3	500x800	1672,711	7556,895	221,35	3,08	12308,80	20D28
7	2	500x750	1275,676	7831,494	162,89	2,95	11077,92	18D28
	3	500x700	1275,676	6872,027	185,63	2,81	9847,04	16D28
8	2	500x750	1275,676	7103,454	179,59	2,95	11077,92	18D28
	3	500x700	1275,676	6223,314	204,98	2,81	9847,04	16D28
9	2	500x750	1275,676	6389,179	199,66	2,95	11077,92	18D28
	3	500x700	1275,676	5575,145	228,81	2,81	9847,04	16D28
10	2	500x750	1211,427	5687,776	212,99	2,95	11077,92	18D28
	3	500x700	1211,427	4932,341	245,61	2,81	9847,04	16D28
11	2	500x750	1135,333	4999,056	227,11	2,95	11077,92	18D28
	3	500x700	1135,333	4296,787	264,23	2,81	9847,04	16D28
12	2	500x750	1383,884	4321,067	320,26	2,95	11077,92	18D28
	3	500x700	1394,951	3668,190	380,28	2,81	9847,04	16D28
13	2	500x700	944,454	3646,818	258,98	2,46	8616,16	14D28
	3	500x600	944,454	3050,770	309,58	2,05	6154,40	10D28
14	2	500x700	876,189	2973,703	294,65	2,46	8616,16	14D28
	3	500x600	876,189	2473,671	354,21	2,05	6154,40	10D28
15	2	500x700	876,189	2306,763	379,84	2,46	8616,16	14D28
	3	500x600	876,189	1905,314	459,87	2,05	6154,40	10D28
16	2	500x700	785,087	1644,794	477,32	2,46	8616,16	14D28
	3	500x600	785,087	1349,980	581,55	2,05	6154,40	10D28
17	2	500x700	716,052	987,039	725,45	2,46	8616,16	14D28
	3	500x600	716,052	809,947	884,07	2,05	6154,40	10D28
18	2	500x700	878,342	338,210	2597,03	2,46	8616,16	14D28
	3	500x600	878,342	292,805	2999,75	2,05	6154,40	10D28

6.3.5 Gaya geser dan tulangan geser kolom

Gaya geser kolom diperoleh dari persamaan

$$V_{u,k} = \frac{(M_{u,k-atas} + M_{u,k-bawah})}{ln}$$

tetapi tidak perlu lebih besar dari :

$$V_{u,k} = 1,05 \left(V_{D,k} + V_{L,k} + \frac{4,0}{K} V_{E,k} \right), \text{ dengan harga } K = 1$$

Akan tetapi pada lantai dasar dan lantai paling atas yang memperbolehkan terjadinya sendi plastis pada kolom, gaya geser rencana kolom dihitung berdasarkan momen kapasitas dari kolom yaitu momen nominal aktual dari kolom yang dikalikan dengan faktor penambah kekuatan (*over strength faktor*), $\phi_o = 1,25$.

6.3.5.1 Gaya geser rencana dan geser maksimum kolom

1. Gaya geser rencana kolom

Untuk mencari momen kapasitas kolom dilakukan interpolasi linier berdasarkan luas tulangan aktual yang terpasang pada kolom. Momen kapasitas kolom diperoleh dari pengalihan momen nominal aktual dengan faktor penambah kekuatan atau dengan kata lain :

$$M_{\text{kapasitas kolom}} = \phi_o \cdot M_{\text{nominal kolom}}$$

Kolom lantai 1 tengah,

Tulangan yang digunakan pada kolom tengah lantai 1 adalah 22D28, dengan

$$A_{s_{\text{total}}} = 13539,68 \text{ mm}^2$$

$$\text{Rasio tulangan, } \rho = A_{s_{\text{total}}} / A_g = 13539,68 / (500.850) = 3,19 \%$$

$$N_{u,k} \text{ yang dianggap bekerja} = N_{u,k} / \phi = 8149,926 / 0,65 = 12538,35 \text{ kN}$$

Dari grafik interaksi kolom, didapat :

$$M_n = 1931,026 > M_{u,k} / 0,65 = 845,786 / 0,65 = 1301,209 \text{ kN-m}$$

$$M_{\text{kapasitas kolom}} = 1,25 \cdot 1931,026 = 2413,783 \text{ kN-m}$$

$$M_{u,k\text{-atas}} = 845,786 \text{ kN-m}$$

$$V_{u,k} = \frac{M_{u,\text{atas}} + M_{\text{kap.kolom}}}{h_k'}$$

$$V_{u,k} = \frac{845,786 + 2413,783}{4,45} = 732,487 \text{ kN}$$

2. Gaya geser maksimum kolom

Gaya geser maksimum yang dihitung merupakan penjumlahan dari gaya geser akibat beban mati, gaya geser akibat beban hidup dan gaya geser akibat beban gempa yang dikalikan dengan faktor daktilitas yang direncanakan.

1. Gaya geser maksimum kolom lantai 1 tengah arah X

$$V_{u,k-x} = 1,05 \cdot (2,84 + 0,7 + 4 \cdot (154,1 + 0,3 \cdot 252,75)) = 969,318 \text{ kN}$$

2. Gaya geser maksimum kolom lantai 1 tengah arah Y

$$V_{u,k-y} = 1,05 \cdot (2,84 + 0,7 + 4 \cdot (0,3 \cdot 154,1 + 252,75)) = 1259,408 \text{ kN}$$

Dengan cara yang sama didapat gaya geser kolom yang lain dan hasilnya disusun dalam bentuk tabel berikut ini.

Tabel 6.12 Gaya geser rencana kolom

Ting kat	Ko lom	Mu,k atas (kN-m)	Mu,k bwh (kN-m)	Hn.klm (m)	VD,k (kN)	VL,k (kN)	VE,k-x (kN)	VE,k-y (kN)	Vu,k (kN)	Vu,k-x maks (kN)	Vu,k-y maks (kN)
1	2	845,786	2413,783	4,45	2,84	0,70	154,08	252,75	732,487	969,318	1259,408
	3	808,320	2314,414	4,45	21,47	4,99	107,46	254,99	701,738	800,402	1234,141
2	2	810,083	2537,571	3,1	5,25	1,26	182,85	289,39	1079,888	1139,437	1452,665
	3	810,083	2477,499	3,1	57,04	13,44	92,74	269,01	1060,510	802,465	1320,698
3	2	866,355	2745,773	3,1	8,93	2,15	179,51	276,29	1165,202	1113,701	1398,235
	3	866,355	2574,824	3,1	56,46	13,41	94,62	264,33	1110,058	803,823	1302,771
4	2	851,053	2921,935	3,1	12,09	2,91	180,61	271,10	1217,093	1115,898	1381,939
	3	851,053	2595,509	3,1	59,78	14,28	94,22	260,32	1111,794	801,490	1289,824
5	2	906,393	3105,118	3,1	15,08	3,63	179,65	263,95	1294,036	1106,753	1354,595
	3	906,393	2694,033	3,1	62,45	14,99	94,12	253,83	1161,428	796,442	1265,989
6	2	1081,583	3215,328	3,1	17,30	4,15	181,21	258,24	1386,100	1108,987	1335,455
	3	1087,262	2788,006	3,1	69,01	16,63	91,58	246,31	1250,085	784,909	1239,815
7	2	829,190	2359,666	3,15	18,22	4,39	172,23	242,53	1012,335	1052,694	1259,376
	3	829,190	1995,802	3,15	60,12	14,56	92,97	234,24	896,823	764,030	1179,364
8	2	829,190	2380,918	3,15	19,85	4,80	169,57	231,74	1019,082	1030,069	1212,849
	3	829,190	2000,914	3,15	64,37	15,66	89,49	222,34	898,446	740,038	1130,617
9	2	829,190	2386,330	3,15	21,40	5,17	164,28	218,70	1020,800	993,437	1153,431
	3	829,190	1996,228	3,15	65,93	16,07	86,27	209,07	896,958	711,862	1072,894
10	2	787,427	2328,226	3,15	23,33	5,64	157,72	203,21	989,096	948,887	1082,628
	3	787,427	1941,992	3,15	67,55	16,50	82,68	193,99	866,482	679,936	1007,187
11	2	737,966	2256,111	3,15	25,04	6,05	149,48	185,96	950,501	894,770	1002,021
	3	737,966	1897,751	3,15	68,40	16,74	78,69	177,21	836,736	643,180	932,828
12	2	899,525	2204,504	3,15	25,73	6,21	142,72	169,64	985,406	846,707	925,852
	3	906,718	1803,005	3,15	74,71	18,31	72,47	159,61	860,230	603,154	859,345
13	2	613,895	1441,211	3,2	24,08	5,82	127,17	145,07	642,220	748,297	800,923
	3	613,895	1100,294	3,2	60,86	14,94	69,12	138,58	535,684	544,505	748,717
14	2	569,523	1398,333	3,2	24,00	5,80	116,24	123,81	614,955	675,499	697,754
	3	569,523	1039,781	3,2	64,60	15,89	61,61	117,01	502,908	490,709	653,585
15	2	569,523	1311,616	3,2	24,14	5,83	102,63	100,98	587,856	589,749	584,898
	3	569,523	965,432	3,2	64,86	15,97	54,25	94,56	479,673	431,867	550,379
16	2	510,306	1263,005	3,2	25,00	6,04	87,42	76,10	554,160	495,642	462,361
	3	510,306	904,077	3,2	65,40	16,08	46,13	70,74	441,995	368,432	440,786
17	2	465,434	1173,410	3,2	26,54	6,40	69,40	48,41	512,139	387,064	325,353
	3	465,434	828,846	3,2	65,06	16,19	37,25	44,56	404,462	297,908	319,400
18	2	570,922	1082,738	3,2	18,62	4,54	50,02	21,14	516,769	261,038	176,131
	3	570,922	791,570	3,2	72,33	16,61	24,58	15,89	425,779	216,644	191,096

6.3.5.2 Gaya geser dan tulangan geser

a. Tulangan geser kolom lantai 1_{bawah}

Sebagai contoh hitungan digunakan kolom lantai 1 tengah. Digunakan sengkang deform D_{14} dengan mutu baja 400 Mpa, dengan luas 1 sengkang (A_v) menurut SKSNI (1991) adalah 2 kali luas dari diameter tulangan sengkang yang digunakan, sehingga

$$A_v = 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot d^2) = 2 \cdot (0,25 \cdot \pi \cdot 14^2) = 307,72 \text{ mm}^2$$

Pada lantai 1_{bawah}, $V_c = 0$ sehingga seluruh gaya geser yang terjadi ditahan oleh tulangan sengkang sehingga $V_{u,k}$ desain tidak direduksi dengan nilai V_c .

$$\begin{aligned} V_{u,k} \text{ desain} &= V_{u,k} / \phi \\ &= 732,487 / 0,6 = 1220,812 \text{ kN} \end{aligned}$$

Jarak sengkang perlu adalah:

$$S = \frac{307,72 \cdot 400 \cdot 730}{1220,812 \cdot 10^3} = 78,643 \text{ mm}$$

Digunakan jarak spasi sengkang, $S = 75$ mm, sehingga gaya geser yang mampu ditahan oleh sengkang adalah :

$$V = \frac{307,72 \cdot 400 \cdot 730}{75} = 1280,115 \text{ kN} > V_{u,k} / \phi = 1220,812 \text{ kN}$$

b. Tulangan geser kolom lantai 1_{atas}

Pada lantai 1 atas kontribusi V_c diperhitungkan dalam memberikan tahanan geser. V_c dihitung dengan persamaan,

$$\begin{aligned} V_c &= (1 + N_u / 14 \cdot A_g) \cdot (\sqrt{f_c'} / 6) \cdot b \cdot d \\ &= (1 + 8149,926) / (14 \cdot 500 \cdot 850) \cdot (\sqrt{30} / 6) \cdot 500 \cdot 730 = 356,507 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gaya geser yang digunakan dalam perhitungan adalah gaya geser yang didapat dari pengurangan gaya geser rencana ($V_{u,k}$) dengan gaya geser yang mampu disumbangkan oleh beton (V_c), sehingga:

$$V_{u,k} \text{ desain} = V_{u,k} / \phi = 732,487 / 0,6 = 1220,812 \text{ kN}$$

$$V_{u,kr} = 1220,812 - 356,507 = 846,305 \text{ kN}$$

Jarak sengkang perlu adalah

$$S = \frac{307,72 \cdot 400 \cdot 730}{846,305 \cdot 10^3} = 111,082 = 110 \text{ mm}$$

Gaya geser yang mampu ditahan :

$$V_s = \frac{307,72 \cdot 400 \cdot 730}{110} = 872,806 \text{ kN}$$

Sehingga gaya geser aktual yang mampu ditahan oleh sengkang dan beton adalah:

$$V_c + V_s > V_{u,k} / \phi$$

$$356,507 + 872,806 = 1229,313 \text{ kN} > 1220,812 \text{ kN}$$

Dengan cara yang sama didapatkan sengkang dan jarak antar sengkang untuk kolom yang lain dan hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 6.13 Penulangan geser kolom

Tingkat	Kolom	Vu,k (kN)	Nu,k (kN)	Vc (kN)	Tulangan Geser	Vs (kN)	Vs aktual (kN)
1	2b	732,487	8149,926	0	D14 - 75	1280,115	1280,115
	3b	800,402	7110,004	0	D14 - 65	1283,632	1382,373
	2a	732,487	8149,926	356,507	D14 - 110	872,806	1280,115
	3a	800,402	7110,004	333,621	D14 - 85	1057,109	1382,373
2	2	1079,888	7621,150	356,476	D14 - 85	1129,513	1600,144
	3	802,465	6687,704	333,596	D14 - 85	1057,109	1382,373
3	2	1165,202	7089,783	356,444	D14 - 75	1280,115	1600,144
	3	803,823	6245,959	333,570	D14 - 85	1057,109	1382,373
4	2	1217,093	6576,274	356,413	D14 - 75	1280,115	1745,612
	3	801,490	5804,222	333,543	D14 - 85	1057,109	1382,373
5	2	1294,036	6071,316	356,383	D14 - 75	1280,115	1745,612
	3	796,442	5359,133	333,517	D14 - 90	998,380	1382,373
6	2	1386,100	5575,523	356,353	D14 - 70	1371,552	1745,612
	3	784,909	4911,982	333,490	D14 - 90	998,380	1382,373
7	2	1012,335	5090,471	310,677	D14 - 80	1046,248	1394,997
	3	896,823	4466,818	287,816	D14 - 85	912,299	1193,007
8	2	1019,082	4617,245	310,649	D14 - 80	1046,248	1394,997
	3	898,446	4045,154	287,792	D14 - 90	861,616	1107,792
9	2	1020,800	4152,966	310,622	D14 - 80	1046,248	1287,690
	3	896,958	3623,844	287,767	D14 - 90	861,616	1033,939
10	2	989,096	3697,054	310,595	D14 - 80	1046,248	1287,690
	3	866,482	3206,022	287,742	D14 - 95	816,268	1033,939
11	2	950,501	3249,387	310,568	D14 - 80	1046,248	1287,690
	3	836,736	2792,912	287,718	D14 - 95	816,268	1033,939
12	2	985,406	2808,693	310,542	D14 - 80	1046,248	1287,690
	3	603,154	2384,323	287,694	D14 - 100	775,454	969,318
13	2	642,220	2370,432	287,693	D14 - 120	646,212	861,616
	3	535,684	1983,001	242,025	D14 - 130	501,820	686,701
14	2	614,955	1932,907	287,668	D14 - 130	596,503	816,268
	3	502,908	1607,886	242,003	D14 - 150	434,911	652,366
15	2	587,856	1499,396	287,642	D14 - 150	516,970	775,454
	3	479,673	1238,454	241,982	D14 - 170	383,745	593,060
16	2	554,160	1069,116	287,617	D14 - 160	484,659	704,959
	3	441,995	877,487	241,961	D14 - 180	362,426	593,060
17	2	325,353	641,575	287,592	D14 - 300	258,485	516,970
	3	297,908	526,466	241,941	D14 - 250	260,947	465,976
18	2	176,131	219,836	287,567	D14 - 500	155,091	408,134
	3	191,096	190,323	241,922	D14 - 500	130,473	343,351

6.4 Desain Dinding Geser

6.4.1 Perhitungan Tebal Dinding Geser (bw)

Untuk menghindari terjadinya bahaya tekuk, perlakuan dinding geser sebagai kolom merupakan anggapan yang terbaik (T. Paulay dan R. L. William 1980), maka dimensi dinding geser perlu dibatasi. Batasan pendekatan dinding geser (bw) dapat didekati dengan persamaan,

$$bw = \frac{hs}{20} \geq 150 \text{ mm}$$

$$bw = \frac{5250}{20} = 263 \text{ mm, diambil } bw = 300 \text{ mm}$$

6.4.2 Perhitungan Lebar Dinding Geser (lw)

Untuk menjamin bahwa dinding geser tetap berperilaku geser, menurut T. Paulay dan M.J.N. Priestley (1992), perbandingan antara tinggi total bangunan dan lebar dinding geser dapat diambil 8.

$$\frac{hw}{lw} = 8, \text{ dari Gambar 3. dengan anggapan perencanaan daktilitas penuh } (\mu_{\Delta} = 4)$$

didapat rasio daktilitas (μ_{ϕ}) = 12.

Menurut Winter dan Nilson (1993), gaya geser pada dinding geser seringkali mencapai keadaan kritisnya khususnya apabila hanya dipakai tulangan yang terdistribusi secara seragam, sehingga harus diketahui batasan tebal dinding geser kritis (bc) yang nilainya didekati dengan persamaan,

$$bc = 0,017 \cdot lw \cdot \sqrt{\mu_{\phi}} = 0,017 \cdot lw \cdot \sqrt{12} = 0,059 \cdot lw$$

$$\frac{bc}{lw} = 0,059$$

Dari Gambar 3.3, untuk nilai $\frac{bc}{lw} = 0,059$ dengan perencanaan daktilitas penuh

($\mu_v = 4$), maka didapat nilai $\frac{hw}{lw} = 9$, sehingga untuk gedung 18 tingkat;

$$hw = 3,90.17 + 5,25 = 71,55 \text{ m}$$

$$lw = \frac{hw}{9} = \frac{71,55}{9} = 7,95 \text{ m, dipakai } lw = 8 \text{ m}$$

6.4.3 Perencanaan Dimensi *Boundary Elements*

$$lw = 8000 \text{ mm, maka } bc = 0,059.8000 = 472 \text{ mm}$$

$$b \geq b_w \rightarrow b \geq 300 \text{ mm}$$

$$b \geq bc \rightarrow b \geq 472 \text{ mm}$$

$$b \geq h_f/16 \rightarrow b \geq 5250/16 \geq 328 \text{ mm}$$

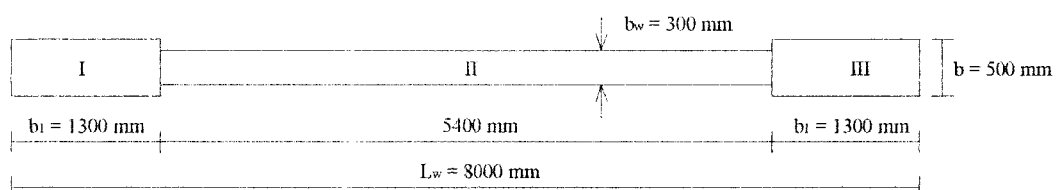
dipakai $b = 500 \text{ mm}$

$$b_1 \geq \frac{bc.lw}{10.bw} \rightarrow b_1 \geq \frac{472.8000}{10.300} = 1258,67 \text{ mm}$$

$$b_1 \geq \frac{bc^2}{bw} \rightarrow b_1 \geq \frac{472^2}{300} = 742,6 \text{ mm}$$

$$b_1 \geq \frac{h_f}{16} \rightarrow b_1 \geq \frac{5250}{16} = 328,1 \text{ mm}$$

dipakai $b_1 = 1300 \text{ mm}$



Gambar 6.9 Dimensi dinding geser

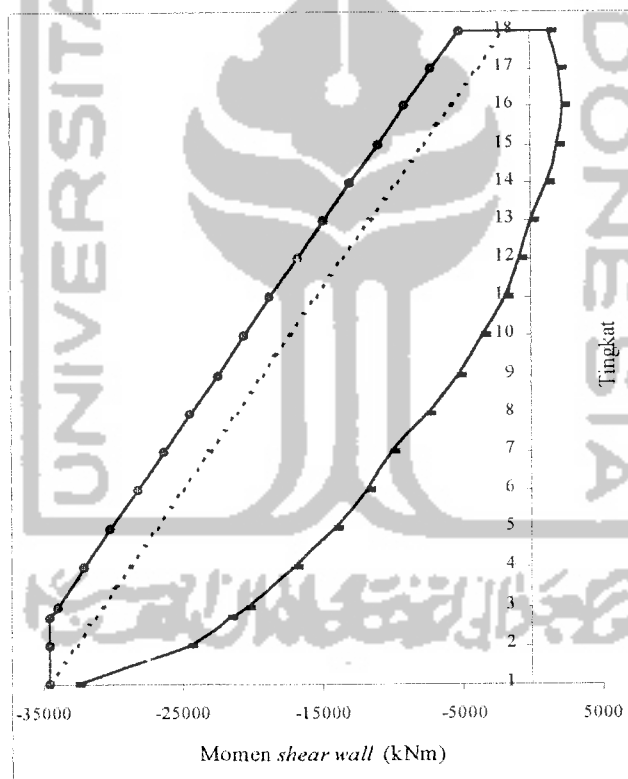
Titik berat dinding geser = $lw/2 = 8000/2 = 4000$ mm

Dari hasil analisa struktur dengan bantuan SAP90 dapat dibuatkan *moment envelopes* untuk menentukan momen rencana pada dinding geser dan dapat dilihat pada Gambar 6.8.

Pada tingkat 1 didapat nilai;

$$M_u = 34616,54 \text{ kNm}, \quad M_{11} = M_u/\phi = 34616,54/0,65 = 53256,31 \text{ kNm}$$

$$P_u = 12733,80 \text{ kN}, \quad P_n = P_u/\phi = 12733,80/0,65 = 19590,46 \text{ kN}$$



Gambar 6.10 Grafik bidang momen rencana (*moment envelopes*) dinding geser

Tabel 6.14 Momen rencana dinding geser

Tkt	M dari SAP90 (kNm)	M rencana (kNm)
1	-32723.34	-34616.540
2	-24567.48	-34616.540
3	-20424.05	-34616.540
4	-16961.98	-34048.941
5	-14108.40	-32124.038
6	-11799.36	-30199.136
7	-9948.54	-28274.234
8	-7484.71	-26349.331
9	-5315.45	-24424.429
10	-3489.34	-22499.526
11	-2001.54	-20574.624
12	-866.31	-18649.722
13	-63.79	-16724.819
14	1111.07	-14799.917
15	1893.20	-12875.015
16	2211.57	-10950.112
17	2021.47	-9025.210
18	1256.83	-7100.308

Tabel 6.15 Momen rencana dinding geser

Tingkat	Gaya aksial rencana (kN)
1	12733,80
2	12089,09
3	11455,06
4	10794,89
5	10111,43
6	9407,45
7	8687,12
8	7977,18
9	7250,06
10	6506,90
11	5749,62
12	4980,35
13	4204,94
14	3463,99
15	2716,29
16	1962,45
17	1204,57
18	445,12

6.4.4 Tulangan Lentur

a. Pada badan dinding geser (daerah II)

$$\rho_{\min} = 0,0025$$

$$\rho_{\min} = 0,7/f_y = 0,7/400 = 0,00175$$

diambil nilai terbesar $\rho_{\min} = 0,0025$

$$A_s = 0,0025 \cdot 300 \cdot 5400 = 4050 \text{ mm}^2$$

Diameter tulangan maksimum;

$$D_{\max} < \frac{bw}{10} = \frac{300}{10} = 30 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan D_{12} dipakai 2 lapis tulangan

$$\text{Jarak antar tulangan (s)} = \frac{2 \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot 12^2)}{0,0025 \cdot 300} = 301,1 \text{ mm, dipakai } s = 300 \text{ mm}$$

Jumlah tulangan (n) = $5400/300 = 18$ dipakai tulangan $18D_{12}$

$$A_{s \text{ aktual}} = 18 \cdot 2 \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot 12^2 = 4071,5 \text{ mm}^2 > 4050 \text{ mm}^2$$

Anggap semua tulangan sudah leleh, maka gaya aksial yang bekerja,

$$T_2 = A_{s \text{ aktual}} \cdot f_y = 4071,5 \cdot 400 \cdot 10^{-3} = 1628,602 \text{ kN}$$

b. Pada ujung dinding geser (daerah I)

Diameter tulangan maksimum,

$$D_{\max} < \frac{b}{10} = \frac{500}{10} = 50 \text{ mm}$$

$$A_{v, \min} = 0,001 \cdot bw \cdot lw = 0,001 \cdot 300 \cdot 8000 = 2400 \text{ mm}^2$$

$$A_{v, \max} = 0,06 \cdot \text{Luas daerah ujung} = 0,06 \cdot 500 \cdot 1300 = 39000 \text{ mm}^2$$

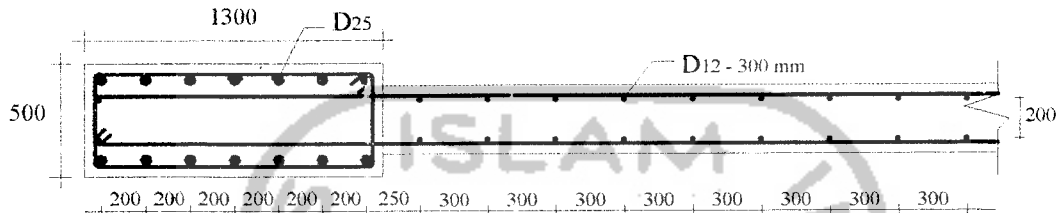
Statis momen terhadap T_1

$$19590,46 \cdot 3,35 + T_2 \cdot 3,35 + T_3 \cdot 6,7 - 53256,54 = 0$$

didapat $T_3 = 2660,84 \text{ kNm}$

$$A_{s3} = \frac{2660,84 \cdot 10^3}{400} = 6652,11 \text{ mm}^2 \text{ dipakai tulangan } 14D_{25}$$

$$A_v \text{ ujung} = 14 \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot 25^2 = 6872,234 \text{ mm}^2 > 6652,11 \text{ mm}^2$$



Gambar 6.11 Penempatan tulangan *boundary element* dan tulangan lentur

6.4.5 Kapasitas lentur dinding geser

a. Desak daerah I



Dengan cara coba-coba garis netral dinding geser dari tulangan yang terpasang dapat ditentukan, sehingga gaya desak dikurangi gaya tarik akan kira-kira sama dengan P_n . Kemudian momen yang didapat berdasarkan tulangan tampang dapat ditentukan.

Dengan menganggap seluruh tulangan D12 telah leleh maka tulangan D12 diberikan gaya sebesar $= (2 \cdot 1/4 \cdot \pi \cdot 12^2 \cdot 400) / 300 = 301,593 \text{ N/mm}$

Iterasi I:

$$\text{Dicoba } c = 0,3 \cdot 8000 = 2400 \text{ mm}$$

$$\text{Daerah desak: } C_c = 0,85 \cdot 30 \cdot 0,85 \cdot 2400 \cdot 500 = 26101,00 \text{ kN}$$

$$C_{s1} = 14.1/4.\pi.25^2.400 = 2748,894 \text{ kN}$$

$$C \text{ total} = 28758,894 \text{ kN}$$

Daerah tarik: $T_{s1} = 14.1/4.\pi.25^2.400 = 2748,894 \text{ kN}$

$$T_{s2} = (8000 - 1300 - 2400).301,593 = 1296,849 \text{ kN}$$

$$T \text{ total} = 4045,743 \text{ kN}$$

$$C - T = 28758,894 - 4045,743 = 24713,151 \text{ kN} > 19590,462 \text{ kN}$$

Maka daerah desak harus dikurangi sebesar:

$$\Delta = \frac{(24713,151 - 19590,462).10^3}{0,85.30.300} = 669,633 \text{ mm}$$

Iterasi 2:

$$c = 2400 - 669,633/0,85 = 1612,197 \text{ mm}$$

Daerah desak: $C_c = 0,85.30.0,85.1612,197.500 = 17472,185 \text{ kN}$

$$C_{s1} = 14.1/4.\pi.25^2.400 = 2748,894 \text{ kN}$$

$$C \text{ total} = 20221,079 \text{ kN}$$

Daerah tarik: $T_{s1} = 14.1/4.\pi.25^2.400 = 2748,894 \text{ kN}$

$$T_{s2} = (8000 - 1300 - 1612,197).301,593 = 1534,445 \text{ kN}$$

$$T \text{ total} = 4283,339 \text{ kN}$$

$$C - T = 20221,079 - 4283,339 = 15937,740 \text{ kN} < 19590,462 \text{ kN}$$

Maka daerah desak harus ditambah sebesar:

$$\Delta = \frac{(19590,462 - 15937,740).10^3}{0,85.30.300} = 477,48 \text{ mm}$$

iterasi dapat dilakukan hingga nilai $C-T \approx P_n$, sehingga,

$$c = 1928,974 \text{ mm}$$

Daerah desak: $C_c = 0,85.30.0,85.1928,974.500 = 20905,260 \text{ kN}$

$$C_{s1} = 14.1/4.\pi.25^2.400 = 2748,894 \text{ kN}$$

$$C \text{ total} = 23654,154 \text{ kN}$$

Daerah tarik: $T_{s1} = 14.1/4.\pi.25^2.400 = 2748,894 \text{ kN}$

$$T_{s2} = (8000 - 1300 - 1928,974).301,593 = 1438,907 \text{ kN}$$

$$T \text{ total} = 4187,801 \text{ kN}$$

$$C - T = 23654,154 - 4187,801 = 19466,353 \text{ kN} \approx 19590,462 \text{ kN}$$

$$\Sigma Mn = 20779,984.(4 - 0,5.0.85.1928,974) + 2748,894.(4 - 0,5.1,3)$$

$$+ 2748,894.(8 - 4 - 0,5.1,3) = 84900,20 \text{ kNm}$$

b. Desak daerah III

Karena bentuk dinding geser dan tulangan yang digunakan pada dinding geser simetris, maka perhitungan untuk desak daerah III sama dengan desak daerah I.

6.4.6 Perencanaan Geser

Untuk menjamin agar dinding geser yang cukup sepanjang tinggi dinding geser, maka bidang geser perlu akibat beban gempa sepanjang tinggi dinding harus dimodifikasi, sehingga berjalan linier dari $V_{u,d \text{ maks}}$ pada dasar dinding geser sampai $0,5.V_{u,d \text{ maks}}$ pada puncak dinding geser.

$$V_{u,d \text{ maks}} = V_{wall} = \omega_v.\phi_o.V_E$$

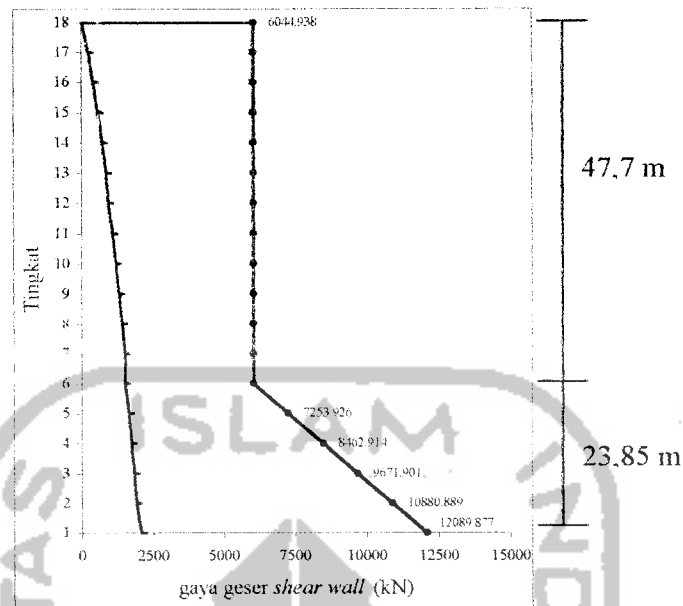
$$\omega_v = 1,3 + 18/30 = 1,90$$

$$\phi_o = \frac{M_{kap,w}}{M_{E,w}} = \frac{1,25.84900,20}{34616,54} = 3,066$$

$$V_E = 2075,55 \text{ kN}$$

$$V_{u,d \text{ maks}} = V_{wall} = 1,90.3,066. 2075,55 = 12089,877 \text{ kN}$$

$$0,5.V_{u,d \text{ maks}} = 6044,938 \text{ kN}$$



Gambar 6.12 Bidang gaya geser rencana (*shear envelopes*) dinding geser

$$v_i = \frac{V_{wall}}{b_w \cdot d} = \frac{12089,877 \cdot 10^3}{300 \cdot 0,8 \cdot 8000} = 6,297 \text{ MPa.}$$

tetapi tidak lebih besar dari:

$$v_{i \text{ maks}} = \left(\frac{0,22 \cdot \phi}{\mu} + 0,03 \right) \cdot f_c' \leq 0,16 \cdot f_c'$$

$$= \left(\frac{0,22 \cdot 3,066}{4} + 0,03 \right) \cdot 30 = 5,958 \text{ MPa} \leq 0,16 \cdot 30 = 4,80 \text{ MPa.}$$

maka dipakai $v_i = 4,80 \text{ MPa}$.

kontribusi beton pada dinding geser sebesar:

$$v_c = 0,6 \cdot \sqrt{\frac{P_i}{A_g}} = 0,6 \cdot \sqrt{\frac{19590,46 \cdot 10^3}{292 \cdot 10^4}} = 1,554 \text{ MPa.}$$

Digunakan sengkang 2D₁₂ dengan $A_v = 226,2 \text{ mm}^2$

$$v_s = v_i - v_c = 4,8 - 1,554 = 3,246 \text{ MPa.}$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{v_s \cdot b_w}{f_y}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_y}{v_s \cdot b_w} = \frac{226,2 \cdot 400}{3,246 \cdot 300} = 92,92 \text{ mm}$$

dipakai D_{12-90} untuk tulangan geser horizontal.

Kontrol efek tekuk pada tulangan daerah II:

$$\begin{aligned} \rho_e &= \frac{\Sigma A}{b \cdot s} < \frac{2}{f_y} \\ &= \frac{2 \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot 12^2)}{500 \cdot 300} = 0,0015 < 0,005 \end{aligned}$$

sehingga tulangan pada daerah II tidak perlu dikekang.

Pengekangan tulangan pada daerah I dan III:

Dipakai sengkang tertutup, dengan jarak;

$$sh \leq 6 \cdot D_b = 6 \cdot 25 = 150 \text{ mm},$$

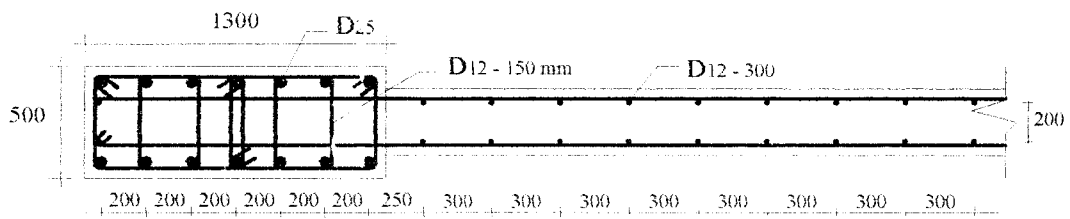
$$sh \leq 0,5 \cdot lw = 0,5 \cdot 1300 = 650 \text{ mm},$$

$$sh \leq 150 \text{ mm}, \text{ dipakai sengkang tertutup } D_{12-150 \text{ mm}}$$

$$s = \frac{(1300 - 40 \cdot 2 - 10 - 2 - 7 \cdot 25)}{(7 - 1)} = 170,83 \text{ mm} \geq 25 \text{ mm}.$$

$$\begin{aligned} \rho_e &= \frac{\Sigma A}{b \cdot s} < \frac{2}{f_y} \\ &= \frac{2 \cdot (1/4 \cdot \pi \cdot 25^2)}{500 \cdot 170,83} = 0,0115 > 0,005 \end{aligned}$$

sehingga tulangan pada daerah I dan III perlu dikekang, digunakan sengkang tertutup.



Gambar 6.13 Penempatan tulangan sengkang pada dinding geser

Dengan cara yang sama penulangan dinding geser untuk tingkat lainnya dapat dihitung dan hasilnya dapat ditabelkan sebagai berikut,

Tabel 6.16 Penulangan pada dinding geser

Tingkat	Tulangan lentur	Tulangan geser vertikal	Tulangan boundary element
1	18D12	14D25	D12-150
2	18D12	12D25	D12-150
3	18D12	12D22	D12-150
4	18D12	10D22	D12-150
5	18D12	8D22	D12-150
6	18D12	8D22	D12-150
7	18D12	8D22	D12-150
8	18D12	6D22	D12-150
9	18D12	6D22	D12-150
10	18D12	6D22	D12-150
11	18D12	4D22	D12-150
12	18D12	4D22	D12-150
13	18D12	4D22	D12-150
14	18D12	4D20	D12-150
15	18D12	4D20	D12-150
16	18D12	4D20	D12-150
17	18D12	4D20	D12-150
18	18D12	4D20	D12-150