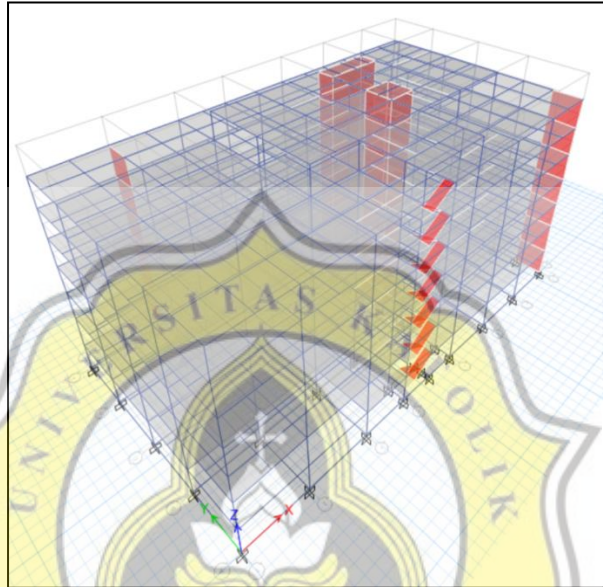




## BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Analisis Struktur

Permodelan struktur Hotel *Sleeper Space* Semarang apabila tidak terjadi *differential settlement* diperlihatkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Permodelan Struktur Saat Tidak Terjadi *Differential Settlement*  
(Sumber: Harjanti dan Hendrawan, 2020)

Berdasarkan Harjanti dan Hendrawan (2020), hasil analisis struktur berupa momen yang timbul pada balok dan kolom, akibat beban kombinasi (ENVE) menggunakan program ETABS v18.0.2. Nilai momen yang didapat pada struktur Hotel *Sleeper Space* sebelum mengalami penurunan dan sesudah mengalami penurunan, diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rekap Momen Setelah Mengalami Penurunan

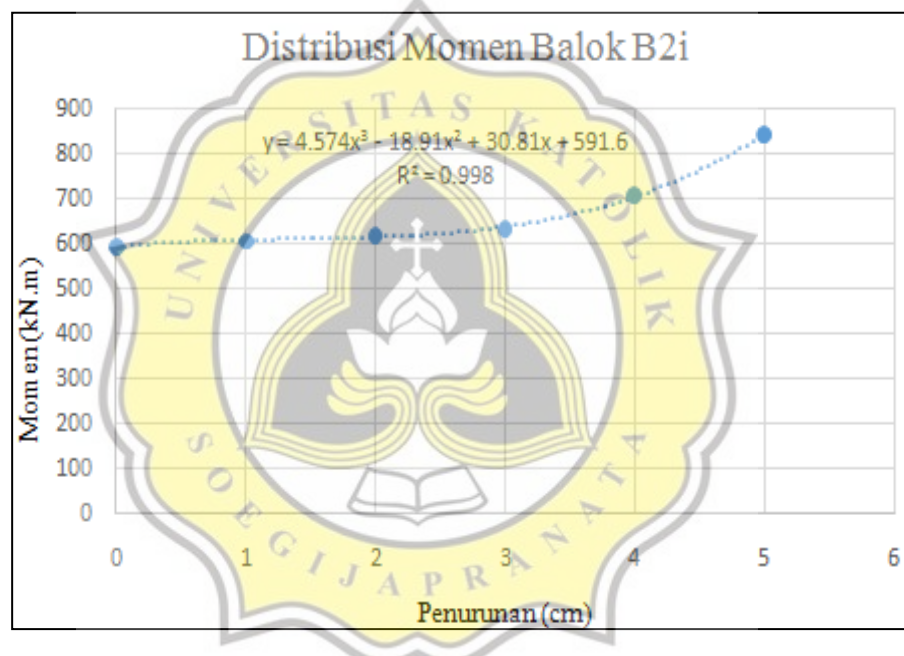
Penurunan (cm)	Balok (kN.m)			Kolom (kN.m)		
	B2i	B3i	B4	KS1	KS2	KT
0	592	747	1.146	811	601	581
1	606	1.509	1.191	1.366	712	734
2	619	3.047	1.764	2.411	1.215	1.293
3	632	4.584	2.407	3.573	1.759	1.988
4	708	6.122	3.062	4.792	2.376	2.690
5	844	7.659	3.812	6.012	2.993	3.392



Berikut merupakan grafik hubungan antara *differential settlement* dan kekuatan elemen struktur balok dan kolom Hotel *Sleeper Space*.

#### 4.1.1 Hubungan Antara Penurunan dan Momen Ultimit Balok B2i

Nilai momen balok B2i Hotel *Sleeper Space* Semarang ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan, dan diperlihatkan pada Gambar 4.2. Sumbu X menggambarkan besaran penurunan yang terjadi dan Sumbu Y menggambarkan nilai momen yang didapat dari analisis ETABS v18.0.2.



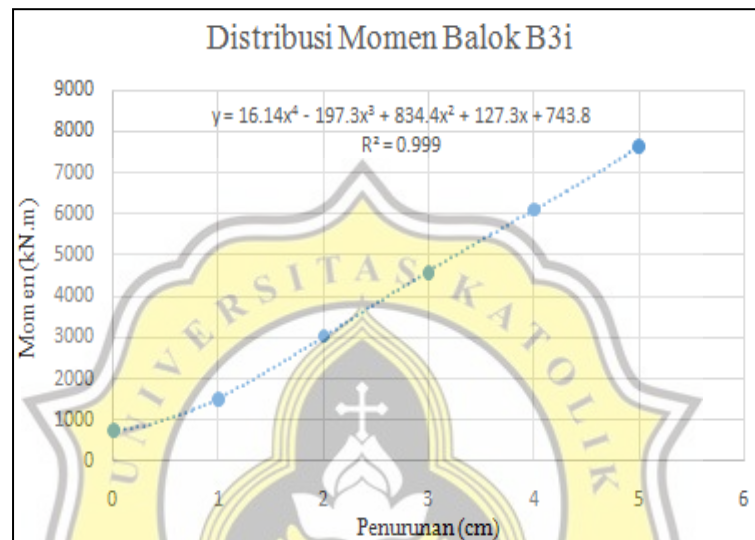
Gambar 4.2 Hubungan Antara *Differential Settlement* (x) dan Momen Ultimit (y) Pada Balok B2i

Berdasarkan Gambar 4.2, hubungan matematis antara *differential settlement* dan momen ultimit dirumuskan secara statistik sebagai berikut  $y = [4,574 \times (x^3)] - [18,91 \times (x^2)] + [30,81 \times (x)] + 591,6$  dan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,998. Berdasarkan Hadi (1983), apabila nilai  $R^2$  mendekati angka 1 maka pengaruh *differential settlement* semakin besar. Sedangkan rumus statistik menggambarkan besarnya momen akibat terjadinya penurunan pada Hotel *Sleeper Space*. Momen ultimit akibat *differential settlement* sedalam 0 cm yang didapat adalah sebesar 592 kN.m.



#### 4.1.2 Hubungan Antara Penurunan dan Momen Ultimit Balok B3i

Nilai momen balok B3i Hotel *Sleeper Space* Semarang ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan, dan diperlihatkan pada Gambar 4.3. Sumbu X menggambarkan besaran penurunan yang terjadi dan Sumbu Y menggambarkan nilai momen yang didapat dari analisis ETABS v18.0.2.



Gambar 4.3 Hubungan Antara *Differential Settlement* (x) dan Momen Ultimit (y) Pada Balok B3i

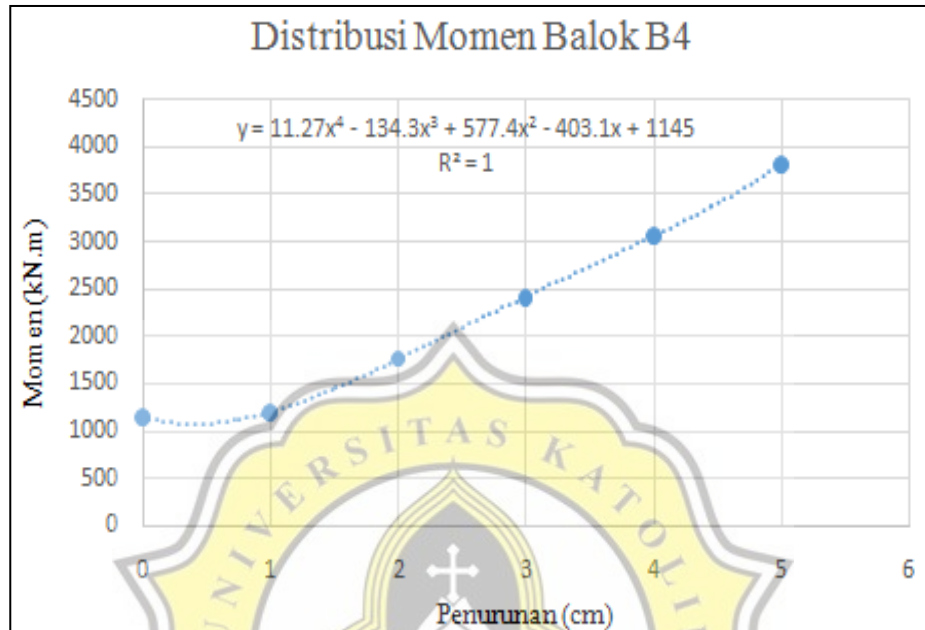
Berdasarkan Gambar 4.3, hubungan matematis antara *differential settlement* dan momen ultimit dirumuskan secara statistik sebagai berikut  $y = [16,14 \times (x^4)] - [197,3 \times (x^3)] + [834,4 \times (x^2)] + [127,3 \times (x)] + 743,8$  dan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,999. Berdasarkan Hadi (1983), apabila nilai  $R^2$  mendekati angka 1 maka pengaruh *differential settlement* semakin besar. Sedangkan rumus statistik menggambarkan besarnya momen akibat terjadinya penurunan pada Hotel *Sleeper Space*. Momen ultimit akibat *differential settlement* sedalam 1 cm yang didapat adalah sebesar 1.509 kN.m.

#### 4.1.3 Hubungan Antara Penurunan dan Momen Ultimit Balok B4

Nilai momen balok B4 Hotel *Sleeper Space* Semarang ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan, dan



diperlihatkan pada Gambar 4.4. Sumbu X menggambarkan besaran penurunan yang terjadi dan Sumbu Y menggambarkan nilai momen yang didapat dari analisis ETABS v18.0.2.



Gambar 4.4 Hubungan Antara *Differential Settlement* (x) dan Momen Ultimit (y) Pada Balok B4

Berdasarkan Gambar 4.4, hubungan matematis antara *differential settlement* dan momen ultimit dirumuskan secara statistik sebagai berikut  $y = [11,27 \times (x^4)] - [134,3 \times (x^3)] + [577,4 \times (x^2)] - [403,1 \times (x)] + 1145$  dan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 1. Berdasarkan Hadi (1983), apabila nilai  $R^2 = 1$  maka pengaruh *differential settlement* sangat besar. Sedangkan rumus statistik menggambarkan besarnya momen akibat terjadinya penurunan pada Hotel *Sleeper Space*. Momen ultimit akibat *differential settlement* sedalam 2 cm yang didapat adalah sebesar 1.764 kN.m.

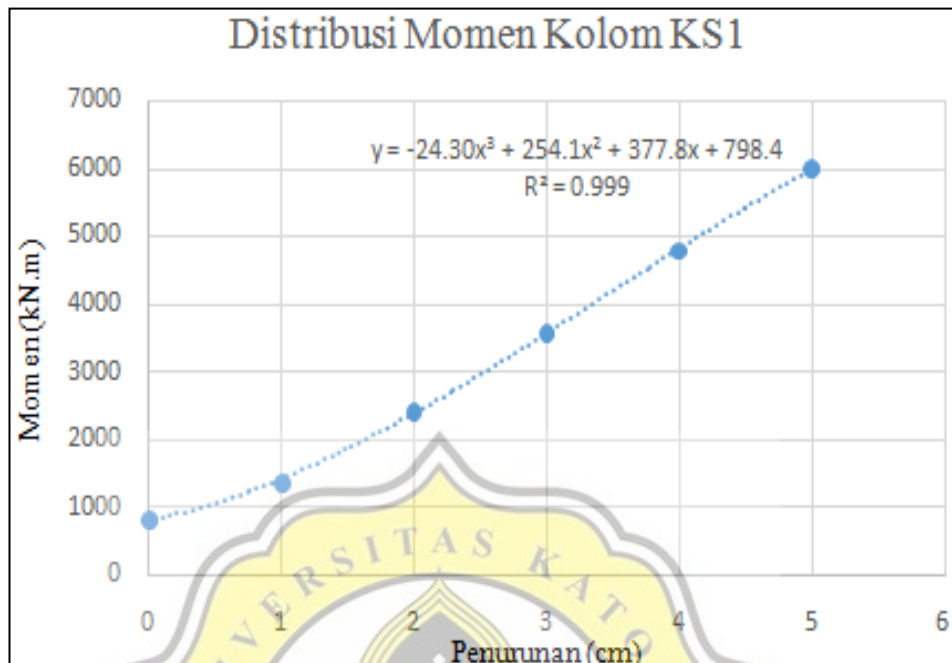
#### 4.1.4 Hubungan Antara Penurunan dan Momen Ultimit Kolom KS1

Nilai momen kolom KS1 Hotel *Sleeper Space* Semarang ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan, dan diperlihatkan pada Gambar 4.5. Sumbu X menggambarkan besaran penurunan yang terjadi dan Sumbu Y





menggambarkan nilai momen yang didapat dari analisis ETABS V 18.0.2.

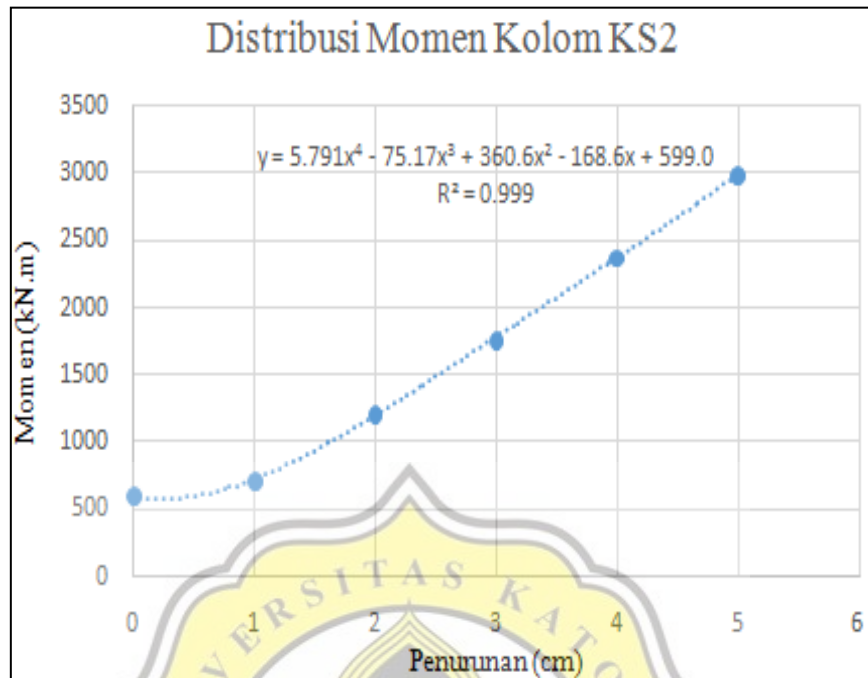


Gambar 4.5 Hubungan Antara *Differential Settlement* (x) dan Momen Ultimit (y) Pada Kolom KS1

Berdasarkan Gambar 4.5, hubungan matematis antara *differential settlement* dan momen ultimit dirumuskan secara statistik sebagai berikut  $y = [-24,30 \times (x^3)] + [254,1 \times (x^2)] + [377,8 \times (x)] + 798,4$  dan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,999. Berdasarkan Hadi (1983), apabila nilai  $R^2$  mendekati angka 1 maka pengaruh *differential settlement* semakin besar. Sedangkan rumus statistik menggambarkan besarnya momen akibat terjadinya penurunan pada Hotel *Sleeper Space*. Momen ultimit akibat *differential settlement* sedalam 3 cm yang didapat adalah sebesar 3.573 kN.m.

#### 4.1.5 Hubungan Antara Penurunan dan Momen Ultimit Kolom KS2

Nilai momen kolom KS2 Hotel *Sleeper Space* Semarang ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan, dan diperlihatkan pada Gambar 4.6. Sumbu X menggambarkan besaran penurunan yang terjadi dan Sumbu Y menggambarkan nilai momen yang didapat dari analisis ETABS v18.0.2.

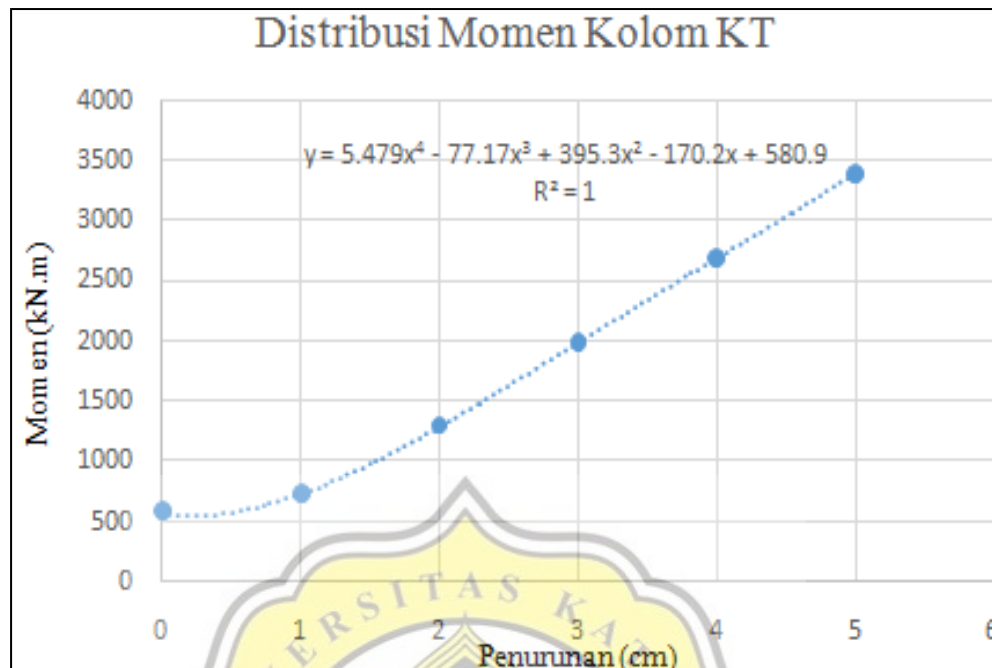


Gambar 4.6 Hubungan Antara *Differential Settlement* (x) dan Momen Ultimit (y) Pada Kolom KS2

Berdasarkan Gambar 4.6, hubungan matematis antara *differential settlement* dan momen ultimit dirumuskan secara statistik sebagai berikut  $y = [5,791 \times (x^4)] - [75,17 \times (x^3)] + [360,6 \times (x^2)] - [168,6 \times (x)] + 599$  dan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,999. Berdasarkan Hadi (1983), apabila nilai  $R^2$  mendekati angka 1 maka pengaruh *differential settlement* semakin besar. Sedangkan rumus statistik menggambarkan besarnya momen akibat terjadinya penurunan pada Hotel *Sleeper Space*. Momen ultimit akibat *differential settlement* sedalam 4 cm yang didapat adalah sebesar 2.376 kN.m.

#### 4.1.6 Hubungan Antara Penurunan dan Momen Ultimit Kolom KT

Nilai momen kolom KT Hotel *Sleeper Space* Semarang ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan, dan diperlihatkan pada Gambar 4.7. Sumbu X menggambarkan besaran penurunan yang terjadi dan Sumbu Y menggambarkan nilai momen yang didapat dari analisis ETABS v18.0.2.



Gambar 4.7 Hubungan Antara *Differential Settlement* (x) dan Momen Ultimit (y) Pada Kolom KT

Berdasarkan Gambar 4.7, hubungan matematis antara *differential settlement* dan momen ultimit dirumuskan secara statistik sebagai berikut  $y = [5,479 \times (x^4)] - [77,17 \times (x^3)] + [395,3 \times (x^2)] - [170,2 \times (x)] + 580,9$  dan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 1. Berdasarkan Hadi (1983), apabila nilai  $R^2 = 1$  maka pengaruh *differential settlement* sangat besar. Sedangkan rumus statistik menggambarkan besarnya momen akibat terjadinya penurunan pada Hotel *Sleeper Space*. Momen ultimit akibat *differential settlement* sedalam 5 cm yang didapat adalah sebesar 3.392 kN.m.

#### 4.2 Hasil Analisis Struktur Tanpa Beban Hidup

Hotel *Sleeper Space* Semarang dianalisis tanpa menggunakan beban hidup (seperti: manusia, beban yang bergerak, dan lain sebagainya). Hasil analisis struktur berupa momen yang timbul pada balok dan kolom, akibat beban kombinasi (ENVE) menggunakan program ETABS v18.0.2. Hal ini dilakukan untuk mengetahui nilai momen yang didapat dan mengukur seberapa kuat gedung



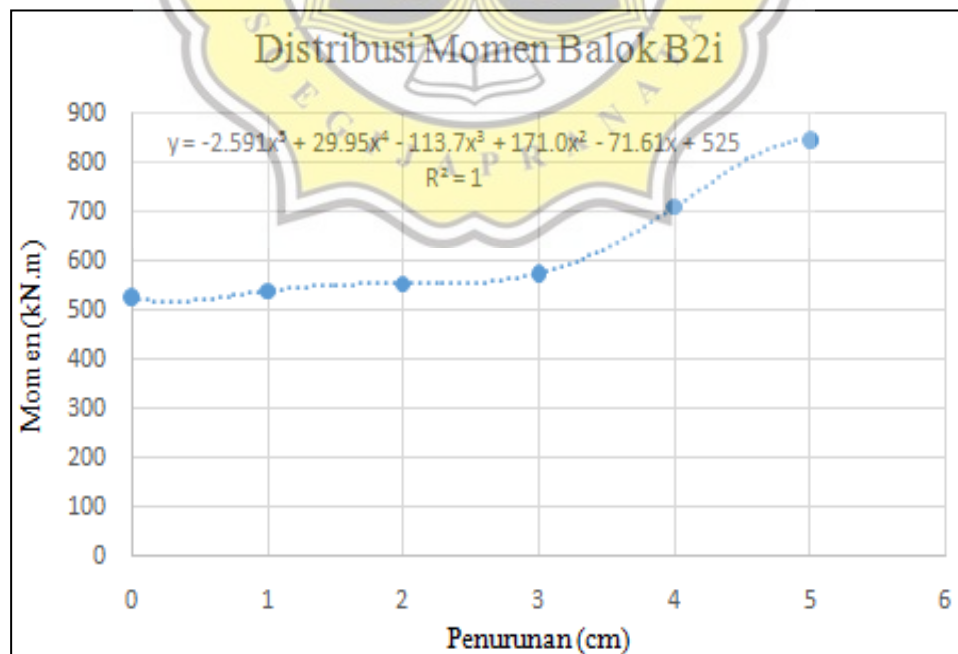
apabila mengalami penurunan tanpa ada beban hidup didalamnya. Hasil nilai momen yang didapat pada struktur Hotel *Sleeper Space* tanpa menggunakan beban hidup diperlihatkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Rekap Momen Tanpa Beban Hidup

Penurunan (cm)	Balok (kN.m)			Kolom (kN.m)		
	B2i	B3i	B4	KS1	KS2	KT
0	525	683	1.053	737	550	537
1	538	1.509	1.126	1.346	699	691
2	552	3.047	1.726	2.391	1.202	1.292
3	574	4.584	2.368	3.573	1.759	1.988
4	708	6.122	3.062	4.792	2.376	2.690
5	844	7.659	3.812	6.012	2.993	3.392

#### 4.2.1 Hubungan Antara Penurunan dan Momen Ultimit Balok B2i Tanpa Beban Hidup

Nilai momen balok B2i Hotel *Sleeper Space* Semarang tanpa beban hidup ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan, dan diperlihatkan pada Gambar 4.8. Sumbu X menggambarkan besaran penurunan yang terjadi dan Sumbu Y menggambarkan nilai momen yang didapat dari analisis ETABS v18.0.2.



Gambar 4.8 Hubungan Antara *Differential Settlement* (x) dan Momen Ultimit (y) Pada Balok B2i Tanpa Beban Hidup

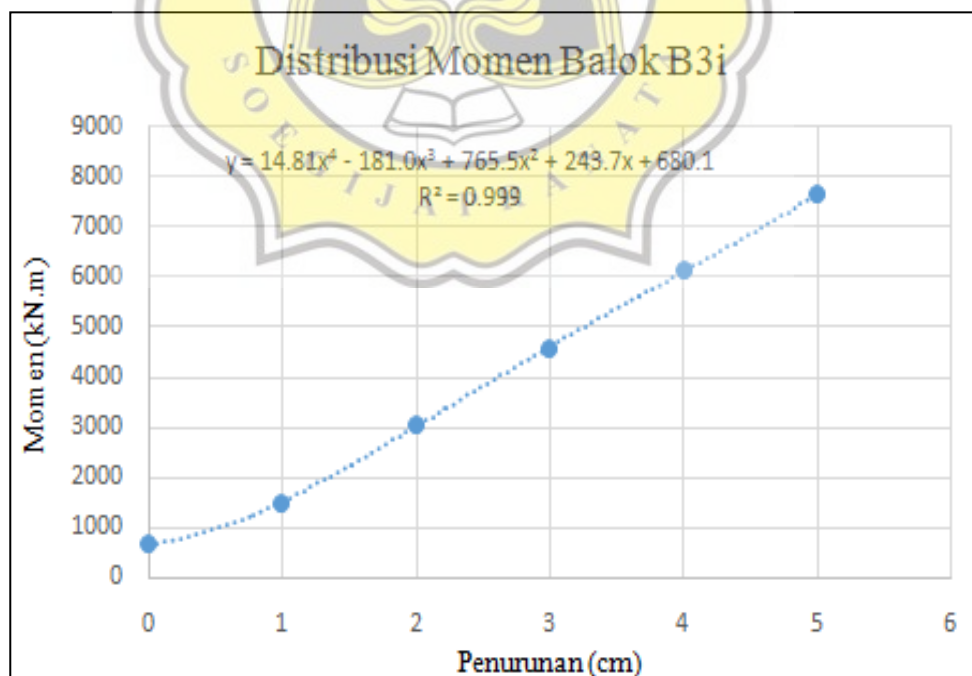




Berdasarkan Gambar 4.8, hubungan matematis antara *differential settlement* dan momen ultimit dirumuskan secara statistik sebagai berikut  $y = [-2,591 \times (x^5)] + [29,95 \times (x^4)] - [113,7 \times (x^3)] + [171,0 \times (x^2)] - [71,61 \times (x)] + 525$  dan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 1. Berdasarkan Hadi (1983), apabila nilai  $R^2 = 1$  maka pengaruh *differential settlement* sangat besar. Sedangkan rumus statistik menggambarkan besarnya momen akibat terjadinya penurunan pada Hotel *Sleeper Space* saat tidak ada beban hidup didalamnya. Momen ultimit akibat *differential settlement* sedalam 0 cm yang didapat adalah sebesar 525 kN.m.

#### 4.2.2 Hubungan Antara Penurunan dan Momen Ultimit Balok B3i Tanpa Beban Hidup

Nilai momen balok B3i Hotel *Sleeper Space* Semarang tanpa beban hidup ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan, dan diperlihatkan pada Gambar 4.9. Sumbu X menggambarkan besaran penurunan yang terjadi dan Sumbu Y menggambarkan nilai momen yang didapat dari analisis ETABS v18.0.2.



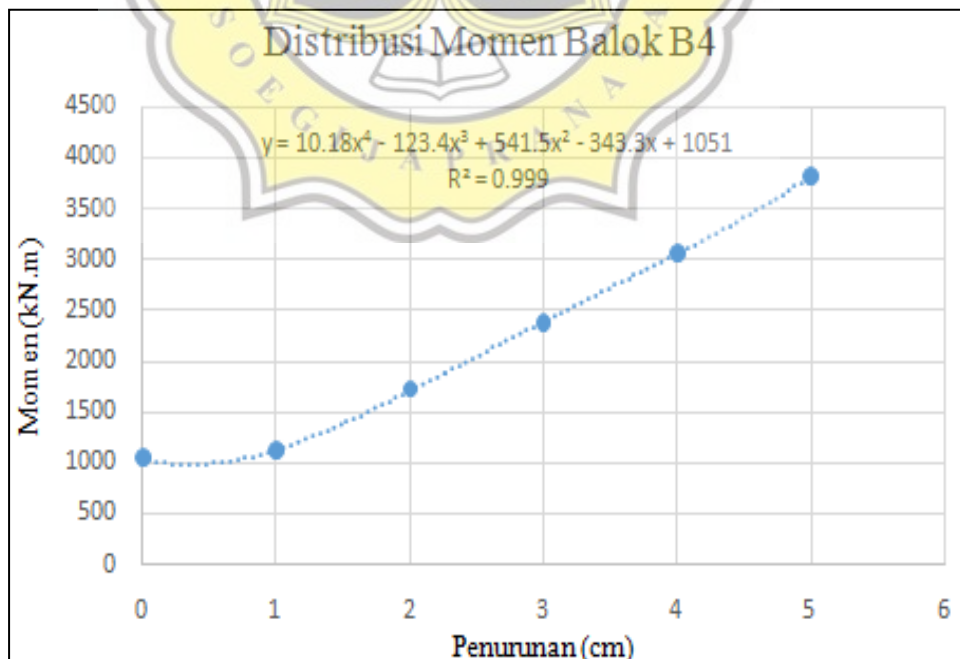
Gambar 4.9 Hubungan Antara *Differential Settlement* (x) dan Momen Ultimit (y) Pada Balok B3i Tanpa Beban Hidup



Berdasarkan Gambar 4.9, hubungan matematis antara *differential settlement* dan momen ultimit dirumuskan secara statistik sebagai berikut  $y = [14,81 \times (x^4)] - [181,0 \times (x^3)] + [765,5 \times (x^2)] + [243,7 \times (x)] + 680,1$  dan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,999. Berdasarkan Hadi (1983), apabila nilai  $R^2$  mendekati angka 1 maka pengaruh *differential settlement* semakin besar. Sedangkan rumus statistik menggambarkan besarnya momen akibat terjadinya penurunan pada Hotel *Sleeper Space* Semarang saat tidak ada beban hidup didalamnya. Momen ultimit akibat *differential settlement* sedalam 1 cm yang didapat adalah sebesar 1.509 kN.m.

#### 4.2.3 Hubungan Antara Penurunan dan Momen Ultimit Balok B4 Tanpa Beban Hidup

Nilai momen balok B4 Hotel *Sleeper Space* Semarang tanpa beban hidup ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan, dan diperlihatkan pada Gambar 4.10. Sumbu X menggambarkan besaran penurunan yang terjadi dan Sumbu Y menggambarkan nilai momen yang didapat dari analisis ETABS v18.0.2.



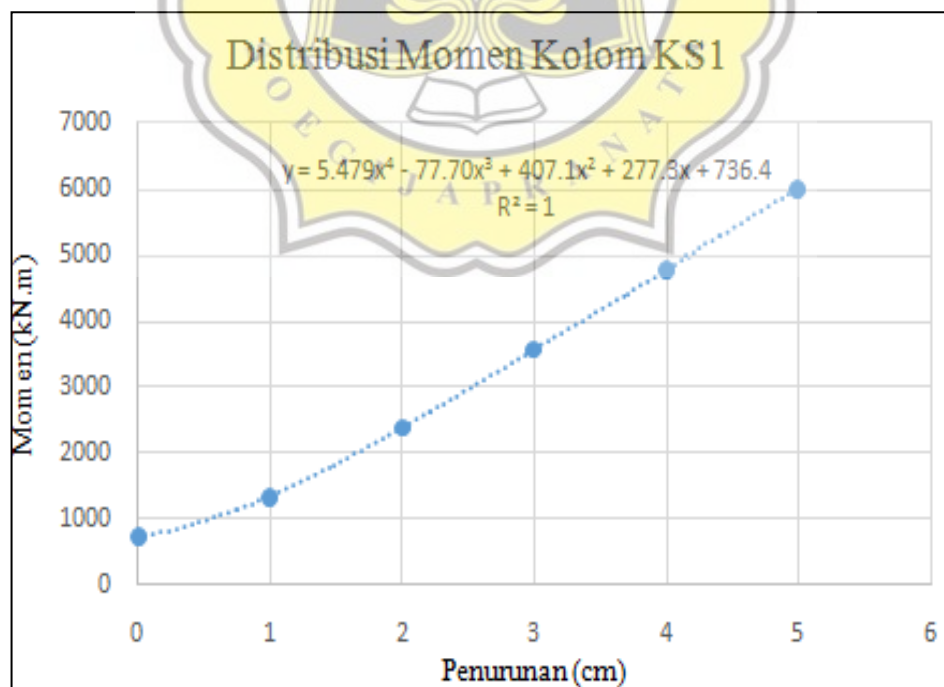
Gambar 4.10 Hubungan Antara *Differential Settlement* (x) dan Momen Ultimit (y) Pada Balok B4 Tanpa Beban Hidup



Berdasarkan Gambar 4.10, hubungan matematis antara *differential settlement* dan momen ultimit dirumuskan secara statistik sebagai berikut  $y = [10,18 \times (x^4)] - [123,4 \times (x^3)] + [541,5 \times (x^2)] - [343,3 \times (x)] + 1051$  dan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,999. Berdasarkan Hadi (1983), apabila nilai  $R^2$  mendekati angka 1 maka pengaruh *differential settlement* semakin besar. Sedangkan rumus statistik menggambarkan besarnya momen akibat terjadinya penurunan pada Hotel *Sleeper Space* saat tidak ada beban hidup didalamnya. Momen ultimit akibat *differential settlement* sedalam 2 cm yang didapat adalah sebesar 1.726 kN.m.

#### 4.2.4 Hubungan Antara Penurunan dan Momen Ultimit Kolom KS1 Tanpa Beban Hidup

Nilai momen kolom KS1 Hotel *Sleeper Space* Semarang tanpa beban hidup ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan, dan diperlihatkan pada Gambar 4.11. Sumbu X menggambarkan besaran penurunan yang terjadi dan Sumbu Y menggambarkan nilai momen yang didapat dari analisis ETABS v18.0.2.



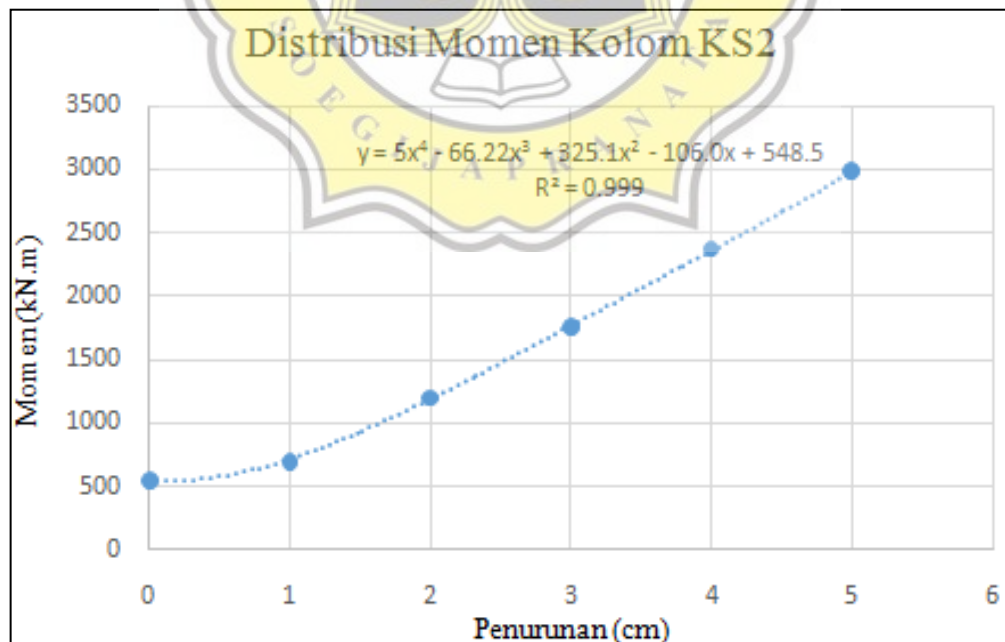
Gambar 4.11 Hubungan Antara *Differential Settlement* (x) dan Momen Ultimit (y) Pada Kolom KS1 Tanpa Beban Hidup



Berdasarkan Gambar 4.11, hubungan matematis antara *differential settlement* dan momen ultimit dirumuskan secara statistik sebagai berikut  $y = [5,479 \times (x^4)] - [77,70 \times (x^3)] + [407,1 \times (x^2)] + [277,3 \times (x)] + 736,4$  dan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 1. Berdasarkan Hadi (1983), apabila nilai  $R^2 = 1$  maka pengaruh *differential settlement* sangat besar. Sedangkan rumus statistik menggambarkan besarnya momen akibat terjadinya penurunan pada Hotel *Sleeper Space* saat tidak ada beban hidup didalamnya. Momen ultimit akibat *differential settlement* sedalam 3 cm yang didapat adalah sebesar 3.573 kN.m.

#### 4.2.5 Hubungan Antara Penurunan dan Momen Ultimit Kolom KS2 Tanpa Beban Hidup

Nilai momen kolom KS2 Hotel *Sleeper Space* Semarang tanpa beban hidup ketika mengalami penurunan pada kolom baris A dan sesudah mengalami penurunan, dan diperlihatkan pada Gambar 4.12. Sumbu X menggambarkan besaran penurunan yang terjadi dan Sumbu Y menggambarkan nilai momen yang didapat dari analisis ETABS v18.0.2.



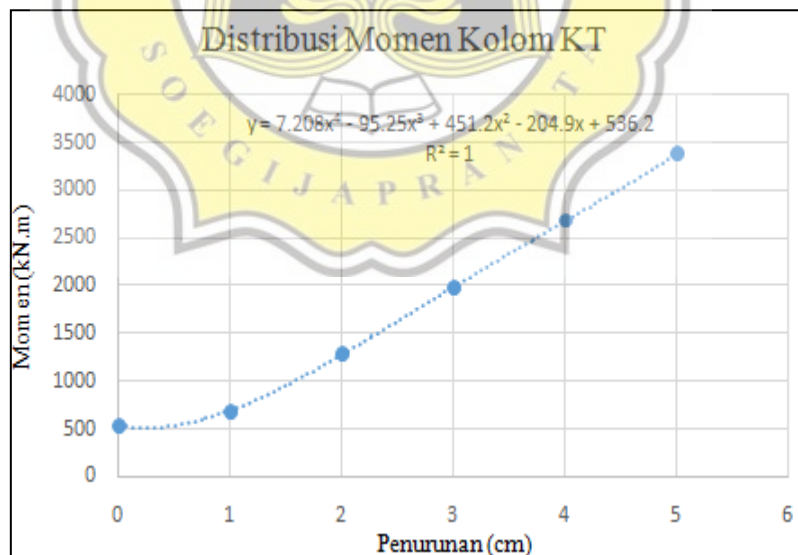
Gambar 4.12 Hubungan Antara *Differential Settlement* (x) dan Momen Ultimit (y) Pada Kolom KS2 Tanpa Beban Hidup



Berdasarkan Gambar 4.12, hubungan matematis antara *differential settlement* dan momen ultimit dirumuskan secara statistik sebagai berikut  $y = [5 \times (x^4)] - [66,22 \times (x^3)] + [325,1 \times (x^2)] - [106,0 \times (x)] + 548,5$  dan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 0,999. Berdasarkan Hadi (1983), apabila nilai  $R^2$  mendekati angka 1 maka pengaruh *differential settlement* semakin besar. Sedangkan rumus statistik menggambarkan besarnya momen akibat terjadinya penurunan pada Hotel *Sleeper Space* saat tidak ada beban hidup didalamnya. Momen ultimit akibat *differential settlement* sedalam 4 cm yang didapat adalah sebesar 2.376 kN.m.

#### 4.2.6 Hubungan Antara Penurunan dan Momen Ultimit Kolom KT Tanpa Beban Hidup

Nilai momen kolom KT Hotel *Sleeper Space* Semarang tanpa beban hidup ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan, dan diperlihatkan pada Gambar 4.13. Sumbu X menggambarkan besaran penurunan yang terjadi dan Sumbu Y menggambarkan nilai momen yang didapat dari analisis ETABS v18.0.2.



Gambar 4.13 Hubungan Antara *Differential Settlement* (x) dan Momen Ultimit (y) Pada Kolom KT Tanpa Beban Hidup

Berdasarkan Gambar 4.13, hubungan matematis antara *differential settlement* dan momen ultimit dirumuskan secara statistik sebagai berikut  $y = [7,208 \times (x^4)] -$





$[95,25 \times (x^3)] + [451,2 \times (x^2)] - [204,9 \times (x)] + 536,2$  dan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) sebesar 1. Berdasarkan Hadi (1983), apabila nilai  $R^2 = 1$  maka pengaruh *differential settlement* sangat besar. Sedangkan rumus statistik menggambarkan besarnya momen akibat terjadinya penurunan pada Hotel *Sleeper Space*. Momen ultimit akibat *differential settlement* sedalam 5 cm yang didapat adalah sebesar 3.392 kN.m.

### 4.3 Pembahasan

- a. Komponen struktur yang menahan beban paling berat adalah *tie beam*.

Berdasarkan perhitungan ETABS v18.0.2, nilai momen ultimit ( $M_u$ ) *tie beam* sebelum mengalami penurunan sebesar 126,968 kN.m, diperlihatkan pada Gambar 4.14.

Story	Beam	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	V2 kN	M3 kN-m	Element	Elem Stati
BASEMENT	B43	899	ENVE	Combination	Min	-89.6249	-126.9687	899	
BASEMENT	B43	899	ENVE	Combination	Min	57.616	-126.9687	899	
BASEMENT	B50	906	ENVE	Combination	Min	-89.6249	-126.9687	906	
BASEMENT	B50	906	ENVE	Combination	Min	57.616	-126.9687	906	
BASEMENT	B57	913	ENVE	Combination	Min	-89.6249	-126.9687	913	
BASEMENT	B57	913	ENVE	Combination	Min	57.616	-126.9687	913	

Gambar 4.14 Momen Ultimit ( $M_u$ ) *Tie Beam* Sebelum Mengalami Penurunan

Nilai momen ultimit ( $M_u$ ) *tie beam* setelah mengalami penurunan pada kolom baris A sebesar 4.865,329 kN.m, diperlihatkan pada Gambar 4.15

Story	Beam	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	Station m	V2 kN	M3 kN-m	Element	El
BASEMENT	B149	396	ENVE	Combination	Min	2.225	2821.4811	-4865.3296	396	
BASEMENT	B17	873	ENVE	Combination	Min	2.225	2821.4811	-4865.3299	873-1	
BASEMENT	B149	396	ENVE	Combination	Max	2.225	4388.9707	-3127.7121	396	
BASEMENT	B17	873	ENVE	Combination	Max	2.225	4388.9707	-3127.7121	873-1	
BASEMENT	B149	396	ENVE	Combination	Min	1.78	2815.4484	-2914.3259	396	

Gambar 4.15 Momen Ultimit ( $M_u$ ) *Tie Beam* Sesudah Mengalami Penurunan

Dalam sebuah perencanaan, *Tie Beam* dinyatakan aman dari penurunan apabila nilai momen ultimit ( $M_u$ ) yang didapat kurang dari nilai momen ultimit ( $M_u$ )



sebelum mengalami penurunan. Hal ini diperlihatkan pada Tabel 4.5, bahwa pada balok B3i saat mengalami penurunan 1 cm sudah tidak aman.

- b. Pada Tabel 4.1, memuat nilai momen Hotel *Sleeper Space* yang dihasilkan sebelum *differential settlement* dan sesudah terjadinya *differential settlement* pada balok B2i, balok B3i, balok B4, kolom KS1, kolom KS2, dan kolom KT. Berdasarkan Gambar 4.2, Gambar 4.3, Gambar 4.4, Gambar 4.5, Gambar 4.6, dan Gambar 4.7, nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang didapat  $> 95\%$ , apabila nilai  $R^2$  mendekati angka 1 maka pengaruh *differential settlement* semakin besar. Rekap kebutuhan tulangan balok dan kolom Hotel *Sleeper Space* sebelum terjadinya *differential settlement* diperlihatkan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.3 Rekap Perhitungan Struktur Balok Sebelum Mengalami Penurunan

Tipe Balok	$b_w$ (mm)	$h_b$ (mm)	$c_v$ (mm)	$V_u$ (kN)	$T_u$ (kN.m)	$M_u$ (kN.m)	Tul. Tekan	Tul. Tarik	Tul. Torsi	Tul. Geser (SNI)	Tul. Geser (ACI)
B1e	500	700	50	205	49	351	3D22	5D22	4D22	D13-150	D13-200
B1i	500	700	50	300	72	471	3D25	5D25	4D22	D13-100	D13-200
B2e	500	750	50	244	52	446	3D25	5D25	4D22	D13-150	D13-200
B2i	500	750	50	321	97	592	3D29	5D29	4D25	D13-100	D13-200
B3e	600	750	50	281	174	506	3D25	5D25	6D25	D13-100	D13-200
B3i	600	750	50	588	176	747	3D29	5D29	6D25	D13-50	D13-100
B4	750	900	50	872	351	1.146	5D29	7D29	6D29	D13-40	D13-100
BA	450	600	50	243	67	411	3D25	5D25	4D25	D13-100	D13-200
BT	450	500	50	140	39	138	3D19	5D19	4D19	D13-150	D13-200

(Sumber: Harjanti dan Hendrawan, 2020)

Tabel 4.4 Rekap Perhitungan Struktur Kolom Sesudah Mengalami Penurunan

Tipe Kolom	$b_w$ (mm)	$h_b$ (mm)	$c_v$ (mm)	$f_c'$ (MPa)	$P_u$ (kN)	$V_u$ (kN)	$M_u$ (kN.m)	Tul. Long.	Tul. Geser (SNI)	Tul. Geser (ACI)	Rasio Tul. Long.
KS1	900	900	50	33,2	9.232	390	811	24D29	D13-150	D13-150	1,91%
KS2	850	850	50	33,2	6.621	401	601	24D29	D13-150	D13-150	2,14%
KS3	800	800	50	33,2	4.261	352	468	24D29	D13-150	D13-150	2,42%
KS4	750	750	50	33,2	1.826	366	511	24D29	D13-150	D13-150	2,75%
KT	600	600	50	33,2	5.137	477	581	24D25	D13-150	D13-100	3,4%

(Sumber: Harjanti dan Hendrawan, 2020)

Perhitungan kebutuhan tulangan balok dan kolom Hotel *Sleeper Space* ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dijabarkan sebagai berikut:

1. Contoh perhitungan balok menggunakan Balok B2i dengan *differential*



*settlement* 1 cm

Balok diasumsikan belum mengalami leleh.

$$M_u = 606 \text{ kN.m (Tabel 4.1)}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{maks pemasangan tulangan}} &= M_u \times 100 \\ &= 606 \times 100 \\ &= 60.600 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{maks eksternal}} &= \frac{M_{\text{maks pemasangan tulangan}}}{1.000} \\ &= \frac{60.600}{1.000} \\ &= 60,6 \text{ Ton.meter} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beta } (\beta) &= 0,85 - 0,05 \times \frac{(f'_c - 4.000)P_{si}}{1.000} \\ &= 0,85 - 0,05 \times \frac{(4.722,175 - 4.000)P_{si}}{1.000} \\ &= 0,813 \end{aligned}$$

$$\text{Mutu beton } (f'_c) = 33,2 \text{ MPa} = 4.722,175 \text{ Psi}$$

$$\text{Mutu baja } (f_y) = 400 \text{ MPa}$$

$$\text{Modulus elastisitas } (E_s) = 200.000 \text{ MPa}$$

$$\text{Diameter } (\emptyset) = 29 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Tulangan } (A_s') &= [0,25 \times 3,14 \times (\emptyset^2)] \times 2 \\ &= [0,25 \times 3,14 \times (29^2)] \times 2 \\ &= 1.320,37 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Dimensi balok } (h_b) = 750 \text{ mm}$$

$$\text{Dimensi balok } (b_w) = 500 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} d &= h_b - 50 - 13 - \frac{\emptyset}{2} \\ &= 750 - 50 - 13 - \frac{29}{2} \\ &= 672,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'_s &= h_b - d \\ &= 750 - 672,5 \\ &= 77,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Maksimal jumlah batang} = \frac{b_w - 70}{\emptyset + 30} = \frac{500 - 70}{29 + 30} = 7,29 \text{ batang} \sim 8 \text{ batang}$$



Untuk mencapai penulangan yang aman, maka diperlukan 8 tulangan... **OK**

$$\begin{aligned}A_s &= [0,25 \times 3,14 \times (\emptyset^2)] \times \text{tulangan yang digunakan} \\ &= [0,25 \times 3,14 \times (29^2)] \times 8 \\ &= 5.281,48 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Persamaan A} &= 0,85 \times f_c' \times b_w \\ &= 0,85 \times 33,2 \times 500 \\ &= 14.110\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Persamaan B} &= 0,003 \times E_s \times (A_s' - A_s) \times f_y \\ &= 0,003 \times 200.000 \times (1.320,37 - 5.281,48) \times 400 \\ &= - 1.320.370\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Persamaan C} &= - 0,003 \times E_s \times A_s' \times \beta \times d'_s \\ &= - 0,003 \times 200.000 \times 1.320,37 \times 0,8138 \times 77,5 \\ &= - 49.970.649\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai } a_1 &= - B + \frac{\sqrt{B^2 - (4 \times A \times C)}}{(2 \times A)} \\ &= - (- 1.320.370) + \frac{\sqrt{(- 1.320.370)^2 - (4 \times 14.110 \times - 49.970.649)}}{(2 \times 14.110)} \\ &= 122,489 \text{ mm} \dots \text{OK}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai } a_2 &= - B - \frac{\sqrt{B^2 - (4 \times A \times C)}}{(2 \times A)} \\ &= - (- 1.320.370) - \frac{\sqrt{(- 1.320.370)^2 - (4 \times 14.110 \times - 49.970.649)}}{(2 \times 14.110)} \\ &= - 122,489 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai Regangan Tarik} &= \frac{[\beta \times (d - a_1)]}{a_1} \times 0,003 \\ &= \frac{[0,813 \times (672,5 - 122,489)]}{122,4896} \times 0,003 \\ &= 0,010\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai } f_s &= \text{Nilai regangan tarik} \times E_s \\ &= 0,010 \times 200.000 \\ &= 2.081,086 \text{ MPa} (> f_y = 400 \text{ MPa})\end{aligned}$$

**(OK Tulangan Tarik Leleh)**

$$\begin{aligned}\text{Nilai } M_n &= 0,85 \times f_c' \times b_w \times a_1 \times \left[ \left( \frac{d-a_1}{2} \right) + A_s' \right] \times (d - d_s') \\ &= 0,85 \times 33,2 \times 500 \times 122,489 \times \\ &\quad \left[ \left( \frac{672,5 - 122,489}{2} \right) + 1.320,37 \right] \times (672,5 - 77,5) \\ &= 1,057 \times 10^9\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai } M_u &= M_n \times 0,8 \\ &= 1,057 \times 10^9 \times 0,8 \\ &= 845.788.219 \text{ N.mm} \\ &= 845,788 \text{ kN.m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai } M_{\text{kapasitas}} &= \frac{M_u}{10} \\ &= \frac{845,788}{10} \\ &= 84,578 \text{ Ton.M}\end{aligned}$$

Karena tulangan tekan belum leleh, maka

$$\begin{aligned}\text{Nilai } \rho_{\text{maks}} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta \times f_c' \times \frac{\left[ \frac{600}{(600 + f_y)} \right]}{f_y} \\ &= 0,75 \times 0,85 \times 0,813 \times 33,2 \times \frac{\left[ \frac{600}{(600 + 400)} \right]}{400} \\ &= 0,025\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Nilai rasio} &= \frac{(A_s - A_s')}{(b_w \times d)} \\ &= \frac{(5.281,48 - 1.320,37)}{(500 \times 672,5)} \\ &= 0,011 (< \rho_{\text{maks}} = 0,025) \dots \text{OK}\end{aligned}$$

Oleh karena itu, dapat disimpulkan,  $M_{\text{kap}} > \frac{M_{\text{maks,eksternal}}}{0,8}$

$$84,578 > \frac{60,6}{0,8}$$

$$84,578 > 75,75 \dots \text{OK}$$

Rekap kebutuhan total penulangan balok sebelum mengalami penurunan dan sesudah mengalami penurunan diperlihatkan pada Tabel 4.5. Balok dinyatakan aman apabila jumlah tulangan yang dibutuhkan sama dengan jumlah tulangan saat tidak terjadi penurunan (0 cm).





Balok dinyatakan tidak aman, apabila jumlah tulangan yang dibutuhkan melebihi jumlah tulangan saat tidak terjadi penurunan (0 cm).

Tabel 4.5 Rekap Kebutuhan Penulangan Balok

Penurunan (cm)	Balok B2i		Balok B3i		Balok B4	
	Jumlah Tulangan	Keterangan	Jumlah Tulangan	Keterangan	Jumlah Tulangan	Keterangan
0	8S29	Aman	8S29	Aman	12S29	Aman
1	8S29	Aman	19S29	Tidak Aman	12S29	Aman
2	8S29	Aman	> 30 tulangan	Tidak Aman	17S29	Tidak Aman
3	8S29	Aman	> 30 tulangan	Tidak Aman	23S29	Tidak Aman
4	9S29	Tidak Aman	> 30 tulangan	Tidak Aman	> 30 tulangan	Tidak Aman
5	11S29	Tidak Aman	> 30 tulangan	Tidak Aman	> 30 tulangan	Tidak Aman

2. Contoh perhitungan kolom akan menggunakan kolom KS1 dengan *differential settlement* 1 cm

Nilai beban ultimit ( $P_u$ ) yang didapat pada struktur Hotel *Sleeper Space* didapatkan dari analisis gedung menggunakan ETABS v18.0.2, ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan, diperlihatkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Rekap Beban Ultimit ( $P_u$ )

Penurunan (cm)	$P_u$ Kolom (kN)		
	KS1	KS2	KT
0	9.232	6.621	5.137
1	9.851	7.050	11.106
2	12.551	7.485	19.205
3	20.844	7.973	27.304
4	29.140	11.672	35.403
5	37.434	15.370	43.502

Perhitungan ordinat diagram interaksi kolom menggunakan Persamaan 2.40 dan Persamaan 2.41.

Dimensi kolom ( $h_b$ ) = 900 mm

Dimensi kolom ( $b_w$ ) = 900 mm

Mutu beton ( $f_c$ ) = 33,2 MPa = 4.722,175 Psi

Mutu baja ( $f_y$ ) = 400 MPa



Momen ultimit ( $M_u$ ) = 1.366 kN.m (Tabel 4.1)

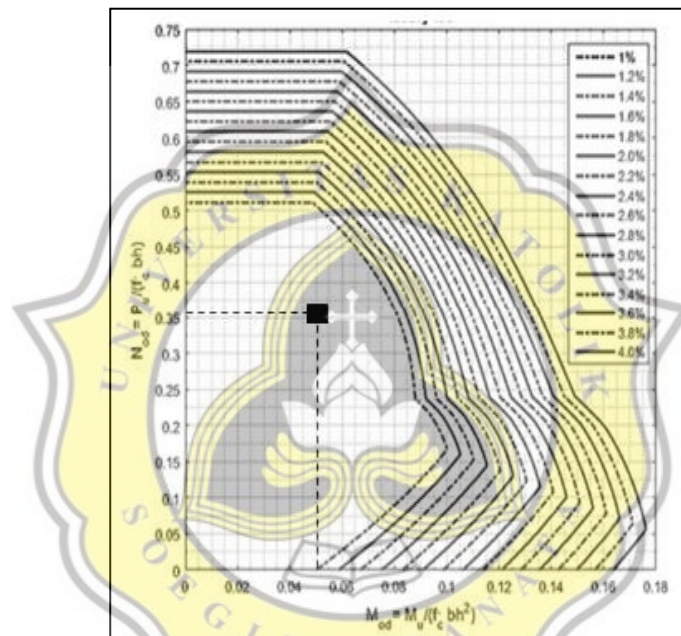
Beban ultimit ( $P_u$ ) = 9.851 kN

Penyelesaian

$$\text{Ordinat x} = \frac{M_u}{f_c' \times b_w \times h_b^2} = \frac{1.366}{33,2 \times 900 \times 900^2} = 0,056 \quad (0,056,0)$$

$$\text{Ordinat y} = \frac{P_u}{f_c' \times b_w \times h_b} = \frac{9.851}{33,2 \times 900 \times 900} = 0,366 \quad (0,0,366)$$

Kedua ordinat yang didapat ditempatkan dalam diagram interaksi kolom yang diperlihatkan Gambar 4.16.



Gambar 4.16 Diagram Interaksi Kolom KS1 (1 cm)

Berdasarkan Gambar 4.16, koordinat yang didapat belum menyentuh garis  $\rho$  ( $\rho$ ) dari diagram interaksi, sehingga dapat disimpulkan kolom KS1 yang digunakan pada Hotel *Sleeper Space* masih mampu menahan *differential settlement* yang terjadi.

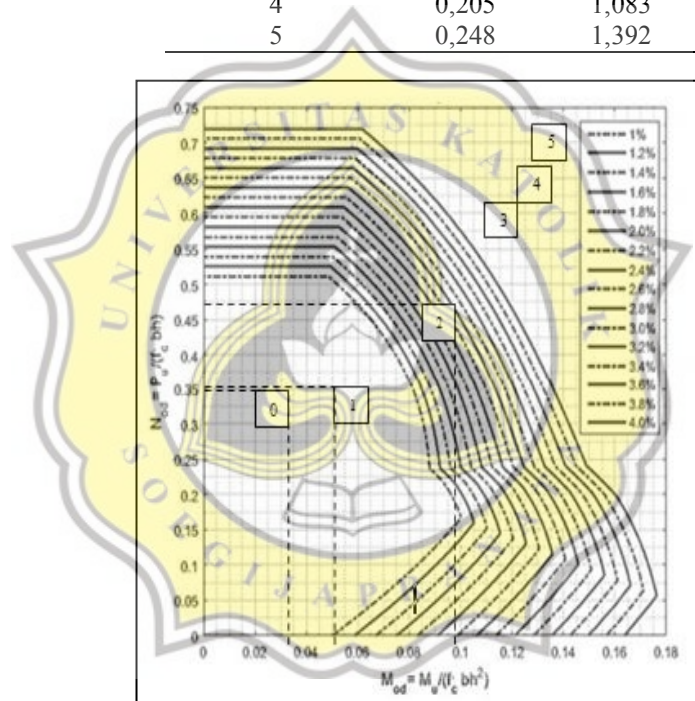
Berikut merupakan hubungan antara  $\frac{M_u}{f_c' \times b_w \times h_b^2}$  (Sumbu x) dan  $\frac{P_u}{f_c' \times b_w \times h_b}$  (Sumbu y) Kolom KS1 ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan yang diperlihatkan pada Tabel 4.7 dan Gambar 4.17. Perhitungan ordinat diagram interaksi kolom menggunakan Persamaan 2.40 dan Persamaan 2.41. Koordinat yang didapat sudah



menyentuh garis  $\rho$  (*rho*) dari diagram interaksi pada saat mengalami penurunan 2 cm – 5 cm, sehingga dapat disimpulkan Kolom KS1 yang digunakan pada Hotel *Sleeper Space* tidak kuat menahan *differential settlement* saat kedalaman 2 cm – 5 cm.

Tabel 4.7 Koordinat Kolom KS1

Penurunan (cm)	Sumbu x	Sumbu y
0	0,033	0,343
1	0,056	0,366
2	0,099	0,466
3	0,147	0,775
4	0,205	1,083
5	0,248	1,392



Gambar 4.17 Diagram Interaksi Kolom KS1

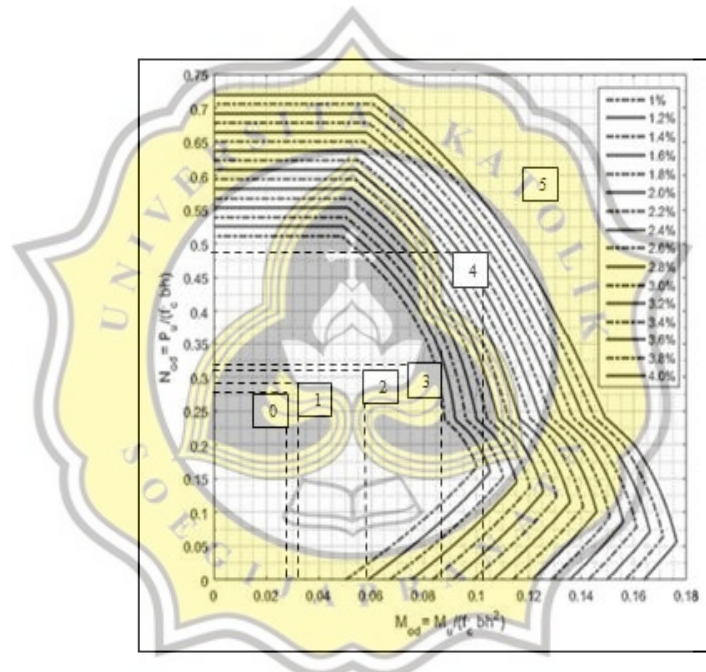
Berikut merupakan hubungan antara  $\frac{M_u}{f_c \times b_w \times h_b^2}$  (Sumbu x) dan  $\frac{P_u}{f_c \times b_w \times h_b}$  (Sumbu y) Kolom KS2 ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan yang diperlihatkan pada Tabel 4.8 dan Gambar 4.18. Perhitungan ordinat diagram interaksi kolom menggunakan Persamaan 2.40 dan Persamaan 2.41. Koordinat yang didapat sudah menyentuh garis  $\rho$  (*rho*) dari diagram interaksi pada saat mengalami



penurunan 3 cm – 5 cm, sehingga dapat disimpulkan Kolom KS2 yang digunakan pada Hotel *Sleeper Space* tidak kuat menahan *differential settlement* saat kedalaman 3 cm – 5 cm.

Tabel 4.8 Koordinat Kolom KS2

Penurunan (cm)	Sumbu x	Sumbu y
0	0,029	0,276
1	0,034	0,293
2	0,059	0,312
3	0,086	0,332
4	0,116	0,486
5	0,146	0,64



Gambar 4.18 Diagram Interaksi Kolom KS2

Berikut merupakan hubungan antara  $\frac{M_u}{f'_c \times b_w \times h_b^2}$  (Sumbu x) dan  $\frac{P_u}{f'_c \times b_w \times h_b}$  (Sumbu y) Kolom KT ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan yang diperlihatkan pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.19. Perhitungan ordinat diagram interaksi kolom menggunakan Persamaan 2.40 dan Persamaan 2.41. Koordinat yang didapat sudah menyentuh garis  $\rho$  (*rho*) dari diagram interaksi pada saat mengalami penurunan 1 cm – 5 cm, sehingga dapat disimpulkan Kolom KT yang

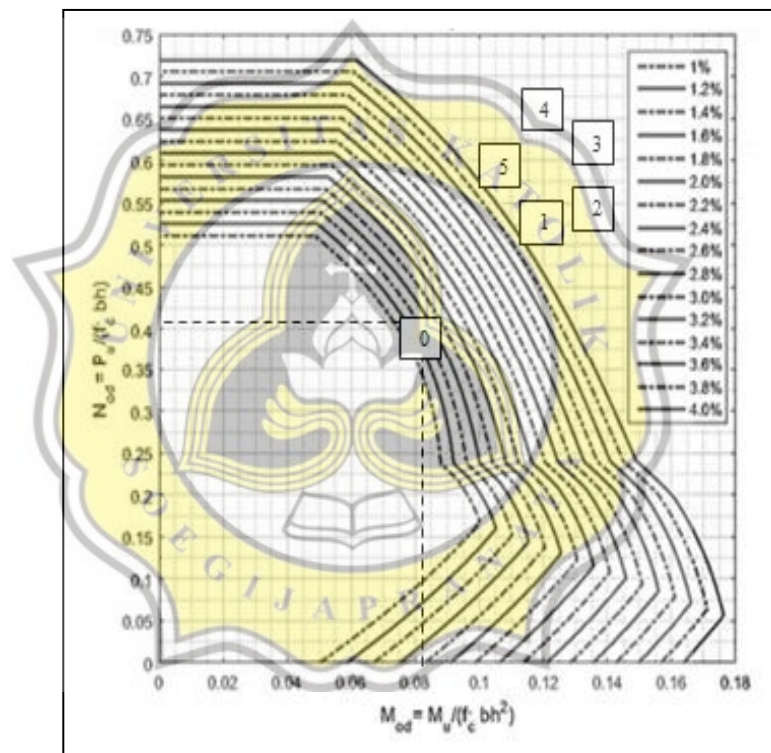




digunakan pada Hotel *Sleeper Space* tidak kuat menahan penurunan yang terjadi.

Tabel 4.9 Koordinat Kolom KT

Penurunan (cm)	Sumbu x	Sumbu y
0	0,081	0,429
1	0,102	0,929
2	0,180	1,606
3	0,277	2,284
4	0,375	2,962
5	0,473	3,639



Gambar 4.19 Diagram Interaksi Kolom KT

Rekap kesimpulan hasil diagram interaksi kolom Hotel *Sleeper Space* sebelum mengalami penurunan dan sesudah mengalami penurunan diperlihatkan pada Tabel 4.10. Kolom dinyatakan masih aman apabila ordinat belum menyentuh garis  $\rho$  (*rho*) diagram interaksi dan kolom dinyatakan tidak aman apabila pada saat penurunan 1 cm - 5 cm titik ordinat menyentuh atau melebihi garis  $\rho$  (*rho*) diagram interaksi.





Tabel 4.10 Rekap Hasil Diagram Interaksi Kolom

Penurunan (cm)	Kolom KS1	Kolom KS2	Kolom KT
0	Aman	Aman	Aman
1	Aman	Aman	Tidak Aman
2	Tidak Aman	Aman	Tidak Aman
3	Tidak Aman	Tidak Aman	Tidak Aman
4	Tidak Aman	Tidak Aman	Tidak Aman
5	Tidak Aman	Tidak Aman	Tidak Aman

c. Pada Tabel 4.2 memuat nilai momen Hotel *Sleeper Space* yang dihasilkan sebelum *differential settlement* dan sesudah terjadinya *differential settlement* pada balok dan kolom tertentu (sebagai komponen struktur) tanpa menggunakan beban hidup. Hal ini untuk mengukur seberapa kuat balok B2i, balok B3i, balok B4, kolom KS1, kolom KS2, dan kolom KT dalam menopang Hotel *Sleeper Space*.

Berdasarkan Gambar 4.8, Gambar 4.9, Gambar 4.10, Gambar 4.11, Gambar 4.12, dan Gambar 4.13, nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) yang didapat  $> 95\%$ , apabila nilai  $R^2$  mendekati angka 1 maka pengaruh *differential settlement* semakin besar, meskipun tidak ada lagi beban hidup (manusia, beban bergerak, dan lain sebagainya) didalamnya.

Perhitungan kebutuhan tulangan balok dan kolom Hotel *Sleeper Space* sebelum terjadinya *differential settlement* dan sesudah mengalami *differential settlement* tanpa ada beban hidup (manusia, beban bergerak, dan lain sebagainya) didalamnya, dijabarkan sebagai berikut:

1. Contoh perhitungan balok menggunakan Balok B2i sebelum mengalami *differential settlement*

Balok diasumsikan belum mengalami leleh.

$$M_u = 525 \text{ kN.m (Tabel 4.2)}$$

$$\begin{aligned} M_{\text{maks pemasangan tulangan}} &= M_u \times 100 \\ &= 525 \times 100 \\ &= 52.500 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$M_{\text{maks eksternal}} = \frac{M_{\text{maks pemasangan tulangan}}}{1.000}$$



$$\begin{aligned} &= \frac{52.500}{1.000} \\ &= 52,5 \text{ Ton.meter} \\ \text{Beta} \quad (\beta) &= 0,85 - 0,05 \times \frac{(f_c' - 4.000) P_{si}}{1.000} \\ &= 0,85 - 0,05 \times \frac{(4.722,175 - 4.000) P_{si}}{1.000} \\ &= 0,813 \\ \text{Mutu beton} \quad (f_c') &= 33,2 \text{ MPa} = 4.722,175 \text{ Psi} \\ \text{Mutu baja} \quad (f_y) &= 400 \text{ MPa} \\ \text{Modulus elastisitas} \quad (E_s) &= 200.000 \text{ MPa} \\ \text{Diameter} \quad (\emptyset) &= 29 \text{ mm} \\ \text{Luas Tulangan} \quad (A_s') &= [0,25 \times 3,14 \times (\emptyset^2)] \times 2 \\ &= [0,25 \times 3,14 \times (29^2)] \times 2 \\ &= 1.320,37 \text{ mm}^2 \\ \text{Dimensi balok} \quad (h_b) &= 750 \text{ mm} \\ \text{Dimensi balok} \quad (b_w) &= 500 \text{ mm} \\ d &= h_b - 50 - 13 - \frac{\emptyset}{2} \\ &= 750 - 50 - 13 - \frac{29}{2} \\ &= 672,5 \text{ mm} \\ d'_s &= h_b - d \\ &= 750 - 672,5 \\ &= 77,5 \text{ mm} \\ \text{Maksimal jumlah batang} &= \frac{b_w - 70}{\emptyset + 30} \\ &= \frac{500 - 70}{29 + 30} \\ &= 7,29 \text{ batang} \sim 8 \text{ batang} \\ \text{Untuk mencapai penulangan yang aman, maka diperlukan 8 tulangan... OK} \\ A_s &= [0,25 \times 3,14 \times (\emptyset^2)] \times \text{tulangan yang digunakan} \\ &= [0,25 \times 3,14 \times (29^2)] \times 8 \\ &= 5.281,48 \text{ mm}^2 \\ \text{Persamaan A} &= 0,85 \times f_c' \times b_w \end{aligned}$$



$$= 0,85 \times 33,2 \times 500$$

$$= 14.110$$

Persamaan B

$$= 0,003 \times E_s \times (A_s' - A_s) \times f_y$$
$$= 0,003 \times 200.000 \times (1.320,37 - 5.281,48) \times 400$$
$$= - 1.320.370$$

Persamaan C

$$= - 0,003 \times E_s \times A_s' \times \beta \times d'_s$$
$$= - 0,003 \times 200.000 \times 1.320,37 \times 0,8138 \times 77,5$$
$$= - 49.970.649$$

Nilai a1

$$= - B + \sqrt{\frac{B^2 - (4 \times A \times C)}{(2 \times A)}}$$
$$= - (- 1.320.370) + \sqrt{\frac{(- 1.320.370)^2 - (4 \times 14.110 \times - 49.970.649)}{(2 \times 14.110)}}$$
$$= 122,489 \text{ mm} \dots \text{OK}$$

Nilai a2

$$= - B - \sqrt{\frac{B^2 - (4 \times A \times C)}{(2 \times A)}}$$
$$= - (- 1.320.370) - \sqrt{\frac{(- 1.320.370)^2 - (4 \times 14.110 \times - 49.970.649)}{(2 \times 14.110)}}$$
$$= - 122,489 \text{ mm}$$

Nilai Regangan Tarik

$$= \frac{[\beta \times (d - a1)]}{a1} \times 0,003$$
$$= \frac{[0,813 \times (672,5 - 122,489)]}{122,489} \times 0,003$$
$$= 0,010$$

Nilai f<sub>s</sub>

$$= \text{Nilai regangan tarik} \times E_s$$
$$= 0,010 \times 200.000$$
$$= 2.081,086 \text{ MPa} (> f_y = 400 \text{ MPa})$$

**(OK Tulangan Tarik Leleh)**

Nilai M<sub>n</sub>

$$= 0,85 \times f_c' \times b_w \times a1 \times \left[ \left( \frac{d - a1}{2} \right) + A_s' \right] \times (d - d'_s)$$
$$= 0,85 \times 33,2 \times 500 \times 122,489 \times$$
$$\left[ \left( \frac{672,5 - 122,489}{2} \right) + 1.320,37 \right] \times (672,5 - 77,5)$$



$$\begin{aligned}
 &= 1,057 \times 10^9 \\
 \text{Nilai } M_u &= M_n \times 0,8 \\
 &= 1,057 \times 10^9 \times 0,8 \\
 &= 845.788.219 \text{ N.mm} \\
 &= 845,788 \text{ kN.m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai } M_{\text{kapasitas}} &= \frac{M_u}{10} \\
 &= \frac{845,788}{10} \\
 &= 84,5788 \text{ Ton.M}
 \end{aligned}$$

Karena tulangan tekan belum leleh, maka

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai } \rho_{\text{maks}} &= 0,75 \times 0,85 \times \beta \times f_c' \times \frac{\left[ \frac{600}{(600 + f_y)} \right]}{f_y} \\
 &= 0,75 \times 0,85 \times 0,813 \times 33,2 \times \frac{\left[ \frac{600}{(600 + 400)} \right]}{400} \\
 &= 0,025 \\
 \text{Nilai rasio} &= \frac{(A_s - A_s')}{(b_w \times d)} \\
 &= \frac{(5.281,48 - 1.320,37)}{(500 \times 672,5)} \\
 &= 0,011 (< \rho_{\text{maks}} = 0,025) \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Oleh karena itu dapat disimpulkan, } M_{\text{kap}} &> \frac{M_{\text{maks eksternal}}}{0,8} \\
 84,578 &> \frac{52,5}{0,8} \\
 84,578 &> 65,625 \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

Rekap kebutuhan total penulangan balok Hotel *Sleeper Space* sebelum mengalami penurunan dan sesudah mengalami penurunan tanpa menggunakan beban hidup, diperlihatkan pada Tabel 4.11. Balok dinyatakan aman apabila jumlah tulangan yang dibutuhkan sama dengan jumlah tulangan saat tidak terjadi penurunan (0 cm). Balok dinyatakan tidak aman apabila jumlah tulangan yang dibutuhkan melebihi jumlah tulangan saat tidak terjadi penurunan (0 cm).



Tabel 4.11 Rekap Kebutuhan Penulangan Balok Tanpa Beban Hidup

Penurunan (cm)	Balok B2i		Balok B3i		Balok B4	
	Jumlah Tulangan	Ketera ngan	Jumlah Tulangan	Ketera ngan	Jumlah Tulangan	Ketera ngan
0	8S29	Aman	8S29	Aman	12S29	Aman
1	8S29	Aman	19S29	Tidak Aman	12S29	Aman
2	8S29	Aman	> 30 tulangan	Tidak Aman	16S29	Tidak Aman
3	8S29	Aman	> 30 tulangan	Tidak Aman	23S29	Tidak Aman
4	9S29	Tidak Aman	> 30 tulangan	Tidak Aman	> 30 tulangan	Tidak Aman
5	11S29	Tidak Aman	> 30 tulangan	Tidak Aman	> 30 tulangan	Tidak Aman

2. Contoh perhitungan kolom akan menggunakan kolom KS1 saat mengalami penurunan sebesar 2 cm.

Nilai beban ultimit ( $P_u$ ) yang didapat pada struktur Hotel *Sleeper Space* didapatkan dari analisis gedung menggunakan ETABS v18.0.2, ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan tanpa menggunakan beban hidup, diperlihatkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Rekap Beban Ultimit ( $P_u$ ) Tanpa Beban Hidup

Penurunan (cm)	$P_u$ Kolom (kN)		
	KS1	KS2	KT
0	7.602	5.510	4.695
1	8.318	5.963	11.106
2	12.551	6.470	19.205
3	20.845	7.973	27.304
4	29.140	11.672	35.403
5	37.434	15.370	43.502

Perhitungan ordinat diagram interaksi kolom menggunakan Persamaan 2.40 dan Persamaan 2.41.

Dimensi kolom ( $h_b$ ) = 900 mm

Dimensi kolom ( $b_w$ ) = 900 mm

Mutu beton ( $f_c$ ) = 33,2 MPa = 4.722,175 Psi

Mutu baja ( $f_y$ ) = 400 MPa





Momen ultimit ( $M_u$ ) = 2.391 kN.m (Tabel 4.2)

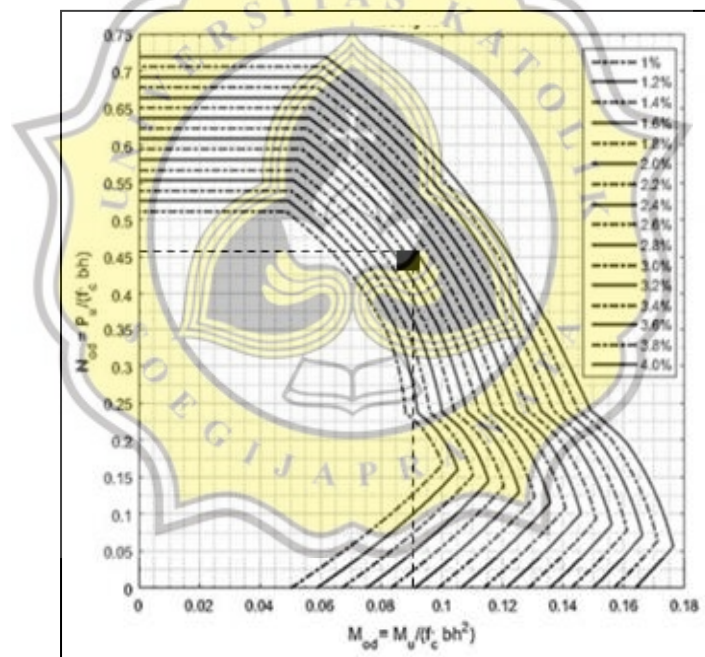
Beban ultimit ( $P_u$ ) = 12.551 kN

### Penyelesaian

$$\text{Ordinat x} = \frac{M_u}{f_c' \times b_w \times h_b^2} = \frac{2.391}{33,2 \times 900 \times 900^2} = 0,098 (0,098,0)$$

$$\text{Ordinat y} = \frac{P_u}{f_c' \times b_w \times h_b} = \frac{12.551}{33,2 \times 900 \times 900} = 0,466 (0,0,466)$$

Kedua ordinat yang didapat ditempatkan dalam diagram interaksi kolom yang diperlihatkan Gambar 4.20. Koordinat yang didapat sudah menyentuh garis  $\rho$  ( $rho$ ) dari diagram interaksi, sehingga dapat disimpulkan Kolom KS1 yang digunakan pada Hotel *Sleeper Space* tidak kuat menahan *differential settlement* saat kedalaman 2 cm.



Gambar 4.20 Diagram Interaksi Kolom KS1 (2cm) Tanpa Beban Hidup

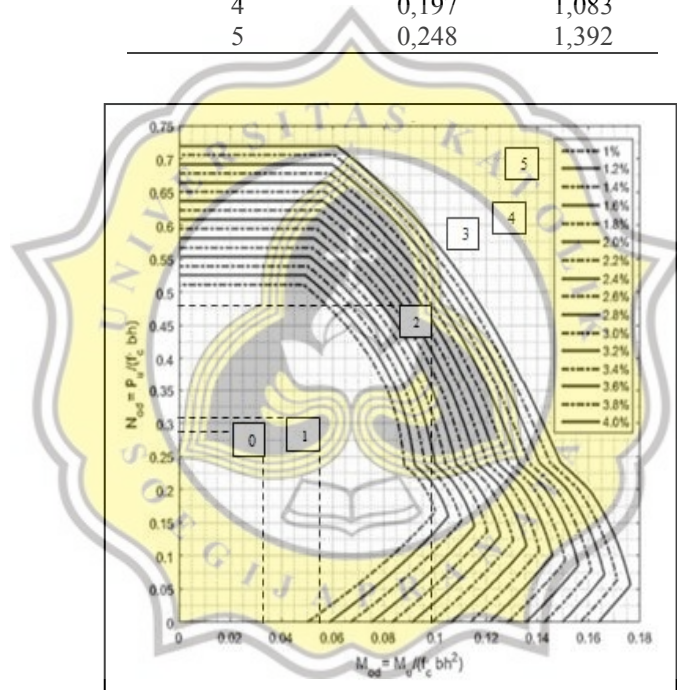
Berikut merupakan hubungan antara  $\frac{M_u}{f_c' \times b_w \times h_b^2}$  (Sumbu x) dan  $\frac{P_u}{f_c' \times b_w \times h_b}$  (Sumbu y) Kolom KS1 ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan yang diperlihatkan pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.21. Perhitungan ordinat diagram interaksi kolom menggunakan Persamaan 2.40 dan Persamaan 2.41. Koordinat yang didapat sudah



menyentuh garis  $\rho$  ( $\rho$ ) dari diagram interaksi pada saat mengalami penurunan 2 cm – 5 cm, sehingga dapat disimpulkan Kolom KS1 yang digunakan pada Hotel *Sleeper Space* tidak kuat menahan *differential settlement* saat kedalaman 2 cm – 5 cm.

Tabel 4.13 Koordinat Kolom KS1 Tanpa Beban Hidup

Penurunan (cm)	Sumbu x	Sumbu y
0	0,033	0,282
1	0,055	0,309
2	0,098	0,466
3	0,147	0,775
4	0,197	1,083
5	0,248	1,392



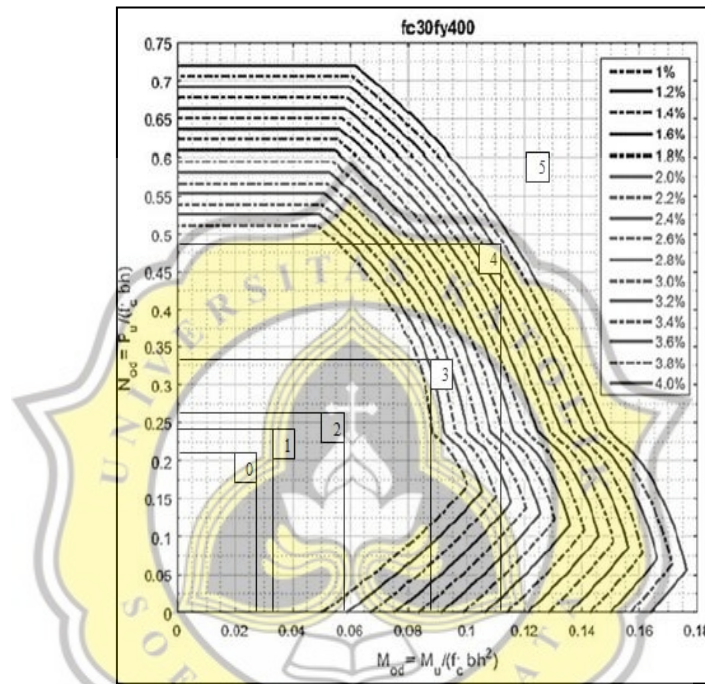
Gambar 4.21 Diagram Interaksi Kolom KS1 Tanpa Beban Hidup

Berikut merupakan grafik hubungan antara  $\frac{M_u}{f_c \times b_w \times h_b^2}$  (Sumbu x) dan  $\frac{P_u}{f_c \times b_w \times h_b}$  (Sumbu y) Kolom KS2 ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan yang diperlihatkan pada Tabel 4.14 dan Gambar 4.22. Koordinat yang didapat sudah menyentuh garis  $\rho$  ( $\rho$ ) dari diagram interaksi pada saat mengalami penurunan 3 cm – 5 cm, sehingga dapat disimpulkan Kolom KS2 yang digunakan pada Hotel *Sleeper Space* tidak kuat menahan *differential settlement* saat kedalaman 3 cm – 5 cm.



Tabel 4.14 Koordinat Kolom KS2 Tanpa Beban Hidup

Penurunan (cm)	Sumbu x	Sumbu y
0	0,026	0,229
1	0,034	0,248
2	0,058	0,269
3	0,086	0,332
4	0,116	0,486
5	0,146	0,640



Gambar 4.22 Diagram Interaksi Kolom KS2 Tanpa Beban Hidup

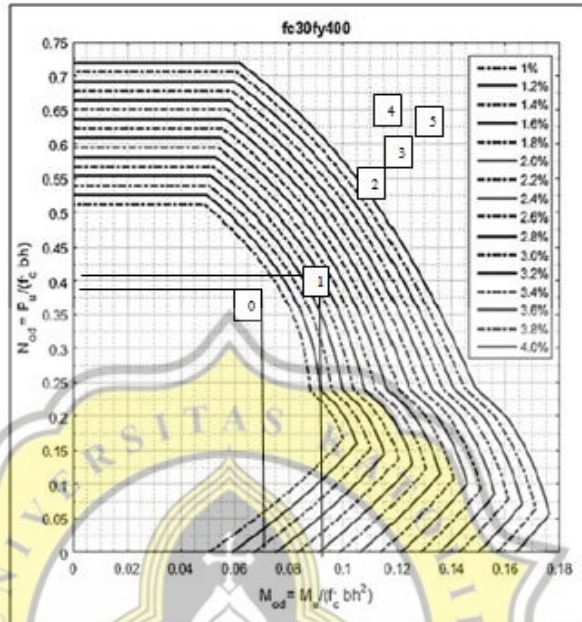
Berikut merupakan grafik hubungan antara  $\frac{M_u}{f_c \times b_w \times h_b^2}$  (Sumbu x) dan  $\frac{P_u}{f_c \times b_w \times h_b}$  (Sumbu y) Kolom KT ketika mengalami penurunan pada kolom baris as A dan sesudah mengalami penurunan yang diperlihatkan pada Tabel 4.15 dan Gambar 4.23. Koordinat yang didapat sudah menyentuh garis  $\rho$  (*rho*) dari diagram interaksi pada saat mengalami penurunan 1 cm – 5 cm, sehingga dapat disimpulkan Kolom KT yang digunakan pada Hotel *Sleeper Space* tidak kuat menahan *differential settlement* saat kedalaman 1 cm – 5 cm.

Tabel 4.15 Koordinat Kolom KT Tanpa Beban Hidup

Penurunan (cm)	Sumbu x	Sumbu y
0	0,074	0,392



1	0,096	0,412
2	0,118	1,61
3	0,277	2,284
4	0,375	2,962
5	0,473	3,639



Gambar 4.23 Diagram Interaksi Kolom KT Tanpa Beban Hidup

Rekap kesimpulan hasil diagram interaksi kolom sebelum mengalami penurunan dan sesudah mengalami penurunan tanpa ada beban hidup didalamnya, diperlihatkan pada Tabel 4.16. Kolom dinyatakan masih aman apabila ordinat belum menyentuh garis  $\rho$  (*rho*) diagram interaksi dan kolom dinyatakan tidak aman apabila pada saat penurunan 1 cm - 5 cm titik ordinat menyentuh atau melebihi garis  $\rho$  (*rho*) diagram interaksi.

Tabel 4.16 Rekap Hasil Diagram Interaksi Kolom Tanpa Beban Hidup

Penurunan (cm)	Kolom KS1	Kolom KS2	Kolom KT
0	Aman	Aman	Aman
1	Aman	Aman	Tidak Aman
2	Tidak Aman	Aman	Tidak Aman
3	Tidak Aman	Tidak Aman	Tidak Aman
4	Tidak Aman	Tidak Aman	Tidak Aman
5	Tidak Aman	Tidak Aman	Tidak Aman