JURNAL KACAPURI
JURNAL KEILMUAN TEKNIK SIPIL
Volume 3 Nomor 2 Edisi Desember 2020

PEMODELAN KERUSAKAN BANGUNAN AKIBAT PENURUNAN PONDASI DI LAHAN BASAH KOTA BANJARMASIN

Darmansyah Tjitradi[1], Eliatun[2], Oktafianus Steven Tjitradi[3]
[1] Staff Pengajar Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur Universitas Lambung Mangkurat
[2] Staff Pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat
[3] Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Lambung Mangkurat
E-mail: tjitradi_syah@ulm.ac.id/HP.08988802040

ABSTRAK

Kota Banjarmasin umumnya terdiri dari tanah rawa yang memiliki lapisan tanah keras yang sangat dalam sekali, yaitu berkisar antara 25 m sampai dengan 50 m, sehingga umumnya bangunan mengunakan pondasi tiang gelam dengan diameter berkisar antara 8 sampai dengan 15 cm dan panjang 4 m. Penggunaan pondasi tiang gelam hanya mengandalkan lekatan (friction), sehingga akan mengakibatkan bangunan mengalami penurunan pondasi yang tidak seragam (differential settlement), kemiringan, dan keretakan pada elemen struktur. Penurunan pondasi ini akan dimodelkan dengan software ANSYS dengan mengambil limabelas model struktur bangunan dengan dinding bata yang akan dibebani dengan beban standar bangunan menurut SNI 1727:2013, dan beban akibat penurunan tumpuan. Permodelan ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan balok sloof terhadap pola kerusakan struktur bangunan yang mengalami penurunan pondasi yang tidak seragam di tanah lunak. Hasil dari penelitian ini adalah penggunaan balok sloof pada pondasi yang mengalami penurunan tidak seragam akan mempengaruhi pola kerusakan elemen struktur, sedangkan pada pondasi yang tidak mengalami penurunan penggunaan balok sloof tidak mempengaruhi pola kerusakan elemen struktur tetapi akan meningkatkan derajat ketidaktentuan statis struktur. Pola kerusakan dinding bata umumnya mempunyai pola retak diagonal, dan berdasarkan pola tegangan Von Misses dapat diketahui lokasi elemen struktur yang berpotensi mengalami kerusakan.

Kata kunci: retak, dinding bata, penurunan pondasi, ANSYS

ABSTRACT

The city of Banjarmasin consists of swampy-area soil with the bedrock layer located so deep, namely, between 25 m and 50 m below the surface. Hence, it is common that buildings in this city use foundations of gelam piles 8 cm to 15 cm in diameter and 4 m in length. The use of gelam piles relies only on the friction which leads to the building foundation being susceptible to differential settlement. Here, this settlement will be modelled with the help of the software ANSYS and by considering fifteen building structures having brick walls that are loaded according to SNI 1727:2013 standards loads and loads due to support settlement. This modelling aims to establish the effect of using tie beams on damage patterns on building structures that experience differential settlement on soft soil. The result suggests that the use of tie beams in foundations that experience differential settlement affects damage patterns in structural elements, while in foundations without such settlement the use of tie beams does not bring any effect on the damage patterns but increases the structural static indeterminacy instead. The damage of brick walls usually consists of diagonal cracks, and based on the Von Misses stress pattern, structural elements that are potentially susceptible to damage can be located.

Keywords: crack, brick wall, foundation settlement, ANSYS

PENDAHULUAN

Kota Banjarmasin merupakan daerah dengan jenis tanah gambut dengan daya dukung tanahnya sangat lunak sekali dan hampir semua tanahnya merupakan daerah rawa yang tanahnya. Daya dukung tanah kerasnya terletak sangat jauh sekali yaitu berkisar antara 25 m sampai dengan 50 m, sehingga pondasi yang biasa digunakan termasuk kategori pondasi dalam. Pondasi dalam yang biasa digunakan untuk membangun suatu bangunan adalah pondasi tiang yang hanya mengandalkan lekatan (friction). Untuk membangun rumah tinggal masyarakat kota Banjarmasin umumnya menggunakan pondasi tiang kayu gelam yang berasal dari pohon Galam yang tumbuh di daerah rawa dengan diameter berkisar antara 8 sampai dengan 15 cm, pondasi tersebut kemudian dihubungkan dengan balok sloof agar apabila terjadi penurunan pondasi diharapkan terjadi penurunan pondasi yang seragam. Sebagai akibat dari penggunaan pondasi tiang yang hanya mengandalkan lekatan dan balok sloof, maka di kota Banjarmasin banyak sekali terdapat bangunan miring dan elemen-elemen struktur yang mengalami keretakan seperti balok, kolom, pondasi dan dinding bata. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan balok sloof dan tanpa sloof terhadap pola kerusakan struktur bangunan satu bentang dan dua bentang (lihat Gambar 1) yang mengalami penurunan pondasi yang tidak seragam di tanah lunak kota Banjarmasin. Pemodelan kerusakan bangunan dilakukan dengan membuat model rangka struktur beton bertulang dengan menggunakan software ANSYS.

Gambar 1. Bangunan Beton Bertulang satu bentang balok dan dua bentang balok di kota Banjarmasin

TINJAUAN PUSTAKA

Penurunan Maksimum Pondasi Bangunan

Penurunan izin dari suatu bangunan, bergantung kepada beberapa faktor yang meliputi jenis, tinggi, kekakuan, fungsi bangunan, serta besar dan kecepatan penurunan. Jika penurunan berjalan lambat, semakin besar kemungkinan struktur untuk menyesuaikan diri terhadap penurunan yang terjadi tanpa adanya kerusakan struktur oleh pengaruh rangkak atau (creep). Oleh karena itu dengan alasan tersebut kriteria penurunan pondasi pada tanah pasir dan pada tanah lempung berbeda.

Skempton dan MacDonal (1955) menyarankan batas-batas penurunan maksimum seperti yang disajikan pada Tabel 1 berikut ini. Dengan menggunakan nilai batas penurunan maksimum pada

Tabel 2.1 maka dapat menjadi dasar dalam permodelan penurunan pondasi pada tanah lempung sebesar 65 sampai dengan 100 mm.

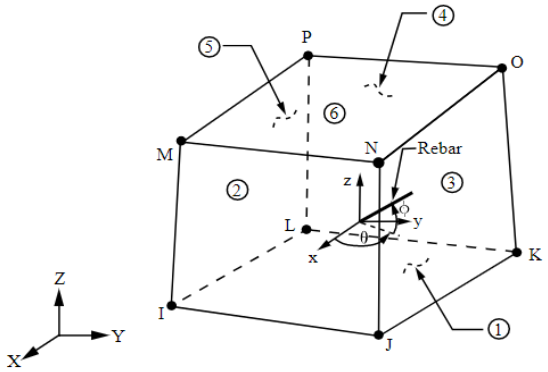
Tabel 1. Batas Penurunan Maksimum

Jenis Pondasi	Batas Penurunan Maksimum (mm)
Pondasi terpisah pada tanah lempung	65
Pondasi terpisah pada tanah pasir	40
Pondasi rakit pada tanah lempung	65-100
Pondasi rakit pada tanah pasir	40-65

Permodelan Struktur di ANSYS

Material Beton Bertulang

Untuk memodelkan material beton bertulang digunakan model 8 elemen Solid (SOLID65) dengan tiga derajat kebebasan pada setiap titiknya dan terjadi translasi pada arah x, y, and z (lihat Gambar 2). Elemen ini juga mempunyai kemampuan untuk berdeformasi plastis, retak dalam arah x, y, dan z. (L. Dahmani, et.al, 2010).



Gambar 2. Model 3D Elemen Beton SOLID 65

Model kurva tegangan-regangan beton yang digunakan adalah model tegangan-regangan beton yang tidak terkekang menurut Kent-Park (1971) (Park, R., dan T. Paulay, 1975), yaitu:

a) Daerah AB: $\varepsilon_c \leq 0{,}002$

$$f_c = f_c^{'} \cdot \left[\frac{2 \cdot \varepsilon_c}{0{,}002} - \left(\frac{\varepsilon_c}{0{,}002} \right)^2 \right] \quad (1)$$

b) Daerah BC: $0{,}002 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{50u}$

$$f_c = f_c^{'} \cdot \left[1 - z \cdot \left(\varepsilon_c - 0{,}002 \right) \right] \quad (2)$$

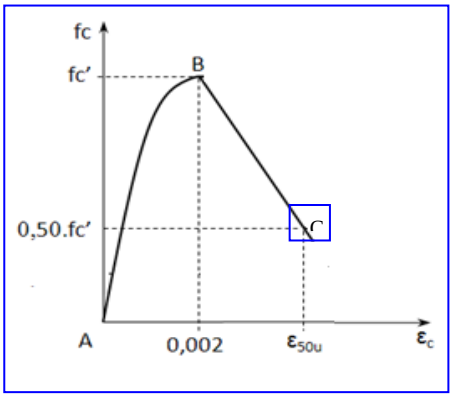
Dimana:

$$z = \frac{0{,}50}{\frac{3 + 0{,}002 \cdot f_c^{'}}{f_c^{'} - 1000} - 0{,}002} \tag{3}$$

$$\varepsilon_{50u} = \frac{3 + 0{,}002 \cdot f_c^{'}}{f_c^{'} - 1.000} \tag{4}$$

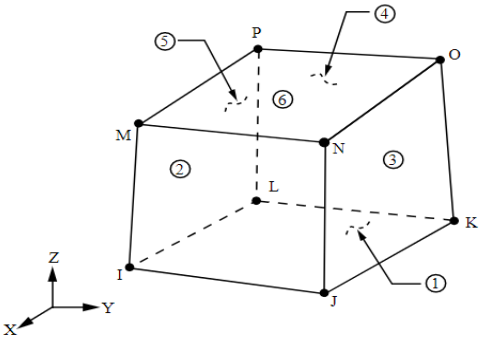
Data sifat penampang yang akan digunakan dalam permodelan ANSYS dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Data Material Beton SOLID 65

Linear Isotropic		
Modulus Elastisitas Beton, E_c	$2{,}35 \times 10^4$ MPa	
Poisson Rasio, ν	0,20	
Density	$2{,}40 \times 10^{-5}$ N/mm^3	
Nonlinear – Elastic – Multininear Elastic		
Regangan, ε_c (mm/mm)	**Tegangan, f_c (MPa)**	
0	0	
0,0001	2,350	
0,0005	11,750	
0,0010	18,750	
0,0015	23,438	
0,0020	25	
0,0030	18,429	
0,0040	11,858	
Nonlinear – Inelastic – Non-metal plasticity – Concrete65		
Open shear transfer coefficient	0,20	
Closed shear transfer coefficient	0,60	
Uniaxial cracking stress	3,50 MPa	($f_r = 0{,}70 \cdot \sqrt{f_c'}$)
Uniaxial crushing stress	25 MPa	(f_c')
Tensile crack factor	0,60	

Material Tumpuan Baja (Support)

Untuk memodelkan tumpuan baja digunakan model 8 elemen Solid (SOLID185) dengan tiga derajat kebebasan pada setiap titiknya dan terjadi translasi pada arah x, y, and z (lihat Gambar 3). SOLID185 yang digunakan dalam kondisi linier dengan data seperti pada Tabel 3.



Gambar 3. Model 3D Elemen Baja

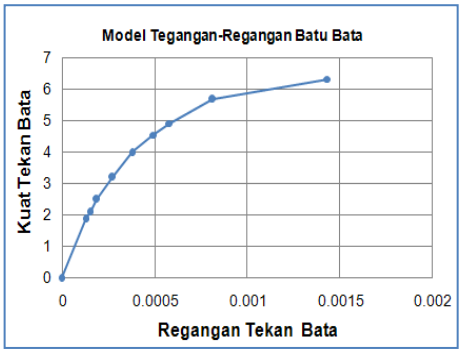
Tabel 3. Data Material Tumpuan Baja SOLID 185

Linear Isotropic		Kondisi Linear
Modulus Elastisitas Baja, E_s	$2x10^5$ MPa	
Poisson Rasio, ν_s	0,30	

Material Batu Bata (Brick)

Untuk memodelkan material batu bata digunakan model 8 elemen Solid (SOLID65) dengan tiga derajat kebebasan pada setiap titiknya dan terjadi translasi pada arah x, y, and z (lihat Gambar 2). Elemen ini juga mempunyai kemampuan untuk berdeformasi plastis, retak dalam arah x, y, dan z. (Uday Vyas, 2009). Data sifat penampang yang akan digunakan dalam permodelan ANSYS dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Material Batu Bata SOLID 65

Linear Isotropic		
Modulus Elastisitas Beton, E_c	$1.45x10^4$ MPa	
Poisson Rasio, ν	0.18	
Density	$1.675x10^{-5}$ N/mm^3	
Nonlinear – Elastic – Multilinear Elastic		
Regangan, ε_c (mm/mm)	**Tegangan, f_c (MPa)**	
0	0.000	
0.00013	1.885	
0.00015	2.175	
0.00019	2.500	
0.00027	3.210	
0.00038	4.000	
0.00049	4.530	
0.00058	4.900	
0.00081	5.700	
0.00143	6.300	
Nonlinear – Inelastic – Non-metal plasticity – Concrete 65		
Open shear transfer coefficient	0.2	
Closed shear transfer coefficient	0.5	
Uniaxial cracking stress	0.71 MPa	
Uniaxial crushing stress	5 MPa	

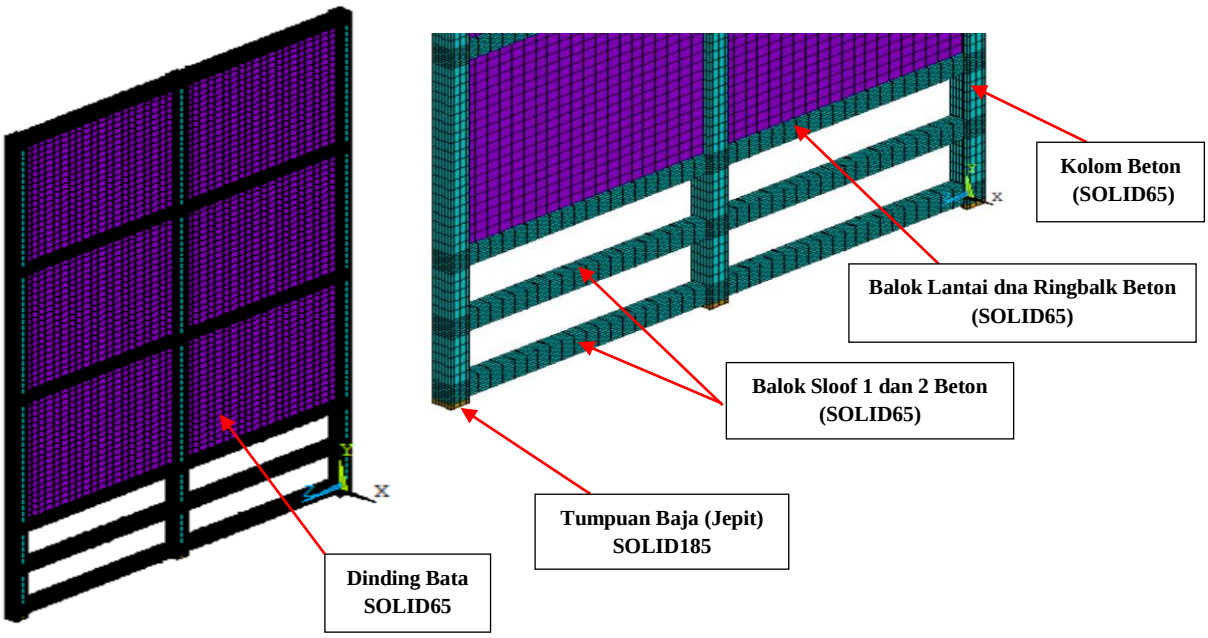
METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah:

1) Studi literatur dilakukan dengan mendalami materi yang relevan dengan penelitian, yang meliputi berbagai buku teks, jurnal ilmiah, peraturan dan Standar Nasional maupun Internasional.
2) Melakukan analisis pembebanan struktur dengan fungsi kantor menurut SNI 1727:2013
3) Membuat permodelan struktur bangunan dengan dinding bata dengan menggunakan software ANSYS (lihat Tabel 4, dan Gambar 4);
4) Membuat permodelan struktur bangunan dengan dinding bata dengan variasi penurunan pondasi (lihat Tabel 5);
5) Mengkaji hasil ANSYS berupa pola retak balok, kolom, dinding bata, beban, deformasi, dan tegangan yang terjadi;
6) Membuat kesimpulan hasil dari permodelan sesuai dengan tujuan.

Tabel 4. Data Permodelan Struktur Beton Bertulang dengan ANSYS

Material	Elemen Struktur	Dimensi	Element Type ANSYS
Beton	Ringbalk	200x400x4000	SOLID65
	Balok	200x400x4000	SOLID65
	Sloof 1 dan 2	200x400x4000	SOLID65
	Kolom	300x300x4000	SOLID65
Baja	Tumpuan	300x300x100	SOLID185



Gambar 4. Permodelan Struktur Beton Bertulang dengan balok sloof, dan dinding bata menggunakan ANSYS

Dalam penelitian ini diambil kasus struktur beton bertulang satu bentang dan dua bentang yang tumpuannya mengalami penurunan akibat daya dukung tanahnya lunak seperti kasus di Banjarmasin. Konfigurasi model struktur beton bertulang dengan variasi penurunan tumpuan dapat dilihat pada Gambar 4 dan Tabel 5 nilai penurunan diambil berdasarkan Skempton dan MacDonal (1955) yang menyarankan batas-batas penurunan maksimum berkisar antara 40 s.d. 100 mm (Hardiyatmo, H. C, 2002).

Model bangunan PB1-S2-0, PB1-S1-0, PB1-TS-0, PB2-S2-0, PB2-S1-0, dan PB2-TS-0 merupakan perwakilan kondisi bangunan yang berada di tanah keras atau memiliki daya dukung tanah yang sangat besar sehingga diasumsikan tidak terjadi penurunan pondasi (dimodelkan jenis tumpuan jepit). Sedangkan model bangunan yang lainnya merupakan perwakilan dari struktur bangunan yang mengalami penurunan yang tidak seragam (dimodelkan jenis tumpuan jepit namun mengalami penurunan vertikal).

Tabel 5. Konfigurasi Model Struktur Beton Bertulang

No.	Kode Benda Uji	Beban Akibat Penurunan Tumpuan (mm)		
		Tumpuan Kiri (P)	Tumpuan Tengah (T)	Tumpuan Kanan (P)
1	PB1-S2-0	0	-	0
2	PB1-S2-P	0	-	100
3	PB1-S1-0	0	-	0
4	PB1-S1-P	0	-	100
5	PB1-TS-0	0	-	0
6	PB1-TS-P	0	-	100
7	PB2-S2-0	0	0	0
8	PB2-S2-T	0	100	0
9	PB2-S2-P	0	0	100
10	PB2-S1-0	0	0	0
11	PB2-S1-T	0	100	0
12	PB2-S1-P	0	0	100
13	PB2-TS-0	0	0	0
14	PB2-TS.T	0	100	0
15	PB2-TS-P	0	0	100

Keterangan kode benda uji:

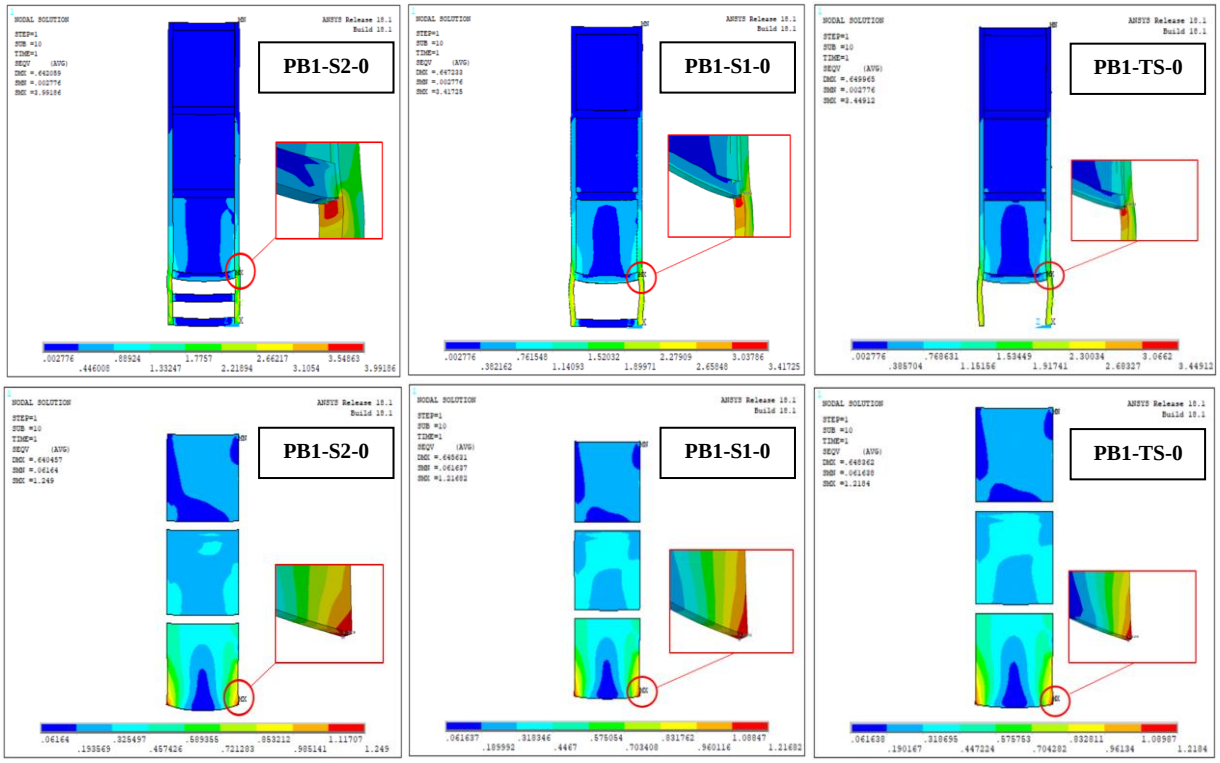
PB1 = Portal Satu Bentang, dan PB2 = Portal Dua Bentang,
S1 = Balok Sloof 1, S2 = Balok Sloof 2, dan TS = Tanpa Sloof,
0 = tanpa penurunan tumpuan, T = penurunan tumpuan tengah,
P = penurunan tumpuan pinggir/ tepi (kiri/kanan)

HASIL DAN PEMBAHASAN

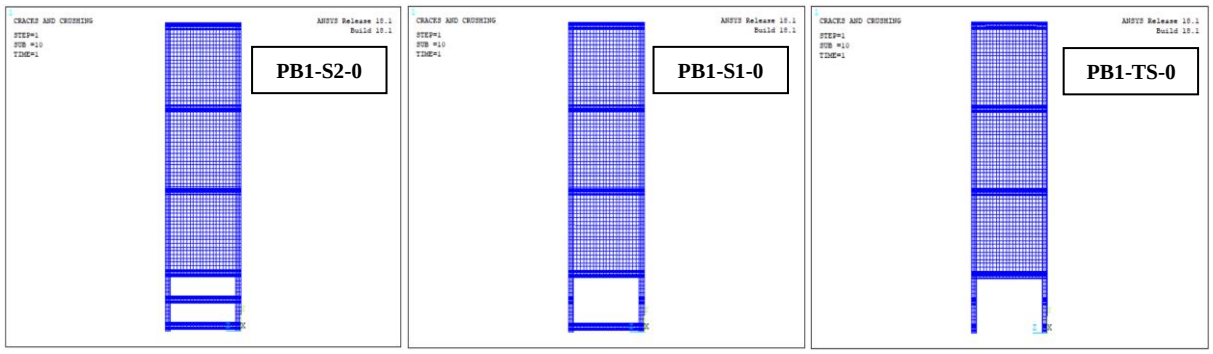
Berdasarkan hasil dari analisis software ANSYS pada kondisi beban ultimit dapat diketahui pola tegangan von misses, dan retak yang terjadi pada setiap model benda uji.

Portal Satu Bentang

a) Gambar 5 dan 6 memperlihatkan model bangunan portal satu bentang yang tidak mengalami penurunan tumpuan. Dari Gambar 5 terlihat intensitas tegangan von misses yang besar terjadi pada pertemuan kolom dengan balok lantai dasar (PB1-S2-0), yaitu sebesar 3,992 MPa, dan dibagian bawah pojok dinding bata pada kolom tepi, yaitu sebesar 1,249 MPa. Dan dari Gambar 6 terlihat bahwa struktur tidak mengalami keretakan, sehingga penggunaan balok sloof 1 dan 2 tidak berpengaruh pada kerusakan struktur.

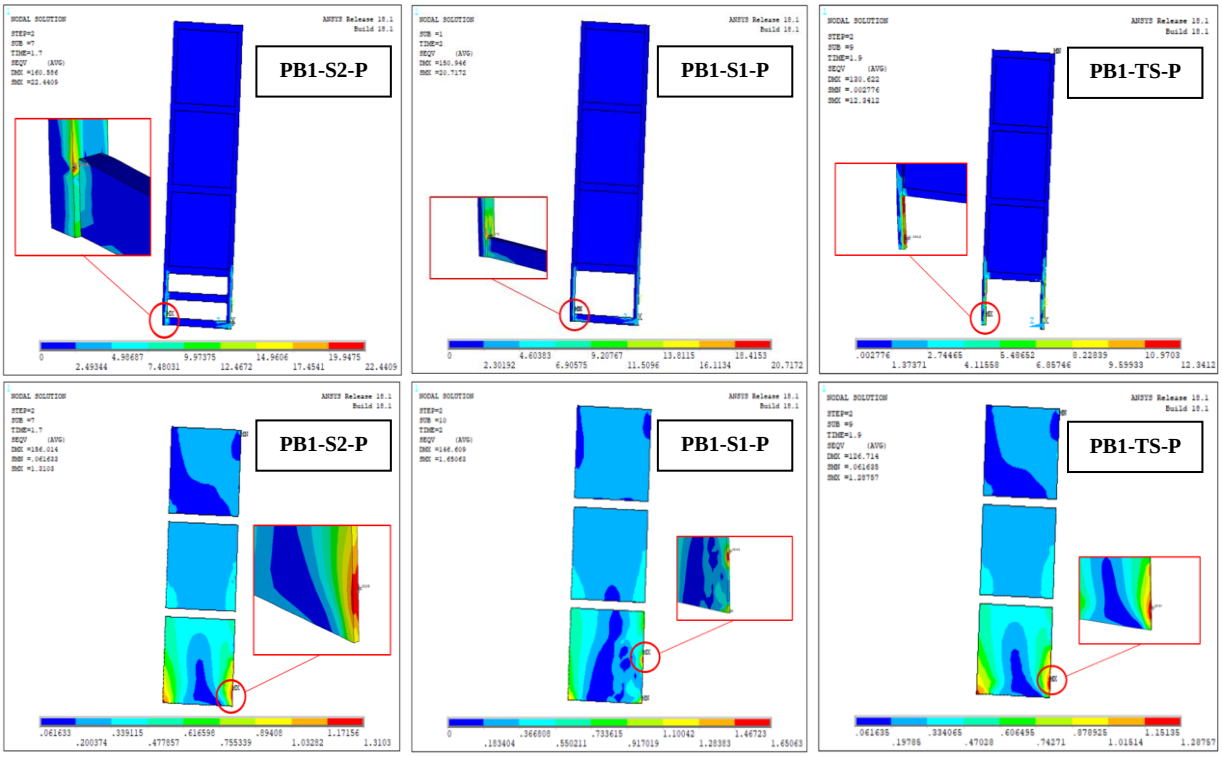


Gambar 5. Tegangan von misses portal satu bentang yang tidak mengalami penurunan tumpuan

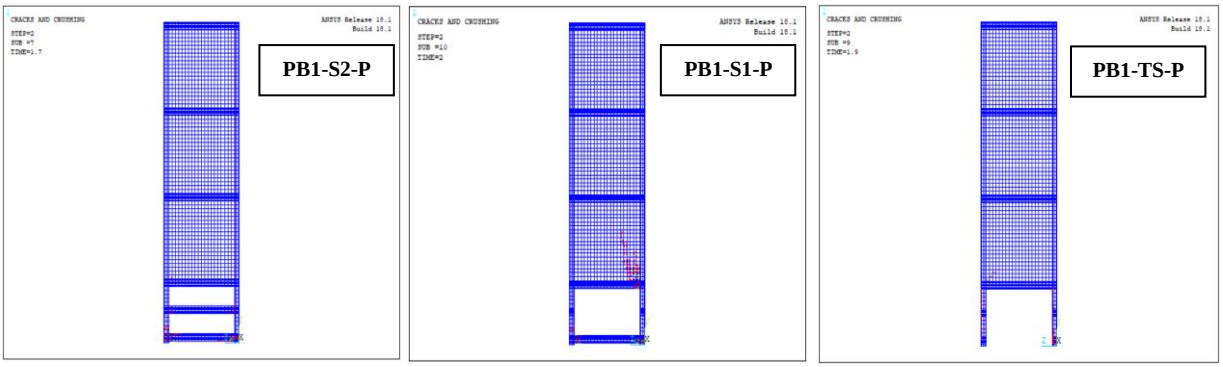


Gambar 6. Pola retak model portal satu bentang yang tidak mengalami penurunan tumpuan

b) Gambar 7 dan 8 memperlihatkan model bangunan portal satu bentang yang mengalami penurunan pada tumpuan kanan, penurunan maksimum terjadi pada model PB1-S2-P sebesar 42 mm, PB1-S1-P sebesar 40 mm, dan PB1-TS-P sebesar 36 mm. Dari Gambar 7 terlihat intensitas tegangan von misses yang besar terjadi pada pertemuan bagian bawah kolom yang tidak turun dengan balok sloof pertama, yaitu sebesar 22,441 MPa (PB1-S2-P), dan dibagian bawah sisi dinding bata pada kolom tepi yang turun, yaitu sebesar 1,651 MPa. (PB1-S1-P). Dan dari Gambar 8 terlihat bahwa bangunan yang menggunakan balok sloof 1 dan 2 kerusakan hanya terjadi pada kolom dan balok sloof (PB1-S2-P dan PB1-S1-P), sedangkan bangunan yang menggunakan balok sloof 1 (PB1-S1-P) dan tidak menggunakan balok sloof (PB1-TS-P) telah terjadi keretakan diagonal pada pojok bawah dinding bata membentuk huruf V terbalik, sehingga penggunaan balok sloof 1 dan 2 mempengaruhi pola kerusakan struktur.



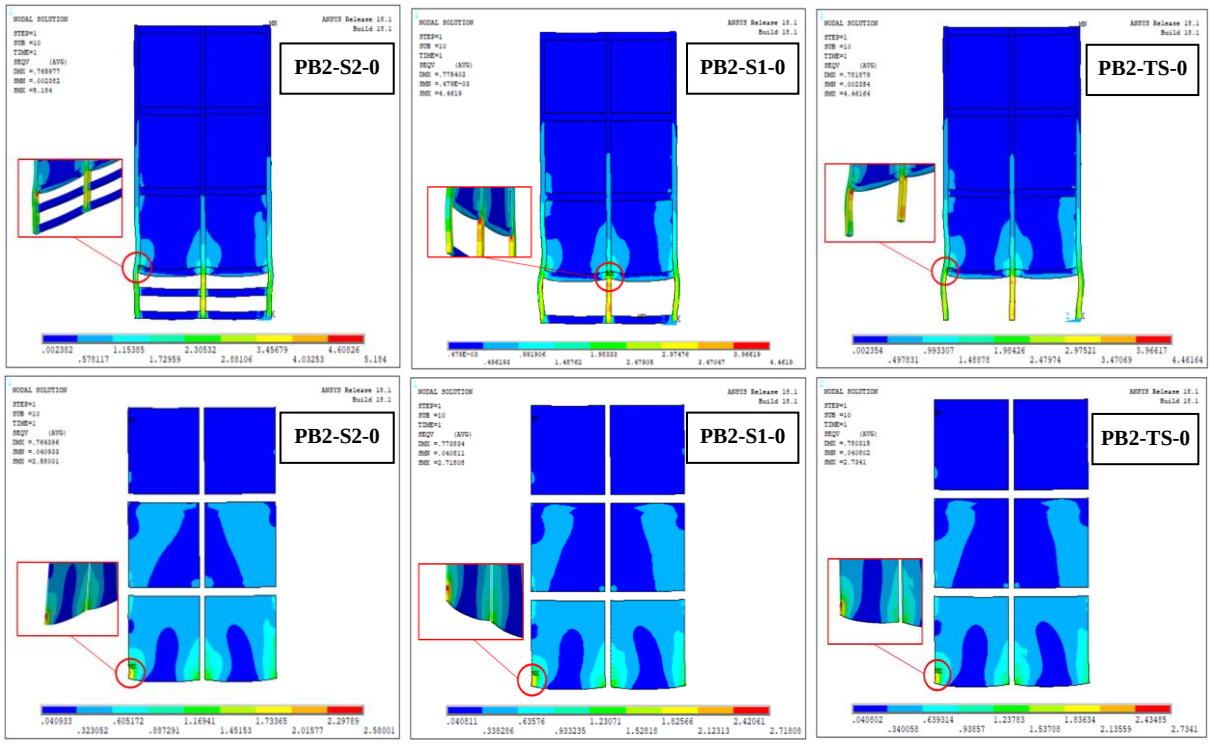
Gambar 7. Tegangan von misses model portal satu bentang yang mengalami penurunan tumpuan kanan



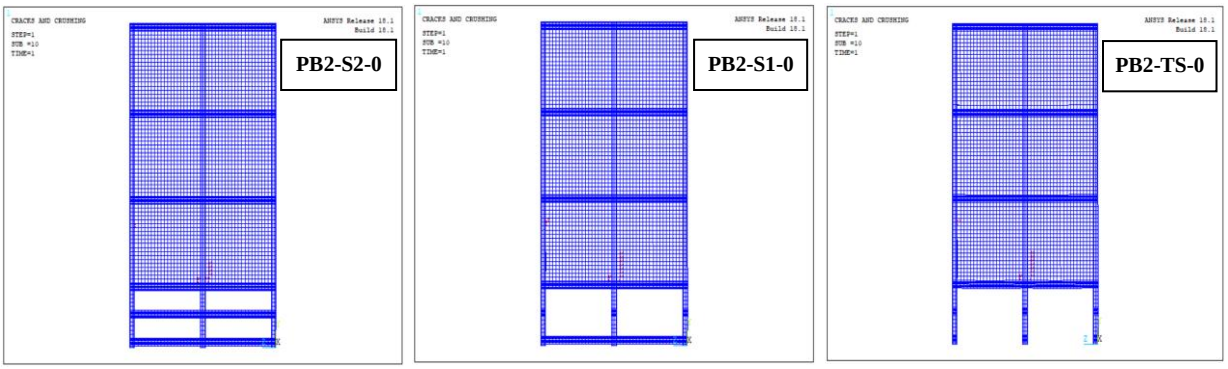
Gambar 8. Pola retak model portal satu bentang yang mengalami penurunan tumpuan kanan

Portal Dua Bentang

a) Gambar 9 dan 10 memperlihatkan model bangunan portal dua bentang yang tidak mengalami penurunan tumpuan. Dari Gambar 9 terlihat intensitas tegangan von misses yang besar terjadi pada pertemuan kolom tepi dengan balok lantai dasar, yaitu sebesar 5,184 MPa (PB2-S2-0), dan dibagian bawah pojok dinding bata pada kolom tepi, yaitu sebesar 2,734 MPa (PB2-TS-0). Dan dari Gambar 10 terlihat bahwa struktur mengalami pola keretakan yang sama yaitu terjadi keretakan dibagian kolom tengah pada pojok bawah dinding bata, sehingga penggunaan balok sloof 1 dan 2 tidak berpengaruh pada kerusakan struktur.

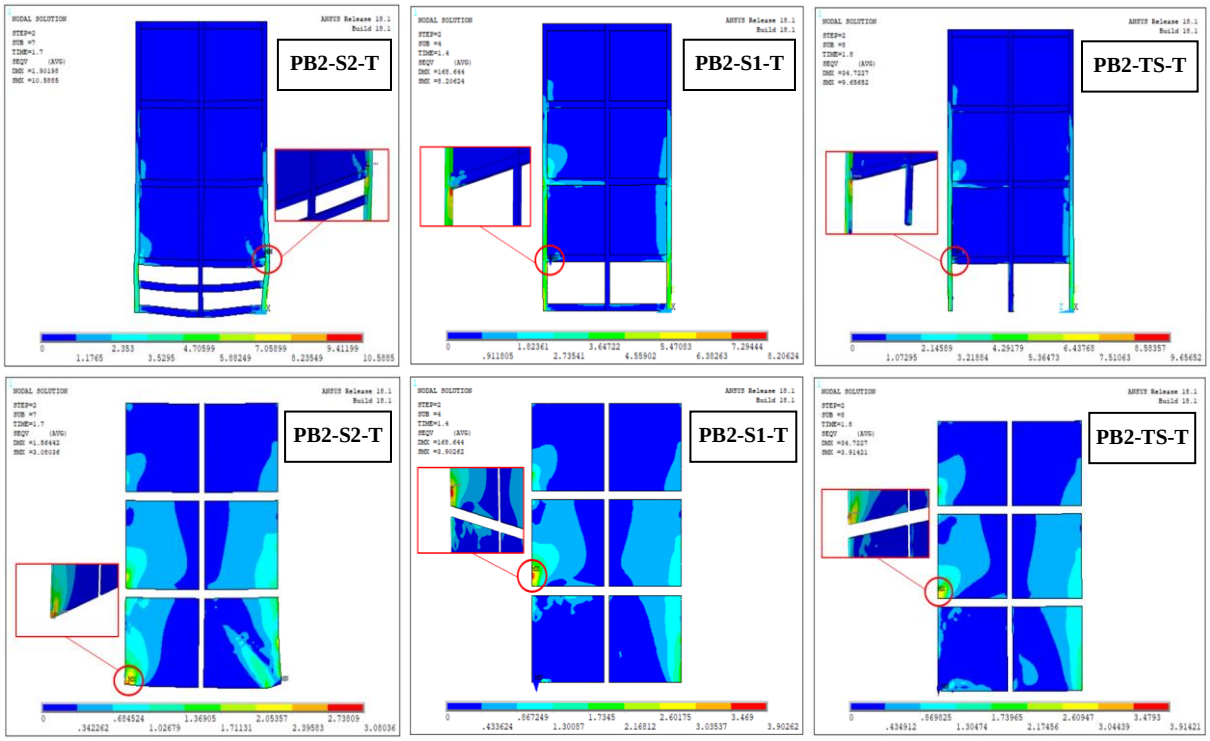


Gambar 9. Tegangan von misses model portal dua bentang yang tidak mengalami penurunan tumpuan

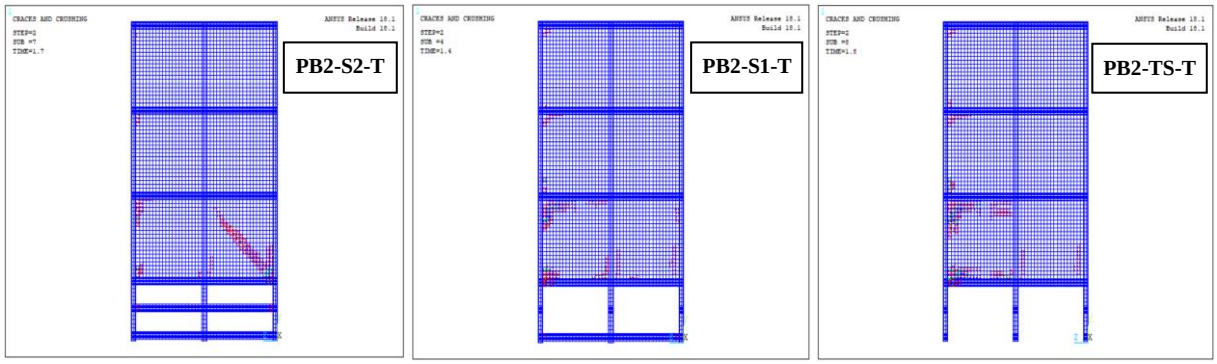


Gambar 10. Pola retak model portal dua bentang yang tidak mengalami penurunan tumpuan

b) Gambar 11 dan 12 memperlihatkan model bangunan dua bentang yang mengalami penurunan tumpuan tengah, penurunan maksimum terjadi pada model PB2-S2-T sebesar 1,4 mm, PB2-S1-T sebesar 1,6 mm, dan PB2-TS-T sebesar 1,6 mm. Dari Gambar 11 terlihat intensitas tegangan von misses yang besar terjadi pada pertemuan bagian bawah kolom tengah yang turun dengan balok sloof pertama, yaitu sebesar 10,589 MPa (PB2-S2-T), dan dibagian pojok dinding bata pada kolom tepi lantai 2 yang tidak turun, yaitu sebesar 3,914 MPa (PB2-TS.T). Dan dari Gambar 12 terlihat bahwa bangunan yang menggunakan balok sloof 1 dan 2 kerusakan hanya terjadi pada pojok bawah kolom tepi dinding bata dengan pola retak diagonal membentuk huruf terbalik V, sedangkan bangunan yang menggunakan balok sloof 1 dan tidak menggunakan balok sloof kerusakan hanya terjadi pada setiap pojok dinding bata, sehingga penggunaan balok sloof 1 dan 2 mempengaruhi pola kerusakan struktur.

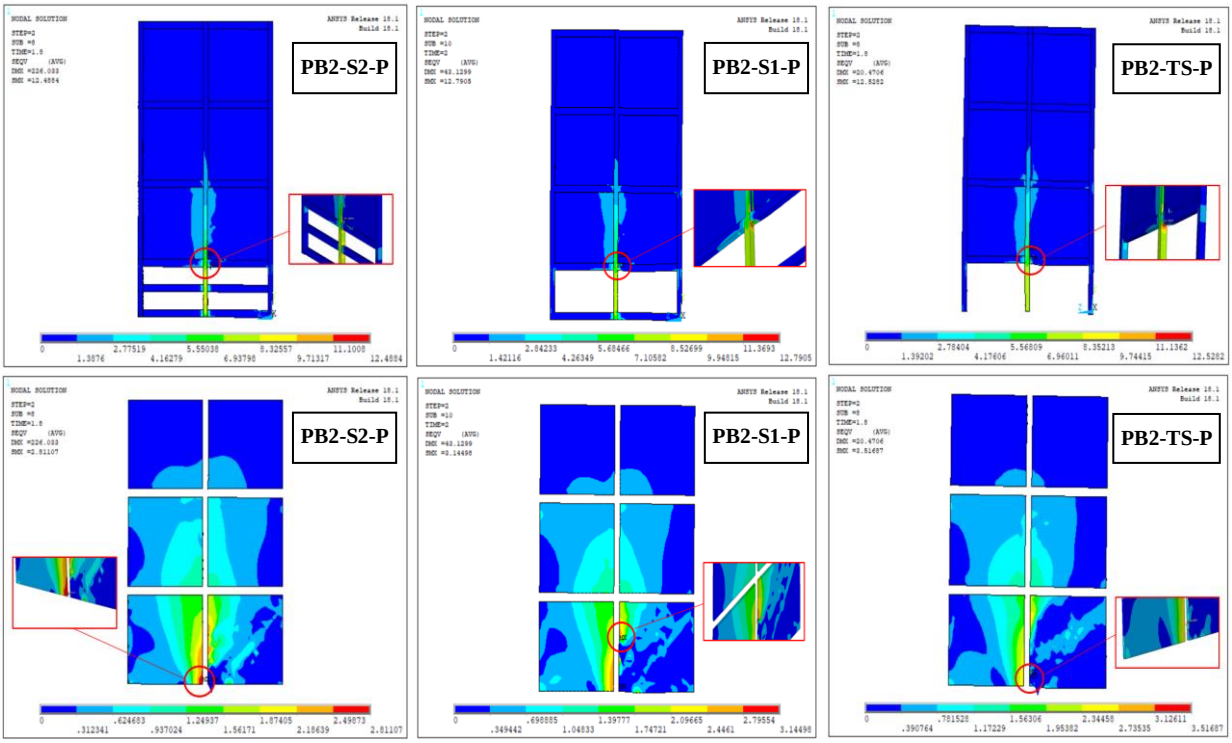


Gambar 11. Tegangan von misses model portal dua bentang yang mengalami penurunan tumpuan tengah

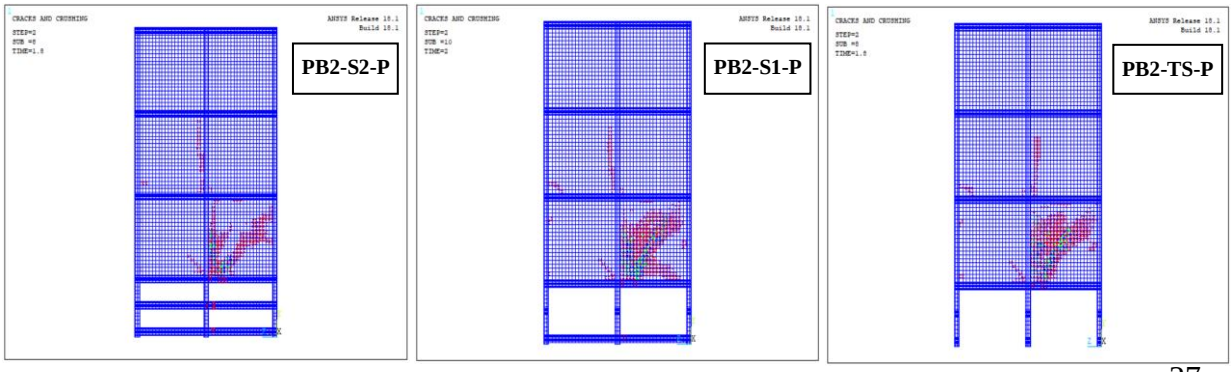


Gambar 12. Pola retak model portal dua bentang yang mengalami penurunan tumpuan tengah

c) Gambar 13 dan 14 memperlihatkan model bangunan dua bentang yang mengalami penurunan tumpuan tepi kanan, penurunan maksimum terjadi pada model PB2-S2-P sebesar 4 mm, PB2-S1-P sebesar 4 mm, dan PB2-TS-P sebesar 4 mm. Dari Gambar 13 terlihat intensitas tegangan yang besar terjadi pada pertemuan bagian bawah kolom tengah yang tidak turun dengan balok lantai dasar, yaitu sebesar 12,791 MPa (PB2-S1-P), dan dibagian sisi dinding bata pada kolom tengah yang tidak turun, yaitu sebesar 3,517 MPa. (PB2-TS-P). Dan dari Gambar 14 terlihat bahwa bangunan yang menggunakan balok sloof 1 dan 2 kerusakan terjadi pada bagian tumpuan balok sloof 1, 2 dan balok lantai dasar, dan pada pojok bawah kolom tengah dinding bata dengan pola retak diagonal membentuk huruf V, sedangkan bangunan yang menggunakan balok sloof 1 dan tidak menggunakan balok sloof kerusakan terjadi pada balok lantai dasar dan pada pojok bawah kolom tengah dinding bata dengan pola retak diagonal membentuk huruf V, sehingga penggunaan balok sloof 1 dan 2 memiliki pola kerusakan struktur yang sama yaitu pola retak diagonal pada dinding bata.



Gambar 13. Tegangan von misses model portal dua bentang yang mengalami penurunan tumpuan tepi kanan



Gambar 14. Pola retak model portal dua bentang yang mengalami penurunan tumpuan tepi kanan

PENUTUP

Kesimpulan

Dari hasil analisis permodelan software ANSYS terhadap struktur beton bertulang dengan dinding batu bata dapat disimpulkan, sebagai berikut:

a) Penggunaan balok sloof pada pondasi yang mengalami penurunan tidak seragam akan mempengaruhi pola kerusakan elemen struktur.
b) Penggunaan balok sloof pada pondasi yang tidak mengalami penurunan tidak mempengaruhi pola kerusakan elemen struktur tetapi akan meningkatkan derajat ketidaktentuan statis struktur.
c) Pola retak dinding bata yang terjadi pada bangunan satu bentang yang mengalami penurunan tumpuan kanan dan pada bangunan dua bentang yang mengalami penurunan tumpuan tengah adalah retak diagonal yang membentuk huruf V terbalik.
d) Pola retak dinding bata yang terjadi pada bangunan dua bentang yang mengalami penurunan tumpuan tepi adalah retak diagonal pada pojok bawah kolom tengah dinding bata dengan membentuk huruf V.
e) Lokasi elemen struktur yang berpotensi mengalami kerusakan dapat diketahui melalui hasil analisis tegangan von misses.

Saran

Perlu penelitian lanjutan mengenai:

a) Pola keruntuhan dinding bata dan komponen struktur akibat variasi penurunan pondasi dengan analisis 3D
b) Pola kerusakan bangunan akibat beban gempa dan beban penurunan pondasi yang tidak seragam yang berada ditanah keras.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada Lembaga Penelitian Universitas Lambung Mangkurat melalui Program Dosen Wajib Meneliti yang telah memberikan bantuan dana sehingga terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

1. Ch. V. Uday Vyas, B. V. Venkatarama Reddy, 2009. *Prediction of Solid Block Masonry Prism Compressive Strength Using Fe Model*, Materials and Structures (2010) 43:719–735.
2. Hardiyatmo, H. C, 2002. *Teknik Pondasi I*, Penerbit PT. Beta Offset, Yogyakarta.
3. I,Saifullah, M. Nasir-uz-zaman, S.M.K. Uddin, M.A. Hossain and M.H. Rashid, 2011. *Experimental and Analytical Investigation of Flexural Behavior of Reinforced Concrete Beam*, International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS Vol: 11 No: 01.
4. L. Dahmani, A. Khennane, and S. Kaci, 2010. *Crack Identification In Reinforced Concrete Beams Using Ansys Software, Strength of Materials*, Vol. 42, No. 2, Springer Science + Business Media, Inc.
5. Park, R., dan T. Paulay, 1975. *Reinforced Concrete Structures*, John Wiley & Sons Inc.
6. Skempton, A.W dan MacDonal, D.H., 1955, *A survey of Comparisons between Calculated and Observed Settlement of Structures on Clay*, Conf. on Correlation of Calculated and Observed tresses and Displacement, ICE, London, pp.318-337.
7. SNI 1727:2013. *Beban Minumum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain*, BSN.