

EVALUASI STRUKTUR GEDUNG KPKNL BONTANG DAN METODE PERBAIKANNYA

Yudi Pranoto¹

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Samarinda, Kampus Gunung Lipan
Jalan Ciptomangunkusumo, Samarinda 75131, Telp: 0541-260588, Fax: 0541-260355
e-mail: yudipranoto@polnes.ac.id

ABSTRAK

Kondisi tanah rawa yang ada di sebagian wilayah Kalimantan Timur, membuat perencana harus memperhitungkan dengan matang pondasi yang akan dipergunakan. Kesalahan dalam merencanakan sebuah pondasi dapat menyebabkan kerusakan yang disebabkan karena penurunan gedung. Gedung KPKNL Bontang merupakan salah satu gedung yang mengalami kerusakan akibat adanya penurunan gedung. Sebagian gedung mengalami kerusakan, baik kerusakan struktur maupun kerusakan arsitektural. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisa penyebab utama kerusakan gedung, menentukan keamanan pemanfaatan gedung dan mendapatkan solusi metode perbaikannya.

Penelitian ini dilakukan melalui evaluasi kerusakan struktur eksisting bangunan gedung yang diawali dengan survey lapangan dan pengujian pada gedung KPKNL Bontang untuk mendapatkan kekuatan tekan beton aktual dan jumlah tulangan yang terpasang dalam elemen struktur di lapangan. Dari data yang didapatkan di lapangan kemudian dilakukan permodelan 3 dimensi menggunakan software SAP V.14. dan analisa struktur untuk menentukan tingkat keamanan gedung dan menentukan metode perbaikan yang akan dipergunakan. Dalam penilaian ini, gedung Cipta dievaluasi berdasarkan persyaratan struktur rangka pemikul momen khusus (SRPMK).

Hasil analisis menunjukkan bahwa gedung KPKNL Bontang telah mengalami penurunan yang disebabkan karena kesalahan dalam perencanaan pondasi dalam, sehingga perlu dilakukan perkuatan pada pondasi untuk mencegah penurunan lebih dalam. Sedangkan untuk struktur atasnya masih mampu untuk menahan beban rencana.

Kata kunci: Gedung KPKNL Bontang, Metode Perbaikan, Pengujian, SRPMK.

1. PENDAHULUAN

Kantor Pelayanan Kekayaan Negara dan Lelang (KPKNL) beralamat di Jalan M.H. Thamrin Nomor 43 Bontang, Kalimantan Timur. Kantor ini ditempati sejak tahun 2013. Seiring berjalannya waktu gedung mengalami kerusakan terutama kerusakan arsitektural maupun kerusakan struktur. Kerusakan arsitektur berupa retak rambut di dinding maupun di balok dan kolom. Untuk kerusakan struktur yaitu gedung mengalami penurunan, hal ini disebabkan karena kondisi tanah existing yang rawa sehingga sangat

rawan apabila dalam mendesain pondasi tidak tepat. Dengan adanya kerusakan tersebut perlu kiranya untuk dilakukan kajian terhadap kelayakan gedung KPKNL Bontang dan bagaimana solusi perbaikannya. Hal inilah yang melatarbelakangi perlunya diadakan penelitian tentang kerusakan gedung KPKNL Bontang. Hasil yang diharapkan adalah dapat diketahui kelayakan gedung, dan bagaimana solusi yang tepat apabila gedung sudah mengalami kerusakan.



(a)



(b)

Gambar 1. (a) Lokasi Gedung KPKNL Bontang; (b) Tampak Bangunan KPKNL Bontang

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Evaluasi kekuatan struktur gedung telah dilakukan oleh banyak peneliti diantaranya yaitu H.A Fauzie meneliti tentang kinerja perbaikan struktur beton gedung pendingin air [1]. A.N. Refani et al meneliti tentang evaluasi kelayakan struktur gedung tinggi yang terbelah selama 15 tahun terhadap gempa berdasarkan SNI 1726 tahun 2012[2], Fauzan meneliti tentang analisa kegagalan struktur dan retrofitting bangunan masjid raya andalas padang pasca gempa 30 september 2009[3]. A.N. Refani et al, meneliti tentang evaluasi struktur bangunan gedung beton bertulang berusia 50 tahun berdasarkan SNI 1726 tahun 2012 dan SNI 2847 tahun 2013[4]. S. Samsunan meneliti tentang evaluasi kerusakan beton bertulang pada kolom bangunan gedung bekas mess korem 012 TU Ujung karang Meulaboh akibat terkena tsunami [5]. A. Widyaningrum dan A. Haryanto meneliti tentang evaluasi kinerja gedung dinas kependudukan dan catatan sipil Purbalingga dengan analisis pushover [6]. Febrian Anas Ismail meneliti tentang identifikasi

kegagalan, alternatif perbaikan dan perkuatan pada struktur gedung Poltekes SITEBA Padang [7]. S. Samsunan meneliti tentang evaluasi kerusakan akibat gempa pada bangunan gedung bank aceh cabang sigli [8]. Z.A yanto et al meneliti tentang evaluasi kinerja struktur gedung rumah sakit paru sumatera barat dengan pushover analysis [9]. R. Rohman meneliti tentang evaluasi kinerja struktur gedung diagnostic center RSUD DR Sudono Madiun dengan pushover Analysis [10]. Yudi Pranoto meneliti tentang evaluasi kekuatan struktur bangunan gedung SMP N 19 Samarinda [11]. Yudi Pranoto meneliti tentang evaluasi penurunan gedung dan metode perbaikannya pada gedung kantor pos Balikpapan [12].

2.2. Evaluasi Kekuatan Gedung

Penilaian kekuatan penampang komponen struktur berdasarkan SNI-2847-2013[13]. Struktur atau komponen struktur dikatakan masih memenuhi persyaratan kekuatan jika kuat rencana rencana lebih besar atau minimal sama dengan kuat perlu, yang

dihitung berdasarkan beban-beban rencana yang akan bekerja (beban mati, hidup, angin, gempa, beban khusus), atau dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Kuat perlu} \leq \text{Kuat rencana}$$

$$(R_u) \leq (\phi \cdot R_n)$$

dengan :

R_n : kuat rencana;
 R_u : kuat perlu atau gaya dalam akibat beban kerja;
 ϕ : faktor reduksi kekuatan.

Selain kekuatan juga harus dipenuhi syarat kekakuan bangunan, dimana besarnya lendutan maksimum harus lebih kecil dibandingkan dengan lendutan ijin. Perbaikan dan perkuatan adalah untuk meningkatkan kinerja struktur. Perbaikan bertujuan untuk mengembalikan, sedangkan perkuatan bertujuan untuk meningkatkan kinerja struktur. Persyaratan bahan yang digunakan untuk perbaikan dan perkuatan antara lain: susut kecil, dapat melekat dengan baik, sifat muai dan modulus elastisitas tidak jauh dengan bahan yang diperbaiki, permeabilitas rendah, dan tahan lama.

2.3. Pengujian ketegakan bangunan

Untuk mengetahui ketegakan bangunan, maka gedung dilakukan pengukuran menggunakan total station. Dari hasil pengukuran akan didapatkan kemiringan gedung. Kemiringan ini harus lebih kecil dari kemiringan yang diijinkan sesuai SNI 03-1729-2002, lihat tabel 1, di bawah ini.

Tabel 1. Tabel lendutan ijin struktur gedung

Komponen struktur dengan beban tidak terfaktor	Beban Tetap	Beban Sementara ^a
Balok pemikul dinding atau finishing yang getas	L/360	-
Balok Biasa	L/240	-
Kolom dengan analisis orde pertama	h/500	h/200
Kolom dengan analisis orde kedua	h/300	h/200

2.4. Pengujian Mutu Beton

Pengambilan sampel bor inti beton dilakukan berdasarkan ASTM C42-90. Sampel beton yang di ambil di lapangan kemudian dilakukan pengujian di

laboratorium dengan alat *universal testing machine* (UTM). Kuat tekan beton didapatkan dengan membagi beban tekan maksimum dengan luas permukaan tekan dari sample. Begitu pula apabila terdapat sampel baja tulangan yang ikut terambil, maka sampel tersebut nantinya akan digunakan sebagai benda uji tarik baja tulangan.

2.5. Pengujian Mutu Beton

Pengujian tingkat kerapatan beton menggunakan alat *Ultrasonic Pulse Velocity* (UPV) dilakukan dengan mengacu pada ketentuan ASTM C-597. Pengujian ini bertujuan untuk memeriksa kepadatan beton berdasarkan kecepatan dari gelombang ultrasonik dengan frekwensi 50 KHz. Kecepatan gelombang tersebut akan semakin cepat bila melalui beton yang kepadatannya cukup tinggi dan begitu juga sebaliknya terhadap beton yang kepadatannya kurang. Adapun pengukuran dilakukan dengan cara tidak langsung (*indirect*) di mana posisi transmitter dan receiver diletakkan pada bidang uji yang sama. Dari hasil test akan didapatkan kecepatan rambat gelombang ultrasonik (V, m/s) dari setiap lokasi yang diuji dan hasilnya dibandingkan dengan klasifikasi hasil UPV menurut BS 1881-1986 (2004).

Tabel 2. Tabel klasifikasi beton berdasarkan kecepatan gelombang

Kecepatan V (m/s)	Klasifikasi
$V < 2130$	Kurang
$2130 < V < 3060$	Cukup
$3060 < V < 3670$	Cukup Baik
$3670 < V < 4570$	Baik
$V > 4570$	Baik sekali

2.6. Kondisi tulangan terpasang

Untuk mengetahui posisi penulangan pada kolom, balok dan plat serta untuk mengetahui tebal selimut beton dilakukan pengujian rebar detector. Pengukuran ini menggunakan alat dari PROCEQ. Alat ini memanfaatkan sensor gelombang untuk mendeteksi posisi tulangan. Sehingga bisa digambarkan posisi tulangan utama, tulangan geser dan tebal selimut beton.

2.7. Analisa Struktur

Analisa struktur bangunan menggunakan peraturan gempa sesuai SNI 1726:2012. Besarnya gaya gempa merujuk pada persamaan sebagai berikut :

$$V = C_s \cdot W_t$$

Dimana :

C_s = koefisien respons seismik

W_t = berat total gedung

Kontrol Periode Alami Struktur

Nilai T (waktu getar alami struktur) dibatasi oleh waktu getar alami fundamental untuk mencegah penggunaan struktur yang terlalu fleksibel dengan perumusan dalam SNI 1726-2012[14] sebesar :

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

Dimana :

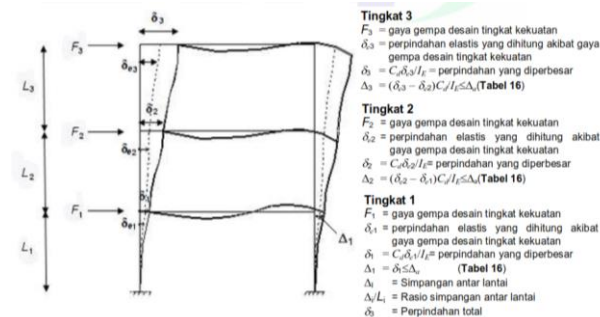
h_n = ketinggian struktur (103 m)

C_t = parameter pendekatan tipe struktur (rangka beton pemikul momen sebesar 0.0466)

x = parameter pendekatan tipe struktur (rangka beton pemikul momen sebesar 0.9)

Kontrol Simpangan Antar Lantai

Simpangan antar lantai (Δ), akibat gempa yang ditinjau dengan analisa elastis, yang ditunjukkan oleh gambar 6 tidak boleh melebihi simpangan antar lantai tingkat ijin (Δ_a).



Gambar 2. Penentuan Simpangan Antar Lantai
 (Sumber SNI 1726-2012)[14]

3. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahapan metode penelitian dari mulai persiapan sampai dengan pengambilan kesimpulan dan saran, adapun tahapan penelitian ini ada pada Gambar 1 adalah sebagai berikut:

3.1. Tahap pendahuluan

Tahapan ini merupakan tahapan pengumpulan data sekunder baik berupa gambar as built drawing maupun data RKS (rencana kerja dan syarat syarat), pengujian material baik tanah (soil test), uji tekan beton, maupun uji Tarik baja.

3.2. Tahap pengambilan data primer

Tahapan ini merupakan tahapan pengambilan data lapangan yang terdiri dari :

- Uji ketegakan bangunan, untuk mengetahui ketegakan bangunan.
- Uji soil tes (CPT), untuk mengetahui kedalaman tanah keras.
- Hammer test, untuk mengetahui kuat tekan beton terpasang, sesuai dengan standar ASTM C 805-02[15].
- Rebar detector sesuai dengan SNI 2847 – 2013[13], untuk mengetahui ukuran tulangan, jumlah tulangan terpasang dan tebal selimut beton.
- Pengujian kualitas kepadatan beton dengan UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*) sesuai dengan ASTM C 597[16], untuk mengetahui tingkat kepadatan beton.
- Uji tekan beton, dari hasil *core drill*, sesuai dengan ASTM C39-93A

3.3. Tahap Analisa

Analisa evaluasi struktur gedung menggunakan SNI 1726 2012[14]. Evaluasi struktur terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan yang pertama adalah tahapan analisa data hasil pengujian menggunakan metode statistik untuk mendapatkan besarnya mutu bahan yang akan digunakan untuk input data pemodelan struktur. Tahapan yang kedua adalah tahapan pemodelan struktur gedung menggunakan program SAP 2000, berdasarkan data eksisting yang diperoleh di lapangan. Tahapan yang ketiga yaitu analisis tampang untuk mengetahui kapasitas struktur.

3.4. Pembahasan

Berdasarkan hasil pemodelan struktur yang telah dilakukan diketahui gaya dan momen-momen yang terjadi, kemudian dibandingkan dengan kuat rencana struktur. Dari analisis tersebut dapat diketahui kondisi struktur masih dalam keadaan aman atau tidak aman.

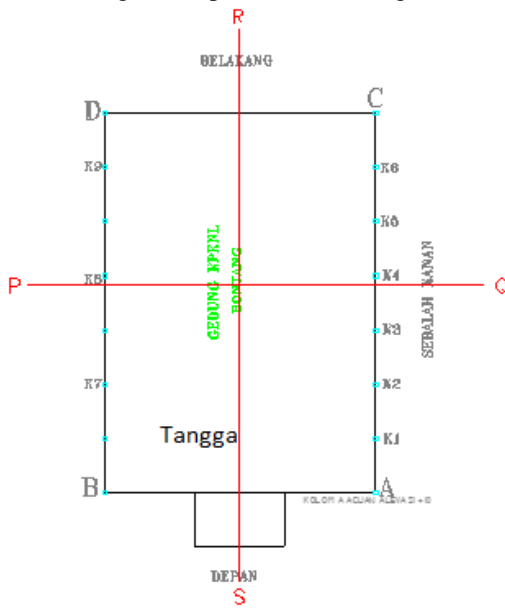
3.5. Kesimpulan

Tahap ini merupakan tahapan kesimpulan untuk menentukan tingkat keamanan struktur gedung dan tahapan penentuan perbaikan/perkuatan yang digunakan apabila diperlukan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian lapangan

- Hasil pengujian ketegakan dan penurunan bangunan diperoleh data sebagai berikut :



Gambar 3. Gambar denah gedung KPKNL Bontang

Dari hasil pengukuran didapatkan bahwa gedung tersebut telah mengalami penurunan. Penurunan terbesar terjadi di sekitaran tangga yaitu sebesar 5,6 cm. sedangkan pada titik B sebesar 0,8 cm, pada titik C sebesar 2,2 cm dan titik D sebesar 3,2 cm dan titik A tidak mengalami penurunan. Pada pengukuran ketegakan bangunan

didapatkan hasil gedung miring ke arah P dan R. Secara rinci dapat dilihat dalam table di bawah ini.

Tabel 3. Tabel hasil pengukuran kemiringan bangunan

Titik	Sisi RS miring ke	(mm)	Titik	Sisi PQ miring ke	(mm)
A	P	5	K1	R	21
B	P	0	K2	R	7
C	P	4	K3	R	27
D	P	16	K4	R	34
			K5	R	39
			K6	R	47
			A	R	0

- Hasil Pengujian *hamer test* dan uji tekan laboratorium
 Hasil pengujian kuat tekan beton, didapatkan kuat tekan beton rata rata sebesar 244,93 kg/cm².
- Pengujian CPT didapatkan hasil kedalaman tanah keras pada titik A sedalam 10 meter, sedangkan pada titik B sedalam 18 meter dari muka tanah.
- Hasil pengujian UPV diperoleh kepadatan beton masih masuk dalam kategori “Baik”
- Pengujian *rebar detector* secara rinci dapat dilihat dalam table di bawah ini:

Tabel 4. Tabel hasil pengukuran menggunakan *rebar detector*

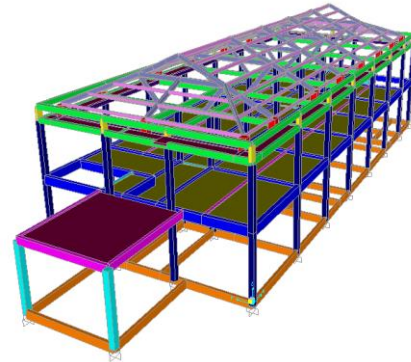
Item	Dimensi	Tulangan Longitudinal		Tulangan Transversal		Tulangan Torsi
		Tumpuan	Lapangan	Tumpuan	Lapangan	
B1	25/60	10D16	10D16	Ø10-100	Ø10-120	2D16
B2	20/35	8D16	8D16	Ø8-100	Ø8-150	2D16
K1	35/35	12D16	12D16	Ø8-100	Ø8-150	

4.2. Pemodelan

Pemodelan gedung menggunakan SAP 2000, pemodelan tersebut berdasarkan kondisi eksisting lapangan, baik dimensi maupun kualitas material hasil pengujian di lapangan. Dari hasil pengujian didapatkan mutu beton sebesar 244,93 kg/cm², sedangkan mutu tulangan baja yang dipakai sebesar 320 N/mm² untuk tulangan polos dan 400 N/mm² untuk tulangan

ulir. Setelah didapatkan gaya gaya yang bekerja pada struktur gedung KPKNL Bontang kemudian dilakukan perbandingan dengan hasil analisis tampang untuk mengetahui kekuatan struktur gedung tersebut. Pembebanan yang diberikan mengikuti SNI-2847-2013 terdiri dari beban mati, beban hidup, beban angin dan beban gempa. Beban gempa dimodelkan dengan analisa respons spectrum.

Pada evaluasi kapasitas penampang, struktur gedung KPKNL Bontang diasumsikan sebagai struktur rangka pemikul momen khusus. Sehingga perhitungan analisa kapasitas penampang mengikuti persyaratan SNI-2847-2013. Tabel 5 dan 6 menunjukkan analisa penampang pada elemen struktur balok dan kolom. Kuat nominal momen M dihitung berdasarkan ekuivalen stress block dari SNI-2847-2013. Perhitungan tersebut menggunakan kekuatan material aktual. Angka rasio lebih dari 1 menunjukkan bahwa kapasitas penampang lebih besar dari beban yang bekerja.



Gambar 4. Modeling gedung KPKNL Bontang

4.3. Analisa Struktur

- Analisa struktur atas

Tabel 5. Tabel hasil analisa tampang pada balok

balok	ϕM_n kNm	M_u kNm	M_n/M_u	ϕV_n kN	V_u kN	V_n/V_u
(25/60)	14,27	8,72	1,97	43,10	10,42	1,58
(20/35)	33,00	4,86	1,28	79,24	4,28	1,46

Tabel 6. Tabel hasil analisa tampang pada kolom

kolom	ϕP_n kNm	P_u kNm	P_n/P_u	ϕV_n kN	V_u kN	V_n/V_u
(35/35)	9,941	6,642	1,762	2,291	1,826	1,164

Dari tabel tersebut ditunjukkan bahwa kapasitas nominal balok untuk lentur dan geser B1 dan B2 lebih besar daripada beban yang bekerja. Meskipun telah dimasukkan parameter kombinasi beban gempa menurut SNI 1726 2012, masih didapatkan rasio kapasitas lentur balok maupun gesernya lebih dari 1. Sedangkan rasio kapasitas aksial, lentur dan geser kolom juga memiliki nilai lebih dari 1 yang menunjukkan bahwa kapasitas aksial, lentur dan geser kolom lebih besar dari gaya-gaya yang bekerja pada kolom tersebut.

Respons dinamik dari gedung KPKNL Bontang ini juga ditinjau menurut

persyaratan yang ada dalam SNI 1726 2012. Kontrol yang pertama adalah periode alami struktur, dengan permodelan SAP2000 didapatkan periode alami gedung adalah sebesar 2.486 detik dan nilai tersebut masih dibawah batas atas periode alami gedung yang diijinkan oleh SNI 1726-2012 yaitu sebesar 4,23 detik. Kedua adalah kontrol simpangan antar lantai didapatkan simpangan antar yang terjadi masih dibawah simpangan maksimal yang diijinkan oleh SNI 1726-2012 baik arah x maupun arah y.

Tabel 7. Tabel Simpangan antar tingkat arah X dan arah Y

Lantai	Tinggi antar tingkat	Elevasi (m)	Simpangan		Simpangan ijin	
			(mm)		(mm)	
			X	Y	X	Y
Atap	2.44	10.94	0.18	0.07	48.8	48.8
Lantai 2	4	8.5	8.36	6.86	80	80
Lantai 1	4.5	4.5	0.12	0.05	90	90

- Analisa struktur bawah

Tabel 8. Kapasitas pondasi terpasang

Pu kN	Kapasitas pondasi terpasang (kN)	Kedalaman Pondasi (m)	Kedalaman tanah keras (m)
1010,79	198	4	18

Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa pondasi tidak mampu penaham beban struktur di atasnya. Hal ini dapat dilihat dari beban satu pondasi sebesar 1010,79 kN, sedangkan kapastias daya dukung pondasi terpasang hanya 198 kN. Sehingga untuk perlu perkuatan pada pondasi. Metode perbaikan yang paling memungkinkan adalah dengan melakukan perkuatan pada pondasi dengan menambahkan pondasi pada samping kanan dan kiri gedung sesuai dengan kedalaman tanah keras dan sesuai dengan beban yang ada di atasnya.

5. KESIMPULAN

Dari hasil evaluasi terhadap kelayakan struktur gedung KPKNL Bontang didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Struktur atas gedung KPKNL Bontang dalam kondisi baik dan aman.
2. Struktur bawah gedung KPKNL Bontang tidak mampu menahan beban di atasnya, hal ini disebabkan karena kapasitas dukung pondasi yang lebih kecil dari bebannya sehingga gedung mengalami penurunan.
3. Diperlukan perkuatan pada pondasi gedung untuk memastikan gedung tidak mengalami penurunan lagi sesuai dengan beban yang ada.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. A. Fauzi, "Evaluation On The Performance Of And Repair Of he Concrete Structure Of a Cooling Water Tower," *M.I. Mat. Kost*, vol. 13, no. 1, pp. 9–15, 2013.
- [2] A. N. Refani, M. S. Darmawan, and M. Irmawan, "Evaluasi Kelayakan Struktur Gedung Tinggi Yang Terbengkalai Selama 15 Tahun Terhadap Gempa Berdasarkan SNI 1726 – 2012," in *The 2nd Conference on Innovation and Industrial Applications (CINIA 2016)*, 2016, no. January, pp. 153–159.
- [3] Fauzan, "Analisa Kegagalan Struktur dan retrofitting Bangunan Masjid Raya Andalas Padang Pasca Gempa 30 September 2009," *J. Rekayasa Sipil*, vol. 7, no. 1, pp. 45–56, 2012.
- [4] A. N. Refani, H. Alrasyid, and M. Irmawan, "Evaluasi Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang Berusia 50 Tahun Evaluasi Struktur Bangunan Gedung Beton Bertulang Berusia 50 Tahun Berdasarkan SNI 1726 2012 dan SNI 2847 2013 Negara Indonesia terletak pada batas empat lempeng tektonik bumi yang," *J. Apl.*, vol. 13 No 2, no. July 2018, pp. 17–26, 2015.
- [5] S. Samsunan, "Evaluasi Kerusakan Beton Bertulang pada Kolom Bangunan Gedung Bekas Mess Korem 012 / TU Ujong Karang Meulaboh Akibat Terkena Tsunami," in *Temu Ilmiah IPLBI*, 2017, no. December, pp. 81–86.
- [6] A. Widyaningrum and Y. Haryanto, "Evaluasi Kinerja Gedung Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil Purbalingga dengan Analisis Pushover," *Din. Rekayasa*, vol. 15, no. 2, pp. 87–94, 2019.
- [7] Febrian Anas Ismail, "Identifikasi kegagalan, alternatif perbaikan dan perkuatan pada struktur gedung poltekes siteba padang," *J. Rekayasa Sipil*, vol. 7, no. 1, pp. 11–24, 2011.
- [8] S. Samsunan, "Evaluasi Kerusakan Akibat Gempa pada Bangunan Gedung Bank Aceh Cabang Sigli," *J. Tek. Sipil Fak. Tek. Univ. teuku Umar*, vol. 2 No 2, no. Oktober, pp. 79–80, 2016.
- [9] Z. A. Yanto, Nugrafindo, Rafki Imani, "Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Rumah Sakit Paru Sumatera Barat dengan Pushover Analysis," *Civ. Eng. Colab.*, vol. Vol. 1 Iss, no. September, 2019.
- [10] R. Rohman, "Evaluasi Kinerja Struktur Gedung Diagnostic Center RSUD DR . Sudono Madiun," *Agri-Tek*, vol. 10 No 1, no. July, pp. 39–50, 2018.
- [11] Y. Pranoto and R. Setiabudi, "Evaluasi Kekuatan Struktur Bangunan Gedung (Studi Kasus : Bangunan Gedung SMPN 19 Samarinda , Kalimantan Timur)," *J. Rekayasa UBH*, vol. 08, no. 02, pp. 1–22, 2019.
- [12] Y. Pranoto and R. Setiabudi, "Evaluasi Penurunan Gedung Dan Metode Perbaikannya (Studi Kasus: Kantor Pos Balikpapan)," *J. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 2, p. 41, 2017.
- [13] Badan Standardisasi Nasional, *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847:2013)*. Jakarta, 2013.
- [14] Badan Standarisasi Nasional, *Tata cara perencanaan ketahanan gempa untuk struktur bangunan gedung dan non gedung (SNI 1726-2012)*. Jakarta, 2012.
- [15] Badan Standardisasi Nasional, *Metode uji*

[Type here]

angka pantul beton keras (ASTM C 805-02). Jakarta, 2010.

- [16] Badan Standardisasi Nasional, *Metode uji kecepatan rambat gelombang melalui beton (ASTM C 597 - 02 , IDT). Jakarta, 2012.*