



KAJIAN STRUKTUR ISTANA MAIMUN DALAM MERESPON GAYA GEMPA

Nusyamsi Nursyamsi¹, Johannes Tarigan², Muthia Harahap³, Hari Adjie Winata⁴,
Sheila Hani⁵

^{1,2,3,4}Universitas Sumatera Utara

⁵Universitas Pembinaan Masyarakat Indonesia

Surrel: nursyamsi@usu.ac.id¹

Diterima : 02 Februari 2022; Disetujui : 24 Juni 2022

ABSTRAK

Kawasan Sumatera Utara terdapat dua lempeng aktif (Eurasia) dan beberapa gunung berapi yang aktif, dan berpotensi menimbulkan gempa yang dapat merusak struktur rumah tinggal. Tingginya aktivitas vulkanik gunung Sinabung beberapa tahun terakhir hingga menimbulkan gempa sangat mempengaruhi kehidupan masyarakat Sumatera Utara. Masyarakat Sumatera Utara memiliki Istana Maimun, sebuah bangunan bersejarah yang didesain tahan terhadap gempa, sebelum adanya aturan dan standarisasi bangunan tahan gempa ada. Penelitian ini dilakukan di Jalan Brigjen Katamso, Kecamatan Medan Maimun, Kota Medan. Struktur dimodelkan menjadi frame dan model 3D. Dilakukan analisis ketidakberaturan struktur dan respon spektra dengan SAP 2000. Istana Maimun teratur secara horizontal tetapi tidak beraturan secara vertikal yaitu ketidakberaturan massa, geometri vertikal, diskontinuitas arah penahan gaya horizontal. Dari hasil analisis SAP 2000, diperoleh reaksi struktur dan batasan yaitu periode struktur 0,335 detik ($< 0,4676$ detik), gaya geser dasar 1455,476 kN ($> 80\%$ $V_{statis} = 1324,7$ kN), simpangan maksimum sebesar 7,301 mm (< 150 mm). Berdasarkan parameter tersebut, disimpulkan Istana Maimun aman terhadap gempa.

Kata Kunci: Gaya Geser Dasar, Ketidakberaturan, Periode Struktur, Reaksi Struktur, Simpangan

ABSTRACT

In North Sumatra, there are two active plates (Eurasia) and several active volcanoes, which have the potential to cause earthquakes that can damage residential structures. The high volcanic activity of Mount Sinabung in recent years to cause an earthquake has greatly affected the lives of the people of North Sumatra. The people of North Sumatra have the Maimun Palace, a historic building designed to withstand earthquakes, before the rules and standards for earthquake-resistant buildings existed. This research was conducted on Jalan Brigjen Katamso, Medan Maimun District, Medan City. Structures are modeled into frames and 3D model. An analysis of structural irregularities and response spectra with SAP 2000 was performed. Maimun Palace is horizontally regular but vertically irregular, namely mass irregularity, vertical geometry, direction discontinuity in resisting horizontal forces. From the results of the SAP 2000 analysis, the structural reaction and boundary obtained are structure period 0.335 seconds (< 0.4676 seconds), basic shear force 1455,476 kN ($> 80\%$ $V_{static} = 1324.7$ kN), maximum deviation of 7.301 mm (< 150 mm). Based on these parameters, it is concluded that Maimun Palace is safe against earthquakes.

Keywords: Basic shear force, irregularity, structural periode, structural reaction, deviation

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan suatu negara yang memiliki tingkat resiko terhadap aktivitas gempa bumi yang cukup tinggi. Wilayah Indonesia berada diantara beberapa lempeng tektonik yang aktif, yaitu lempeng Eurasia, Indo-Australia, lempeng Pasifik dan lempeng

Filipina. Tingginya aktivitas gempa bumi di Indonesia sangat rentan menyebabkan kerusakan, terutama pada tempat tinggal. Gempa bumi disebabkan beberapa hal, seperti pergeseran lempeng bumi, aktivitas vulkanik gunung berapi.

Masyarakat Sumatera Utara memiliki Istana Maimun, sebuah bangunan bersejarah yang didesain tahan terhadap gempa, sebelum adanya aturan dan standarisasi bangunan tahan gempa ada.

Istana Maimun merupakan simbol kejayaan kesultanan Deli di masa lampau. Istana Maimun di bangun pada 26 Agustus 1888 dan selesai pada 18 Mei 1891 oleh arsitek Van Erp pada masa pemerintahan Sultan Ma'moen Al Rasyid. Bangunan yang merupakan salah satu ikon Sumatera Utara ini telah berdiri ratusan tahun, dan tetap berdiri kokoh hingga saat ini.

Bangunan ini memiliki perpaduan arsitektur Melayu, Islam, Eropa dan India. Dilihat dari bentuk dan tampak bangunan yang merupakan cermin dari sisi bangunan yang lain. Hal ini menunjukkan istana maimun berbentuk simetris. Istana maimun terdiri bangunan utama dan bangunan sekunder yang dihubungkan dengan selasar - selasar. Atap istana maimun berbentuk perisai dengan kubah tambahan. (Kurniawati 2017)

Istana Maimun menggunakan material beton, batu bata dan kayu sebagai bahan konstruksinya. Beton memiliki kelebihan yaitu memiliki kuat tekan yang tinggi dan tahan terhadap cuaca, sedangkan kayu memiliki kelebihan yaitu massa jenis yang relatif kecil sehingga berat total sebuah bangunan struktur yang terbuat dari kayu akan relatif lebih ringan.

Penelitian terdahulu oleh Sondarto Hutabalian (2019) menyimpulkan "struktur rumah adat batak Toba merupakan bangunan bangunan tahan gempa dan memenuhi syarat-syarat dalam perencanaan struktur tahan gempa". Hal tersebut memperkuat bahwa bangunan rumah adat yang terbuat dari konstruksi kayu memiliki kelebihan untuk meredam gaya gempa. Maka dari itu perlu dilakukan studi terhadap Istana Maimun sebagai bangunan tahan Gempa karena menggunakan beton dan kayu sebagai bahan konstruksinya. (Sondarto Hutabalian and Tarigan 2019)

Tujuan dalam penulisan ini adalah untuk mengetahui perilaku struktur istana maimun, terutama pengaruh terhadap gaya gempa, keadaan struktur istana maimun, tata letak istana maimun dan kekuatan dinding bata dan pondasi istana maimun.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dalam analisa ini adalah berupa survei di lokasi penelitian, wawancara yang dilakukan pada penjaga istana maimun, serta perhitungan komputasi.

Tahap 1 Studi Literatur

Penelitian dilakukan mengacu pada teori dinamika struktur, SNI perencanaan bangunan tahan gempa, analisis beban gempa secara manual maupun dengan menggunakan program.

Tahap 2 Survei Awal

Dalam tahap ini dilakukan wawancara terhadap narasumber, sejarah bangunan istana maimun, material yang digunakan pada istana maimun. Setelah itu dilakukan pengukuran terhadap dimensi struktur, dan denah.

Tahap 3 Pemodelan Struktur

- a. Bentuk Struktur
Struktur Istana maimun terbagi menjadi 5 bagian struktur utama.
- b. Material Istana Maimun
Material yang digunakan yaitu kayu, dengan jenis kayu kelas satu, batu bata, dan beton, dimana untuk mechanical properties menggunakan data sekunder.
- c. Pembebanan
Pembebanan pada struktur Istana Maimun digunakan dengan pembebanan statik dan dinamik, di mana beban statik terdiri dari beban hidup dan beban mati, sedangkan beban dinamik merupakan beban gempa berupa respon spektrum gempa.
- d. Pembebanan pada SAP2000
Semua parameter yang sudah ditentukan pada bagian sebelumnya dimasukkan pada software SAP2000

Tahap 4 Analisa

Setelah selesai percobaan simulasi struktur dengan program SAP200 maka dilakukan Penelitian dilakukan untuk mengetahui konsep struktur rumah adat Karo dan menganalisis kemampuan struktur rumah adat Karo dalam menahan gaya gempa berdasarkan periode struktur, gaya geser dasar, gaya gesekan antara tiang dan batu pondasi, simpangan antar lantai dan analisis penampang struktur.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengumpulan Data

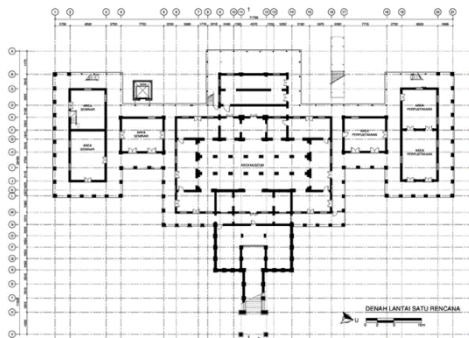
Berikut adalah hasil pengumpulan data yang kemudian dituangkan dalam bentuk gambar.

a. Dimensi Penampang Struktur

Tabel 1. Dimensi Penampang Struktur

Nama struktur	Dimensi (cm)
Dinding bata bawah	25
Kolom depan	45 x 55
Tiang Kayu Depan	10 x 10
Balok kayu bawah	8 x 8
Papan lantai	3
Kolom kayu depan	10 x 10
Kolom kayu belakang	10 x 10
IWF Balok lantai	150 x 100 x 5,5
Pelat lantai beton	12
Kuda – kuda selasar	10 x 8

Pemodelan Bangunan



Gambar 1. Denah Istana Maimun



Gambar 2. Pemodelan pada Sketchup



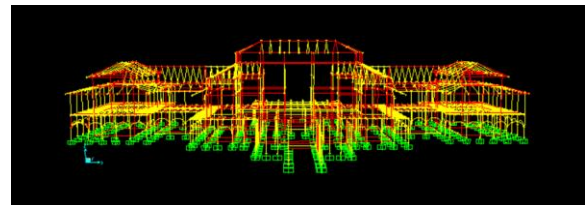
Gambar 3. Tampak Depan Bangunan



Gambar 4. Tampak Samping Bangunan

b. Hasil dan Pembahasan

Berikut hasil analisa dari pemodelan struktur Istana Maimun, dengan bantuan perhitungan komputasi SAP 2000.



Gambar 5. Pemodelan pada program SAP2000

Pondasi

Sistem konstruksi struktur pada bangunan Istana maimun adalah dinding merupakan pemikul beban (bearing wall). Dinding memikul beban bangunan, dan dinding tersebut menumpu pada struktur pondasi.

Pondasi pada istana maimun berupa pondasi tapak dan pondasi menerus. Pondasi menerus pada istana maimun berupa pasangan bata selebar 60 cm, dengan tinggi pasangan bata 50 cm pada elevasi dasar 1,8 meter.



Gambar 6. Pondasi pada istana maimun (Balai Arkeologi Sumatera Utara)

Sambungan

Pada istana maimun, jenis sambungan yang digunakan adalah sambungan kayu dan

sambungan bata dengan kayu. Alat yang digunakan pada sambungan kayu adalah paku, dan pasak, sedangkan pada sambungan bata dan kayu digunakan paku yang ditanam di pasangan bata sebagai pengunci kayu.

Atap

Atap pada istana maimun berbentuk limas. Penutup atap terbuat dari atap seng. Dimana kayu digunakan sebagai kuda kuda rangka atap.

Analisis Ketidakberaturan Struktur

Ketidakberaturan Horizontal

Analisis dilakukan terhadap denah struktur maka dapat disimpulkan bahwa denah struktur bersifat simetris dan sederhana. Pusat massa struktur berada pada titik yang sama dengan pusat kekakuan struktur, maka tidak ada torsi yang terjadi. Berdasarkan pengamatan pada struktur, tidak ditemukan adanya diskontinuitas diafragma ataupun diskontinuitas dalam lintasan gaya lateral pada denah struktur. Elemen penahan gaya lateral vertikal struktur juga bersifat paralel terhadap sumbu orthogonal sistem penahan gaya gempa.

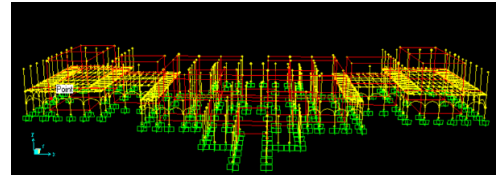
Tabel 2. Ketidakberaturan Horizontal

No	Ketidakberaturan Horizontal	Hasil analisis struktur
1	Ketidakberaturan torsi dan torsi berlebihan	Tidak ada
2	Ketidakberaturan sudut dalam	Tidak ada
3	Ketidakberaturan diskontinuitas diafragma	Tidak ada
4	Ketidakberaturan pergeseran melintang terhadap bidang	Tidak ada
5	Ketidakberaturan sistem non paralel	

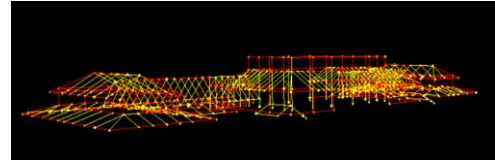
Ketidakberaturan Vertikal

a. Ketidakberaturan Massa

Ketidakberaturan massa struktur ditentukan berdasarkan perbandingan massa suatu tingkat dengan tingkat didekatnya. Massa efektif tingkat yang lebih dari 150% massa tingkat didekatnya dikategorikan sebagai ketidakberaturan.



Gambar 7. Beban Lantai 1 Istana Maimun



Gambar 8. Beban Lantai Atap Istana Maimun

Dari hasil analisis SAP 2000, diperoleh besar beban efektif yang dipikul pada masing masing lantai sebesar:

Tabel 3. Berat Beban Tiap Lantai

Struktur	Berat sendiri (KN)
Lantai 1	11297,593
Lantai atap	6190.941
Total	17488,534

Perbandingan berat antara lantai 1 dan lantai atap adalah :

$$= (\text{Berat lantai 2}) / (\text{Berat lantai 1}) \times 100\%$$

$$= 6190,941 / 11297,593 \times 100\%$$

$$= 35,40 \% (< 150\%)$$

Maka Istana Maimun tidak memiliki ketidakberaturan massa.

b. Ketidakberaturan Geometri Vertikal

Bangunan Istana Maimun Bagian depan memiliki perbedaan dimensi horizontal antara atap dan bagian bawah bangunan. Sehingga bangunan ini memiliki ketidakberaturan geometri vertikal.

c. Diskontinuitas arah bidang dalam ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal

Bangunan Istana Maimun terdapat beban-beban vertikal yang tidak simetris dengan elemen penahan gaya vertikal yaitu pada balok tumpuan atap. Balok tumpuan atap menerima beban atap tidak simetris atau paralel sehingga bangunan ini memiliki ketidakberaturan elemen penahan gaya lateral vertikal.

Ketahanan Terhadap Gempa

- a. Periode fundamental struktur (T) tidak boleh melebihi Batasan atas periode yang dihitung (Cu) dan periode fundamental pendekatan (Ta).
- b. Dari tabel parameter percepatan respon spektra desain pada 1 detik (SD1) = 0,592 maka koefisien Cu = 1,4
- c. Dari table parameter respon spektra untuk semua sistem struktur diluar yang telah disebutkan dengan tinggi 15 m, maka
 $C_t = 0,0488 \times 0,75$
 $T_a = C_t H_n \times = 0,0488 (13)^{0,75}$
 $= 0,334$ detik
 Maka batasan atas periode :
 $T_{maks} = C_u \times T_a$
 $= 1,4 \times 0,334 = 0,4676$ detik

Gaya Geser Dasar

Dari analisis SAP 2000, diperoleh nilai Tc = 0,3135 detik, sedangkan besar periode pendekatan fundamental Ta = 0,334 detik sehingga Tc < Ta, maka nilai T yang digunakan adalah 0,334 detik. Maka nilai koefisien respon seismik (Cs) adalah:

$$C_s = \frac{S_d s}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,602}{\left(\frac{7}{1,0}\right)} = 0,086$$

$$C_s \max = \frac{S_d 1}{T \left(\frac{R}{I_e}\right)} = \frac{0,592}{0,334 \left(\frac{7}{1,0}\right)} = 0,171$$

$$C_s \min = 0,044 S_d s I_e = 0,044 (0,602)(1) = 0,0265$$

Dapat disimpulkan bahwa Cs min < CS < Cs max. maka koefisien seismic Cs yang digunakan adalah 0,086.

Besar gaya geser dinamis seismik struktur pada suatu arah tertentu tidak boleh kurang dari 85% gaya geser statis.

Berdasarkan nilai gaya geser dinamis dan statis pada perhitungan dan table, maka diuji apakah nilai gaya geser tersebut memenuhi persyaratan.

Arah x

$$R_{sx} > 0,85 E_{qx}$$

$$1108,1 > 0,85 1454,31$$

$$1108,1 > 1236,16 = 780,3 \text{ (ok)}$$

Arah y

$$R_{sy} > 0,85 E_{qy}$$

$$1324,7 > 0,85 1455,67$$

$$1324,7 > 1237,31 \text{ (ok)}$$

Dari analisis SAP 2000 diperoleh besar gaya geser dasar dasar statis dan dinamis pada

setiap tumpuan dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. Tabel Base Shear

Pembebanan Text	GlobalFX	GlobalFY
	KN	KN
EQ X	-1454,31	6,689E-14
EQ Y	3,062E-13	-1455,467
RS X	1108,1	0,02241
RS Y	0,02242	1324,7
1,2 D + 1 EQX + 0,3 EQY + L + S	-1454,31	-436,64
1,2 D + 0,3 EQ X + 1 EQ Y + 1L	-436,293	-1455,467

Sehingga dapat disimpulkan bahwa gaya geser dinamis dan statis tersebut memenuhi persyaratan.

Simpangan antar lantai (Displacement)

Simpangan antar lantai (Δx) adalah perbedaan perpindahan elastis (δx) antara suatu lantai dengan lantai dibawahnya. Simpangan antar lantai tidak boleh melebihi batasan maksimum sesuai tabel 20 SNI 1726 2019 dengan jenis struktur yaitu struktur dinding geser bata.

Tabel 5. Perpindahan pada Tiap Tingkat Elevasi

Elevasi (m)	Displacement X (mm)	Displacement Y (mm)	Syarat maksimum displacement (mm)
3,7	0,24	0,88	25,9
8,1	4,45	7,301	56,7
13	0,165	1,835	91
15	0,179	0,641	105



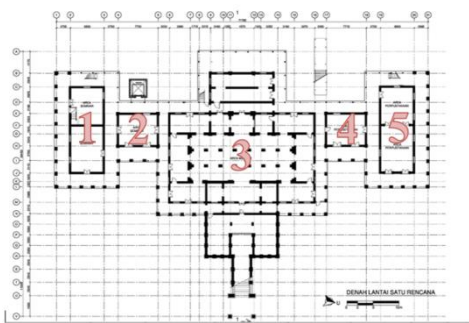
Gambar 9. Grafik Perpindahan Tiap Elevasi

Perhitungan Per Area

Pada penelitian ini perhitungan dinding bata istana maimun dibuat per area untuk memudahkan dalam menganalisis struktur, dimana perhitungan ini mencakup reaksi pada perletakan, perhitungan pondasi, ketahanan bata terhadap tegangan yang terjadi, dan perhitungan gaya gempa pada dinding bata istana maimun.

Perhitungan Struktur Kolom dan Dinding Pelengkung

Pada penelitian ini perhitungan dinding bata istana maimun dibuat per area untuk memudahkan dalam menganalisis struktur, dimana perhitungan ini mencakup reaksi pada perletakan, perhitungan pondasi, ketahanan bata terhadap tegangan yang terjadi, dan perhitungan gaya gempa pada dinding bata istana maimun.



Gambar 10. Pembagian Area Istana Maimun

Tegangan dinding

Pada struktur istana maimun diketahui lebar pasangan bata 25 cm, dan diambil tegangan izin pasangan bata sebesar 3,5 Mpa (3500 kN/m²).

Tabel 6. Tegangan pada Struktur Dinding Bata Istana Maimun

Area	Σ Reaksi (kN)	Perimeter Struktur (m)	Tegangan izin 3500 kN/m ²	Tegangan aktual (kN/m ²)	Aman / tidak aman
1	2782,079	46,276	3500	240,477	Aman
2	1744,482	28	3500	249,211	Aman
3	7075,476	90,334	3500	313,302	Aman
4	1471,773	28	3500	210,253	Aman
5	3393,901	46,276	3500	293,361	Aman

Tegangan Pondasi

Pada struktur istana maimun diketahui lebar struktur pondasi adalah 60 cm, dan jenis pondasi yaitu pondasi menerus, sedangkan untuk parameter tanah yang digunakan adalah tanah lunak dengan tegangan izin tanah sebesar 196,133 kN/m².

Tabel 7. Tegangan pada Struktur Pondasi Istana Maimun

Area	Σ Reaksi (kN)	Keliling (m)	Tegangan izin kN/m ²	Tegangan aktual (kN/m ²)	Aman / tidak aman
1	2782,079	46,276	196,133	101,198	Aman
2	1744,482	28	196,133	103,838	Aman
3	7075,476	90,334	196,133	130,542	Aman
4	1471,773	28	196,133	87,605	Aman
5	3393,901	46,276	196,133	122,234	Aman

Base Shear

Pada perhitungan sebelumnya didapat nilai Cs sebesar 0,086, maka didapat base shear per area seperti pada tabel berikut.

Tabel 8 Base shear istana maimun per area

Area	Σ Reaksi (kN)	Base Shear kN (Cs x Reaksi)
1	2782,079	239,358
2	1744,482	150,025
3	7075,476	605,45

4	1471,773	126,572
5	3393,901	291,875

Displacement

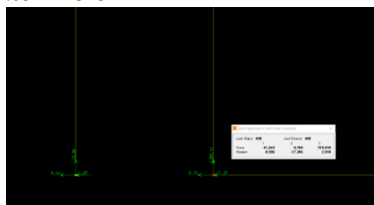
Pada program SAP2000, didapat nilai perpindahan dari masing - masing struktur dinding bata seperti pada table berikut.

Tabel 9 Displacement Maksimum Istana Maimun Per Area

Area	Displacement (mm)	Ketinggian struktur dinding	Displacement izin (mm)	Aman / Tidak Aman
1	32,342	13	91	Aman
2	42,312	13	91	Aman
3	46,361	15	105	Aman
4	42,713	13	91	Aman
5	32,304	13	91	Aman

Perhitungan Struktur Kolom dan Dinding Pelengkung

a. Struktur Kolom



Gambar 10 Pemodelan Struktur Kolom

Kontrol kolom terhadap kekuatan struktur

Gaya aksial yang terjadi = 319,41 kN

Penampang Kolom = 45 x 55 cm

Kontrol tegangan yang terjadi terhadap penampang kolom

$$\sigma = \frac{319,41 \text{ kN}}{0,45 \times 0,55}$$

$$\sigma = 1290,545 \text{ kN/m}^2$$

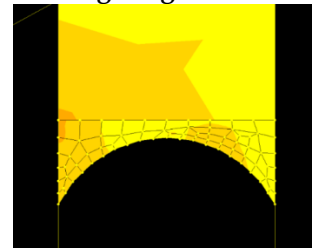
Kontrol tegangan terhadap kekuatan struktur

$$\sigma \text{ aktual} < \sigma \text{ izin}$$

$$1290,545 \text{ kN / m}^2 < 3500 \text{ Kn / m}^2$$

Maka struktur kolom aman.

b. Struktur Pelengkung



Gambar 11 Tegangan Pada Struktur Pelengkung

Pada program SAP2000 didapat tegangan maksimum yang terjadi sebesar 665,32 kN/m², dimana tegangan yang terjadi lebih kecil daripada tegangan izin sebesar 3500 kN/m², maka struktur dinding pelengkung istana maimun aman.

4. Kesimpulan

(a) Istana maimun merupakan bangunan terdiri dari 5 bagian terpisah, (b) Tata letak bangunan Istana Maimun termasuk regular building, (c) Dari hasil penelitian didapat periode maksimum struktur dari Istana maimun sebesar 0,334s, displacement sebesar 46,361 mm dan base shear sebesar 1456,7 kN, (d) Tegangan maksimum yang terjadi pada struktur dinding bata Istana Maimun sebesar 313,463 kN/m², pada pondasi sebesar 130,542 kN/m², pada struktur kolom Istana Maimun sebesar 1290,545 kN, pada struktur pelengkung didapat sebesar 665,32 kN/m² (e) Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa Istana Maimun aman terhadap gaya gempa.

Daftar Pustaka

Boen, T. (2010). Dasar - Dasar Perencanaan Bangunan Tahan Gempa. Yogyakarta: UGM Press.

Budio, P. (1990). *Buku Ajar Dinamika Struktur*. Malang: Universitas Brawijaya.

Budio, P. (1990). *Buku Ajar Dinamika Struktur*. Malang: Universitas Brawijaya.

Chopra, A. K. (1995). *Dynamics of Structures: Theory and Applications To Earthquake Engineering*. California USA: Pretince Hall.

Cristofel, G. (2017). Istana Maimun Sebagai Arsitektur Ikonik di Kota Medan. *Jurnal Universitas Mercu Buana*.

Handayani, S. (201). Kualitas Batu Bata Merah Dengan Penambahan Serbuk Gergaji. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 12(1): 41-50.

- Hutabalian, S., Banri, & Tarigan, J. (2018). *Studi Struktur Rumah Adat Tradisional Batak Toba Terhadap Gaya Gempa*. Retrieved 2021 from Repository USU: www.repositori.usu.ac.id
- Kurniawati, P. (2017). Perpaduan Antara Tradisi Islam dan Kebudayaan Eropa Pada Arsitektur Istana Maimun. *Seminar Ikatan Peneliti Lingkungan Binaan Indonesia (IPLBI) 1*, A 469-472.
- Sutanto, S. (2015). *Kajian Konservasi Bangunan Bersejarah Di Medan (Studi Kasus: Istana Maimun)*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Triatmoko, D. (2019). *Kuliah Umum Istana Maimun*. Medan: Institut Teknologi Bandung.