

ANALISA PERBEDAAN KEKUATAN BETON AKIBAT TSUNAMI

(Studi Kasus : Pengujian Nilai Pantul Hammer Test Pada Kolom Bangunan Mesjid Paya Peunaga Kec. Meureubo Kab. Aceh Barat)

Riskawati¹, Andi Yusra², Samsunan Mahmud³

^{1,2,3} Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Teuku Umar, email: yusra.andi@yahoo.com

Abstrak

Dampak bencana tsunami dirasakan langsung pada saat kejadian, dan dampak tidak langsung berupa penurunan kekuatan beton setelah tsunami terjadi. Tsunami besar melanda Aceh pada tanggal 26 Desember 2004 telah melanda barat Aceh. Kerusakan tidak langsung dirasakan masyarakat Aceh setelah 10 tahun terjadinya tsunami di Aceh. Banyak bangunan di Aceh yang terkena tsunami pada tahun 2004 silam, kondisi saat ini beton mulai keropos, sehingga terjadi perubahan kekuatan pada beton yang terkena tsunami. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui adanya perubahan kekuatan beton pada bangunan pasca tsunami. Kondisi perubahan tersebut menjadi alasan untuk melakukan analisa mengenai perbedaan kekuatan beton terkena tsunami dengan yang tidak terkena tsunami pada kolom bangunan. Bangunan yang diuji adalah bangunan Mesjid Peunaga Paya Kecamatan Meureubo Kabupaten Aceh Barat. Komponen struktur yang dianalisis hanya pada kolom yang sebagian terkena tsunami dan sebagian tidak terkena tsunami. Kekuatan beton tersebut diukur pada elemen struktur kolom tanpa merusak konstruksi dengan menggunakan alat uji yaitu concrete hammer test. Data diambil pada bagian kolom yang terkena tsunami dan pada bagian yang tidak terkena tsunami. Hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa kolom bangunan pada bagian yang terkena tsunami mengalami penurunan kekuatan beton dibandingkan dengan bagian yang tidak terkena tsunami. Hasil pengujian kekuatan beton pada kolom 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 8 pada bagian yang tidak terkena tsunami adalah 26, 29, 33, 33, 32, 28, 31, sedangkan hasil pengujian kekuatan beton pada kolom 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 8 pada bagian yang terkena tsunami adalah 25, 15, 17, 29, 19, 46, 19, sehingga didapatkan besar penurunan kekuatan beton pada kolom 1, 2, 3, 4, 5, 6, dan 8 adalah sebagai berikut: 4%, 45%, 48%, 12%, 19%, 46% dan 19%

Kata Kunci : Tsunami, Hammer Test dan Kekuatan Beton

Abstract

Abstract: Affect the disaster tsunami felt direct at the time of occurrence, and impact indirectly in the form of degradation of concrete strength after tsunami happened. Big Tsunami knock over the Aceh at date of 2004 December 26th, have knocked over the west Aceh. Indirectly Damage was felt by Aceh society after 10 years, that happened of tsunami in Aceh. A lot of building in Aceh incurred by tsunami at 2004 years ago, condition in this time strength of concrete starting the damage, so that happened the change of strength in the concrete incurred by tsunami. This research conducted as a mean to know the existence change of concrete strength at building of pasca tsunami. The Change condition become the reason to conduct analysis of concerning difference of concrete strength incurred by tsunami or was not incurred by tsunami of building column. Examinee building is Mosque of Peunaga Paya, Meureubo Subdistrict of West Aceh Dsistrict. Structure Component analysed only at column which is some of incurred by tsunami and some of is not incurred by tsuanami. The Concrete strength measured at element of column structure without destroying construction by using appliance test that is concrete hammer test. Data taken at column part of incurred by tsunami and at part of which is not incurred by tsunami. Result of examination conducted indicate that the building column at part of incurred by tsunami experience of the degradation of concrete strength compared to part of which is not incurred by tsunami. Result of examination of concrete strength at column 1, 2, 3, 4, 5, 6, and 8 which is not incurred by tsunami is 26, 29, 33, 33, 32, 28, 31, while result of examination of concrete strength at column 1, 2, 3, 4, 5, 6, and 8 incurred by tsunami is 25, 15, 17, 29, 19, 46, 19, so that got big of degradation of concrete strength at column 1, 2, 3, 4, 5, 6, and 8 shall be as follows: 4%, 45%, 48%, 12%, 19%, 46%, and 19%.

Keywords : Tsunami, Hammer Test and Concrete Strength

PENDAHULUAN

Bencana alam besar yang melanda Indonesia pada akhir tahun 2004 silam, selain mengakibatkan korban jiwa dan harta benda juga menyebabkan tidak berfungsinya prasarana bangunan. Gempa 26 Desember 2004 telah membuat dunia terkejut karena menimbulkan korban terbesar sepanjang sejarah akibat Tsunami. Gempa ini menewaskan sekitar 180.000 orang diberbagai Negara yakni Indonesia (Aceh dan Nias), Sri Lanka, India, Thailand, Myanmar dan Malaysia. Tsunami yang menerpa kota Banda Aceh dan beberapa wilayah lainnya di Aceh tidak pernah dibayangkan oleh perancang kota sebelumnya.

Kondisi setelah 10 tahun musibah tsunami banyak bangunan konstruksi beton bertulang mengalami keropos. Ada sebagian bangunan gedung yang sudah mengalami perubahan bentuk atau deformasi struktur bangunan sehingga sudah digolongkan dalam katagori rusak berat. Kondisi beton sebagian sudah keropos pada struktur kolom beton bertulang, dan diprediksi telah mengalami penurunan kekuatan betonnya. Penurunan kekuatan beton akibat tsunami pada struktur kolom dapat mengganggu kekuatan bangunan secara keseluruhan. Hal yang membuat penulis melakukan analisis terhadap struktur kolom bangunan. Harapan nantinya setiap gedung yang sudah terkena tsunami juga dilakukan analisis terhadap kekuatan beton bangunannya agar dapat dipastikan bangunan tersebut aman, kuat, kokoh, andal sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Pengujian kekuatan beton yang penulis lakukan pada beton keras berupa *Non-destructive* dengan menggunakan alat *Concrete Hammer Test*. Alat tersebut digunakan sebagai indikator untuk menilai kekuatan beton bukan untuk menentukan mutu beton, indikator tersebut digunakan sebagai perbandingan antara kekuatan beton yang terkena tsunami dengan beton yang tidak terkena tsunami. Metode pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban tumbukan (*impact*) pada permukaan kolom beton dengan menggunakan suatu massa yang diaktifkan dengan menggunakan energi yang besarnya tertentu.

Pengertian Kuat Tekan Karakteristik Beton

Menurut Sani (2012), menyatakan bahwa kuat tekan karakteristik beton adalah suatu besaran atau nilai yang diperoleh dari berbagai variasi nilai kuat tekan beton dan tidak boleh keluar dari nilai yang diperoleh yakni berada diantara nilai terendah dan yang tertinggi yang ada.

Pengertian Tsunami

Menurut Ilyas (2006), menyatakan bahwa tsunami adalah berasal dari bahasa Jepang yang artinya Tsu berarti pelabuhan dan nama berarti gelombang. Kata ini secara mendunia sudah diterima dan secara harfiah yang berarti gelombang tinggi/besar yang menghantam pantai atau pesisir. Tsunami umumnya terjadi sebagai akibat gempa bumi di dasar laut, walaupun tidak setiap gempa bumi disertai tsunami. Tsunami sendiri terjadi akibat gempa tektonik yang besar dilaut (lebih besar dari 7,5 skala Richter dan kedalaman episentrum lebih kecil dari 70 km) yang mengakibatkan terjadinya patahan/rekahan vertikal memanjang (kasus Aceh patahan mencapai ribuan kilometer) sehingga air laut terhisap masuk dalam patahan dan kemudian secara hukum fisika air laut terlempar kembali setelah patahan tadi mencapai keseimbangan. Kecepatan air/gelombang yang sangat cepat terjadi. Pada kasus Tsunami di Aceh kecepatannya mencapai ratusan kilometer per jamnya.

Estimasi Kekuatan Sisa Beton Pasca Tsunami

Menurut Rochman (2006), menyatakan bahwa gedung-gedung yang mengalami tsunami akan mengalami kerusakan akibat dari tingkat yang paling ringan, sedang, sampai berat tergantung dari tinggi

temperatur dan durasi tsunami. Untuk melihat seberapa kerusakan yang diakibatkan oleh tsunami, dilakukan beberapa tahapan penelitian sebagai berikut :

1. *Visual Inspection*

Mendasarkan pada perubahan secara fisik yang terjadi pada permukaan beton yaitu :

- a. Perubahan warna permukaan beton, untuk mendeteksi temperature tertinggi yang pernah dialami.
- b. Ada atau tidak adanya retak permukaan (*surface cracks*) pada permukaan beton, untuk mendeteksi temperature tertinggi yang pernah dialami.
- c. Ada atau tidak adanya deformasi plastis elemen struktur, untuk mendeteksi kekuatan dan kekakuan struktur, maupun temperatur tertinggi yang pernah dialami,
- d. Ada atau tidak adanya pengelupasan/*spalling* dari selimut beton dari elemen struktur, untuk mendeteksi temperature tertinggi yang pernah dialami.

2. *Non-destructive test*/uji tidak merusak

Pengujian dengan *concrete hammer test*

Menurut Lubis (2003), menyatakan bahwa *Concrete Hammer test* yaitu suatu alat pemeriksaan mutu beton tanpa merusak beton, metode ini akan diperoleh cukup banyak data dalam waktu yang relatif singkat dengan biaya yang murah. Metode pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban tumbukan (*impact*) pada permukaan beton dengan menggunakan suatu massa yang diaktifkan dengan menggunakan energi yang besarnya tertentu. Jarak pantulan yang timbul dari massa tersebut pada saat terjadi tumbukan dengan permukaan beton benda uji dapat memberikan indikasi kekerasan juga setelah dikalibrasi, pengujian ini adalah jenis "*Hammer*". Alat ini sangat berguna untuk mengetahui keseragaman material beton pada struktur. Karena kesederhanaanya, pengujian dengan menggunakan alat ini sangat cepat, sehingga dapat mencakup area pengujian yang luas dalam waktu yang singkat.

Secara umum alat ini bisa digunakan untuk :

- Memeriksa keseragaman kualitas beton pada struktur.
- Mendapatkan perkiraan kuat tekan beton.

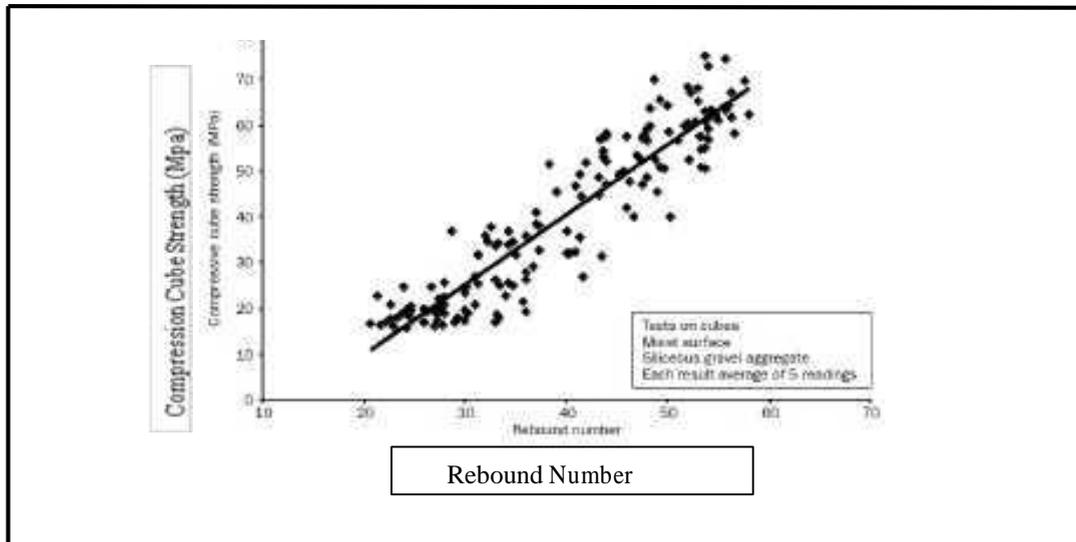
Menurut Alkhaly (2013), menyatakan bahwa *Concrete Hammer Test* juga merupakan salah satu dari *non destructive test* sangat cocok bila dipakai untuk melakukan evaluasi keseragaman dari mutu beton. Alat ini mengandalkan besarnya nilai pantulan yang diberikan oleh permukaan beton yang dihammer. Semakin keras permukaan beton yang dihammer, semakin tinggi nilai reaksi dari pantulan(nilai *rebound*).

Tata cara pengujian

Menurut Lubis (2003), menyatakan bahwa tata cara pengujian hammer test adalah sebagai berikut :

- a. Sentuhan ujung plunger yang terdapat pada ujung alat *Concrete hammer test* pada titik-titik yang akan ditembak dengan memegang *hammer* sedemikian rupa dengan arah tegak lurus atau miring bidang permukaan beton yang akan ditest.
- b. Plunger ditekan secara perlahan-lahan pada titik tembak dengan tetap menjaga kestabilan arah dari alat *hammer*. Pada saat ujung plunger akan lenyap masuk kesarangnya akan terjadi tembakan oleh plunger terhadap beton, dan tekan tombol yang terdapat dekat pangkal *hammer*.

- c. Lakukan pengetesan terhadap masing-masing titik tembak yang telah ditetapkan semula dengan cara yang sama.
- d. Tarik garis vertikal dari nilai pantul yang dibaca pada grafik 1 yaitu hubungan antara nilai pantul dengan kekuatan tekan beton yang terdapat pada alat *hammer* sehingga memotong kurva yang sesuai dengan sudut tembak *hammer*.
- e. Besar kekuatan tekan beton yang dites dapat dibaca pada sumbu vertikal yaitu hasil perpotongan garis horizontal dengan sumbu vertikal.



Gambar .1 : Hubungan nilai pantul dan kuat tekan beton
Sumber : Bungey dan Millard, 1996

Nilai *rebound Hammer* diambil nilai rata-ratanya dari 10 (sepuluh) pengujian. Selanjutnya nilai ini diterjemahkan ke dalam nilai kuat tekan beton dan kriteria nilai pantul seperti diperlihatkan dalam Gambar.1 dan Tabel.1.

Tabel.1 Kriteria Penilaian Hasil *Hammer Test*

Angka Pantulan Rata-rata	Kualitas Beton
> 40	Sangat Baik
30 – 40	Cukup Baik
20 – 30	Kurang Baik
< 20	Buruk

sumber :
Bungey
, dan
Millard,

1996

Hasil dari kuat pantulan alat *hammer test* ini dengan nilai yang diperoleh dari pantulan *hammer test* akan diambil hasil rata-ratanya pada nilai yang termasuk kedalam +6 rata-rata dan -6 rata-rata.

METODE PENELITIAN

3.1 Sumber Data

Data-data yang diambil berupa data primer dan data sekunder, pengertian data primer dan data sekunder sudah dijelaskan diatas. Sistematika pengambilan data dimulai dari pengujian langsung lapangan dan pengolahan data.

3.1.1 Lokasi pengambilan data

Adapun penelitian ini dilakukan pada bangunan Mesjid Paya Peunaga Kecamatan Mereuboe Kabupaten Aceh Barat Propinsi Aceh.

3.2 Menyediakan alat dan bahan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan *Concrete Hammer test* untuk mengetahui kekuatan antara beton yang tidak terkena tsunami dengan beton yang terkena tsunami, dimulai dari pengumpulan data dan pengolahan data. Alat yang digunakan selain *Concrete Hammer test* untuk pengambilan data yaitu: palu dan pahat beton.

Kekerasan beton atau kekuatan beton diuji dengan menggunakan alat yang diciptakan oleh Ernest Schmids, populer dengan nama *Schmids Concrete Hammer*. Alat yang dipakai dalam penelitian ini adalah : pahat beton, alat pengukuran/meteran, palu, kamera digital, *Concrete Hammer* tipe 2P0813. Gambar 2 dibawah ini menunjukkan alat *Hammer Test* yang digunakan untuk pengambilan data pada bangunan Mesjid Paya Peunaga Kecamatan Meureubo Kabupaten Aceh Barat.



Gambar 2 : *Concrete Hammet Test*
Sumber : Penulis



Gambar 3 : Peralatan *Concrete Hammer Test* dan aplikasi pengujian di lapangan
Sumber : Penulis

Gambar 3 menunjukkan cara menggunakan alat *hammer test* di lapangan dan peralatan lainnya.

3Metode Pengujian di Lapangan

Metode pengujian di lapangan terlebih dahulu dilakukan pengukuran luas bangunan Mesjid Paya Peunaga Kecamatan Meureubo Kabupaten Aceh Barat Propinsi Aceh dan pengukuran terhadap ketinggian terendamnya bangunan dengan air tsunami.

Pembobokan elemen beton

Pekerjaan pembobokan yang dilakukan pada kolom bangunan dengan menggunakan alat pahat beton dan palu, dengan ukuran pembobokan : tinggi 20 cm, lebar 20 cm dan ketebalan Acian 0,5 cm. Sebelum melakukan pembobokan pada kolom terlebih dahulu kolom diukur dengan menggunakan meteran supaya ukuran pembobokannya sama dengan kolom yang lain. Proses pembobokan dilakukan dengan perlahan-lahan agar beton tidak ikut terkelupas dengan selimut beton.

Cara pengujian

Dalam tahapan pengujian metode ini dilakukan dengan beberapa langkah, yaitu :

- a. Menentukan jarak antara titik satu dengan titik yang lainnya berkisar antara 1,5 cm dan 2 cm, pada pengujian bangunan ini dilakukan dengan jarak 2 cm.
- b. Sebelum dilakukan pengujian dengan hammer, permukaan beton yang sudah dibobok diratakan dengan menggunakan batu meratakan permukaan.
- c. Tembak ujung plunger yang terdapat pada ujung alat hammer test pada titik-titik yang dituju dengan posisi hammer test tegak lurus.
- d. Ujung Plunger ditekan hingga ujung plunger masuk kedalam baru terjadi tembakan pada beton, kemudian tekan tombol yang terdapat dekat pangkal hammer. Dapat dilihat pada gambar 3.3.
- e. Membaca nilai kekuatan tekan beton yang dites dapat dibaca pada skala yang ditunjukkan oleh jarum yang terdapat pada hammer.
- f. Pengetesan dilakukan sebanyak 12 kali tekan pada masing-masing tempat, setiap kolom dilakukan pada dua tempat, yaitu pada ketinggian 70 cm dari lantai ke elemen yang terkena tsunami dan 154 cm jarak ketinggian dari lantai ke elemen yang tidak terkena tsunami.

Pembacaan hasil

Pembacaan hasil, penulis masukkan data dari hasil analisis yang telah dilakukan dengan *concrete hammer test* pada sebuah kolom bangunan yang telah disimpulkan antara perbandingan dari hasil percobaan keduanya. Hasil rata-rata yang akan diambil adalah nilai yang termasuk dari +6 rata-rata dan -6 rata-rata, sedangkan hasil yang rata-rata yang tidak termasuk kedalam +6 rata-rata dan -6 rata-rata maka nilai tersebut harus dihilangkan. Nilai kuat tekan yang dibaca adalah nilai pantulan pada alat *hammer test*, hasil pengujian akan ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel.

Analisis

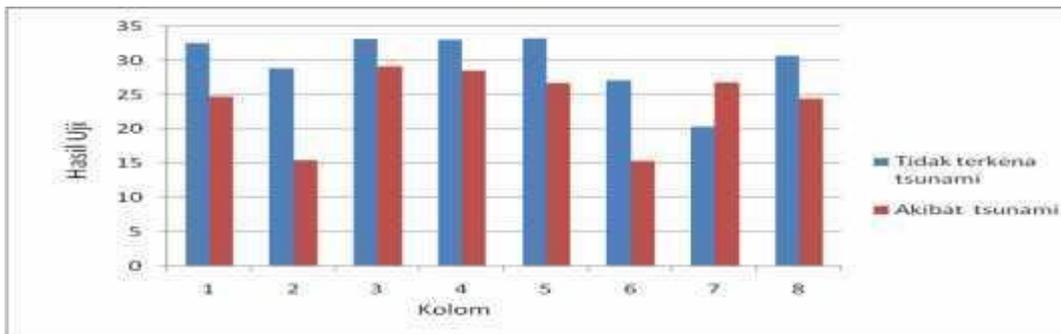
Setelah siap melakukan pengujian, dan informasi data lengkap, kita masukkan data hasil pengujian pada elemen struktur kolom yang terkena tsunami yang sudah dipilih barulah kita lakukan analisis terhadap gedung tersebut, namun setelah itu kita bandingkan antara data keduanya yang telah dilakukan pengujian, setelah itu barulah kita tahu hasil perbedaannya. Kemudian simpan data dari analisis yang sudah kita lakukan, untuk selanjutnya kita lakukan pembacaan hasil.

Hasil pengujian dilakukan sebanyak 12 kali uji tembakan pada kolom bangunan dengan alat *hammer test*, kemudian akan diambil data-data yang nilainya masuk kedalam ± 6 dari nilai rata-rata kemudian dari nilai tersebut barulah dihitung % dari setiap kolom yang telah dilakukan pengujian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian *schmids hammer*

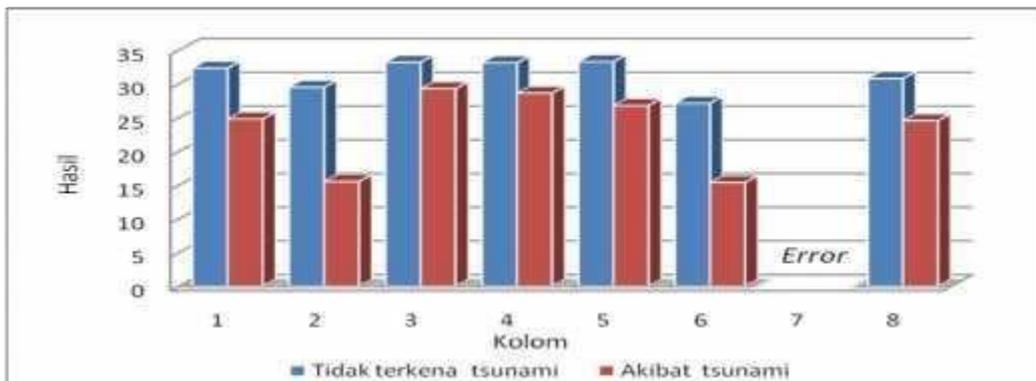
Berdasarkan hasil *hammer test* di beberapa elevasi, terlihat bahwa kekuatan beton cukup seragam, dengan demikian dapat diasumsikan bahwa pengambilan data menggunakan alat *hammer test* dapat dilakukan walaupun tidak seluruhnya, tetapi hasilnya dapat mewakili kondisi beton secara keseluruhan. Hasil pengujian menggunakan alat *Schmids Hammer Test* disajikan dalam grafik berikut:



Gambar 4 : Grafik Nilai Pantul dan Kuat Tekan Beton

4.1.1 Analisa data

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat nilai pantulan rata-rata, nilai yang lebih dari +6 nilai rata-rata dan kurang dari -6 nilai rata-rata ($6 \cdot \text{ratarata} + 6$), maka nilainya harus dihilangkan.



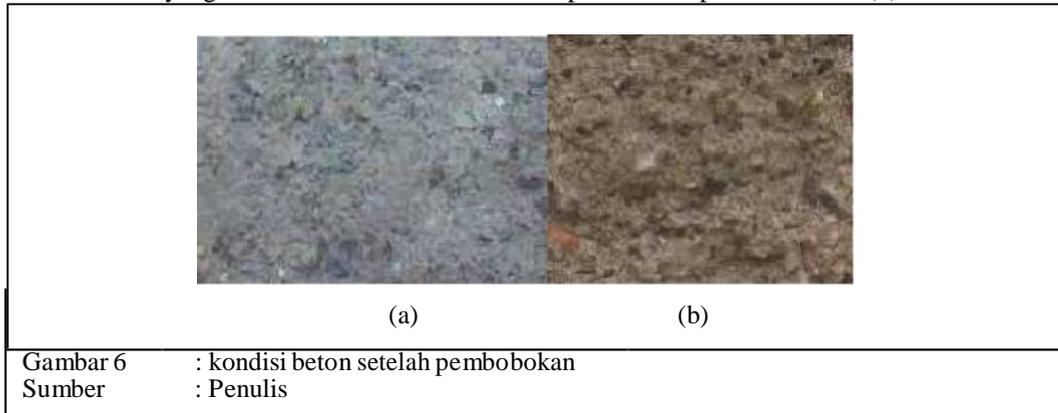
Gambar 5 : Grafik Perhitungan Rata-rata
Sumber : Penulis

Hasil Visual

Berdasarkan hasil penelitian pada bangunan Masjid Paya Peunaga Kecamatan Meureubo Kabupaten Aceh Barat kondisi beton sebelum dan sesudah tsunami mengalami perubahan bentuk, pada beton yang tidak terkena tsunami beton masih dalam kondisi utuh sedangkan pada beton yang sudah terkena tsunami kondisi beton sudah mulai keropos, dengan kondisi besi tulangnya sudah terkelupas.

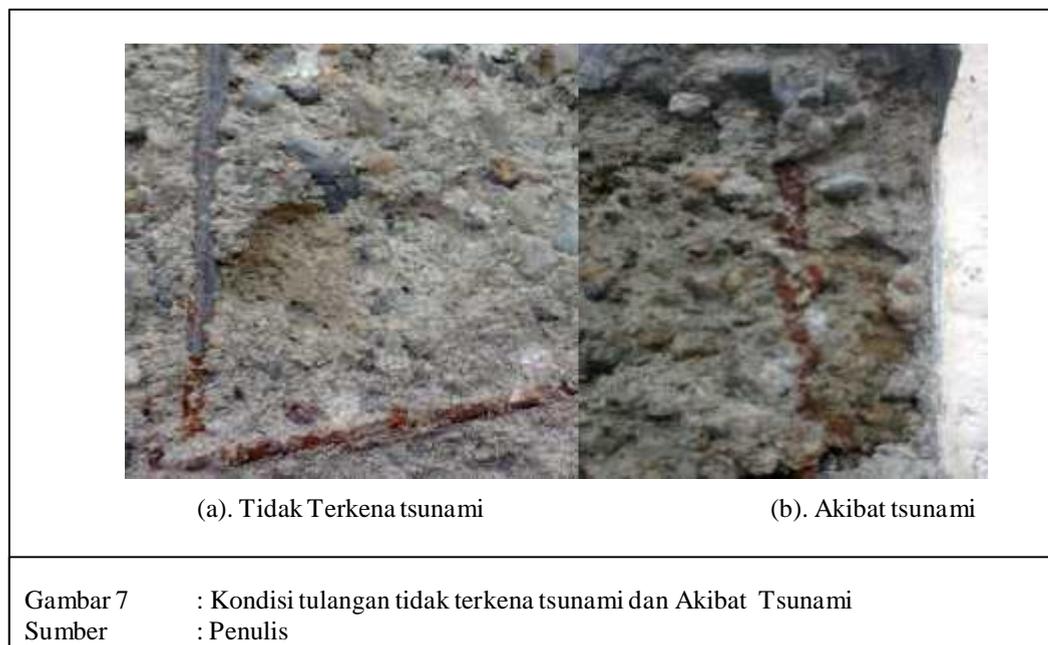
Kondisi beton setelah pembobokan

Dari hasil pembobokan pada elemen beton kondisi tidak terkena tsunami dan pembobokan pada elemen beton kondisi akibat tsunami, diketahui bahwa warna matriks beton dari seluruh elemen adalah putih pucat, warna matriks beton seperti warna pada Gambar 6 (a). Hanya elemen yang terdapat pada kolom 2 bagian akibat tsunami yang memiliki warna matriks beton seperti warna pada Gambar 6 (b).



Kondisi tulangan setelah pembobokan

Dari hasil pembobokan yang telah dilakukan pada elemen kolom beton kondisi tidak terkena tsunami dan pembobokan pada elemen kolom beton akibat tsunami. Kondisi tulangan beton yang tidak terkena tsunami relatif masih baik walaupun telah tampak korosi ringan, tetapi sebaliknya bagian akibat tsunami kondisi tulangan beton terlihat sudah mulai korosi parah. Gambar 7 dibawah ini menjelaskan kondisi tulangan bangunan yang telah terendam air tsunami. Gambar a menunjukkan tulangan yang baru mengalami rusak ringan sedangkan gambar b menunjukkan tulangan yang sudah keropos.



Perbedaan kekuatan terlihat jelas pada Gambar 7 dan, perbandingan berdasarkan data yang telah dilakukan pada kolom bangunan tersebut. Kekuatan beton atau kuat tekan yang dimaksud pada analisa ini adalah kuat pantul yang dimunculkan oleh alat *hammer test* bukan kuat tekan beton yang diuji dilaboratorium.

Berdasarkan hasil uji alat *hammer test* sesuai yang dibahas diatas kekuatan kolom terjadi penurunan kekuatan antar beton, kekuatan tersebut juga dikhawatirkan berpengaruh pada keandalan bangunan karena sudah tidak bisa dikalibrasikan dengan grafik yang ada pada alat *hammer test*.

PENUTUP

KESIMPULAN

1. Berdasarkan dari hasil pembobokan kolom bangunan tulangnya berkorosi sudah dalam rusak parah pada bagian terkena tsunami, sedangkan pada bagian tidak terkena tsunami tulangnya juga ada yang berkorosi tetapi tidak termasuk rusak parah.
2. Dari hasil pengujian *Concrete Hammer Test Non-Destructive* pada Masjid Paya Peunaga Kecamatan Mereubo Kabupaten Aceh Barat besar terjadi penurunan kekuatan antar beton dengan pantulan alat *Hammer test* pengujian kolom 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8; persentase masing-masing kolom adalah sebagai berikut: 4%, 45%, 48%, 12%, 19%, 46%, dan 19%.
3. Berdasarkan hasil analisa pengujian penurunan kekuatan antar beton bangunan gedung tersebut sudah tergolong kedalam kategori kurang baik.

SARAN

1. Sebaiknya gedung yang telah keropos dan sudah terkena tsunami sebaiknya jangan lagi digunakan sebagaimana layaknya.
2. Agar nantinya setiap gedung yang sudah mengalami atau terendam air tsunami, juga melakukan analisis terhadap struktur bangunannya untuk mengetahui bangunan aman, kuat, kokoh dan masih layak atau tidak layak.
3. Agar Pemerintah atau Pemda melakukan uji kelayakan bangunan yang terkena tsunami agar dapat dikeluarkan sertifikat laik fungsi bangunan gedung sesuai dengan Undang-undang.

DAFTAR PUSTAKA

- Alkhaly, R.H., 2013, *Penilaian Kerusakan Pada Gedung Kantor Jasa Raharja Lhokseumawe*, Teras Jurnal.
- Anggraeni, S.H., dkk., 2013, *Perbandingan Kekuatan Beton Berdasarkan Hasil Ultrasonic Pulse Velocity Test Dengan Uji Tekan (020M)*, Universitas Sebelas Maret (UNS)-Surakarta.
- Dewanti, R., dkk., (2013) *Investigasi Indeks Kerusakan Pada Struktur Baja 4 Tingkat Dengan Menggunakan Analisa Riwayat Waktu*.
- Dewi, M.S., dkk., 2013, *Investigasi Keandalan Struktur Beton Pada Bangunan Cerobong Menggunakan Destructive Dan Non Destructive Test (Studi Kasus : Stack Boiler Gresik Unit 1& 2)*, Jurnal Rekayasa Sipil.

- Fauzan dkk., 2009. *Analisa Kerusakan Struktur Bangunan Gedung “A” SMAN 10 Padang Akibat Gempa 30 September 2009*. Jurnal
- Hartono, H., 2007, *Analisa Kerusakan Struktur Bangunan Gedung Bappeda Wonogiri (The Analysis Of Structure Fiature At Bappeda Wonogiri Building)*.
- Ilyas, T. A., 2006, *Mitigasi Gempa dan Tsunami di Didaerah Perkotaan*, Guru Besar Geotechnik Fakultas Universitas Indonesia.
- Lubis, M., 2003, *Pengujian Struktur Beton Dengan Metode Hammer Test dan Uji Pembebanan (Load Test)*.
By USU Digital Library
- Rochman, A., 2006, *Gedung Pasca Bakar Estimasi Kekuatan Sisa Dan Teknologi Perbaikannya*.
- Tjokrodinuljo, dkk, 2007, *Teknologi Beton*. Yogyakarta: Biro Penerbit.
- Triatmaja, R., dkk., 2010, *Gaya Gelombang Tsunami Pada Bangunan Berpenghalang*. Surabaya
- Winarsih, T., 2010, *Asesmen Kekuatan Struktur Bangunan Gedung*, Studi Kasus : Bangunan Gedung Unit Gawat Darurat (UGD) dan Administrasi Rumah Sakit Umum Daerah (RSUD) Banyudono, Kabupaten Boyolali, Tesis.
- Faizah, R., 2012, *Natural Disaster and Earthquake Engineering*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.