STUDI PENGARUH GEMPA TERHADAP VARIASI PANJANG TULANGAN PENYALURAN PADA SAMBUNGAN BALOK DAN KOLOM TEPI

Febrin Anas Ismail¹

ABSTRAK

Pada struktur bangunan yang dimiliki masyarakat kita, sering dijumpai struktur tersebut kurang memenuhi persyaratan dalam hal teknis. Sehingga saat terjadi Gempa pada tanggal 6 Maret 2007 menimbulkan kerusakan pada konstruksi bangunan baik perumahan rakyat, fasilitas umum maupun bangunan pemerintah. Kerusakan yang terbanyak didominasi oleh perumahan rakyat yang tergolong *non-engineered building*, dimana perencanaannya dilakukan berdasarkan pengalaman turun temurun. Salah satu bentuk kerusakan pada komponen struktural bangunan yang terjadi akibat gempa terjadi pada bagian sambungan antara balok dan kolom. Hal ini diakibatkan karena tidak memadainya panjang tulangan penyaluran. Oleh karena itu perlu dikaji seberapa besar pengaruh panjang penyaluran tulangan terhadap beban gempa pada bangunan rumah sederhana.

Penelitian ini menggunakan portal berbentuk "L" dengan variasi panjang penyaluran tulangan pada sambungan balok dan kolom tepi sebesar 40 cm dan 20 cm. Untuk mengetahui mutu bahan yang digunakan, terlebih dahulu dilakukan tes material untuk agregat halus dan kasar.

Pengujian sampel dilakukan dengan memberi beban horizontal dengan metode *static pushover* sebagai bentuk dari beban gempa. Dari hasil pengujian portal didapatkan besarnya pengaruh variasi penyaluran tulangan pada sambungan balok dan kolom tepi, sehingga didapatkan panjang penyaluran tulangan yang baik untuk digunakan.

Kata Kunci : gempa, panjang penyaluran.

1. PENDAHULUAN

Gempa bumi merupakan suatu fenomena alam yang tidak dapat dihindari, tidak dapat diramalkan kapan terjadi dan berapa besarnya, serta akan menimbulkan kerugian baik harta maupun jiwa bagi daerah yang ditimpanya dalam waktu relatif singkat.

Indonesia merupakan kawasan dengan intensitas kegempaan yang aktif di dunia, karena di wilayah ini melintas Jalur Circum Pasifik dan Jalur Hindia - Himalaya. Selain itu, keberadaan tiga lempeng tektonik sangat mempengaruhi resiko kegempaan di Indonesia. Setidak-tidaknya empat ratus gempa terjadi setiap tahun yang meliputi gempa besar, sedang dan kecil. Untuk tahun 2004-2007, terjadi beberapa gempa bumi yang dapat dikatakan berkategori besar dengan selang waktu yang berdekatan. Diantara beberapa kejadian gempa tersebut, mengakibatkan dampak yang merugikan baik dalam hal intensitas kerusakan pada bangunan maupun korban jiwa yang diakibatkannya.

Dari aspek kerusakan bangunan, hasil kajian terhadap kejadian gempa 6 Maret 2007 itu dapat disimpulkan bahwa kerusakan yang paling besar dialami oleh bangunan rumah penduduk. Selanjutnya hasil kajian menjelaskan bahwa penyebab utama kerusakan adalah diakibatkan oleh kurang terpenuhinya persyaratan bahan yang digunakan dan persyaratan teknis yang meliputi kualitas konstruksi, seperti sambungan pada elemen struktur.

¹ Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Andalas, e-mail: febrin@ft.unand.ac.id

Persyaratan teknis pada bangunan merupakan persyaratan dasar yang harus dipenuhi oleh suatu bangunan tahan gempa. Karena seperti yang kita ketahui gempa bumi menyebabkan goyangan pada tanah sehingga dasar bangunan di atasnya akan ikut tergoyang. Jika bangunan tersebut tidak terikat dengan kuat antara elemen-elemen strukturnya, maka setiap elemen akan terlepas dan menyebabkan keruntuhan pada bangunan tersebut.

Salah satu syarat bangunan tahan gempa adalah terjaganya sambungan antara elemen struktur mulai dari struktur bagian bawah sampai dengan struktur bagian atas. Salah satu kesalahan konstruksi yang paling banyak ditemukan adalah kesalahan pada sambungan kolom dengan ring balok. Pada sambungan tersebut tidak diberi tulangan penyaluran, walaupun ada tetapi tidak mencukupi/kurang dari persyaratan 40 cm. Seperti yang kita ketahui, untuk konstruksi beton bertulang, sambungan antara elemen struktur biasanya dilakukan dengan memberikan suatu panjang penyaluran tulangan antara elemen struktur agar saling mengikat satu sama lainnya.

Oleh sebab itu, untuk mengetahui sejauh mana pengaruh sambungan elemen struktur antara kolom dan balok ring terhadap beban gempa yang diberikan, perlu diadakan suatu percobaan dengan skala penuh. Percobaan skala penuh adalah cara yang paling produktif dan efektif untuk memperoleh informasi mengenai apa yang terjadi pada bangunan kalau digoncang gempa. Percobaan skala penuh yang paling tepat adalah memeriksa dengan seksama dan belajar dari kerusakan bangunan akibat gempa. Sampai beberapa tahun yang lalu, cara inilah yang digunakan untuk merencanakan bangunan *non-engineered* agar tahan gempa, yaitu belajar dari kerusakan di masa lalu.

Penelitian bertujuan untuk melakukan pengkajian mengenai sambungan tulangan antara balok dan kolom tepi dengan variasi tulangan penyaluran 40cm dan 20 cm. Manfaat dari penelitian ini adalah agar kita dapat mengetahui pola sambungan manakah yang baik untuk digunakan. Sehingga masyarakat dapat menerapkan pola sambungan yang baik untuk digunakan dalam mendirikan bangunan.

2. PELAKSANAAN PENGUJIAN

2.1 Perencanaan Benda Uji

Benda uji yang akan diteliti adalah model skala penuh (*full scale model*) variasi panjang penyaluran tulangan pada sambungan kolom dan balok tepi. Pemilihan variasi panjang tulangan ini bertujuan untuk menentukan panjang penyaluran tulangan yang baik untuk digunakan. Bentuk model yang diambil sebagai model benda uji (*sampel*) adalah balok kolom tepi dari rumah sederhana, seperti pada **Gambar 1**.

Gambar 1. Daerah yang Ditinjau

Pada bagian tengah balok dan bagian tengah kolom, jika diberi beban lateral, maka momen pada tengah bentang tersebut bernilai nol. Berdasarkan hal tersebut maka pada tengah bentang balok dengan momen bernilai nol dapat diganti dengan engsel/ rol. Benda uji dibuat sesuai dengan skala yang sebenarnya (*full scale specimen*), agar komponen struktur selama menerima beban uji dapat menggambarkan perilaku yang sebenarnya.

Jenis perletakan yang digunakan ada dua macam, yaitu perletakan jepit dan rol. Perletakan jepit untuk kolom sedangkan rol untuk balok. Balok diberi perletakan rol agar dapat bergerak bebas arah sumbu global x .

Pada eksperimen ini dibuat 2 (dua) buah portal dengan dengan variasi panjang tulangan penyaluran pada sambungan aadalah sebagai berikut :

1. Panjang penyaluran tulangan 40 cm
Tulangan kolom dilebihkan sepanjang 40 cm dari tinggi kolom sebagai tulangan penyaluran, seperti pada **Gambar 2**.
Tinggi Portal : 3,50 m
Volume Portal : 0,0806 m³
Panjang penyaluran : 40 cm

Gambar 2. Detail Penulangan Benda Uji dengan Panjang Penyaluran 40 cm

2. Panjang penyaluran tulangan 20 cm
Tulangan kolom dilebihkan sepanjang 20 cm dari tinggi kolom sebagai tulangan penyaluran. Seperti pada **Gambar 3**.
Tinggi Portal : 3,50 m
Volume Portal : 0,0806 m³
Panjang penyaluran : 20 cm

Gambar 3. Detail Penulangan Benda Uji Dengan Panjang Penyaluran 20 cm

2.2 Material Beton dan Baja

Campuran beton menggunakan semen normal (semen tipe 1), yaitu semen yang dapat digunakan secara umum tanpa persyaratan tertentu. Beton yang digunakan untuk benda uji direncanakan dengan mutu 175 kg/cm^2 (K-175) dengan perbandingan campuran 1 semen : 2 pasir : 3 kerikil. Baja tulangan yang digunakan terdiri dari tulangan ulir dan tulangan polos dengan tegangan leleh aktual 240 MPa.

2.3 Instrumentasi dan Setup Pengujian

Alat ukur yang digunakan pada penelitian ini adalah dial perpindahan. Sedangkan alat uji pembebanan yang digunakan dalam penelitian adalah *actuator* dengan kapasitas 5 ton, digunakan untuk memberikan beban horizontal pada benda uji. Setup pengujian dan sistem pembebanan pengujian dapat dilihat pada **Gambar 4**.

Gambar 4. Setup Pengujian Benda Uji

Pengujian dilakukan dengan langkah – langkah sebagai berikut :

- Memakukan papan pada bidang masif sebagai peredam dan beban dari *actuator* tidak langsung bersentuhan dengan bidan masif.
- Beban *pushover (actuator)* yang telah dipersiapkan, diposisikan pada bidang masif dalam arah horizontal di titik benda uji yang akan diberikan dorongan (**Gambar 5**).

Gambar 5. Actuator

- c. Setelah posisi beban tepat, maka kemudian dipasang dial untuk membaca besar perpindahan (δ) yang terjadi pada ujung balok (**Gambar 6**).

Gambar 6. Dial Perpindahan

- d. Dengan memberikan beban pushover, benda uji didorong sebesar P secara bertahap sampai benda uji mengalami perubahan (keruntuhan).
- e. Setelah itu diamati dan dicatat perubahan yang terjadi baik itu pada kolom dan balok dengan mencatat besar deformasi yang terjadi atau pola retak yang ditimbulkan pada benda uji.
- f. Prosedur di atas dilakukan kepada kedua benda uji. Dokumentasikan perubahan yang terjadi pada setiap benda uji dan dilakukan analisa manakah yang lebih baik (panjang penyaluran 40 cm atau 20 cm).

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN HASIL PENGUJIAN

3.1 Hubungan Beban – Perpindahan

Kurva *pushover* untuk hubungan beban (P) dan besarnya deformasi (δ) yang terjadi pada portal untuk panjang penyaluran 40 cm ditunjukkan pada **Gambar 7**. Pada gambar tersebut terlihat bahwa nilai beban P yang dicapai adalah 190 kg dengan perpindahan 112 mm. Pada grafik tampak bahwa nilai beban P masih mengalami kenaikan dan belum tampak adanya penurunan beban.

Gambar 7. Kurva Pushover untuk Panjang Penyaluran 40 cm

Pada panjang penyaluran 20 cm, beban maksimum P yang dapat dicapai adalah 155 kg pada perpindahan 88 mm. Setelah pembebanan sebesar 155 kg tersebut beban P mengalami penurunan beban sebesar 30 kg sehingga beban P menjadi 125 pada perpindahan 90 mm dan 94 mm. Kondisi tersebut dapat dilihat pada **Gambar 8**.

Gambar 8. Kurva Pushover untuk Panjang Penyaluran 20 cm

Analisa statik nonlinear merupakan prosedur analisa untuk mengetahui perilaku keruntuhan suatu bangunan terhadap gempa, yang dikenal dengan istilah *pushover* atau analisa beban dorong statik. Tujuan analisa *pushover* adalah untuk memperkirakan gaya maksimum dan deformasi yang terjadi serta untuk memperoleh informasi bagian mana saja yang kritis.

Beban P maksimum untuk panjang penyaluran 40 cm adalah 190 kg dengan besar perpindahan maksimum (δ_{maks}) adalah 122 mm. Sedangkan pada panjang penyaluran 20 cm beban P maksimum adalah 155 kg dengan perpindahan maksimum pada balok 88 mm.

Dari hasil tersebut dapat dianalisa beberapa hal yang berkaitan dengan hubungan beban dan perpindahan yaitu :

1. Panjang penyaluran 40 cm dapat menahan beban (P) lebih besar dibandingkan dengan panjang penyaluran 20 cm.
2. Perpindahan maksimum (δ_{maks}) dan penurunan beban (P) pada panjang penyaluran 20 cm lebih cepat terjadi dibandingkan panjang penyaluran 40 cm. Hal ini membuktikan bahwa panjang penyaluran 40 cm lebih bersifat liat. Sehingga perpindahan maksimum lebih lama terjadi dan penurunan beban P secara tiba-tiba dapat dihindari.

3.2 Pola Retak

Selain besar deformasi (δ) yang terjadi pada model uji akibat pemberian beban *pushover* (P), juga diperoleh visualisasi tentang pola retak atau keruntuhan yang terjadi pada sambungan balok dan kolom setelah pengujian di laboratorium. Gambar-gambar berikut menunjukkan pola retak hasil pengujian. **Gambar 9** dan **Gambar 10** untuk panjang penyaluran 40 cm dan **Gambar 11** dan **Gambar 12** untuk panjang penyaluran 20 cm.

Berbeda dengan panjang penyaluran 20 cm, pola retak yang terjadi antara bagian sisi depan dan sisi belakang portal pada panjang penyaluran 40 cm memiliki kesamaan bentuk retakan, yaitu sejajar dengan panjang penyaluran bagian bawah (daerah tarik). Selain itu pola retak lebih menyebar dan sedikit serta tidak terkonsentrasi pada *joint* balok-kolom. Pola retak menyebar dan tidak

terkonsentrasi pada daerah *joint* balok-kolom serta retakan yang terjadi sedikit merupakan pola retak yang dianjurkan, karena kemungkinan akan keruntuhan secara tiba-tiba tidak terjadi.

Dari hasil uji eksperimen dan analisa, diketahui bahwa retak yang terjadi pada panjang penyaluran 20 cm yang lebih rapat dan terkonsentrasi pada *joint* balok-kolom. Hal ini disebabkan oleh beban yang diterima oleh panjang penyaluran 20 cm pada awal perpindahan lebih besar dari pada panjang penyaluran 40 cm. Selain itu ikatan antara tulangan dan beton juga mempengaruhi kerapatan dari retakan.

Perbedaan lainnya retak pada panjang penyaluran 20 cm terjadi pada daerah tekan sedangkan pada panjang penyaluran 40 cm retak terjadi pada daerah tarik. Hal ini membuktikan bahwa panjang penyaluran 40 cm lebih mampu mencegah terjadinya keruntuhan pada *joint* balok-kolom di daerah tekan dibandingkan dengan panjang penyaluran 20 cm.

Sedangkan dari segi besarnya beban maksimum (P) yang dapat dipikul, panjang penyaluran 20 cm mampu menahan beban yang lebih besar pada awal-awal perpindahan hingga mencapai batas beban ultimit, setelah itu terjadi penurunan beban secara tiba-tiba (portal mengalami keruntuhan). Perilaku struktur seperti ini sangat tidak aman untuk bangunan pada daerah gempa, karena keruntuhan secara tiba-tiba dapat memakan korban jiwa yang lebih banyak. Jika dibandingkan dengan panjang penyaluran 40 cm, deformasi yang terjadi lebih panjang dan tidak terjadi penurunan beban secara tiba-tiba. Kondisi ini sangat baik untuk daerah rawan gempa karena struktur dengan deformasi/ memiliki perpindahan yang panjang memiliki daktilitas yang baik, sehingga tidak terjadi penurunan secara tiba-tiba. Karena penelitian ini mengacu pada perencanaan rumah tahan gempa, Dimana lebih dititik beratkan pada minimalisasi jatuhnya korban jiwa, maka panjang penyaluran 40 cm bisa dipilih sebagai alternatif, karena kemungkinan keruntuhan secara tiba-tiba sangat kecil.

Gambar 9. Pola Retak (Tampak Depan) pada Panjang Penyaluran 40 cm

Gambar 10. Pola Retak (Tampak Belakang) pada Panjang Penyaluran 40 cm

Gambar 11. Pola Retak (Tampak Depan) pada Panjang Penyaluran 20 cm

Gambar 12. Pola Retak (Tampak Belakang) pada Panjang Penyaluran 20 cm

3.3 Analisa Tegangan dan Regangan

Pada analisa tegangan-regangan ini ditinjau pada dua bagian penampang yaitu penampang pada kolom bagian atas dan pada penampang balok pada jarak 35 cm dari pangkal balok atau daerah sambungan, seperti terlihat pada **Gambar 13**.

Gambar 13. Titik Tinjauan Tegangan dan Regangan Penampang

Dari pegujian yang dilakukan, didapat dua data, yaitu beban dan perpindahan. Dengan menggunakan data tersebut dapat diketahui nilai tegangan dan regangan yang terjadi. Berikut ditampilkan hasil perhitungan tegangan dan regangan dengan metoda trial and error nilai c (jarak serat tekan terluar ke garis netral). Dalam analisis ini dilakukan perhitungan tegangan dan regangan pada beberapa data beban sehingga didapat diagram tegangan-regangan pada setiap titik tinjauan.

3.3.1 Titik A (Panjang Penyaluran 20 cm dan 40 cm)

1). Panjang Penyaluran 40 cm

Penambahan beban ditinjau pada titik 1 – 5 diperlihatkan pada **Gambar 14**. Akibat dari penambahan beban tersebut terjadi perubahan tegangan dan regangan baik pada beton maupun pada baja tulangan. Pada titik ini tegangan beton yang terjadi di sepanjang lengan momen internal (C) yang diberikan sebesar 22,979 kg – 190 kg masih dalam kondisi linier. Semakin bertambahnya beban maka nilai C juga akan bertambah besar selama masih dalam kondisi linier seperti pada **Gambar 15**. Selain itu distribusi tegangan pada penampang balok belum mengalami retak. Pada kondisi 1 – 5, tegangan beton f_c akibat beban P masih lebih kecil dari pada f_c' ($f_c < f_c'$). Selanjutnya pada tulangan nilai f_s maksimum untuk tulangan tarik pada pengujian adalah 62.88 MPa masih lebih kecil dari $f_y = 240$ MPa, dapat dikatakan tulangan belum leleh.

Dari segi regangan, bertambahnya beban berbanding lurus dengan penambahan regangan baik pada beton maupun baja. Berdasarkan perhitungan pada kondisi 5 nilai regangan beton (ϵ_c) adalah 0,0002678 mm/mm (< 0.003). Sedangkan regangan baja pada tulangan tarik dan tekan masing-masing 0,000314 dan 0,000129 masih lebih kecil dari ϵ_y yaitu 0,0012. Dengan kata lain, baja tulangan masih dalam kondisi elastis seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 16** dan **Gambar 17**. Jika perhitungan secara analisis dilanjutkan maka baja tulangan tarik kondisi leleh ($\epsilon_s = \epsilon_y = 0,0012$) pada saat tegangan beton (f_c') 15,4 MPa. Seperti pada. Secara analisis dapat disimpulkan bahwa beban maksimum 190 kg pada eksperimen belum mengakibatkan beton retak/ hancur pada daerah tekan dan tulangan baja belum leleh.

Gambar 14. Titik Tinjauan Panjang Penyaluran 40 cm

Gambar 15. Plot Titik Tegangan-Regangan ke Grafik Hognestad

Gambar 16. Kondisi Tegangan - Regangan Tulangan Baja Bagian Atas

Gambar 17. Kondisi Tegangan-Regangan Tulangan Baja Bagian Bawah

2). Panjang Penyaluran 20 cm

Gambar 18 menunjukkan kondisi dimana tegangan dan regangan penampang saat diberi beban *pushover*. Pada pembebanan maksimum sebesar 155,3 kg kondisi tegangan-regangan beton masih dalam kondisi linier seperti pada **Gambar 19**. Selain itu distribusi tegangan pada penampang balok belum mengalami retak. Pada kondisi 1 - 5 tegangan beton f_c akibat beban P masih lebih kecil dari pada f'_c ($f_c < f'_c$). Sama halnya dengan tulangan tarik pada balok nilai tegangan tarik maksimum (f_s) pada pengujian adalah 99,21 MPa ($f_s < f_y$).

Dari segi regangan pada kondisi 5 (beban maksimum saat pengujian) regangan beton adalah 0,000277 mm/mm masih lebih kecil dari pada regangan maksimum beton 0,003. Selain itu regangan yang terjadi pada tulangan juga belum melebihi regangan leleh (ϵ_y) yaitu 0,0012, dimana nilai dari regangan baja (ϵ_s dan ϵ'_s) masing-masing 0,000496 mm/mm dan 0,000093 mm/mm. Sama halnya dengan panjang penyaluran 40 cm, untuk panjang penyaluran 20 cm baja tulangan tarik dan tekan masih dalam kondisi elastis (linier) diperlihatkan pada **Gambar 20** dan **Gambar 21**.

Gambar 18. Titik Tinjauan Panjang Penyaluran 20 cm

Gambar 19. Plot Titik Tegangan-Regangan Beton ke Grafik Hognestad

Gambar 20. Kondisi Tegangan-Regangan Tulangan Baja Bagian Atas

Gambar 21. Kondisi Tegangan-Regangan Tulangan Baja Bagian Atas

3.3.2 Titik B (Panjang Penyaluran 20 cm dan 40 cm)

Tinjauan pada daerah kolom untuk setiap pertambahan beban diperlihatkan pada **Gambar 22** untuk panjang penyaluran 40 cm dan **Gambar 23** untuk panjang penyaluran 20 cm. Berdasarkan hasil perhitungan, untuk panjang penyaluran 40 cm beban maksimum yang diberikan saat pengujian 155,8 kg masih terlalu kecil karena tegangan beton (f_c) yang diperoleh masih lebih kecil dari pada kuat tekan beton (f'_c) yaitu 7,45 MPa (**Gambar 24**). Untuk tulangan tarik dan tulangan tekan, tegangan maksimum tulangan yang terjadi saat pengujian masing-masing sebesar 151,94 MPa dan

27,15 MPa, sehingga dapat diartikan tulangan tarik dan tekan masih dalam kondisi elastis (belum leleh) seperti pada **Gambar 25** dan **Gambar 26**.

Sama halnya dengan panjang penyaluran 40 cm, untuk panjang penyaluran 20 cm grafik tegangan-regangan beton dan baja tulangan masih dalam kondisi linier (**Gambar 25**). Karena nilai f_c pada kondisi 5 (**Gambar 24**) masih lebih kecil dari pada kuat tekan beton (f'_c). Begitu pula untuk nilai f_s masih lebih kecil dari pada tegangan leleh baja (f_y) yaitu 240 MPa.

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan bahwa beban maksimum yang diberikan pada pengujian masih terlalu kecil, sehingga beton belum mengalami retak pada daerah tekan dan tulangan leleh belum mengalami.

Gambar 22. Titik Tinjauan Panjang Penyaluran 40 cm

Gambar 23. Titik Tinjauan Panjang Penyaluran 20 cm

Gambar 24. Plot Titik Tegangan-Regangan ke Grafik Hognestad

Gambar 25. Kondisi Tegangan-Regangan Tulangan Baja Tarik

Gambar 26. Kondisi Tegangan-Regangan Tulangan Baja Tekan

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil studi eksperimental tersebut di atas, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Panjang penyaluran 40 cm mampu memikul beban maksimum (P_{maks}) lebih besar dibandingkan dengan panjang penyaluran 20 cm.
2. Pola retak pada panjang penyaluran 20 cm berbentuk diagonal dan terkonsentrasi pada *joint* sedangkan pada panjang penyaluran 40 cm pola retak lebih menyebar (tidak terkonsentrasi pada *joint* balok-kolom) dan menjalar ke daerah balok.
3. Berdasarkan analisis tegangan-regangan beton dan baja tulangan, kedua sampel uji masih dalam kondisi linier/elastis.
4. Berdasarkan hasil perhitungan, kedua sampel uji mengalami keruntuhan tarik (*under reinforce*) karena tulangan mencapai kuat lelehnya terlebih dahulu.
5. Baja tulangan untuk panjang penyaluran 20 cm mencapai kuat leleh terlebih dahulu jika dibandingkan dengan penjang penyaluran 40 cm.
6. Baja tulangan pada titik tinjau B (pada kolom) lebih dahulu mencapai kuat leleh dari pada baja tulangan pada titik tinjau A (pada balok). Sehingga perlu adanya panjang penyaluran dari balok ke kolom.

DAFTAR PUSTAKA

- Boen, T., (1983), Manual Bangunan Tahan Gempa (Rumah Tinggal), Yayasan Lembaga Penyelidikan Masalah Bangunan.
- Boen T., (2000), Bangunan Rumah Tinggal Sederhana : Belajar dari Kerusakan Akibat Gempa, Prosiding Lokakarya Nasional Bangunan Sederhana Tahan Gempa, UII, Yogyakarta.
- Boen T., (2000), Gempa Bumi Bengkulu : Fenomena dan Perbaikan/ Perkuatan Bangunan (Bedasarkan Hasil Pengamatan Bangunan yang Rusak akibat Gempa Bumi Bengkulu 4 Juni 2000, Teddy Boen dan Rekan, Jakarta.
- Boen,T., (1994), *Manual Perbaikan Bangunan Sederhana yang Rusak akibat Gempa Bumi*.
- SNI 03-1726-2002, Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Bangunan.
- SNI 03-6816-2002, Tata Cara Pendetailan Penulangan Beton Bertulang Indonesia.