

STUDI PERILAKU KINERJA KEKUATAN DAN KEKAKUAN KOMPONEN BALOK BETON BERTULANG RUMAH MODULAR

Octavianus Mangatas Samosir

1421912

Pembimbing: Dr. Yosafat Aji Pranata, S.T., M.T.

ABSTRAK

Rumah modular dengan komponen-komponen strukturnya dibuat secara prefabrikasi (pracetak), rumah modular mempunyai keunggulan yaitu komponennya dapat diproduksi secara massal di lokasi *workshop*, sistem modular yang siap dirakit tersebut dapat dikirim ke lokasi-lokasi daerah yang membutuhkan rumah tinggal. Sistem modular juga mengakomodasi kepentingan konsep rumah tumbuh dalam arti dapat berkembang sesuai kebutuhan penghuninya. Struktur rumah modular harus memenuhi kaidah persyaratan kekuatan, kekakuan, dan stabilitas sesuai standar peraturan yang berlaku di Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas balok rumah modular dan membandingkannya dengan hasil analisis menggunakan program *Response-2000*. Benda uji dibuat sebanyak 3 buah balok. Dimensi modular balok ialah 120x120mm dengan panjang 1230mm, dengan kuat tekan beton adalah $f'_c = 27,64\text{MPa}$.

Hasil penelitian di laboratorium menunjukkan bahwa kapasitas lentur dan daktilitas lebih besar dibandingkan dengan hasil dari program *Response-2000*. Kapasitas lentur hasil pengujian untuk benda uji balok 1 adalah 31,44KN, benda uji balok 2 adalah 23,68KN, dan benda uji balok adalah 37,64KN dengan rata-rata kapasitas lentur dari ketiga benda uji adalah 30,92KN. Daktilitas hasil pengujian untuk ketiga benda uji balok adalah 1,57. Kapasitas lentur hasil analisis menggunakan program *Response-2000* adalah sebesar 29,72KN dengan daktilitas sebesar 1,42. Pola retak yang dihasilkan ketiga benda uji Hasan tidak berbeda jauh dengan pola retak yang dihasilkan oleh program *Response-2000*.

Kata Kunci: rumah modular, balok, beton bertulang, kapasitas lentur, daktilitas.

STUDY OF PERFORMANCE AND RIGIDITY OF BEAM-COLUMN JOINT TEST CONCRETE OF FABRICATED HOUSE

Octavianus Mangatas Samosir

1421912

Supervisor: Dr. Yosafat Aji Pranata, S.T., M.T.

ABSTRACT

Modular houses with their structural components are prefabricated, modular houses have the advantage that their components can be massproduced at workshop locations, modular systems that are ready to be assembled can be sent to locations that require residential homes. Modular systems also accommodate the interest of the concept of home grows in the sense that it can develop according to the needs of its inhabitants. Modular house structures must meet the rules of strength, stiffness, and stability requirements in accordance with applicable Indonesian regulatory standards.

This study aims to evaluate the capacity of modular house blocks and compare them with the results of the analysis using program Response-2000. The test specimen is made as many as 3 pieces of beam. The modular dimensions of beam is 120x120mm with a length of 1230mm, with concrete strength is $f_c' = 27,64\text{MPa}$.

The results of laboratory studies show the bending capacity dan ductility are greater than the results of the Response-2000 program. The bending capacity of the test results for the Hasan-B-01 beam test object is 31.44KN, The Hasan-B-02 test object is 23.68KN, and the Hasan-B-03 test object is 37.64KN with the average capacity bending of the three specimens is 30,92KN. The ductility of the test results for the three test specimens of Hasan's beam is 1.57. The resilient capacity of the analysis using the Response-2000 program is 29.72KN with a ductility of 1.42. The pattrens generated by the Response-2000 program.

Keywords: modular houses, beam, reinforced concrete, bending capacity, ductility

DAFTAR ISI

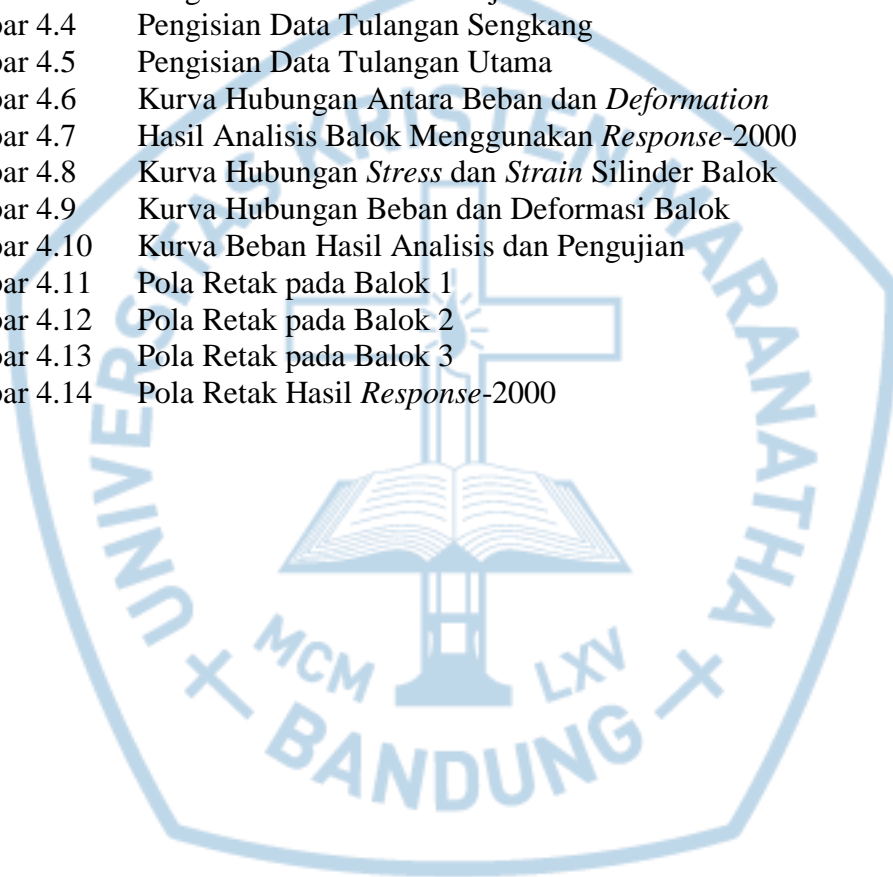
| | |
|--|------|
| HALAMAN JUDUL | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| PERNYATAAN ORISINALITAS LAPORAN PENELITIAN | iii |
| PERNYATAAN PUBLIKASI LAPORAN PENELITIAN | iv |
| SURAT KETERANGAN TUGAS AKHIR | v |
| SURAT KETERANGAN SELESAI TUGAS AKHIR | vi |
| KATA PENGANTAR | vii |
| ABSTRAK | ix |
| <i>ABSTRACT</i> | x |
| DAFTAR ISI | xi |
| DAFTAR GAMBAR | xiii |
| DAFTAR TABEL | xv |
| DAFTAR NOTASI | xvi |
| DAFTAR LAMPIRAN | xvii |
| BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.3 Ruang Lingkup Penelitian | 3 |
| 1.4 Sistematika Penulisan | 3 |
| BAB II STUDI LITERATUR | 4 |
| 2.1 Rumah | 4 |
| 2.1.1 Rumah Tinggal | 4 |
| 2.1.2 Rumah Modular | 5 |
| 2.2 Beton Bertulang | 6 |
| 2.3 Balok Beton Bertulang | 8 |
| 2.4 Gempa Bumi | 9 |
| 2.5 Konsep Perancangan | 9 |
| 2.6 Perencanaan Balok Beton Bertulang | 12 |
| 2.7 Perencanaan Struktur Bangunan Gedung Tahan Gempa | 15 |
| 2.7.1 Penentuan Fundamental Struktur | 18 |
| 2.7.2 Prosedur Gaya Lateral Ekuivalen | 19 |
| 2.7.3 Distribusi Vertikal Gaya Gempa | 20 |
| 2.7.4 Distribusi Horizontal Gaya Gempa | 21 |
| 2.7.5 Penentuan Simpangan Antar Lantai | 21 |
| 2.7.6 Pengaruh P-delta | 22 |
| 2.8 Pengujian Laboratorium | 22 |
| 2.8.1 <i>Universal Testing Machine</i> (UTM) | 22 |
| 2.8.2 Pengujian Silinder Beton | 23 |
| 2.8.3 Uji Lentur Balok | 24 |
| 2.9 Prosedur Pengujian | 25 |
| 2.10 Kuat Lentur Balok | 26 |
| 2.11 Jenis Keruntuhan Lentur | 26 |
| 2.12 Daktilitas | 27 |
| 2.13 Jenis Kegagalan Balok | 27 |

| | |
|---|----|
| BAB III METODE PENELITIAN | 28 |
| 3.1 Diagram Alir Penelitian | 28 |
| 3.2 <i>Preliminary</i> Desain Benda Uji Balok | 30 |
| 3.2.1 Data Struktur dan Denah Rumah Modular Hasan | 30 |
| 3.2.2 <i>Preliminary Design</i> Balok | 31 |
| 3.2.3 <i>Preliminary Design</i> dan Analisis Struktur Atap | 33 |
| 3.2.4 <i>Preliminary Design</i> Kolom | 34 |
| 3.2.5 <i>Preliminary Design</i> Rumah Modular | 35 |
| 3.2.6 Menentukan Luas Tulangan Longitudinal Balok (A_s) | 50 |
| 3.2.7 Periksa Tulangan Minimum (A_{smin}) | 51 |
| 3.2.8 Menentukan Jumlah Tulangan Longitudinal Balok | 51 |
| 3.2.9 Periksa Asumsi Tulangan Leleh Benar | 52 |
| 3.2.10 Menghitung Kebutuhan Tulangan Geser | 52 |
| 3.2.11 Menghitung Momen Nominal | 53 |
| 3.4 Spesifikasi Benda Uji Balok | 53 |
| 3.5 Pembuatan Benda Uji Balok | 53 |
| 3.6 Perawatan Benda Uji Balok | 60 |
| 3.7 Pengecatan dan Penggarisan Benda Uji Balok | 60 |
| 3.8 Pengujian Lentur Balok Beton | 61 |
| BAB IV ANALISIS DATA | 62 |
| 4.1 Analisis Beban dan Lendutan | 62 |
| 4.2 Hasil Pengujian Laboratorium | 66 |
| 4.2.1 Hasil Pengujian Silinder | 66 |
| 4.2.2 Hasil Pengujian Benda Uji Balok | 67 |
| 4.3 Perbandingan Analisis <i>Response-2000</i> dengan Pengujian | 69 |
| 4.4 Daktilitas Benda Uji Balok | 70 |
| 4.5 Kegagalan Setelah Batas Proporsional | 70 |
| 4.6 Perilaku Keruntuhan Benda Uji | 70 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN | 74 |
| 5.1 Kesimpulan | 74 |
| 5.2 Saran | 74 |
| DAFTAR PUSTAKA | 75 |
| LAMPIRAN | 76 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 1.1 | Rumah Modular di Indonesia | 1 |
| Gambar 2.1 | Variasi ϕ dengan Regangan Tarik <i>Netto</i> dalam Baja Tarik Terluar, ε_t , dan c/d_t untuk Tulangan Mutu 420 dan untuk Baja Prategang | 12 |
| Gambar 2.2 | Pemodelan Uji Lentur Balok Bertulang | 24 |
| Gambar 3.1 | Diagram Alir Penelitian | 29 |
| Gambar 3.2 | (a) Denah Arsitek Rumah Modular HASAN, (b) Denah Struktur Rumah Modular HASAN | 30 |
| Gambar 3.3 | Tinjauan Balok Kedua Ujung Menerus | 32 |
| Gambar 3.4 | Tinjauan Balok Satu Ujung Menerus | 32 |
| Gambar 3.5 | Gaya Dalam Struktur Rangka Atap | 33 |
| Gambar 3.6 | Pemodelan Beban Atap Struktur Rumah Modular HASAN | 34 |
| Gambar 3.7 | (a) Skematik Kolom Rumah Modular HASAN, (b) Skematik Balok Rumah Modular HASAN, (c) Skematik Boks <i>Joint</i> Rumah Modular HASAN | 35 |
| Gambar 3.8 | Pengisian <i>Grid</i> Data pada Pemodelan ETABS | 36 |
| Gambar 3.9 | Pengisian Material Pemodelan ETABS | 36 |
| Gambar 3.10 | Pemodelan Kolom pada ETABS | 37 |
| Gambar 3.11 | Pemodelan Kolom pada ETABS (lanjutan) | 37 |
| Gambar 3.12 | Pemodelan Balok pada ETABS | 37 |
| Gambar 3.13 | Pemodelan Rumah HASAN pada ETABS | 38 |
| Gambar 3.14 | Pengisian Pembebanan pada ETABS | 38 |
| Gambar 3.15 | Pengisian Kombinasi Pembebanan pada ETABS | 38 |
| Gambar 3.16 | Pengisian Beban Atap dan Dinding pada ETABS | 39 |
| Gambar 3.17 | Hasil Massa Struktur Bangunan pada ETABS | 39 |
| Gambar 3.18 | Respons Spektrum pada ETABS | 41 |
| Gambar 3.19 | Analisis Partisipasi Ragam dan Periode Getar pada ETABS | 41 |
| Gambar 3.20 | <i>Deformed Shape Mode 1</i> | 42 |
| Gambar 3.21 | <i>Deformed Shape Mode 2</i> | 42 |
| Gambar 3.22 | <i>Deformed Shape Mode 3</i> | 43 |
| Gambar 3.23 | Mengisi Gaya Gempa Lateral Arah-X pada ETABS | 45 |
| Gambar 3.23 | Mengisi Gaya Gempa Lateral Arah-Y pada ETABS | 45 |
| Gambar 3.24 | Mengisi Pembebanan Akibat Respons Spektrum pada ETABS | 46 |
| Gambar 3.25 | Mengisi <i>Case</i> Respons Spektrum Arah-X pada ETABS | 46 |
| Gambar 3.25 | Mengisi <i>Case</i> Respons Spektrum Arah-Y pada ETABS | 46 |
| Gambar 3.26 | Hasil Simpangan Akibat Gempa Arah-X pada ETABS | 48 |
| Gambar 3.26 | Hasil Simpangan Akibat Gempa Arah-Y pada ETABS | 48 |
| Gambar 3.27 | <i>Story Forces SpecX</i> | 49 |
| Gambar 3.28 | <i>Story Forces SpecY</i> | 49 |
| Gambar 3.29 | Penampang Balok | 34 |
| Gambar 3.30 | (a) Pasir Beton dari Galunggung, (b) Kerikil dari Batujajar, (c) Semen Portland | 54 |
| Gambar 3.31 | Pengujian <i>Slump</i> | 55 |
| Gambar 3.32 | Proses Pekerjaan Penulangan | 56 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Gambar 3.33 | Tulangan Balok | 56 |
| Gambar 3.34 | Besi Tulangan Balok Dipasang di Bekisting | 57 |
| Gambar 3.35 | Pemasangan <i>Strain Gauge</i> pada Tulangan | 57 |
| Gambar 3.36 | Proses Pembuatan Campuran Beton | 58 |
| Gambar 3.37 | Proses Penuangan Campuran Beton ke Dalam Bekisting | 58 |
| Gambar 3.38 | Balok Beton Sudah Selesai Dicor | 59 |
| Gambar 3.39 | Perawatan Benda Uji | 60 |
| Gambar 3.40 | Pengecatan Benda Uji | 60 |
| Gambar 3.32 | Benda Uji yang Telah Digaris | 61 |
| Gambar 3.33 | Benda Uji Balok Diletakkan Pada Mesin UTM | 61 |
| Gambar 4.1 | Pengisian Data Dimensi pada <i>Response-2000</i> | 62 |
| Gambar 4.2 | Pengisian Data Material Beton | 63 |
| Gambar 4.3 | Pengisian Data Material Baja | 63 |
| Gambar 4.4 | Pengisian Data Tulangan Sengkang | 64 |
| Gambar 4.5 | Pengisian Data Tulangan Utama | 64 |
| Gambar 4.6 | Kurva Hubungan Antara Beban dan <i>Deformation</i> | 65 |
| Gambar 4.7 | Hasil Analisis Balok Menggunakan <i>Response-2000</i> | 65 |
| Gambar 4.8 | Kurva Hubungan <i>Stress</i> dan <i>Strain</i> Silinder Balok | 66 |
| Gambar 4.9 | Kurva Hubungan Beban dan Deformasi Balok | 67 |
| Gambar 4.10 | Kurva Beban Hasil Analisis dan Pengujian | 69 |
| Gambar 4.11 | Pola Retak pada Balok 1 | 71 |
| Gambar 4.12 | Pola Retak pada Balok 2 | 71 |
| Gambar 4.13 | Pola Retak pada Balok 3 | 72 |
| Gambar 4.14 | Pola Retak Hasil <i>Response-2000</i> | 72 |



DAFTAR TABEL

| | | |
|------------|---|----|
| Tabel 2.1 | Kategori Risiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa | 16 |
| Tabel 2.2 | Faktor Keutamaan Gempa | 18 |
| Tabel 2.3 | Faktor Amplifikasi Getaran Terkait Percepatan pada Getaran Periode Pendek (F_a) | 19 |
| Tabel 2.4 | Faktor Amplifikasi Terkait Percepatan yang Mewakili Getaran Periode 1 Detik (F_v) | 19 |
| Tabel 2.5 | Koefisien untuk Batas Atas pada Periode yang Dihitung | 20 |
| Tabel 2.6 | Nilai Parameter Periode Pendekatan C_t dan x | 21 |
| Tabel 3.1 | Tebal Minimum Balok yang Disyaratkan | 32 |
| Tabel 3.2 | Berat Struktur Bangunan Pemodelan ETABS | 42 |
| Tabel 3.3 | Perhitungan Gaya Gempa Lateral | 45 |
| Tabel 3.4 | Kombinasi Pembebanan Gempa | 48 |
| Tabel 3.5 | Kombinasi Pembebanan Gempa Rumah Modular HASAN | 49 |
| Tabel 3.6 | Pemeriksaan Simpangan Rumah Modular HASAN | 50 |
| Tabel 3.7 | Pemeriksaan Pengaruh P-Delta Rumah Modular HASAN | 50 |
| Tabel 3.8 | Parameter P_u , V_u dan M_u Pada ETABS | 51 |
| Tabel 3.9 | Spesifikasi Benda Uji | 51 |
| Tabel 3.10 | Nilai <i>Slump</i> Berdasarkan ACI-211.1 | 52 |
| Tabel 4.1 | Hasil Kuat Tekan Beton | 64 |
| Tabel 4.2 | Tegangan dan Deformasi Proporsional serta Tegangan dan Deformasi Ultimit Benda Uji | 66 |
| Tabel 4.3 | Perbandingan Pengujian dan Analisis | 67 |

DAFTAR NOTASI

| | |
|-----------------|---|
| A_b | Luas baut |
| A_{gv} | Luas <i>bruto</i> penahan geser |
| A_{nt} | Luas <i>netto</i> penahan tarik |
| A_{nv} | Luas <i>netto</i> penahan geser |
| b_p | Lebar pelat |
| C_d | Faktor amplifikasi defleksi |
| C_s | Koefisien respon seismik |
| C_{vx} | Faktor distribusi vertikal |
| d_b | Diameter baut |
| d_i | Jarak baris ke- i dari baut tarik terhadap titik berat |
| f'_c | Mutu beton |
| F_i | Gaya gempa lateral statik |
| F_{nt} | Tegangan tarik nominal |
| F_{nv} | Tegangan geser nominal |
| F_{py} | Tegangan leleh dari material pelat ujung |
| F_u | Kekuatan tarik minimum |
| F_y | Tegangan leleh minimum |
| l_c | Jarak bersih antara tepi lubang dan tepi lubang yang bedekatan |
| g | Spasi pusat-ke pusat transversal antara sarana penyambung |
| g | Percepatan gravitasi |
| h_i dan h_x | Tinggi dari dasar sampai tingkat i atau x , dinyatakan dalam meter |
| h_{sx} | Tinggi tingkat di bawah tingkat x |
| I_e | Faktor keutamaan gempa |
| k | Eksponen yang terkait dengan periode struktur |
| M_p | Momen lentur plastis |
| M_u | Momen ultimit |
| P_x | Beban desain vertikal pada dan di atas tingkat x |
| R | Koefisien modifikasi respons |
| R_n | Kekuatan nominal |
| s | Spasi pusat-ke pusat longitudinal setiap dua lubang |
| t | Tebal pelat |
| t_p | Tebal pelat ujung |
| U_{bs} | Koefisien reduksi |
| V | Gaya lateral desain total atau geser di dasar struktur |
| V_x | Gaya geser seismik yang bekerja antara tingkat x dan $x-1$ |
| W | Berat total struktur |
| w_i dan w_x | Bagian berat seismik efektif total struktur (W) yang ditempatkan atau dikenakan pada tingkat i atau x . |
| Y_p | Parameter kuat batas pelat berdasarkan pola garis leleh yang dapat berbeda untuk tiap-tiap konfigurasi geometri |
| Z_x | Modulus penampang plastis |
| δ_{xe} | Defleksi pada lokasi yang disyaratkan |
| σ | Tegangan |
| σ_{ijin} | Tegangan izin |

| | |
|-------------|---|
| γ_r | Faktor peningkatan kapasitas sambungan untuk memenuhi syarat sebagai sambungan <i>rigid</i> |
| \emptyset | Faktor ketahanan |
| Δ | Simpangan antar lantai tingkat desain |



DAFTAR LAMPIRAN

| | | |
|--------------|--|----|
| Lampiran L.1 | Detail Komponen Pengujian | 76 |
| Lampiran L.2 | Perhitungan Manual Momen Nominal Balok | 78 |

