

PEMODELAN PERILAKU TEGANGAN DAN REGANGAN BETON SAAT TERBAKAR

Wahyu Rahmadhan¹⁾, Alfian Kamaldi²⁾, Reni Suryanita²⁾

¹⁾Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

²⁾Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Riau

Kampus Bina Widya Jl. HR Soebrantas KM 12,5 Pekanbaru, Kode 28293

Email : wahyu.rahmadhan@student.unri.ac.id

ABSTRACT

Concrete exposed to high temperatures decrease its strength. Dropped down in concrete strength under strength requirement will make the concrete fail to be functioned. The strength of the concrete can be determined from laboratory test, or mathematic model based on the results from experimental test. This study aims to identify the behavior of the stress and strain of the concrete exposed to high temperatures. The model was carried at using Finite Element Software LUSAS and the results compared to mathematic model proposed by Li and Purkiss (2005) and Chang (2006). The specimen used in this study was cylindrical with diameter of 150 mm and height of 300 mm with a 25 MPa of the concrete strength. The model was simulated burning with a constant temperature that varied from 100°C to 800°C. The result showed that strain stress curve shown from the empirical formula has an elastic phase of 0.6f_c, while modeling based LUSAS has an elasticity phase of 0.45 f_c. The difference between the elastic and plastic phases in the LUSAS model was clearly visible according to the temperature of the concrete, while the models using the empirical formula were not affected by temperature. It can concluded that empirical formula model and LUSAS can be used as a reference for the behavior of concrete when exposed to high temperatures.

Keywords : modeling, high temperature, stress, strain, LUSAS

A. PENDAHULUAN

Beton merupakan salah satu bahan bangunan yang sering digunakan sebagai penopang utama struktur. Beton termasuk material struktur bangunan yang relatif tahan terhadap api dibandingkan dengan material konstruksi lain seperti kayu ataupun baja. Hal tersebut disebabkan karena daya hantar panas pada beton lebih rendah dibanding dua bahan tersebut, dengan begitu panas akan lambat untuk masuk kebagian struktur beton. Oleh karena itu pada saat perancangan selimut beton biasanya dibuat dengan ketebalan yang cukup untuk melindungi tulangan dari suhu tinggi jika terjadi kebakaran.

Untuk mengidentifikasi kekuatan beton selain dengan melakukan pengujian

secara eksperimental, dapat juga dilakukan dengan pemodelan. Metode pemodelan terus berkembang hingga sekarang, salah satunya yaitu metode elemen hingga/Finite Elemen Methode (FEM). Pada metode elemen hingga akan mensimulasikan suatu konstruksi yang dikenai gaya seperti beban, tekanan dan temperatur akan timbul akibat-akibat seperti perubahan bentuk (deformasi) yang dinyatakan dengan perpindahan/ displacement.

Berdasarkan hasil pemodelan tersebut dapat diperoleh bagaimana hubungan tegangan dan regangan pada beton ketika terpapar temperatur tinggi. Selain itu, pada penelitian ini juga akan membandingkan kurva tegangan dan regangan pada penelitian ini dengan model yang sudah ada pada penelitian sebelumnya.

B. TINJAUAN PUSTAKA

B.1 Beton

Beton merupakan campuran antara semen Portland atau semem hidrolis, agregat halus, agregat kasar dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Sifat beton akan bergantung pada bahan penyusun dan juga cara pelaksanaannya. Kandungan semen dapat mempengaruhi kecepatan pengerasan beton dan menaikkan kekuatan beton, gradasi agregat halus mempengaruhi pengerjaannya, gradasi agregat kasar mempengaruhi kekuatan beton, sedang komposisi dari agregat halus dan kasar yang mempunyai gradasi baik akan dapat menambah kekuatan beton melalui ikatan antar butiran agregat (Murdock dan Brook, 2003).

B.2 Tegangan dan Regangan

Dalam perencanaan sebuah struktur beton, kuat tekan merupakan kriteria untuk menentukan kualitas beton yang digunakan. Kuat tekan beton biasanya didapatkan dengan pengujian menggunakan Compressive Test Machine (CTM). Pada pengujian yang biasa dilakukan pada sampel silinder atau kubus akan didapatkan nilai tegangan. Tegangan adalah besaran gaya (F) yang diterima suatu benda pada luas penampang (A).

Benda akan berubah bentuk karena adanya pengaruh gaya. Beton adalah bahan yang memiliki sifat non-linear atau elasto-plastis (Soleman, 2014). Non-linear atau elasto-plastis maksudnya beton mempunyai kemampuan elastis dan juga dapat terdeformasi secara permanen akibat dari pembebanan yang terjadi. Rasio dari perubahan dimensi beton terhadap dimensi awalnya disebut regangan (strain).

B.3 Modulus Elastisitas

Ukuran dari kekakuan beton biasa disebut sebagai modulus elastisitas (modulus young). Modulus ini dapat didefinisikan sebagai perbandingan tegangan yang bekerja dengan regangan

yang terjadi pada beton. Secara eksperimental, modulus ini dapat ditentukan dari pengukuran kemiringan kurva tegangan-regangan (stress-strain) yang dihasilkan dalam pengujian kuat tekan beton.

B.4 Poisson's Ratio

Suatu elemen yang diberikan tegangan akan berubah bentuknya, seperti beton yang ditekan akan memendek sekaligus penampangnya akan membesar. Poisson's ratio merupakan nilai rasio antara regangan lateral dengan regangan aksial. Menurut Neville (2009) poisson rasio dari beton bervariasi, secara umum nilai poisson rasio berkisar antara 0,15 untuk beton mutu tinggi dan 0,22 untuk beton dengan mutu rendah.

B.5 Sifat Beton Pada Temperatur Tinggi

Berdasarkan penelitian Wijaya (1999) dalam Priyosulistyo (2000) sebenarnya pengaruh pemanasan beton sampai dengan temperatur 200°C menguntungkan terhadap beton, karena akan terjadi penguapan air (dehidrasi) dan penetrasi ke dalam rongga-rongga beton, sehingga memperbaiki sifat lekatan antar partikel C-S-H. Berdasarkan penelitian (Rochman, 2006) kuat tekan dan kuat lentur dari benda uji beton berbentuk silinder yang dipanaskan dalam tungku pada temperatur 200°C meningkat sekitar 10-15% dibandingkan dengan beton normal tanpa dilakukan pemanasan. Penurunan kuat tekan dan kuat lentur hingga mencapai 50% terjadi pada saat temperatur antara 400-600°C. Penurunan ini terjadi akibat adanya proses dekomposisi unsur C-S-H yang ada pada beton. Apabila temperatur dinaikkan sampai dengan 1000°C terjadilah proses karbonisasi yang berakibat terjadinya penurunan lekatan antara agregat dan pasta semen.

B.6 Pemodelan

Beberapa permasalahan struktur terkadang sulit untuk diselesaikan dilapangan dengan mengamati secara langsung. Pengamatan langsung dilapangan untuk masalah perilaku struktur akan memakan biaya besar dan waktu yang lama. Untuk menghindari kendala tersebut pengamatan bisa dilakukan dengan membuat miniatur dari permasalahan yang ada dilapangan yang biasa disebut studi pemodelan.

B.7 Program LUSAS

LUSAS (London University Stress Analysis Sistem) merupakan program analisis struktur yang menggunakan sistem metode elemen hingga/Finite Element Methode (FEM) untuk menyelesaikan persoalan-persoalan tegangan linier, nonlinier, dinamik.

Dalam menyelesaikan masalah, program LUSAS menggunakan pendekatan diskretisasi elemen untuk

menemukan perpindahan titik simpul/join dan gaya-gaya yang terjadi pada struktur. Diskretisasi elemen ini mengacu pada metode matriks untuk menganalisis struktur. Diskretisasi yang dilakukan dapat berupa elemen satu dimensi (elemen garis), dua dimensi (elemen bidang) atau tiga dimensi (elemen solid).

B.8 Model Li dan Purkiss

Li dan Purkiss (2005) membuat sebuah penelitian tentang hubungan tegangan dan regangan pada material beton ketika adanya peningkatan temperatur. Pada penelitiannya Li dan Purkiss membandingkan model dan data pengujian eksperimental yang sudah ada sebelumnya tentang sifat mekanik beton saat terjadinya peningkatan temperatur. Dari penelitian tersebut juga didapatkan persamaan tentang pengaruh temperatur terhadap sifat beton yaitu kuat tekan, dan regangan puncak seperti dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Persamaan Model Parameter Beton Pada Temperatur Tinggi

Model	Persamaan
Li dan Purkiss	$f_{cT} = f_c \left[0,00165 \left(\frac{T}{100} \right)^3 - 0,03 \left(\frac{T}{100} \right)^2 + 0,025 \left(\frac{T}{100} \right) + 1,002 \right]$ $\epsilon_{uT} = \frac{2f'_c}{E_0} + 0,21 \times 10^{-4} (T-20) - 0,9 \times 10^{-8} (T-20)^2$
Chang	$f'_{cT} = \begin{cases} f'_c(1,01-0,00055T) & 20^\circ\text{C} < T \leq 200^\circ\text{C} \\ f'_c(1,15-0,00125T) & 200^\circ\text{C} < T \leq 800^\circ\text{C} \end{cases}$ $\epsilon_{uT} = \begin{cases} \epsilon_u & 20^\circ\text{C} < T \leq 200^\circ\text{C} \\ \epsilon_u(-0,1f'_c+7,7) \left[\frac{\exp(-5,8+0,01T)}{1+\exp(-5,8+0,001T)} - 0,0219 \right] + 1,0 & 200^\circ\text{C} < T \leq 800^\circ\text{C} \end{cases}$
Alternatif	$E_T = \begin{cases} E_0(1,24 \times 10^{-6} T^2 - 2,45 \times 10^{-3} T + 1,12) & 20^\circ\text{C} \leq T \leq 600^\circ\text{C} \\ \frac{f'_{cT}}{0,005} & 600^\circ\text{C} < T \leq 800^\circ\text{C} \end{cases}$ $f_{cT} = f_c(-9,0 \times 10^{-7} T^2 - 3,9 \times 10^{-3} T + 1,015)$ $f_{crT} = f_{cr}(-1,8 \times 10^{-7} T^2 - 1,1 \times 10^{-3} T + 1,04)$ $\epsilon_{uT} = \epsilon_u(0,0084 \times 10^{-4} T + 1,6)$

B.9 Model Chang

Chang et al (2006) melakukan penelitian tentang hubungan tegangan dan regangan pada beton setelah terpapar temperatur tinggi. Pada penelitian tersebut Chang dan yang lainnya melakukan pengujian eksperimental dengan memanaskan beton dari temperatur 100°C-800°C. Dari penelitian tersebut didapatkan kesimpulan bahwa semakin tinggi temperatur kurva tegangan regangan yang terbentuk semakin datar. Dari penelitian ini didapatkan persamaan tentang pengaruh temperatur terhadap sifat mekanik beton yaitu kuat tekan, dan regangan puncak seperti dapat dilihat pada Tabel 1.

C. METODOLOGI PENELITIAN

C.1 Penentuan Parameter Awal

Sebelum dilakukannya pemodelan, parameter awal sebagai kondisi normal beton ditentukan seperti pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Parameter Beton Kondisi Normal

Parameter	Nilai
Mutu beton (f'_c)	25 MPa
Modulus Elastisitas (E_0)	23500 MPa
Poisson ratio	0,2
Berat volume beton	2400 Kg/m ³
Temperatur awal (T_0)	20 °C

C.2 Pemodelan Tegangan dan Regangan dengan Persamaan Empiris

Pemodelan menggunakan rumus empiris model Li dan Purkiss serta model Chang yang terdapat pada Tabel 1 untuk menentukan pengaruh temperatur pada kekuatan dasar beton. Variabel yang digunakan adalah temperatur beton, mulai dari 100°C ditingkatkan setiap 100°C sampai dengan 800°C. Selanjutnya persamaan hubungan tegangan dan regangan dari Eurocode 2 : 1992-1-2 sebagai berikut.

$$\sigma_{cT} = [3\varepsilon_{cT}f'_{cT}/\varepsilon_{uT}(2 + (\varepsilon_{cT}/\varepsilon_{uT})^3)] \quad (1)$$

Dengan : σ_{cT} = tegangan

ε_{cT} = regangan

f'_{cT} = kekuatan beton pada temperatur tinggi

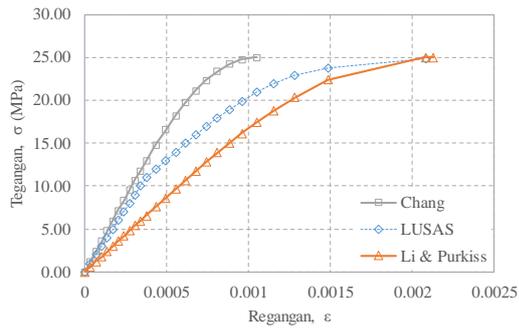
ε_{uT} = regangan puncak pada tegangan maksimum.

C.3 Pemodelan Tegangan dan Regangan dengan Program LUSAS

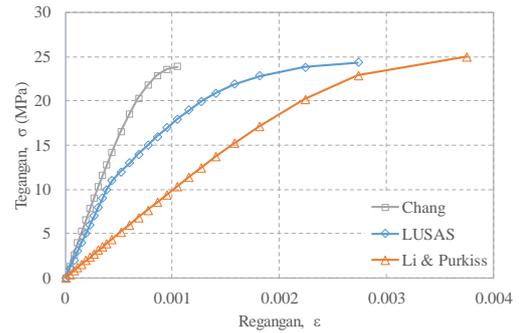
Dari data awal, akan dilakukan perhitungan penurunan kekuatan berdasarkan persamaan Alternatif pada Tabel 1, dimana temperatur bervariasi mulai 100°C meningkat setiap 100°C sampai dengan 800°C. Parameter yang akan dilakukan perhitungan adalah modulus elastisitas, kuat tekan, kuat tarik dan regangan puncak. Model yang digunakan yaitu beton silinder dengan diameter 150 mm dan tinggi 300 mm. Untuk pembebanan digunakan beban terbagi secara merata di permukaan atas beton silinder. Pembebanan dilakukan secara bertahap setiap 1 MPa.

D. Hasil dan Pembahasan

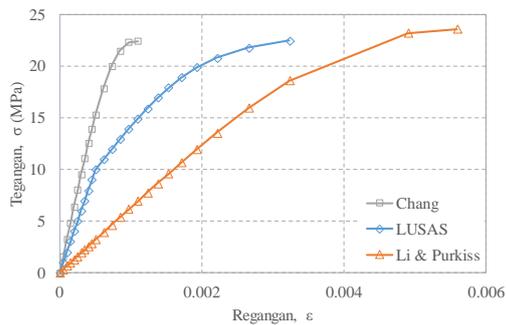
Pada Gambar 1 sampai 9 tampak perbedaan grafik hasil perhitungan dengan rumus empiris dan hasil pemodelan dengan LUSAS. Kurva yang ditampilkan dari rumus empiris terlihat melengkung pada ujung atau pada saat tegangan melebihi 0,6f'c. Hal tersebut berarti model masih memperhitungkan modulus elastisitas hingga 0,6f'c. Sedangkan pada grafik hasil pemodelan LUSAS, antara fase elastis dan plastis tampak jelas. Pemodelan dengan LUSAS masih memperhitungkan modulus elastisitas hingga 0,45f'c. Semakin tinggi temperatur yang diterima beton pada pemodelan LUSAS perbedaan dari fase elastis dan plastis terlihat lebih samar. Sedangkan pada grafik yang menggunakan rumus empiris tidak terlihat perbedaan dengan meningkatnya temperatur.



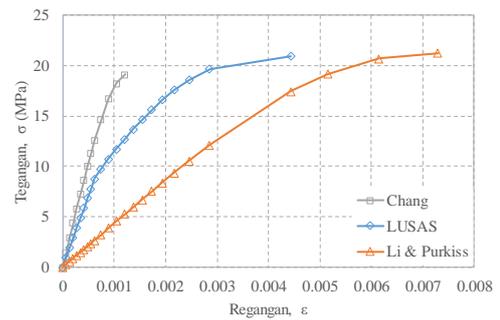
Gambar 1. Kurva tegangan regangan pada temperatur 20°C



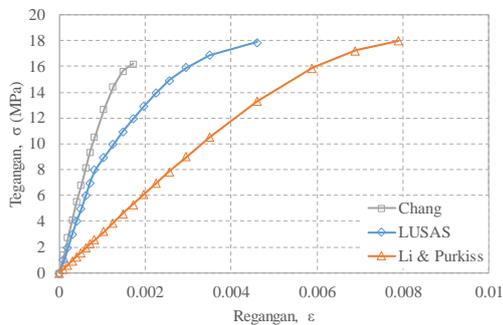
Gambar 2. Kurva tegangan regangan pada temperatur 100°C



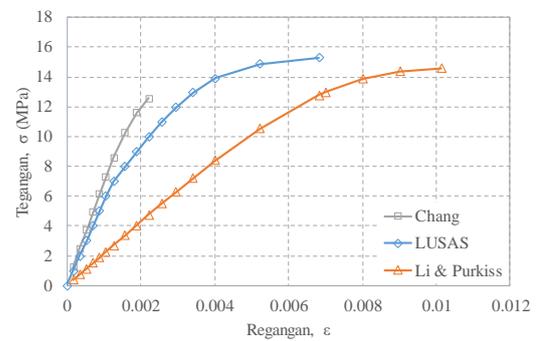
Gambar 3. Kurva tegangan regangan pada temperatur 200°C



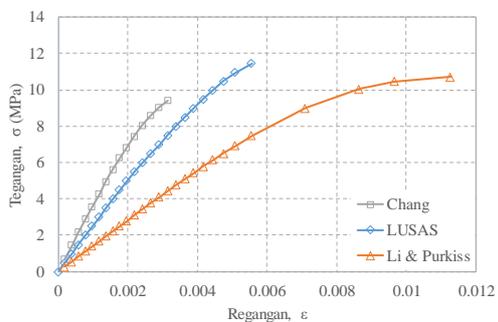
Gambar 4. Kurva tegangan regangan pada temperatur 300°C



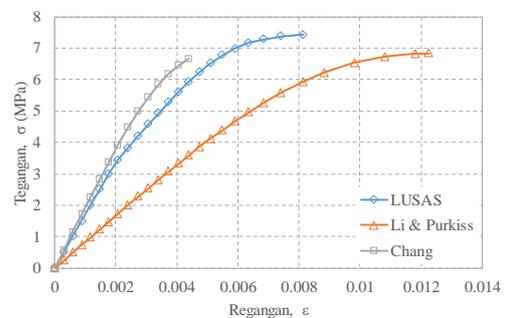
Gambar 5. Kurva tegangan regangan pada temperatur 400°C



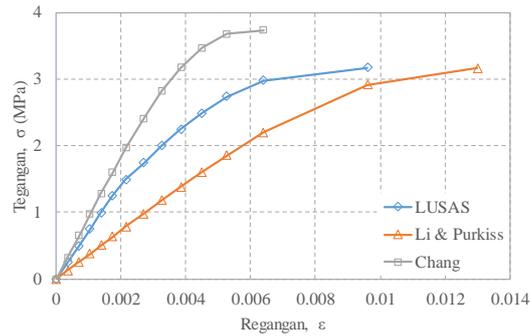
Gambar 6. Kurva tegangan regangan pada temperatur 500°C



Gambar 7. Kurva tegangan regangan pada temperatur 600°C



Gambar 8. Kurva tegangan regangan pada temperatur 700°C



Gambar 9. Kurva tegangan regangan pada temperatur 800°C

E. Kesimpulan dan Saran

E.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pemodelan menggunakan rumus empiris model Li dan Purkiss serta model Chang memperhitungkan elastisitas beton hingga 0,6f^c.
2. Pemodelan menggunakan program LUSAS memperhitungkan elastisitas beton hingga 0,45f^c.
3. Perbedaan fase antara elastis dan plastis pada program LUSAS terlihat jelas dan dipengaruhi oleh temperatur beton, sedangkan pada model Li dan Purkiss serta model Chang terlihat sama dan tidak terpengaruh temperatur.

E.2 Saran

Saran dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Analisis mengenai fase elastis dan plastis antara kedua model perlu dipertajam untuk memberikan hasil yang lebih mendetail terkait pengaruhnya terhadap temperatur.
2. Pemodelan lebih baik jika ikut membandingkan dari data eksperimental yang sesuai parameternya.

Daftar Pustaka

- Chang, Y. F., Chen, Y. H., Sheu, M. S., & Yao, G. C. (2006). *Residual stress-strain relationship for concrete after exposure to high temperatures*. *Cement and Concrete Research*, 36(10), 1999–2005.
- Li, L. Y., & Purkiss, J. (2005). *Stress-strain constitutive equations of concrete material at elevated temperatures*. *Fire Safety Journal*, 40(7), 669–686.
- Murdock, L. ., & Brook, K. . (2003). *Bahan dan Praktek beton*. Jakarta: Erlangga.
- Neville, A. M. (2009). *Properties of concrete*.
- Priyosulistyo, HRC., (2000). *Pengenalan Alat Uji dan Pengujian Lapangan dan Tatacara Evaluasi Hasil. Kursus Singkat Evaluasi dan Penanganan Struktur Beton Pasca Kebakaran dan Gempa*.
- Rochman, A. (2006). *Gedung Pasca Bakar Estimasi Kekuatan Sisa Dan Teknologi Perbaikannya*.
- Soleman, Y. (2014). *Evaluasi Modulus Elastisitas Beton (Ec) berdasarkan Analisis Karakteristik Agregat*, (May 2005), 0–13.