

## **Deteksi Jarak Jauh Keruntuhan Beton Bertulang Berbasis Arduino**

<sup>1</sup>Vega Aditama, <sup>2</sup>Bambang Wedyantadji

<sup>1,2</sup>Prodi Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Institut Teknik Nasional Malang

*e-mail: [vegaaditama@gmail.com](mailto:vegaaditama@gmail.com)*

### **ABSTRAK**

Kegagalan pada struktur bangunan beton bertulang baik kolom, balok maupun pelat lantai merupakan kejadian yang harus dihindari. Keruntuhan suatu bangunan beton bertulang bisa dideteksi lebih awal dengan mengetahui dengan adanya retakan pada struktur beton. Desain keruntuhan beton bertulang ada 3, antara lain: keruntuhan tekan (*overreinforce*), keruntuhan tarik (*underreinforce*) dan *balance*. Pentingnya mengukur regangan untuk tulangan tarik dan regangan tekan pada beton adalah untuk mengindikasikan kegagalan struktur yang terjadi. Regangan beton maksimum untuk beton normal adalah 0,003 – 0,0035. Sensor Arduino yang dipakai untuk mendeteksi regangan suatu material adalah Strain Gauge GBF350-3AA. Dengan menggunakan alat Strain Meter untuk mendeteksi kegagalan struktur akibat regangan tulangan longitudinal maka akan dipastikan beton mengalami retakan secara struktural saat regangan berada pada saat tegangan leleh berakhir pada nilai 0,04%. Dengan demikian strainmeter dengan rangkaian modul arduino bisa mendeteksi kegagalan pada beton bertulang.

Kata Kunci : retak, beton bertulang, regangan, arduino

### **ABSTRACT**

Failure in reinforced concrete structures, be it columns, beams or slabs, is an event that must be avoided. The collapse of a reinforced concrete building can be detected early by knowing the presence of cracks in the concrete structure. There are 3 designs for the collapse of reinforced concrete, including: *overreinforce*, *underreinforce* and *balance*. The importance of measuring the framing for tensile reinforcement and compressive stress in concrete is to indicate structural failure that has occurred. The maximum concrete strain for normal concrete is 0.003 - 0.0035. The Arduino sensor that is used to detect the strain of a material is the GBF350-3AA Strain Gauge. By using the Strain Meter tool to detect structural failure due to the longitudinal reinforcement strain, it will be ensured that the concrete experiences structural cracks when the strain is at the end of the yield stress at 0.04%. Thus the strainmeter with the Arduino module circuit can detect failures in reinforced concrete.

Keywords: cracks, reinforced concrete, strain, arduino

### **1. PENDAHULUAN**

Kegagalan pada struktur bangunan beton bertulang baik kolom, balok maupun pelat lantai merupakan kejadian yang harus dihindari.

Kegagalan tersebut kadang terjadi secara tidak terduga oleh karena beban hidup yang melebihi beban rencana, dan bisa juga terjadi karena pekerjaan perencanaan dan pelaksanaan yang tidak berkualitas.

Keruntuhan suatu bangunan beton bertulang bisa dideteksi lebih awal dengan mengetahui dengan adanya retakan pada struktur beton. Keretakan pada Beton mendandakan bahwa ada perlemahan struktur bangunan baik terhadap gaya geser, lentur maupun aksial. Di dalam struktur beton bertulang ada beberapa jenis retakan yaitu retak struktural dan retak akibat hidrasi pada selimut beton. Jika ada retak struktural yang melebihi toleransi, maka perlu adanya suatu tindakan agar tidak terjadi keruntuhan total, tindakan ini bisa dilakukan dengan grouting atau dengan retrofitting. Desain keruntuhan beton bertulang ada 3, antara lain: keruntuhan tekan (*overreinforce*), keruntuhan tarik (*underreinforce*) dan *balance*. Pentingnya mengukur regangan untuk tulangan tarik dan regangan tekan pada beton adalah untuk mengindikasikan kegagalan struktur yang terjadi. Regangan beton maksimum untuk beton normal adalah 0,003 – 0,0035. Retak pada beton yang mengindikasikan kegagalan awal saat desain keruntuhan *underreinforced* merupakan pertanda bahwa penghuni gedung / struktur bangunan tersebut harus segera mengevakuasi diri sebelum keruntuhan stuktur bangunan.

Arduino merupakan komponen elektronika yang memiliki fungsi yang bermacam-macam sesuai dengan sensor-sensor yang dipakai dalam rangkaian komponen arduino. Sensor yang dipakai untuk mendeteksi regangan suatu material adalah Strain Gauge GBF350-3AA dan komponen lain yang berguna untuk mengambil data secara online adalah ethernet shield arduino. Dengan adanya data yang diambil dari sensor secara *real-time*, maka kita bisa mengetahui kondisi aktual/kesehatan struktur bangunan tersebut. Regangan yang akan diambil sampelnya adalah regangan balok beton pada bagian tengah atas yang merupakan indikator regangan beton tekan, bagian tengah bawah yang merupakan titik keretakan

beton, dan pada tulangan lentur yang merupakan indikator regangan tulangan baja tarik.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### Teori keruntuhan pada beton bertulang

Pada penelitian ini akan direncanakan keruntuhan tarik yaitu pada keadaan penampang beton dengan keruntuhan tarik, baja tulangan sudah leleh sebelum beton hancur tetapi regangan tekan beton belum mencapai regangan batas 0,003. Pada saat tulangan baja mengalami peregangan akan timbul retak pada sisi bawah tengah balok.

Faktor momen pikul maksimal ( $K_{maks}$ ) pada perencanaan beton bertulang dengan tulangan tarik saja dapat diartikan sebagai nilai batas momen pikul  $K$ . Karena nilai  $K_{maks}$  dihitung berdasarkan luas tulangan maksimal, maka jika nilai  $K$  lebih dari nilai  $K_{maks}$  berarti  $A_s$  juga lebih kecil dari  $A_{maks}$ , sehingga penampang balok tidak akan terjadi *over-reinforced*, dan regangan tekan beton  $\epsilon_c$  tidak perlu dikontrol pasti sudah memenuhi persyaratan, yaitu  $\epsilon_c'$  lebih kecil dari pada regangan batas  $\epsilon_{cu}'$  ( $\epsilon_c' < 0,003$ )

$$K_{maks} = \frac{382,5 \cdot \beta_1 \cdot f_c' \cdot (600 + f_y - 225 \cdot \beta_1)}{(600 + f_y)^2}$$

Retak (*cracks*) adalah pecah pada beton dalam garis – garis yang relatif panjang dan sempit (Mangkoesoebroto, 1998).

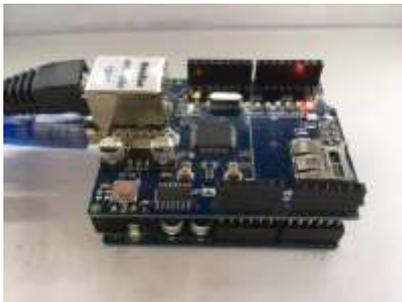
### Teori tentang arduino

Strain gauge adalah modul input untuk Arduino. Modul ini berisi sensor BF350-3AA, yang berfungsi sebagai elemen pengukur. Ada juga sirkuit untuk penanganan perubahan resistensi-regangan yang lebih mudah, pemangkas untuk pengaturan nilai nol dan LED yang menunjukkan tegangan yang terhubung. Tegangan pasokan input

adalah 5 volt dan tegangan output pada pin OUT adalah antara 0 dan 3,5 Volt.



**Gambar 1.** Modul BF350-3AA



**Gambar 2.** Wifi Shield untuk arduino dan pemasangannya

**Bahasa pemograman arduino untuk Strain Gauge BF350-3AA.**

Strain gauge bekerja dengan menggunakan hambatan listrik logam yang berubah secara

**3. ANALISA DATA**

**Proses Pembuatan Benda Uji sampai Pengujian**

Pemasangan dilakukan dengan cara menempelkan strain gauge pada tulangan yang permukaannya

proporsional dengan deformasi mekanik yang disebabkan oleh gaya eksternal yang diterapkan untuk logam. Dengan mengikat logam tipis kesuatu pengukuran objek melalui insulator listrik tipis, logam berubah bentuk tergantung pada deformasi objek pengukuran dan resistensi listriknya berubah. Pengukur regangan (listrik resistance strain gauge) adalah sensor untuk mengukur ketegangan dengan cara mengukur perubahan resistansi.

Agar berhasil menghubungkan strain gauge dan pelat Arduino, sambungkan total 3 kabel. Hubungkan 5V ke + 5V Arduina, OUT untuk pin A0 dan GND ke Arduina. Pin analog lain juga dapat digunakan untuk pin OUT. Namun, perubahan juga harus dilakukan pada awal program. Kode sampel di awal termasuk pengaturan nomor pin dan membuat variabel untuk menyimpan hasilnya. Di subroutine pengaturan, hanya garis serial diatur ke 9600 baud untuk mencetak data yang diukur ke komputer.

Pada infinite loop pada langkah pertama, kita membaca nilai analog dari pin yang ditetapkan ke dalam variabel dan kemudian menghitung ulang menjadi persen. Konversi ini dilakukan dengan menggunakan fungsi peta, mengubah rentang input 0 hingga 700 menjadi kisaran 0 hingga 100. Nilai input 700 sesuai dengan sekitar 3,42 Volts, dengan maksimum 1023 sesuai dengan 5 Volts.

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{\Delta R}{R} = \frac{1}{K}$$

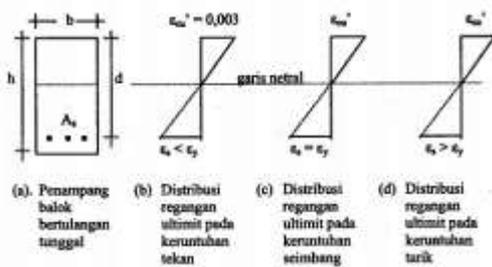
|            |                                    |
|------------|------------------------------------|
| $\epsilon$ | : Strain measured                  |
| $L$        | : Original length of material      |
| $\Delta L$ | : Change in length due to force P  |
| $R$        | : Gauge resistance                 |
| $\Delta R$ | : Resistance change due to strain  |
| $K$        | : Gauge Factor as shown on package |

telah diratakan dan lokasinya di tengah bentang, seperti pada gambar 3.



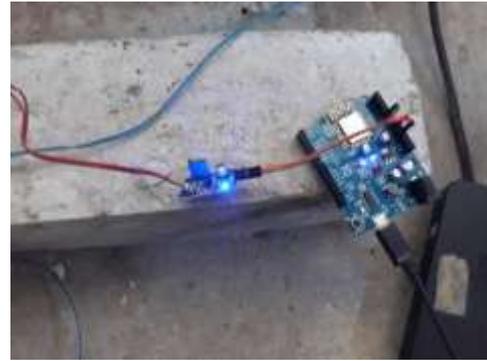
**Gambar 3.** Pemasangan Strain Gauge

Sesudah pemasangan strain gauge maka proses selanjutnya adalah membuat bekisting dengan desain ukuran 10x10x100 cm . setelah dibuat maka beton dengan mutu rencana 20 Mpa dicor dengan memasang terlebih dahulu tulangan yang terpasang strain gauge seperti pada gambar 3.



**Gambar 4.** Pengecoran

Proses selanjutnya adalah pengujian balok beton bertulang dengan menggunakan strainmeter yang telah dirancang untuk mengetahui regangan pada tulangan longitudinal balok.

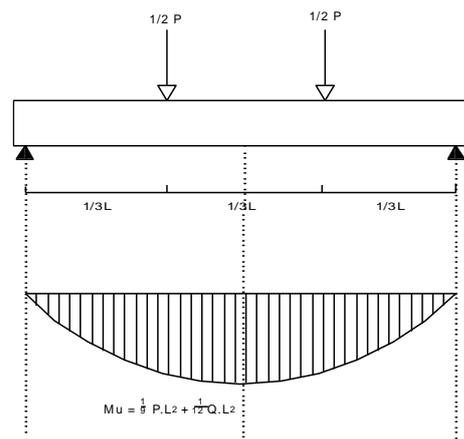


**Gambar 5.** Pemasangan strain meter

**Proses Pengolahan Data**

Pengolahan data dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengujian (eksperimen) dengan data perhitungan teoritis.

Keruntuhan beton ditandai dengan adanya keretakan atau fraktur pada beton, bisa pada area tarik maupun area tekan. Untuk pengujian yang telah dilakukan dengan memakai tumpuan sendi – sendi maka dapat dijelaskan seperti gambar berikut :



**Gambar 7.** Nilai Momen Ultimate pada tengah bentang

Dari gambar diatas untuk mencari nilai momen ultimate berdasarkan mekanika teknik. Dari hasil pengujian di lapangan diperoleh nilai :

$$Q = 0.1 \cdot 0.1 \cdot 1 \cdot 2400 = 24 \text{ kg}$$

Sedangkan untuk Beban P sekaligus nilai regangan berdasarkan hasil beban yang tercatat saat pengujian yaitu :



**Gambar 8.** Beban P saat awal tulangan mengalami leleh



**Gambar 9.** Beban P saat awal tulangan mengalami regangan puncak



**Gambar 10.** Beban P saat awal tulangan putus



**Gambar 11.** Beban P maksimum



**Gambar 12.** Kegagalan Retak Beton saat tulangan pada fase *yielding*

Dari data penelitian dan rumusan teoritis yang ada didapatkan hasil berikut :

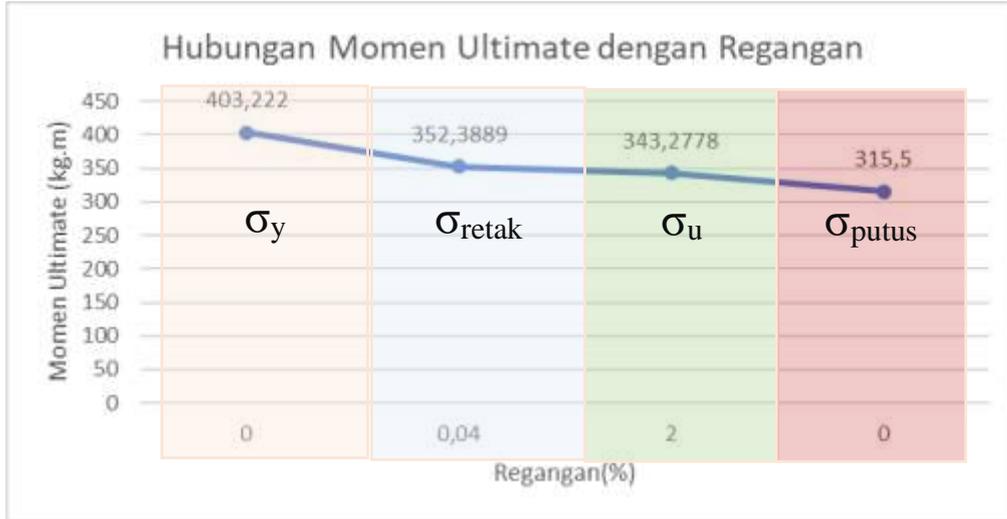
**Tabel 1.** Hasil analisa data dari teoritis dan pengujian

| Kondisi  | $\sigma_y$ | $\sigma_{retak}$ | $\sigma_u$ | Tulangan Putus |
|--|------------|------------------|------------|----------------|
| P (kg)   | 3611       | 3153.5           | 3071.5     | 2821.5         |
| Q (kg)   | 24         | 24               | 24         | 24             |
| $\Delta R$   | 0          | 2                | 700        |                |
| $\epsilon$ baja( $(\Delta R/R)/K$ )                      | 0          | 0.0028           | 1          | 0              |
| $\epsilon$ ( Regangan)<br>= $R \cdot 2\%$ (strain limit) | 0          | 0.04%            | 2%         | 0              |
| Mu (kg.m)  | 403,2222   | 352,3889         | 343,2778   | 315,5          |

**Pengolahan Data Hasil Pengujian**

Untuk mengetahui kapan terjadi kegagalan struktur melalui regangan tulangnya maka diperlukan grafik hubungan momen ultimate

dengan regangan. Momen ultimate merupakan momen akibat pembebanan yang dipengaruhi juga oleh panjang dan berat sendiri balok beton bertulang.



**Gambar 13.** Grafik Hubungan Momen ultimate dengan Regangan

Berdasarkan grafik 4.11, nilai regangan baja saat tegangan sebelum leleh adalah konstan dengan nilai 0%. Saat beton mengalami retak maka diperoleh nilai regangan sebesar 0.04 %. Pada saat mengalami retak maka ada pada fase inelastis sehingga bentuk beton bertulang tidak bisa kembali ke bentuk semula, namun masih pada kondisi aman. Pada saat kondisi ultimate atau kondisi dimana tulangan baja mencapai tegangan maksimum maka regangan mencapai nilai 2% untuk tulangan baja yang mengalami proses necking. Dan yang terakhir pada saat kondisi putus dimana tulangan baja tidak mampu lagi menahan beban yang ada.

Dari Momen Ultimate yang telah didapatkan sejak regangan terkecil sampai putusnya baja, maka didapatkan nilainya semakin mengecil, ini diakibatkan karena beban statik yang terus menerus diberikan melalui alat hidraulik jack. Seandainya pembebanan tidak menggunakan hidraulik jack dan digunakan beban statis kondisi lapangan ( misalnya dipasang tumpukan karung pasir agar beban mencapai nilai 3611 kg) maka

beban tidak perlu ditambah lagi struktur balok akan mengalami keruntuhan dengan sendirinya. Dari data tersebut maka disimpulkan bahwa kemampuan balok menahan beban adalah saat balok mengalami Momen ultimate maksimum pertamakali yaitu sebesar 403,22 kg.m .

Lebar retak maksimum yang diijinkann (ACI Committee 244, 1972) adalah sebesar 0,41 mm dengan kondisi Struktur dalam ruangan udara kering, pemberian lapisan kedap air. Pada saat pengujian benda uji, retakan yang dihasilkan akibat momen ultimat lebih besar namun saat sebelum di uji tidak ada retakan pada kondisi tersebut.

**KESIMPULAN**

Peneliti menyimpulkan bahwa kegagalan struktur beton bertulang akibat beban yang berlebih dari beban maksimum yang di desain akan mengakibatkan retakan, retakan yang terjadi akibat beban yang berlebih disebut dengan retakan struktural. Karena retakan berdasarkan retak maksimum yang diijinkann (ACI Committee 244, 1972) dialami tanpa terjadinya beban berlebih.

Dengan menggunakan alat Strain Meter untuk mendeteksi kegagalan struktur akibat regangan tulangan longitudinal maka akan dipastikan beton mengalami retakan secara struktural saat regangan berada pada saat tegangan leleh berakhir pada nilai 0,04%.

Perlu adanya penulangan yang lebih kompleks dengan menambah tulangan geser pada balok dan perlu di pasang beberapa strain gauge dan strain meter di beberapa titik dalam satu bentang untuk memperoleh hasil yang lebih luas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Mangkoesoebroto P Sindur. (1998). "Jenis-jenis Kerusakan pada Struktur Beton Bertulang", Tokyo Sokki Kenkyujo Co. Ltd. (2017). "Precise and Flexible Strain Gauge 2017" Tokyo 140-8560, JAPAN
- Laboratorium Mekanika Struktur PAU Ilmu Rekayasa, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia.
- ACI Committee 224. (1984). "Evaluation, Causes and Repair of Cracks in Concrete Structures," ACI Journal, May-June 1984, pages 211-230, American Concrete Institute, Box 19150, Detroit, Michigan, Amerika.
- Park, R. and Paulay, T., (1975). "Reinforced Concrete Structures," University of Canterbury Christchurch, New Zealand, John Wiley & Sons, New York-London-Sidney/Toronto.
- Hari Santosa. (2015). [www.elangsakti.com](http://www.elangsakti.com)
- Park, R. (Robert), William L. Gamble, 1933 : "Reinforced concrete slabs", John Wiley & Sons, Inc. Canada
- Subakti, A., 1995, Teknologi Beton dalam Praktek, Jurusan Teknik Sipil FTSP, Institut Teknologi, Surabaya.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1971, Peraturan Beton Indonesia (PBI 1971), Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Subakti, A., 1994. Teknologi Beton Dalam Praktek, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya
- Tjokrodinuljo, K., 1995. Bahan Bangunan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- <https://hobbycomponents.com/sensors/963-bf350-3aa-strain-gauge-module#product-details>
- <https://navody.arduino-shop.cz/navody-k-produktum/senzor-ohybani-tenzometr-bf350-3aa.html>
- Asroni, A., 2007, *Balok dan Pelat Beton Bertulang*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Asroni, A., 2009, *Struktur Beton Lanjut*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.
- Mulyono, T., 2003, *Teknologi Beton*, Penerbit Andi, Yogyakarta
- Widyawati, Ratna. 2009. "Keruntuhan Lentur Balok Pada Struktur Joint Balok Kolom Beton Bertulang Eksterior Akibat Beban Siklik". *Jurnal Rekayasa* .Vol.13. No. 3.
- Wikana, Iwan & Y. Widayat. 2007. "Tinjuan Kuat Lentur Balok Beton Bertulang Dengan Lapisan Mutu Beton Yang Berbeda". *Majalah Ilmiah UKRIM* edisi 2/th XII/2007
- Ferry Tri Prenoto. 2014. "Kapasitas Lentur Pelat Beton Bertulang Bambu Wulung Dengan Takikan tidak Sejajar " Universitas Sebelas Maret