

MENINGKATKAN KINERJA ALAT PENGUJIAN KUAT TEKAN BETON DI LABORATORIUM UJI BAHAN DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN UNIVERSITAS NEGERI MALANG

Ardian Purba Sasangka, Mohammad Musthofa Al Ansyorie, Muhammad Muchlis
Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan / Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Bidang
Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, 65145, Indonesia
ardianpurba@gmail.com

Abstract

Director General of Housing Provision of the Ministry of PUPR, Khalawi Abdul Hamid said that the data on house construction recorded in the One Million House program in January 2019 reached 77,326 housing units (Hardum, 2019). In relation to the implementation of the construction mentioned above, the quality of building materials is needed that can support building conditions according to standards, so that a sturdy building with good concrete quality will be produced. In the process of testing concrete quality in the Material Test Laboratory of the Department of Civil Engineering and Planning, State University of Malang, a standard concrete compressive strength test equipment is needed, namely a concrete quality test equipment (compressive strength) that produces measuring values digitally, so that test results with a very accurate loading control level are obtained for quality testing resulting in constant and accurate loading and readings. Conversely, the condition of concrete quality testing equipment (compressive strength) in the Material Test Laboratory of the Department of Civil Engineering and Planning, State University of Malang still found several concrete compressive strength test equipment that still use the Analog Model Compression Testing Machine. The performance of the tool is manual, relying on manual observation that is less precise and the working function of the tool and reading the test result data is still manual, so that it is necessary to improve the performance of analog concrete compressive strength testing equipment into digital testing equipment at the Materials Test Laboratory of the Department of Civil Engineering and Planning, State University of Malang by modifying analog test equipment, adding a series of electronic sensors, pressure transmitters that connect analog machines with electronic test result reading devices, so that digital reporting of test result data will be obtained.

Keywords : Compression Testing Machines, compressive strength, standard concrete

Abstrak

Direktur Jenderal Penyediaan Perumahan Kementerian PUPR, Khalawi Abdul Hamid mengatakan bahwa data pembangunan rumah yang tercatat dalam program Satu Juta Rumah pada Januari 2019 angkanya mencapai 77.326 unit rumah (Hardum, 2019). Dalam kaitannya dengan pelaksanaan pembangunan tersebut diatas diperlukan kualitas bahan bangunan yang dapat menunjang kondisi bangunan sesuai standart, sehingga akan dihasilkan bangunan yang kokoh dengan kualitas beton yang baik. Pada proses pengujian kualitas beton dalam Laboratorium Uji Bahan Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Malang diperlukan kondisi alat uji kuat tekan beton yang standart, yaitu alat uji kualitas beton (kuat tekan) yang menghasilkan nilai ukur secara digital, sehingga didapatkan hasil pengujian dengan tingkat kendali pembebanan yang sangat akurat untuk pengujian berkualitas menghasilkan pembebanan dan pembacaan yang konstan dan akurat. Sebaliknya, kondisi alat uji kualitas beton (kuat tekan) yang ada di Laboratorium Uji Bahan Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Malang masih didapati beberapa alat uji kuat tekan beton yang masih menggunakan Mesin Uji Kompresi Model Analog. Kinerja alat bersifat manual, dengan mengandalkan pengamatan secara manual yang kurang teliti dan fungsi kerja alat dan pembacaan data hasil uji masih bersifat manual, sehingga diperlukan peningkatan kinerja alat pengujian kuat tekan beton analog menjadi alat uji digital di Laboratorium Uji Bahan Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Malang dengan cara memodifikasi alat uji analog ditambahkan rangkaian sensor elektronik pressure transmitter yang menghubungkan mesin analog dengan perangkat pembaca hasil uji secara elektronik, sehingga akan didapatkan pelaporan data hasil uji secara digital.

Kata Kunci : Compression Testing Machines, kuat tekan, beton standart

1. PENDAHULUAN (Introduction)

A. Latar Belakang

Dewasa ini Pembangunan infrastruktur begitu marak sekali, pembangunan gedung bertingkat ada dimana-mana.

“Indonesia sebagai negara yang sedang berkembang selalu berupaya untuk meningkatkan fasilitas infrastruktur sebagai bukti bahwa roda ekonomi terus berjalan demi mencapai kehidupan yang lebih baik”. (Ervianto, n.d.)

Pembangunan dalam dunia konstruksi di Indonesia secara terus menerus untuk mendukung pertumbuhan ekonomi. Seiring dengan kegiatan pembangunan yang berkelanjutan, permintaan akan kebutuhan beton terus meningkat.

Dalam kaitannya dengan pelaksanaan pembangunan tersebut diatas, diperlukan kualitas bahan bangunan yang dapat menunjang kondisi bangunan sesuai standart yang ditentukan (disain beton sesuai SNI), sehingga akan dihasilkan bangunan yang kokoh dengan kualitas beton yang baik.

“Pembangunan infra struktur di Indonesia sampai saat ini sebagian besar menggunakan beton sebagai bahan konstruksi”.(Jatnika & Mukhlis Ali, 2022)

Pengujian material yang sering dilakukan dalam dunia industri adalah uji tekan (*compression test*). Pengujian tersebut bertujuan untuk mengetahui ketahanan material terhadap beban operasinya yang didasarkan pada perhitungan kekuatan material.

“*Compressing Testing Machine* (CTM), CTM modifikasi merupakan alat yang digunakan untuk melakukan peningkatan kuat tekan Paving Block dengan alat cetak hidrolik serta CTM sebagai pengujian kuat tekan dan kuat tarik belah belah beton silinder”.(Saputra, n.d.)

Industri yang bergerak dibidang jasa inspeksi sering mendapatkan tugas untuk mengetahui berat dan melakukan pengujian material (bahan) dari benda yang diinfeksi di lapangan. “Beton merupakan salah satu bahan konstruksi yang banyak digunakan di Indonesia. Maka perlu adanya pengendalian mutu beton sebagai indikator yang memperlihatkan apakah mutunya terpenuhi atau tidak”.(Sumajouw et al., 2018)

Pada proses pengujian kualitas beton dalam suatu Laboratorium Departemen Teknik Sipil diperlukan kondisi alat uji kuat tekan beton yang ideal, yaitu alat uji kualitas beton (kuat tekan) yang bekerja secara digital dan otomatis/Mesin Uji Kompresi Model digital dengan indikator laju kecepatan (*Compression Testing Machines Digital models with pace rate indicators/CTM*), sehingga didapatkan hasil pengujian dengan tingkat :

- Kendali pembebanan yang sangat akurat untuk pengujian berkualitas Menghasilkan pembebanan dan pembacaan yang konstan dan akurat tanpa fluktuasi yang tinggi.
- Keunggulan dari sistem pengujian otomatis.

Menjalankan siklus pengujian dengan sistem “*closed loop digital feedback*” secara otomatis yang membuat perintah dari alat kendali selalu akurat terhadap pembacaan yang terbaca hanya dengan menekan Tombol

“start”. Grafik antara pembebanan – waktu dan aktual pembebanan yang berlangsung terbaca saat pengujian. sistem akan selalu menjaga kualitas pengujian sesuai dengan standard yang berlaku selama pengujian secara otomatis.

“Pengujian kuat tekan beton dilakukan pada saat umur beton 28 hari menggunakan *Compression Testing Machine* (CTM)”.(Kuncoro, 2021)

Sebaliknya, kondisi alat uji kualitas beton (kuat tekan beton) yang ada di Laboratorium Uji Bahan Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Malang Negeri Malang masih didapati alat uji kuat tekan beton yang masih menggunakan *Compression Testing Machines Analogue models/CTM* (Mesin Uji Kompresi Model Analog).

Kinerja alat bersifat manual, dengan mengandalkan pengamatan yang teliti dan berdasarkan dari alat uji tekan yang telah ada sebelumnya.

B. Rumusan Masalah/Tujuan

Bagaimana efektifitas hasil meningkatkan Kinerja Alat Pengujian Kuat Tekan Beton di Laboratorium Uji Bahan Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Malang?

Peneliti berupaya untuk mewujudkan meningkatkan kinerja alat pengujian kuat tekan beton dari analog menjadi alat uji digital Laboratorium Uji Bahan Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Malang dengan melakukan modifikasi alat uji analog ditambahkan rangkaian sensor elektronik *pressure transmitter* dan *interface* yang menghubungkan mesin dengan perangkat rangkaian digital, sehingga akan didapatkan hasil peningkatan kinerja alat pengujian kuat tekan beton analog menjadi alat uji digital dan pelaporan data hasil uji secara digital.

C. Manfaat

Meningkatkan kinerja alat uji kuat tekan beton *Compression Testing Machine/ CTM*, sehingga pembacaan hasil uji kuat tekan beton dapat berfungsi secara digital, efektif, dan akurat.

2. TINJAUAN LITERATUR (*Literature Review*)

Modifikasi alat uji CTM (*Compression Testing Machines*)

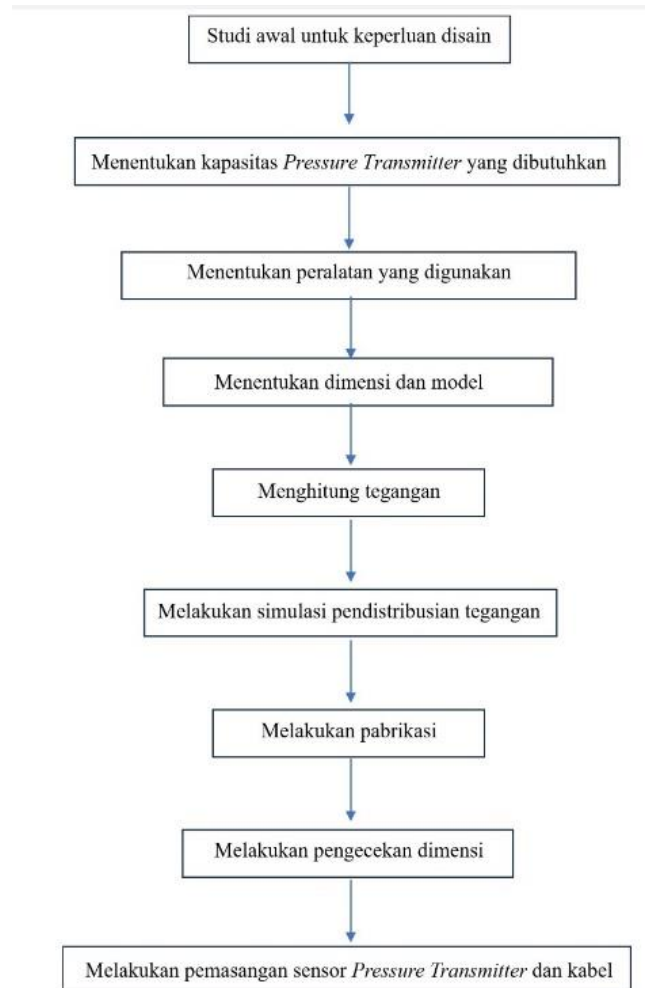
Dalam proses melakukan efektifitas hasil Meningkatkan Kinerja Alat Pengujian Kuat Tekan Beton di Laboratorium Uji Bahan Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Malang dilakukan dengan cara memodifikasi alat uji analog ditambahkan rangkaian sensor elektronik *Pressure Transmitter* dan *interface* yang terhubung dengan mesin CTM (*Compression Testing Machines*), sehingga akan didapatkan pelaporan data hasil uji secara digital.

Dalam proses pengujian secara *Destructive test*, sampel ditekan sampai pecah dan diperoleh data kuat tekan beton dan sifat mekanik. Peralatan pengujian yang digunakan pada metode ini adalah CTM (*compression testing machine*).

“Destructive test (DT) adalah pengujian yang sifatnya merusak benda ujinya, sampel ditekan sampai pecah dan diperoleh data kuat tekan beton dan sifat mekanik. Peralatan pengujian yang digunakan pada metode ini adalah CTM (*compression testing machine*). Alat ini digunakan untuk mengetahui kuat tekan dan modulus elastisitas beton”.(Anggani, n.d.)

3. METODE PELAKSANAAN (*Materials and Method*)

Metode pelaksanaan kegiatan penelitian ini meliputi beberapa proses atau tahapan. Adapun tahapan tersebut antara lain adalah (1) Persiapan, (2) Pelaksanaan, dan (3) Evaluasi dan Pelaporan. Tahapan-tahapan tersebut dapat dirincikan sebagai berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pada tahap penelitian ini dimulai dengan menentukan kapasitas *Pressure Transmitter* yang dibutuhkan yang akan dirancang. Penentuan kapasitas dan arah industri sangat penting sebagai pertimbangan untuk tahap selanjutnya. Pada penelitian ini *Pressure Transmitter* akan dirancang untuk kapasitas 100 Bar.

Masukan yang digunakan berupa *stress* (tegangan) dan *strain* (regangan) yang diberikan pada *pressure Transmitter*, setelah itu *strain gauge* yang merupakan sensor gaya akan menerjemahkan masukan ini berupa resistansi. *Strain gauge* digunakan dalam rangkaian penguat instrumentasi dan diposisikan sebagai hambatan dalam rangkaian jembatan, dan diolah sedemikian sehingga dapat diterjemahkan dengan keluaran berupa tegangan dan ditampilkan pada indikator.

Dengan dimensi *Pressure Transmitter* yang dirancang diharapkan jika *Pressure Transmitter* diberikan beban maksimum yaitu 100 kgf regangan yang terjadi masih berada dalam daerah linier. Pelekatan *strain gauge* harus dilakukan dengan tepat dan benar pada lokasi yang memiliki konsentrasi tegangan yang paling tinggi dan homogen. Maka dari itu dilakukan simulasi untuk mengetahui distribusi tegangan pada batang *Pressure Transmitter* yang telah ditentukan dimensinya. Setelah melakukan perancangan dimensi dan melakukan simulasi pada *solid work* maka tahap selanjutnya adalah tahap pabriikasi dan pemasangan *strain gauge*. Berikutnya *strain gauge* terpasang pada *Pressure Transmitter*, maka selanjutnya

menghubungkan *strain gauge* satu dengan yang lainnya dengan kabel menggunakan solder, sehingga membentuk konfigurasi jembatan wheatstone penuh (*full bridge*) setelah itu melakukan pengukuran regangan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN (*Results and Discussion*)

4.1 TAHAP PERSIAPAN

Dalam tahapan persiapan penelitian ditentukan studi awal untuk keperluan disain, Setelah dilakukan verifikasi, didapatkan informasi riil alat uji kuat tekan beton dalam kondisi awal model alat kuat tekan beton sebelum dilakukan modifikasi seperti Gambar 1.



Gambar 2 CTM (*Compression Testing Machines*) Analogue

Alat baca nilai tekanan kompresi yang ditunjukkan oleh manometer. Hasil pengukuran tekanan kompresi dapat dibaca pada skala yang ditunjukkan jarum penunjuk yang masih berfungsi secara manual dan memerlukan pengamatan secara langsung dan sangat fokus, tidak disertai rekam data hasil uji, sehingga untuk menghasilkan data hasil uji bahan tidak dapat diperoleh ketelitian secara valid, dan untuk mengoperasikan alat uji memerlukan lebih dari satu orang supaya didapatkan hasil uji bahan yang mendekati valid.

4.2 TAHAP PELAKSANAAN

Setelah dipelajari lebih lanjut bentuk, model, dan sistem kerja alat uji kuat tekan beton, untuk selanjutnya dilakukan modifikasi dan rekondisi sesuai dengan model alat uji kuat tekan beton yang diharapkan dalam penelitian ini.

- Menentukan kapasitas *Pressure Transmitter* yang digunakan sesuai kapasitas kinerja mesin alat uji kuat tekan beton CTM (*Compression Testing Machine*) yang diteliti.
- Menentukan bagian alat untuk meletakkan posisi sensor *Pressure Transmitter* pada alat uji kuat tekan beton CTM.
- Menyesuaikan bentuk dan ukuran drat ulir pada alat dan pada *Pressure Transmitter*, sehingga sensor *Pressure Transmitter* bisa dihubungkan dengan jalur pipa olie hidraulik untuk memberi tekanan dan berfungsi sebagai pengukur pembacaan nilai hasil uji bahan yang ditekan.



Gambar 3 *Dial Gauge CTM (Compression Testing Machines)*



Gambar 4 *Pipa Drat CTM (Compression Testing Machines)*

- Menentukan dimensi dan model yang sesuai untuk rangkaian elektrik rangkaian elektronik Pembaca hasil ukur secara digital yang menghubungkan bagian sensor *Pressure Transmitter* nilai hasil uji alat uji kuat tekan beton CTM

“Pada bagian perangkat pressure transmitter, terdapat tiga jenis sensing element yang terpasang pada masing-masing Pressure transmitter yaitu: Capacitance, Piezoresistive, dan Extensi-metric. Sinyal output dari masing-masing pressure transmitter berupa tegangan (0–10) Vdc. Sinyal output tersebut diteruskan ke PLC CP1H sebagai perangkat pengolah data”.(Gozali et al., 2023)



Gambar 5 *Sensor Pressure Transmitter*

Karena ukuran pipa drat penghubung dari alat CTM (*Compression Testing Machines*) dengan pipa drat sensor *Pressure Transmitter* tidak sama, maka diperlukan *interface* penghubung supaya kedua alat tersebut bisa terhubung.

- Melakukan pabriikasi

Dilakukan proses pembuatan sock drat penghubung dengan cara membubut pipa logam untuk memberi sock drat dalam dan sock drat luar sesuai ukuran pipa yang menempel di alat uji CTM dan sensor *Pressure Transmitter*.

Pengecekan sedetil mungkin kesesuaian ukuran sock drat yang dibutuhkan untuk menghindari terjadinya kesalahan dan kerusakan alat.



Gambar 6 *Interface* penghubung yang menempel Pipa Drat CTM (*Compression Testing Machines*)



Gambar 7 *Interface* penghubung dan Sensor *Pressure Transmitter*

Setelah ukuran pipa drat penghubung dari alat CTM (*Compression Testing Machines*) dengan pipa drat sensor *Pressure Transmitter* sudah sesuai, kemudian kedua alat tersebut dipasang dan saling terhubung dengan kondisi yang kuat dan rapat menggunakan kunci pas, supaya olie hidroulik yang tertekan tidak keluar melalui sambungan *interface* penghubung.

Langkah berikutnya adalah melakukan konfigurasi seting pengukuran pada sensor *Pressure Transmitter*, dilakukan identifikasi fungsi dan kinerja alat sensor *Pressure Transmitter*, setelah pada tahapan ini indikasi alat sensor *Pressure Transmitter* bisa bekerja dan berfungsi, kemudian alat sensor *Pressure Transmitter* dihubungkan pada rangkaian elektronik Pembaca hasil ukur secara digital dengan sambungan konektor kabel listrik.



Gambar 8 Sensor *Pressure Transmitter* yang terhubung ke alat CTM (*Compression Testing Machines*)

Setelah dilakukan proses pengujian pada bahan uji, Sensor *Pressure Transmitter* tidak bisa berfungsi karena ukuran dan kapasitas masih kurang dari kapasitas kinerja mesin alat uji kuat tekan beton CTM (*Compression Testing Machine*) yang diteliti, sehingga Sensor *Pressure Transmitter* harus diganti dengan ukuran yang disesuaikan dengan kapasitas kinerja mesin alat uji kuat tekan beton CTM (*Compression Testing Machine*) yang diteliti yaitu Diperlukan kapasitas *Pressure Transmitter* sebesar 100 Bar.



Gambar 9 Sensor *Pressure Transmitter* 100 Bar



Gambar 10 Sensor *Pressure Transmitter* 100 Bar yang terhubung ke alat CTM
(*Compression Testing Machines*)



Gambar 11 Sensor *Pressure Transmitter* 100 Bar yang terhubung ke alat CTM
(*Compression Testing Machines*)

Dalam tahapan Gambar 11 dilakukan proses menghubungkan alat sensor *Pressure Transmitter* dengan rangkaian elektronik Pembaca hasil ukur secara digital menggunakan sambungan konektor kabel listrik.



Gambar 12 Sensor *Pressure Transmitter* 100 Bar yang terhubung ke alat CTM
(*Compression Testing Machines*)

Pada tahapan Gambar 11 alat uji kuat tekan beton modifikasi ini digunakan untuk menguji bahan uji, alat sensor *Pressure Transmitter* dengan rangkaian elektronik Pembaca hasil ukur secara digital menggunakan sambungan konektor kabel listrik bekerja dan berfungsi dengan baik.

4.3 TAHAP EVALUASI DAN PELAPORAN

Setelah rangkaian elektrik terhubung, berikutnya dilakukan seting konfigurasi dan kalibrasi alat penyesuaian nilai ukur analog untuk dikonversi kedalam nilai ukur yang terbaca dan terekam secara digital.

KALIBRASI TURUNAN PERTAMA

- Langkah selanjutnya membuat pemodelan bahan uji sejumlah 30 pcs, dengan rincian 10 bahan uji dengan nilai ukur 25 kN, 10 bahan uji dengan nilai ukur 50 kN, 10 bahan uji dengan nilai ukur 75 kN.



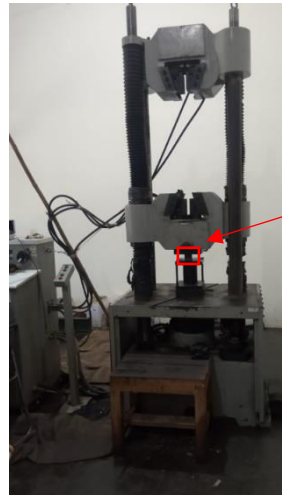
Gambar 13 Bahan uji untuk kalibrasi turunan mesin *Compression Testing Machines* (CTM) dan *Universal Testing machine* (UTM)

- Berikutnya dilakukan pengujian kalibrasi turunan dengan alat CTM modifikasi, menguji 5 bahan uji dengan nilai ukur 25 kN, 5 bahan uji dengan nilai ukur 50 kN, dan 5 bahan uji dengan nilai ukur 75 kN.



Proses pengujian untuk kalibrasi turunan

Gambar 14 Proses pengujian bahan uji untuk kalibrasi turunan Pada mesin *Compression Testing Machines* (CTM)



Proses pengujian
untuk kalibrasi

Gambar 15 Proses pengujian bahan uji untuk kalibrasi turunan Pada mesin *Universal Testing machine (UTM)*

- Tahapan berikutnya dilakukan pengujian pembandingan dengan cara menguji 5 bahan uji dengan nilai ukur 25 kN, 5 bahan uji dengan nilai ukur 50 kN, dan 5 bahan uji dengan nilai ukur 75 kN. dengan alat menggunakan alat uji CTM yang sudah terkalibrasi.

Nilai hasil uji dari alat uji kuat tekan beton modifikasi dibandingkan dengan nilai hasil uji alat uji kuat tekan beton yang sudah terkalibrasi untuk kemudian dikonversi, sehingga didapatkan hasil uji peralatan CTM modifikasi yang terkalibrasi secara turunan. Alat uji kuat tekan beton modifikasi dalam kondisi terukur secara kalibrasi turunan dan berfungsi sesuai standart uji.

KALIBRASI TURUNAN KEDUA



Gambar 16 Proses pengujian bahan uji untuk kalibrasi turunan *Compression Testing Machines (CTM)* dengan *Load Cell* dan *Data logger*

Pada proses pengujian ini peralatan *Compression Testing Machines (CTM)* yang sudah dimodifikasi secara digital digunakan untuk menguji *Load Cell* yang sudah terkalibrasi.

Nilai ukur hasil uji *load cell* yang terbaca melalui alat *Compression Testing Machines* (CTM) digital dibandingkan dengan nilai ukur hasil uji *load cell* yang terbaca melalui *data logger*.

Perbandingan dilakukan mulai dari interval nilai *load cell* pada pembacaan *data logger* 10 kN, 15 kN, 20 kN, 25 kN, 30 kN, 35 kN, 40 kN, 45 kN, 50 kN, sehingga didapatkan nilai hasil ukur peralatan *Compression Testing Machines* (CTM) yang sudah dimodifikasi secara digital menjadi akurat.



Gambar 17 Proses pengujian bahan uji untuk kalibrasi turunan *Compression Testing Machines* (CTM) dengan *Load Cell* dan *Data logger*



Gambar 18 Rangkaian digital pembaca hasil pengujian bahan *Compression Testing Machines* (CTM)

5. KESIMPULAN (*Conclusions*)

Hasil penelitian ini menjawab kesenjangan (gap) yang terjadi dari kondisi riil yang ada di Laboratorium Uji Bahan Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Negeri Malang. Alat Uji kuat tekan beton yang masih menggunakan Mesin Uji Kompresi Model Analog berhasil dimodifikasi menjadi alat uji kuat tekan beton dalam pembacaan hasil uji terukur secara digital lebih efektif, akurat, dan pengoperasian alat pengujian sebelum dilakukan modifikasi memerlukan 3 orang operator, setelah dilakukan modifikasi alat uji, operator alat pengujian bisa dilakukan satu orang.

6. UCAPAN TERIMA KASIH (*Acknowledgement*)

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang yang memberikan izin penelitian ini dilaksanakan, ucapan terima kasih juga disampaikan kepada LPPM Universitas Negeri Malang yang telah memberikan bantuan, dukungan, atau sumber daya dalam proses penelitian atau penulisan jurnal.

7. DAFTAR PUSTAKA (*References*)

- Anggani, A. M. (n.d.). *Untuk memenuhi persyaratan Mencapai derajat Sarjana S-1 Jurusan Teknik Sipil*.
- Ervianto, W. I. (n.d.). *Capaian Green Construction Dalam Proyek Bangunan Gedung Menggunakan Model Assessment Green Construction*.
- Gozali, M. S., Darmoyono, A. G., Wijanarko, H., Futra, A. D., Kamarudin, K., & Br Lumban Tobing, C. A. (2023). Akuisisi Data Pressure Transmitter melalui CX Supervisor pada STEM Pressure Measurement and Control Plant. *Journal of Applied Electrical Engineering*, 7(1), 31–36. <https://doi.org/10.30871/jaee.v7i1.5397>
- Jatnika & Mukhlis Ali. (2022). Rancang Bangun Alat Pembaca Uji Kompresi Beton Dan Mortar Otomatis Berbasis Arduino. *Jurnal Permadi: Perancangan, Manufaktur, Material dan Energi*, 4(2), 70–79. <https://doi.org/10.52005/permadi.v4i2.82>
- Kuncoro, F. B. (2021). Kajian Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, dan Modulus Elastisitas Beton dengan Bahan Pengganti Semen Fly Ash Kadar 15%, 30%, dan 40% Terhadap Beton Normal. *Matriks Teknik Sipil*, 9(3), 170. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v9i3.54494>
- Saputra, A. E. (n.d.). *Modifikasi Alat Kuat Tekan Paving Block Sebagai Alat Cetak Hidrolik*. 12.
- Sumajouw, A. J., Pandaleke, R., & Wallah, S. E. (2018). *Perbandingan Kuat Tekan Menggunakan Hammer Test Pada Benda Uji Portal Beton Bertulang Dan Menggunakan Mesin Uji Kuat Tekan Pada Benda Uji Kubus*