

**JITS**

Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains

E-ISSN: 3025-8871 | <https://jurnal.akipba.ac.id/index.php/JITS>

Digitalisasi Perekaman Data Alat Uji Tensil Berbasis Pengukur Regangan dan Mikrokontroler

(Digitalization of Tensile Testing Data Recording System Based on Strain Gauge and Microcontroller)

Manan Ginting¹, Ulfani Ikhwana Purba², Ratih Paramitha³, Herry Darmadi⁴, Darry Christine Silowaty Purba⁵, Maulidna⁶, Naqasya Asyrori Sidabutar⁷, Sindi Wahyuni⁸, Iqbal Huseini⁹, Muhammad Vandi¹⁰

¹⁻¹⁰ Politeknik Teknologi Kimia Industri, Indonesia

¹mananginting8@gmail.com, ²ulfanikhwana@gmail.com, ³ratihparamitha@ptki.ac.id, ⁴herry.darmadi@ptki.ac.id,

⁵darrychristine@ptki.ac.id, ⁶maulidna@ptki.ac.id, ⁷nasyrori.sidabutar@ptki.ac.id, ⁸sindiwahyuni16@gmail.com,

⁹iqbalhusein@gmail.com, ¹⁰muhammadvandi45@gmail.com

Penulis Korespondensi: Ulfani Ikhwana Purba | **Email:** ulfanikhwana@gmail.com

Diterima (Received): 11/08/2026 Direvisi (Revised): 14/08/2026 Diterima untuk Publikasi (Accepted): 15/08/2026

ABSTRAK

Pengukuran kekuatan tarik material merupakan bagian penting dalam rekayasa teknik untuk mengetahui sifat mekanik bahan, namun banyak mesin uji tarik skala laboratorium masih menggunakan pembacaan analog yang rawan kesalahan pembacaan (*human error*) dan tidak menyediakan rekam data digital secara otomatis. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji coba kinerja sistem perekaman data digital pada alat uji tarik menggunakan sensor *strain gauge* sebagai transduser gaya dan mikrokontroler sebagai unit akuisisi data. Metode penelitian meliputi perancangan sistem akuisisi data berbasis jembatan *Wheatstone*, modul penguat sinyal HX711, dan mikrokontroler, yang kemudian diuji coba pada lima kondisi spesimen baja karbon (satu spesimen per kondisi), yaitu tanpa perlakuan panas (*original*), *quenching*, *normalizing*, *annealing*, dan *tempering*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu merekam seluruh proses pembebanan secara otomatis dan *real time*, mulai dari awal pembebanan hingga spesimen patah, serta menghasilkan pola respons sinyal yang berbeda dan konsisten antar kondisi spesimen, dengan nilai puncak bacaan sensor tertinggi pada spesimen *quenching* (5.122 ADC count), diikuti *normalizing* (3.211), *tempering* (2.855), *original* (2.794), dan terendah pada *annealing* (2.236). Urutan nilai puncak tersebut secara kualitatif sejalan dengan teori metalurgi mengenai pengaruh perlakuan panas terhadap kekuatan baja karbon. Kalibrasi sensor yang dilakukan pada tahap ini masih berupa kalibrasi dua titik (*zero* dan satu beban acuan) tanpa kurva regresi multi-titik, dan pengujian belum direplikasi dengan beberapa spesimen per kondisi, sehingga hasil penelitian ini bersifat kualitatif-komparatif sebagai pembuktian konsep (*proof of concept*), sedangkan validasi kuantitatif sistem sebagai instrumen pengukuran memerlukan kalibrasi multi-titik dan perbandingan terhadap instrumen acuan pada penelitian lanjutan.

Kata Kunci: akuisisi data; alat uji tarik; mikrokontroler; pengukur regangan; perlakuan panas

ABSTRACT

Evaluating material tensile strength is essential for understanding mechanical properties. However, many laboratory-scale testing machines still rely on manual readings, which are prone to human error and lack automated digital data logging. This study presents the design and performance evaluation of a digital data acquisition system for tensile testing, utilizing a strain gauge sensor as the force transducer and a microcontroller-based processing unit. The architecture incorporates a Wheatstone bridge circuit, an HX711 signal amplifier, and a microcontroller. The setup was tested on carbon steel specimens across five heat-treatment conditions: *original* (untreated), *quenching*, *normalizing*, *annealing*, and *tempering*. The system successfully captured real-time load profiles from initial application to structural fracture. Sensor signal peaks aligned with metallurgical theory regarding heat-treatment effects: *quenching* produced the highest ADC response (5,122 counts), followed by *normalizing* (3,211), *tempering* (2,855), *original* (2,794), and *annealing* (2,236). Because system calibration was limited to a two-point reference without multi-point regression and tests were conducted on single specimens per condition, these findings serve as a comparative proof-of-concept. Comprehensive quantitative validation as a standardized instrument requires multi-point calibration and benchmark comparisons in future research.

Keywords: data acquisition; heat treatment; microcontroller; strain gauge; tensile testing machine

1. Pendahuluan

Pengujian tarik (*tensile test*) merupakan salah satu metode pengujian merusak (*destructive test*) yang paling banyak digunakan untuk mengetahui sifat mekanik suatu material, seperti tegangan luluh, tegangan tarik maksimum, modulus elastisitas, dan regangan pada saat patah. Data hasil pengujian tarik menjadi acuan penting dalam perancangan komponen teknik, pengendalian mutu material, serta pengembangan material baru pada berbagai bidang industri.

Pada praktiknya, khususnya di laboratorium pendidikan dan industri kecil sampai menengah, tidak semua mesin uji tarik dilengkapi dengan sistem akuisisi data digital. Sebagian mesin uji tarik konvensional masih menggunakan jarum penunjuk (*dial gauge*) analog yang harus dibaca secara manual oleh operator. Cara ini memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya rawan kesalahan pembacaan akibat faktor manusia, tidak mampu merekam seluruh riwayat data pembebanan secara kontinu, serta tidak menghasilkan dokumentasi data digital yang dapat diolah lebih lanjut secara otomatis.

Perkembangan teknologi sensor dan mikrokontroler membuka peluang untuk menggantikan sistem pembacaan manual tersebut dengan sistem akuisisi data digital yang lebih presisi dan efisien. Sensor *strain gauge* yang disusun dalam konfigurasi jembatan *Wheatstone* banyak digunakan sebagai elemen pengindra gaya (*force transducer*) pada *load cell*, karena mampu mengubah regangan mekanik akibat pembebanan menjadi sinyal listrik yang proporsional terhadap besar gaya yang diberikan. Beberapa penelitian terdahulu telah membuktikan keandalan pendekatan ini pada berbagai jenis mesin uji, misalnya sistem akuisisi data pada mesin uji puntir berbasis Arduino Uno dan *Microsoft Visual* (Kurniawan & Anggara, 2020), alat uji bending dengan akuisisi data berbasis Arduino (Taufiqurrahman & Ivanto, 2024), rancang bangun alat uji tarik mini berbasis Arduino untuk spesimen *non-ferro* (Comaro et al., 2020), serta pengembangan sistem kendali mesin uji tarik desktop berbasis *Internet of Things* (IoT) yang memungkinkan pemantauan data pengujian secara jarak jauh dan real time (Putra et al., 2025). Penelitian-penelitian tersebut menunjukkan bahwa integrasi sensor *strain gauge* dan mikrokontroler mampu menghasilkan sistem akuisisi data yang murah, mudah diimplementasikan, dan cukup presisi untuk kebutuhan pengujian mekanik.

Di sisi lain, kekuatan tarik material logam khususnya baja karbon sangat dipengaruhi oleh proses perlakuan panas (*heat treatment*) yang diberikan. Proses *quenching*, yaitu pemanasan hingga suhu austenisasi lalu didinginkan secara cepat, menghasilkan struktur mikro martensit yang meningkatkan kekerasan dan kekuatan tarik material secara signifikan (Haryadi et al., 2021; Syahputra &

Bagaskara, 2025; Tambing et al., 2025). Sebaliknya, proses *annealing* dengan pendinginan yang sangat lambat di dalam tungku menghasilkan struktur ferit perlit yang kasar dengan kekerasan dan kekuatan yang relatif rendah namun keuletan yang lebih tinggi (Kohar, 2023). Proses *normalizing* dengan media pendingin udara menghasilkan perlit yang lebih halus dibanding *annealing* sehingga kekuatannya berada di antara kondisi *annealing* dan *quenching*, sedangkan proses *tempering* pada spesimen hasil *quenching* bertujuan menurunkan kegetasan sekaligus mempertahankan kekuatan pada tingkat yang masih relatif tinggi dibanding kondisi tanpa perlakuan (Yusuf & Nurlaili, 2023).

Meskipun rancang bangun sistem akuisisi data berbasis *strain gauge* dan mikrokontroler telah banyak diteliti, validasi kinerja sistem tersebut dengan cara membandingkan pola sinyal yang terekam pada spesimen-spesimen dengan kondisi perlakuan panas yang berbeda masih jarang dilaporkan secara khusus. Padahal, perbandingan semacam ini penting untuk menunjukkan bahwa perangkat digital yang dibangun tidak hanya mampu merekam data secara otomatis, tetapi juga menghasilkan data yang secara kualitatif konsisten dengan perilaku mekanik material yang telah dikenal luas dalam ilmu metalurgi.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem perekaman data digital pada alat uji tarik berbasis sensor *strain gauge* dan mikrokontroler, serta menguji coba kinerja sistem tersebut dalam merekam kurva pembebanan secara *real time* pada lima kondisi spesimen baja karbon, yaitu tanpa perlakuan panas (*original*), *quenching*, *normalizing*, *annealing*, dan *tempering*.

2. DATA DAN METODOLOGI

2.1. Data dan Lokasi

Penelitian dilakukan di Laboratorium Material Test, Politeknik Teknologi Kimia Industri. Material uji yang digunakan adalah baja karbon yang dibentuk menjadi spesimen uji tarik dengan dimensi seragam mengacu pada standar pengujian tarik logam. Spesimen dikelompokkan menjadi lima kondisi, yaitu: (1) *Original*, spesimen tanpa perlakuan panas yang berfungsi sebagai kontrol; (2) *Quenching*, spesimen yang dipanaskan hingga suhu austenisasi kemudian didinginkan secara cepat; (3) *Normalizing*, spesimen yang dipanaskan kemudian didinginkan pada udara terbuka; (4) *Annealing*, spesimen yang dipanaskan kemudian didinginkan secara lambat di dalam tungku; dan (5) *Tempering*, spesimen hasil *quenching* yang dipanaskan ulang pada suhu di bawah suhu kritis kemudian didinginkan, mengikuti prosedur perlakuan panas yang lazim digunakan pada penelitian sejenis (Haryadi et al., 2021; Yusuf & Nurlaili, 2023).

Pada tahap penelitian ini, pengujian dilakukan pada satu spesimen untuk setiap kondisi perlakuan ($n = 1$ spesimen per kondisi, tanpa ulangan), sehingga nilai puncak dan jumlah data yang dilaporkan pada tiap kondisi merupakan hasil satu kali pengukuran, bukan nilai rata-rata dari beberapa ulangan. Rangkuman jumlah spesimen dan jumlah data yang berhasil direkam untuk tiap kondisi disajikan pada Tabel 1. Ketiadaan ulangan (replikasi) ini merupakan keterbatasan metodologis yang perlu menjadi perhatian dalam menafsirkan hasil, karena variasi antar-spesimen (misalnya akibat inhomogenitas material atau variasi kecil pada proses perlakuan panas) belum dapat dipisahkan dari variasi pengukuran itu sendiri. Penelitian lanjutan dengan jumlah spesimen ulangan yang lebih banyak (idealnya ≥ 3 spesimen per kondisi) diperlukan untuk memperoleh kesimpulan yang secara statistik lebih kuat serta untuk menghitung keterulangan (*repeatability*) pengukuran sistem.

Data yang direkam oleh sistem akuisisi berupa nilai bacaan mentah sensor *strain gauge* (ADC count) yang sebanding dengan besar gaya tarik yang diterima spesimen, diambil pada setiap langkah pengambilan data dengan interval sampling tetap sejak awal pembebanan hingga spesimen patah. Jumlah data yang berhasil direkam berbeda-beda untuk tiap kondisi karena lama waktu pengujian hingga patah tidak sama, yaitu 60 data pada kondisi *Original*, 56 data pada *Quenching*, 83 data pada *Normalizing*, 86 data pada *Annealing*, dan 62 data pada *Tempering*.

2.2. Metodologi

Sistem perekaman data digital yang dikembangkan terdiri atas empat bagian utama. Pertama, sensor *strain gauge* dipasang pada elemen pembeban (*load cell*) mesin uji tarik dalam konfigurasi jembatan *Wheatstone* penuh untuk mengubah perubahan regangan akibat gaya tarik menjadi perubahan tegangan listrik berorde *milivolt*. Kedua, sinyal keluaran jembatan *Wheatstone* yang masih sangat kecil dikuatkan dan dikonversi menjadi data digital menggunakan modul penguat instrumentasi HX711 (ADC presisi 24-bit), sebagaimana lazim digunakan pada rancang bangun instrumentasi *load cell* berbasis *strain gauge* (Kurniawan & Anggara, 2020; Taufiqurrahman & Ivanto, 2024). Ketiga, mikrokontroler membaca data digital dari modul HX711 secara berkala pada interval sampling tetap, kemudian nilai bacaan disimpan dan ditampilkan secara *real time*. Keempat, perangkat lunak pada sisi komputer/antarmuka menampilkan data dalam bentuk numerik dan grafik pembebanan yang dapat langsung diamati selama pengujian berlangsung.

Spesifikasi perangkat keras dan lunak yang digunakan pada sistem ini adalah sebagai berikut: mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno berbasis

ATmega328P, 16 MHz, tegangan operasi 5V yang terhubung dengan modul penguat HX711 (ADC 24-bit) melalui antarmuka digital dua-jalur (*clock* dan data). Komunikasi data dari mikrokontroler ke komputer dilakukan melalui serial USB. Dan perangkat lunak yang digunakan untuk merekam serta menampilkan data adalah Arduino IDE *Serial Monitor*/*Serial Plotter*. Untuk menekan *noise* pada pembacaan mentah HX711, sistem menerapkan kombinasi filter digital sebelum data dikonversi ke nilai terkalibrasi yang tercantum pada penamaan kanal data akuisisi sebagai “HX711 Kombinasi Filter” pada *log system*.

2.3. Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor dilakukan dengan pendekatan dua titik (*zero* dan *span*) sebelum setiap sesi pengujian. Titik nol (*zero*) ditentukan dari nilai bacaan mentah HX711 pada kondisi tanpa beban, sedangkan faktor skala (*span*) ditentukan menggunakan satu beban acuan yang telah diketahui bobotnya. Nilai terkalibrasi dihitung menggunakan persamaan:

$$\text{Nilai Terkalibrasi} = (\text{Zero} - \text{Raw}/1000) / \text{Span} \quad (1)$$

dengan *Raw* merupakan nilai bacaan mentah HX711, sedangkan *Zero* dan *Span* merupakan konstanta kalibrasi yang ditentukan pada setiap sesi. Berdasarkan data kalibrasi yang direkam sebelum pengujian, diperoleh *Zero* = 326.829,7 dan *Span* = 42,9470834 pada sesi kalibrasi awal, sedangkan pada sesi kalibrasi sebelum pengujian spesimen *Tempering* diperoleh *Zero* = 327.040,0 dan *Span* = 10,0. Perbedaan nilai *span* pada kedua sesi menunjukkan bahwa kalibrasi dilakukan ulang menjelang setiap sesi pengujian, konsisten dengan praktik kalibrasi rutin pada instrumentasi berbasis *load cell*.

Pengamatan terhadap data pada kondisi tanpa beban (*idle*) menunjukkan bahwa nilai terkalibrasi berangsur-angsur konvergen menuju nol dalam kurang lebih 25–30 sampel pertama setelah sistem dinyalakan (fenomena *settling* akibat filter), dengan fluktuasi derau residu di sekitar titik nol berkisar antara –14 hingga +4 (satuan bacaan terkalibrasi) pada sesi kalibrasi awal, dan antara –35 hingga +89 pada sesi kalibrasi sebelum pengujian *Tempering*. Perbedaan rentang derau ini sejalan dengan perbedaan nilai *span* pada kedua sesi kalibrasi tersebut, karena *span* yang lebih kecil (lebih sensitif) akan memperbesar pengaruh derau bacaan mentah terhadap nilai akhir terkalibrasi.

Bahwa kalibrasi yang dilakukan pada penelitian ini merupakan kalibrasi dua-titik (*zero* dan satu beban acuan tunggal), dan belum mencakup kalibrasi multi-titik menggunakan rangkaian beban acuan bertingkat (misalnya 5–10 titik beban berbeda pada rentang kerja sensor) yang diperlukan untuk membangun kurva regresi penuh antara beban (*N*) dan nilai ADC dalam bentuk $F = a \cdot \text{ADC} + b$,

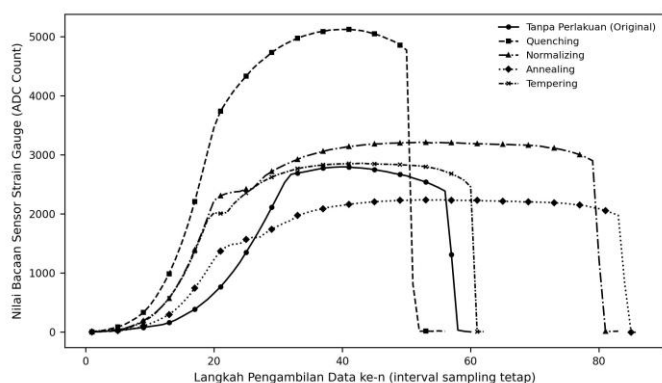
beserta pelaporan koefisien determinasi (R^2), galat maksimum, galat rerata, dan keterulangan (*repeatability*) pengukuran. Oleh karena itu, akurasi metrologis sistem secara kuantitatif belum dapat disimpulkan pada tahap penelitian ini. Kalibrasi multi-titik dengan beban acuan bertingkat serta perbandingan terhadap instrumen acuan (*load cell*/mesin uji tarik standar yang telah tersertifikasi) menjadi rekomendasi utama untuk penelitian lanjutan, sebagaimana disarankan pada evaluasi naskah ini.

Prosedur pengujian tarik itu sendiri dilakukan melalui tahapan berikut: (a) penyiapan spesimen uji tarik baja karbon dengan dimensi yang seragam; (b) spesimen kelompok kedua hingga kelima diberi perlakuan panas *quenching*, *normalizing*, *annealing*, atau *tempering* sesuai prosedur standar masing-masing; (c) spesimen dipasang pada pencekam (*grip*) mesin uji tarik yang telah dilengkapi sistem akuisisi data digital; (d) sensor dikalibrasi mengikuti prosedur pada bagian 2.3; (e) pembebanan tarik diberikan secara bertahap dengan kecepatan pembebanan tetap hingga spesimen mengalami patah; (f) mikrokontroler merekam nilai bacaan sensor pada setiap langkah sampling secara otomatis tanpa intervensi manual; dan (g) data hasil perekaman diekspor untuk dianalisis lebih lanjut, meliputi identifikasi bentuk kurva pembebanan serta perbandingan nilai puncak sinyal antar kelompok spesimen.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Karakteristik Kurva Hasil Perekaman Data

Sistem akuisisi data yang dikembangkan berhasil merekam seluruh proses pembebanan pada kelima kondisi spesimen secara otomatis dan *real time*, tanpa memerlukan pembacaan manual oleh operator. Gambar 1 menyajikan kurva nilai bacaan sensor *strain gauge* terhadap langkah pengambilan data untuk kelima kondisi spesimen.



Gambar 1 Kekuatan Tarik berbagai metode perlakuan berbanding waktu.

Berdasarkan Gambar 1, seluruh kurva menunjukkan pola tiga fase yang khas pada kurva pembebanan uji tarik, yaitu: fase awal berupa kenaikan nilai bacaan yang relatif

lambat pada saat spesimen mulai menerima beban; fase kedua berupa kenaikan nilai bacaan yang lebih tajam hingga mencapai nilai puncak yang merepresentasikan beban maksimum yang mampu ditahan spesimen; dan fase ketiga berupa penurunan nilai bacaan secara tiba-tiba setelah nilai puncak tercapai, yang menandai terjadinya patah pada spesimen, diikuti nilai bacaan yang mendekati nol pada langkah-langkah berikutnya. Kemampuan sistem untuk merekam ketiga fase tersebut secara utuh dan kontinu menunjukkan bahwa sistem akuisisi data digital berbasis *strain gauge* dan mikrokontroler yang dikembangkan berpotensi menggantikan fungsi pembacaan manual pada *dial gauge analog*, sejalan dengan hasil yang dilaporkan pada pengembangan sistem akuisisi data digital untuk berbagai mesin uji mekanik (Kurniawan & Anggara, 2020; Putra et al., 2025).

3.2. Perbandingan Nilai Puncak Sinyal antar Kondisi Perlakuan Panas

Untuk mengamati konsistensi pola data yang terekam terhadap perilaku mekanik material, dilakukan perbandingan nilai puncak sinyal (yang merepresentasikan beban maksimum) antar kelima kondisi spesimen sebagaimana dirangkum pada Tabel 1. Sebagaimana dijelaskan pada bagian 2.1, setiap kondisi diwakili oleh satu spesimen (tanpa ulangan), sehingga perbandingan berikut bersifat kualitatif dan deskriptif, bukan analisis statistik antar kelompok.

Tabel 1 Ringkasan hasil perekaman data sistem akuisisi digital pada lima kondisi spesimen uji Tarik

Kondisi Spesimen	Jumlah Data (n)	Nilai Puncak Sensor (ADC count)	Langkah ke- Saat Puncak (dari total langkah)
Original (tanpa perlakuan)	60	2.794	40 dari 60
Quenching	56	5.122	41 dari 56
Normalizing	83	3.211	52 dari 83
Annealing	86	2.236	52 dari 86
Tempering	62	2.855	43 dari 62

Tabel 1 memperlihatkan bahwa nilai puncak sinyal tertinggi terekam pada spesimen *Quenching* (5.122 ADC count), diikuti berturut-turut oleh *Normalizing* (3.211), *Tempering* (2.855), *Original* (2.794), dan yang terendah adalah *Annealing* (2.236). Urutan nilai puncak tersebut sejalan dengan teori metalurgi mengenai pengaruh perlakuan panas terhadap kekuatan baja karbon. Proses *quenching* menghasilkan struktur martensit akibat pendinginan cepat dari suhu austenisasi, sehingga kekerasan dan kekuatan tarik material meningkat tajam dibanding kondisi tanpa perlakuan, sebagaimana

dilaporkan pada penelitian pengaruh variasi temperatur *quenching* terhadap kekerasan, kekuatan tarik, dan keuletan baja AISI 1045 (Syahputra & Bagaskara, 2025), pengaruh media pendingin terhadap kekerasan baja AISI 1045 (Haryadi et al., 2021), maupun pengaruh pendinginan air mengalir pada proses *quenching* terhadap kekuatan tarik baja AISI 1045 (Tambing et al., 2025). Hal ini konsisten dengan nilai puncak tertinggi yang diperoleh pada spesimen *Quenching* dalam penelitian ini.

Spesimen *Normalizing* menghasilkan nilai puncak yang lebih tinggi dibanding *Original* dan *Annealing*, namun lebih rendah dibanding *Quenching*. Hal ini disebabkan laju pendinginan pada proses *normalizing* (didinginkan di udara terbuka) lebih cepat dibanding *annealing* (didinginkan di dalam tungku) sehingga menghasilkan struktur perlit yang lebih halus dan butir yang lebih kecil, namun tidak secepat pendinginan pada proses *quenching* sehingga tidak terbentuk martensit. Struktur perlit halus hasil *normalizing* memberikan peningkatan kekuatan tanpa mengorbankan keuletan secara berlebihan, sehingga posisinya berada di antara kondisi *annealing* dan *quenching*.

Spesimen *Annealing* menghasilkan nilai puncak terendah di antara seluruh kondisi yang diuji, termasuk lebih rendah dibanding kondisi *Original* tanpa perlakuan panas. Hal ini terjadi karena proses pendinginan yang sangat lambat pada *annealing* menghasilkan struktur ferit-perlit yang kasar dan lunak, sehingga kekerasan dan kekuatan tarik material menurun, sejalan dengan hasil penelitian mengenai pengaruh perlakuan *annealing* terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro baja karbon yang menunjukkan kekerasan hasil *annealing* lebih rendah dibanding kondisi *quenching* (Kohar, 2023) maupun dibanding kondisi tanpa perlakuan panas (Asisi, 2024).

Spesimen *Tempering* menghasilkan nilai puncak yang lebih tinggi dibanding *Original* dan *Annealing*, tetapi jauh lebih rendah dibanding kondisi *Quenching*. Hal ini sesuai dengan tujuan proses *tempering*, yaitu menurunkan tegangan sisa dan kegetasan pada spesimen hasil *quenching* melalui pemanasan ulang pada suhu di bawah suhu kritis, sehingga kekuatan tarik mengalami penurunan dibanding kondisi *quenching* namun tetap berada di atas kondisi tanpa perlakuan panas, sebagaimana dilaporkan pada penelitian pengaruh variasi temperatur *tempering* terhadap kekuatan tarik dan kekerasan baja karbon sedang (Yusuf & Nurlaili, 2023).

Selain nilai puncak, langkah ke- saat nilai puncak tercapai juga menunjukkan pola yang konsisten dengan sifat keuletan material. Spesimen *Normalizing* dan *Annealing* mencapai nilai puncak pada langkah yang relatif lebih lambat (langkah ke-52) dibanding spesimen *Original*, *Quenching*, dan *Tempering* (langkah ke-40 hingga ke-43), yang mengindikasikan bahwa spesimen hasil *normalizing*

dan *annealing* mengalami deformasi plastis yang lebih panjang sebelum patah dibanding spesimen yang lebih getas seperti hasil *quenching*. Kesesuaian pola ini dengan perilaku mekanik material yang telah dikenal luas dalam ilmu metalurgi merupakan indikasi awal yang mendukung kelayakan sistem, meskipun validasi kuantitatif terhadap instrumen acuan belum dilakukan pada tahap penelitian ini dan hasil hanya didasarkan pada satu spesimen per kondisi.

3.3. Evaluasi Kinerja dan Keterbatasan Sistem Akuisisi Data

Dari sisi kinerja instrumentasi, sistem yang dikembangkan menunjukkan beberapa keunggulan dibanding pembacaan manual pada *dial gauge analog*, di antaranya kemampuan merekam data secara kontinu dan otomatis pada interval sampling tetap tanpa bergantung pada kecepatan dan ketelitian pembacaan operator, tersedianya data digital dalam bentuk numerik yang dapat langsung diolah dan divisualisasikan dalam bentuk grafik, serta kemudahan dokumentasi dan reproduksi data untuk keperluan analisis lebih lanjut. Keunggulan tersebut sejalan dengan tren digitalisasi instrumentasi pengujian material yang telah diterapkan pada berbagai mesin uji mekanik berbasis mikrokontroler, termasuk sistem kendali mesin uji tarik berbasis *Internet of Things* yang memungkinkan pemantauan data secara jarak jauh (Putra et al., 2025) dan sistem akuisisi data pada alat uji bending berbasis Arduino (Taufiqurrahman & Ivanto, 2024).

Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu ditegaskan. Pertama, pengujian pada tiap kondisi perlakuan panas baru dilakukan pada satu spesimen tanpa ulangan (lihat bagian 2.1), sehingga perbedaan nilai puncak antar kondisi belum dapat dipastikan bebas dari variasi antar-spesimen. Kedua, kalibrasi sensor yang dilakukan (lihat bagian 2.3) baru berupa kalibrasi dua-titik tanpa kurva regresi multi-titik, sehingga nilai yang direkam masih berupa nilai bacaan terkalibrasi dalam satuan internal sistem dan belum divalidasi secara kuantitatif terhadap satuan gaya (*Newton*) atau tegangan teknik (MPa) menggunakan instrumen acuan bersertifikat. Dengan demikian, hasil yang diperoleh pada penelitian ini baru bersifat kualitatif untuk membandingkan pola dan urutan respons antar kondisi spesimen, bukan bukti validitas kuantitatif sistem sebagai instrumen pengukuran. Pengembangan lebih lanjut perlu diarahkan pada: (i) replikasi pengujian dengan beberapa spesimen per kondisi; (ii) kalibrasi multi-titik menggunakan beban acuan bertingkat disertai pelaporan persamaan regresi, R^2 , galat, dan *repeatability*; (iii) perbandingan hasil terhadap mesin uji tarik/instrumen acuan bersertifikat; dan (iv) penambahan modul penyimpanan data (kartu SD atau basis data awan) serta

konversi otomatis nilai bacaan menjadi satuan gaya dan tegangan secara *real time*.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang sistem perekaman data digital untuk alat uji tarik berbasis sensor *strain gauge* dan mikrokontroler yang mampu melakukan perekaman data secara otomatis dan *real time*, mulai dari awal pembebanan hingga spesimen patah, tanpa memerlukan pembacaan manual oleh operator. Pengujian pendahuluan pada lima kondisi spesimen baja karbon (satu spesimen per kondisi) menunjukkan bahwa sistem berhasil merekam data secara otomatis dan menangkap perbedaan respons nilai ADC antar kondisi perlakuan panas, dengan urutan nilai puncak dari yang tertinggi hingga terendah adalah *Quenching* (5.122 ADC count), *Normalizing* (3.211), *Tempering* (2.855), *Original* (2.794), dan *Annealing* (2.236). Pola ini secara kualitatif konsisten dengan teori metalurgi mengenai pengaruh perlakuan panas terhadap kekuatan baja karbon.

Meskipun demikian, validasi kuantitatif sistem sebagai instrumen pengukuran belum dapat disimpulkan pada penelitian ini, karena kalibrasi yang dilakukan baru mencakup dua titik (*zero* dan satu beban acuan) tanpa kurva regresi multi-titik, dan pengujian belum direplikasi dengan beberapa spesimen per kondisi maupun dibandingkan terhadap instrumen acuan bersertifikat. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk merancang dan menguji coba sistem digitalisasi perekaman data pada alat uji tarik telah tercapai pada tahap pembuktian konsep (*proof of concept*), sedangkan validasi metrologis yang lebih menyeluruh direkomendasikan sebagai penelitian lanjutan, meliputi kalibrasi multi-titik (beban dalam satuan *Newton* terhadap nilai ADC) dengan pelaporan persamaan regresi, koefisien determinasi (R^2), galat pengukuran, dan keterulangan (*repeatability*), serta pengujian dengan replikasi spesimen dan perbandingan terhadap instrumen acuan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak Laboratorium Material Test, Politeknik Teknologi Kimia Industri atas dukungan fasilitas dan bantuan teknis selama pelaksanaan pengujian dalam penelitian ini.

6. REFERENSI

- Asisi, A. N. (2024). Pengaruh perlakuan panas quenching terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro baja JIS SUP 9A. *MECHANICAL: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 15(2), 196–203.

- Comaro, J., Malik, I., & Karmin. (2020). Perancangan dan pengembangan alat uji tarik mini berbasis Arduino untuk spesimen non-ferro. *MACHINERY: Jurnal Teknologi Terapan*, 1(1), 55–61. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4540926>
- Haryadi, G. D., Utomo, A. F., & Ekaputra, I. M. W. (2021). Pengaruh variasi temperatur quenching dan media pendingin terhadap tingkat kekerasan baja AISI 1045. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 16(2), 1–10. <https://doi.org/10.32497/jrm.v16i2.2633>
- Kohar, M. A. F. R. (2023). Pengaruh perlakuan annealing hardening dengan pendinginan variasi kekentalan oli terhadap nilai kekerasan dan struktur mikro baja AISI-1037. *Jurnal Desiminasi Teknologi*, 11(1), 1–10.
- Kurniawan, F., & Anggara, F. (2020). Sistem akuisisi data mesin uji puntir berbasis Arduino Uno dan Microsoft Visual C#. *ROTASI*, 22(3), 155–161. <https://doi.org/10.14710/rotasi.22.3.155-161>
- Putra, M. E., Gunawarman, & Amin, Z. (2025). Design and development of desktop tensile test machine control system based on Internet of Things (IoT). *AIP Conference Proceedings*, 3223(1), 020018. <https://doi.org/10.1063/5.0243399>
- Syahputra, A., & Bagaskara, A. A. (2025). Pengaruh variasi temperatur quenching terhadap kekerasan, kekuatan tarik, dan keuletan baja AISI 1045: Studi eksperimental terhadap perubahan sifat mekanik dan mikrostruktur pada baja karbon sedang. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Elektro dan Komputer (JURITEK)*, 5(2), 279–291. <https://doi.org/10.51903/juritek.v5i2.4832>
- Tambing, E., Agustinus, T., Pagasis, T., Ranteallo, O. T., Mangallo, D., & Joni. (2025). Effects of flowing water cooling on the quenching process of AISI 1045 steel: Influence on tensile strength, hardness, and microstructure. *Revue des Composites et des Matériaux Avancés*, 35(1), 1–10. <https://doi.org/10.18280/rcma.350114>
- Taufiqurrahman, M., & Ivanto, M. (2024). Perancangan dan pembuatan alat uji bending dengan akuisisi data berbasis Arduino. *MACHINERY: Jurnal Teknologi Terapan*, 5(2), 118–124. <https://doi.org/10.5281/zenodo.12738752>
- Yusuf, I., & Nurlaili, N. (2023). Pengaruh variasi temperatur tempering terhadap nilai kekuatan tarik dan kekerasan baja karbon sedang. *Jurnal Serambi Engineering*, 8(3), 6109–6116. <https://doi.org/10.32672/jse.v8i3.6109>