

Rancang Bangun Alat Uji *Repeated Bending* dan *Twist* Untuk *Patchcord* dan Kabel *Precon Fiber Optik* Di *Telkom Test House*

1st Muhammad Rifki Aldi Pradana
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
mhmdrfkialdi@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Nabila Ayu Anggraeni
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
nabilaayu@student.telkomuniversity.ac.id

3rd Randy Surya Fathir Lapatoza
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
suryafathir@student.telkomuniversity.ac.id

4th Noval Ramadhana Latief
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
novalramadhana@student.telkomuniversity.ac.id

5th Akhmad Hambali
School of Electrical Engineering
Telkom University
Bandung, Indonesia
ahambali@telkomuniversity.ac.id

6th Aldi Wiranata
Telkom Test House
PT Telkom Indonesia (Persero) Tbk
Bandung, Indonesia
aldi.wiranata@telkom.co.id

Abstrak — Seiring meningkatnya penggunaan kabel serat optik, jaminan kualitas komponen pendukung seperti kabel *patchcord* dan *precon* menjadi krusial. Di *Telkom Test House* (TTH), pengujian *repeated Bending* dan *twist test* masih dilakukan secara manual, yang memunculkan kendala seperti kelelahan teknis, hasil tidak konsisten, serta efisiensi rendah. Metode manual juga kurang mampu memberikan hasil yang presisi dan konsisten sesuai standar industri. Untuk mengatasi masalah tersebut, dirancang sistem alat uji otomatis yang sesuai standar Telcordia GR-326-CORE dan IEC 61300. Sistem ini mengintegrasikan *stepper motor*, *linear actuator*, *sensor load cell*, dan mikrokontroler ESP32-S3 untuk mengendalikan gerakan mekanik, siklus uji, pemberian beban, serta pengukuran *real-time*. Hasil uji menunjukkan alat mampu melakukan *repeated Bending* hingga 100 siklus dengan sudut 90° dan *twist test* sesuai standar, sambil mempertahankan beban uji konstan. Akurasi *load cell* memiliki deviasi di bawah 2% dari target, dan proses uji menjadi 2–3 kali lebih cepat dibanding metode manual. Alat ini terbukti efektif meningkatkan efisiensi, akurasi, dan konsistensi pengujian kabel di TTH.

Kata kunci— kabel fiber optik, otomatisasi, pengujian mekanik, *repeated Bending*, *twist test*

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Perkembangan teknologi telekomunikasi mendorong penggunaan serat optik sebagai media transmisi utama karena keunggulannya seperti *bandwidth* besar, kecepatan tinggi, jangkauan jauh dengan atenuasi rendah, dan ketahanan terhadap interferensi elektromagnetik [1]. Seiring meningkatnya penggunaan serat optik, kualitas komponen pendukung seperti konektor, kabel *patchcord*, dan kabel *precon* menjadi faktor penting, karena masalah seperti *microBending* dan *macroBending* dapat menyebabkan kehilangan sinyal [2]. *Telkom Test House* (TTH) berperan

dalam pengujian dan sertifikasi komponen serat optik agar sesuai standar industri. Namun, metode pengujian kabel *patchcord* dan *precon* di TTH masih dilakukan secara manual menggunakan *repeated Bending* dan *twist test* dengan alat sederhana, sepenuhnya bergantung pada tenaga teknis. Hal ini menimbulkan kendala seperti kelelahan, hasil tidak konsisten, durasi uji lama, serta ketidakmampuan mengukur parameter teknis secara presisi [3] [4]. Selain itu, pelaksanaan sering tidak sepenuhnya sesuai detail standar, misalnya *twist test* yang tidak menggunakan capstan sesuai Telcordia GR-326-CORE [5]. Oleh karena itu, diperlukan solusi otomatisasi untuk meningkatkan kualitas, konsistensi, dan efisiensi pengujian di TTH [4].

B. Analisa Masalah

Berdasarkan latar belakang, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan yang perlu dianalisis.

1. Bagaimana merancang sistem alat uji *repeated Bending* dan *twist test* yang mampu mengukur parameter teknis secara presisi sesuai standar industri?
2. Bagaimana meningkatkan efisiensi waktu dan konsistensi hasil pengujian kabel *patchcord* dan *precon* di TTH?
3. Bagaimana memastikan proses pengujian dilakukan sesuai detail spesifikasi standar seperti Telcordia GR-326-CORE dan IEC 61300?

C. Tujuan

Berdasarkan latar belakang dan analisis masalah, penelitian ini memiliki beberapa tujuan, di antaranya:

1. Merancang alat uji otomatis *repeated Bending* dan *twist test* yang presisi sesuai standar industri.
2. Mengimplementasikan sistem otomatisasi yang mampu meningkatkan efisiensi waktu dan konsistensi hasil pengujian kabel *patchcord* dan *precon* di TTH.
3. Memastikan pengujian sesuai spesifikasi Telcordia GR-326-CORE dan IEC 61300.

II. KAJIAN TEORI

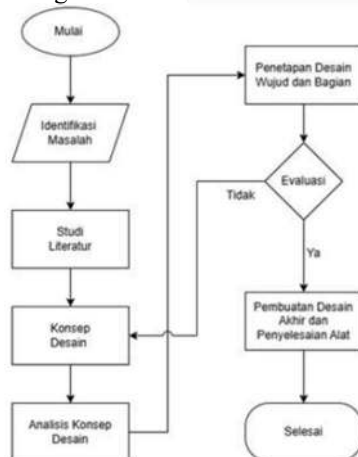
Fiber optik telah menjadi media transmisi utama dalam teknologi telekomunikasi seiring pesatnya perkembangan teknologi, berkat keunggulannya seperti *bandwidth* besar, kecepatan transmisi tinggi, atenuasi rendah untuk jarak jauh, dan ketahanan terhadap interferensi elektromagnetik [6]. Kualitas dan keandalan komponen pendukung jaringan, seperti *patchcord* dan kabel *precon*, menjadi faktor krusial dalam menjaga performa jaringan. Masalah umum yang sering terjadi adalah penurunan kualitas transmisi akibat tekanan mekanik (*microBending* dan *macroBending*) serta faktor fabrikasi yang menyebabkan rugi-rugi (*loss*) [2]. Oleh karena itu, pengujian komprehensif yang terstandar menjadi keharusan untuk memastikan kualitas komponen sebelum digunakan. Standarisasi umum yang digunakan pada pengujian meliputi standar alat uji yang memberikan spesifikasi teknis untuk memastikan pengujian *repeated Bending* dan *twist test* sesuai prosedur industri [5].

A. Standarisasi Umum Yang Digunakan

Pengujian mengacu pada standar Telcordia GR-326-CORE untuk *repeated bending* (0,9 kg, 100 siklus, sudut 0°, 90°, 0°, -90°) dan *twist test* (0,5–1,35 kg), IEC 61300-2-44:2013 untuk uji pembengkokan dengan beban tarik, serta IEC 61300-2-5:2009 untuk uji torsional dengan pengaturan beban, sudut, dan siklus presisi. Hasil pengujian dievaluasi berdasarkan STEL L-060-2017, standar internal Telkom untuk spesifikasi optical patchcord FTTH.[5],[7],[8],[9].

III. METODE

Metode ini menjelaskan rancangan dan prosedur penelitian yang sistematis untuk implementasi pengujian mekanis. Pada sub-bab ini dibahas alur diagram implementasi yang menggambarkan keseluruhan proses pengujian, serta perancangan alat pengujian dalam bentuk desain 2D dan 3D yang berfungsi sebagai acuan pembuatan dan visualisasi fisik alat secara presisi. Dua metode pengujian utama, yaitu *repeated Bending* dan *twist*, dijelaskan sebagai prosedur utama dalam penilaian kualitas dan keandalan kabel. Selain itu, *flowchart* pelaksanaan proyek disajikan untuk memandu langkah-langkah penelitian secara terstruktur dan terorganisir.



GAMBAR 1

Flowchart Implementasi Pengujian.

A. Detail Pembahasan Pengujian

Sub-bab ini membahas secara mendalam dua metode pengujian utama yang digunakan untuk mengevaluasi

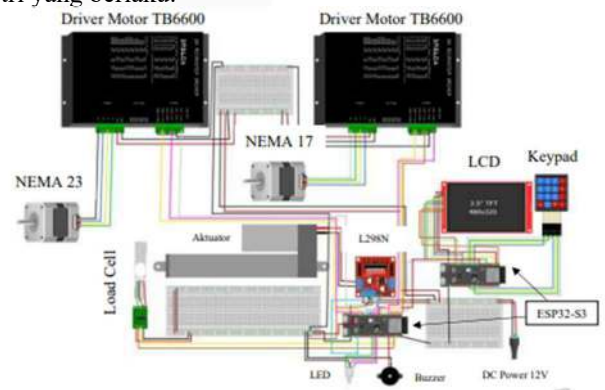
ketahanan kabel serat optik, yaitu pengujian *repeated bending* dan *twist*. Kedua metode ini dirancang sesuai standar internasional Telcordia GR-326-CORE untuk memastikan bahwa kabel *patchcord* dan *precon* dapat memenuhi persyaratan kualitas dan keandalan dalam aplikasi nyata [5]. Pembahasan meliputi prosedur pengujian, parameter yang diukur, serta pengaruh pengujian terhadap performa transmisi kabel.

B. Detail Implementasi

Bagian ini menjelaskan secara rinci implementasi sistem pengujian, mencakup sistem *hardware*, mikrokontroler, metode yang digunakan dalam pengujian *repeated Bending* dan *twist*, antarmuka pengguna atau *user interface* (UI), serta fitur tambahan yang ada pada alat. Implementasi ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem dapat bekerja secara optimal dalam menguji ketahanan kabel terhadap pembengkokan dan puntiran berulang.

a. Sistem Hardware

Sistem *hardware* yang dirancang untuk mendukung alat pengujian *repeated Bending* dan *twist* terdiri dari berbagai komponen utama yang berperan dalam memastikan proses pengujian *patchcord* dan kabel *precon fiber* optik berjalan dengan akurasi dan ketahanan yang optimal. Komponen-komponen ini bekerja secara terintegrasi untuk mendukung proses pembengkokan dan puntiran berulang, sehingga dapat mensimulasikan kondisi penggunaan kabel di lapangan secara realistis dan konsisten. Sistem *hardware* ini meliputi beberapa elemen utama yang menjadi fondasi utama dalam mekanisme pengujian, memastikan bahwa alat ini dapat memberikan hasil uji yang akurat dan sesuai dengan standar industri yang berlaku.



GAMBAR 2

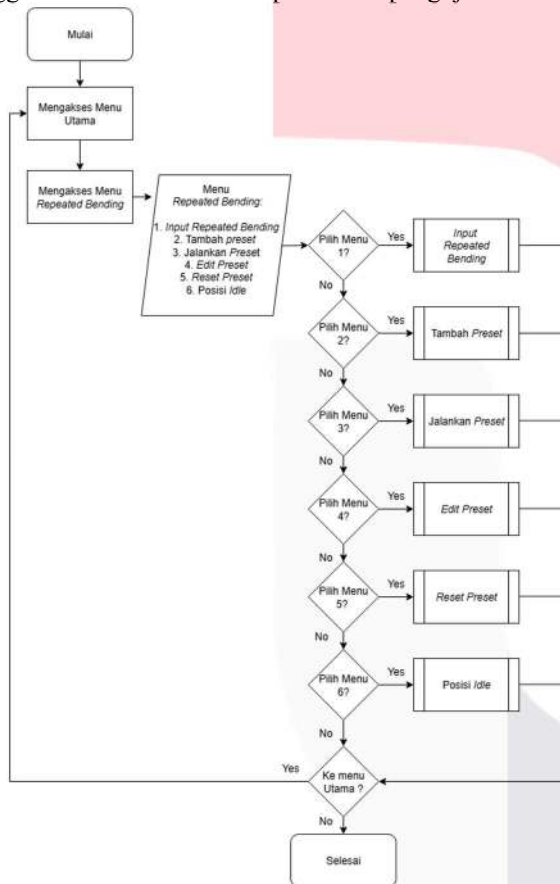
Sistem Hardware Alat Pengujian.

Gambar 2 merupakan sistem *hardware* dari komponen yang menggambarkan sistem bekerja untuk kabel *patchcord* dan kabel *precon fiber* optik terhadap mekanis yang terjadi akibat pembengkokan atau *repeated Bending* dan puntiran atau *twist* secara berulang. Sistem pengujian ini menggunakan ESP32-S3 sebagai papan kontrol utama untuk memproses data dan memberikan perintah ke berbagai komponen. Driver Motor L298N mengontrol linear actuator, sedangkan Driver Motor TB6600 mengendalikan stepper motor Nema 23 untuk gerakan *repeated bending* dengan sudut 0°, 90°, 0°, -90° dan stepper motor Nema 17 untuk pengujian *twist* hingga 2,5 putaran ke kiri dan 5 putaran ke kanan. HX711 module load cell digunakan untuk membaca beban 0,9 kg dan 1,35 kg yang ditarik oleh linear actuator 12

V. Keypad 4x4 Matrix berfungsi memberikan input perintah, sementara LCD TFT SPI 3.5 inch menampilkan antarmuka dan informasi pengujian. Indikator visual dan audio disediakan oleh Lampu Pilot LED AD16-22SM (hijau) saat alat berjalan dan LED Buzzer 24 V DC (merah + buzzer) saat pengujian selesai.

b. Detail Implementasi Pengujian *Repeated Bending*

Pengujian *repeated bending* dirancang untuk memastikan kabel *patchcord* dan *precon* tahan terhadap pembengkokan berulang tanpa kerusakan signifikan. Gambar 9 menunjukkan *flowchart* alur kerja sistem, di mana pengguna memilih salah satu dari enam menu: *input manual*, tambah *preset*, jalankan *preset*, edit *preset*, *reset preset*, atau posisi *idle*. Setelah fungsi dijalankan, sistem otomatis kembali ke menu utama hingga pengguna mengakhiri sesi. Penjelasan detail tiap menu disajikan pada uraian berikutnya untuk menggambarkan mekanisme operasional pengujian.



GAMBAR 3

Flowchart Alur Pengujian *Repeated Bending*.

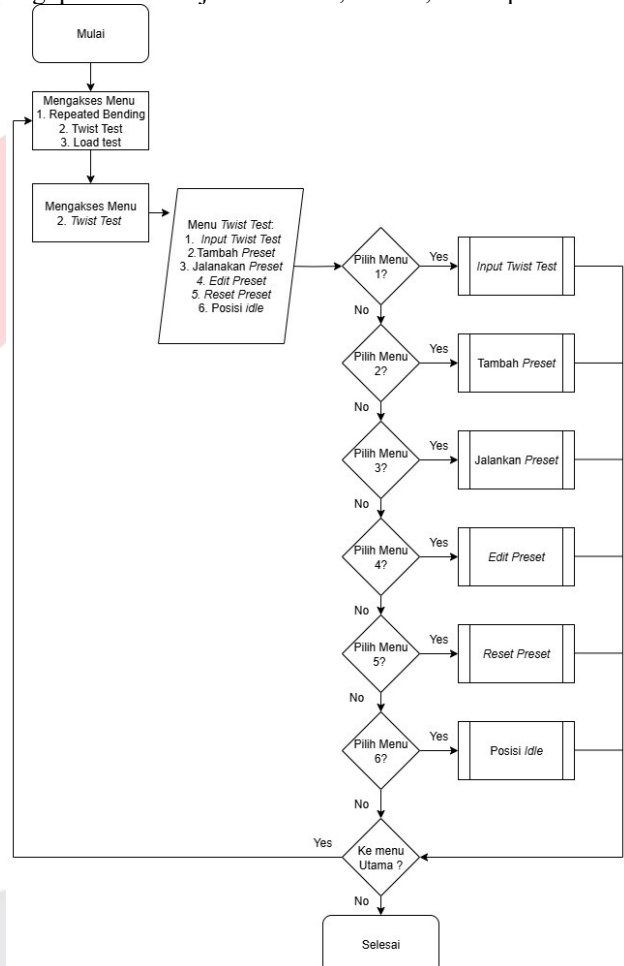
1. Komponen Pengujian *Repeated Bending*

Komponen utama dalam pengujian *repeated Bending* terdiri dari berbagai perangkat dan sensor yang berfungsi memastikan kabel *patchcord* dan kabel *precon* mampu menahan pembengkokan berulang tanpa mengalami kerusakan signifikan. Salah satunya adalah *stepper motor* nema 23 J-5718HB3401, yang menghasilkan gerakan rotasi presisi dengan rentang 180 derajat sebanyak 100 siklus selama pengujian. Selain itu, *driver motor* TB6600 berperan mengontrol *stepper motor* dengan mengatur arah dan kecepatan gerakannya, sehingga *motor* dapat membengkokkan kabel secara berulang pada sudut tertentu

yakni 0°, 90°, 0°, dan -90°, sesuai standar pengujian yang berlaku.

c. Detail Implementasi Pengujian *Twist*

Pengujian *twist* memastikan kabel *patchcord* dan *precon* tahan terhadap puntiran berulang tanpa kerusakan signifikan. Gambar 4 menunjukkan *flowchart* proses, dimulai dari menu utama dengan enam pilihan: *input twist test*, tambah *preset*, jalankan *preset*, edit *preset*, *reset preset*, dan posisi *idle*. Setelah fungsi dijalankan, sistem kembali ke menu *twist test* untuk siklus kerja berulang. Pengguna dapat kembali ke menu utama atau mengakhiri program, sehingga pengoperasian menjadi fleksibel, mudah, dan cepat.



GAMBAR 4

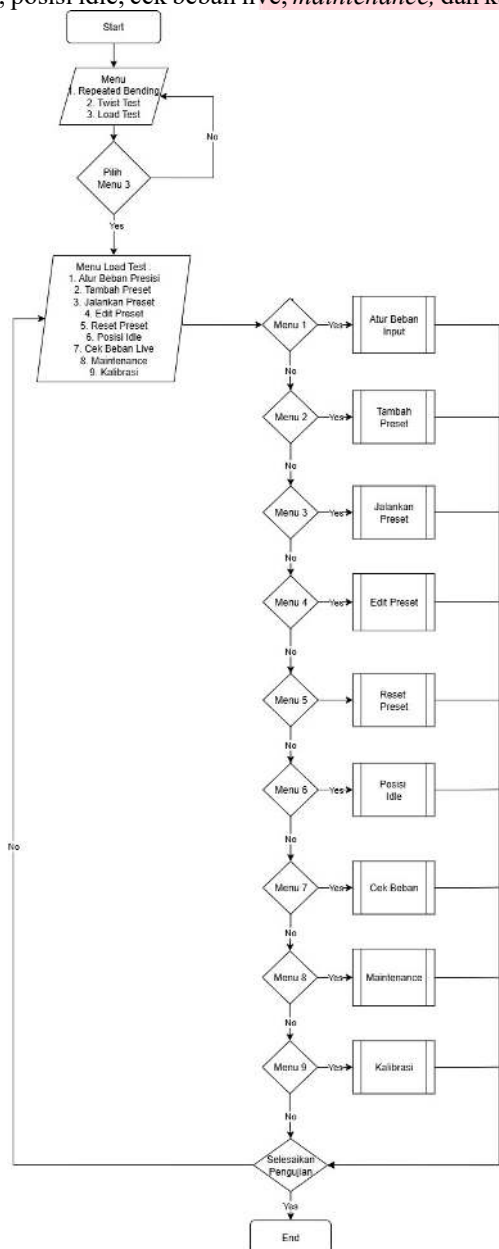
Flowchart Alur Pengujian *Twist*

1. Komponen Pengujian *Twist*

Komponen utama dalam pengujian *twist* terdiri dari berbagai perangkat dan sensor yang berfungsi memastikan kabel *patchcord* dan kabel *precon* mampu menahan puntiran berulang tanpa mengalami kerusakan signifikan. Komponen tersebut meliputi *Stepper motor* Nema 17 17HS4401 yang berperan menggerakkan dan memutar capstan selama proses pengujian *twist*, dengan kemampuan melakukan 2,5 putaran ke kiri dan 5 putaran ke kanan [5], serta *driver motor* TB6600 yang berfungsi mengontrol *stepper motor* dengan mengatur arah dan kecepatan pergerakannya, sehingga *motor* dapat melakukan puntiran pada kabel sesuai parameter yang ditentukan, termasuk penyesuaian kecepatan untuk mencapai 2,5 putaran ke kiri dan 5 putaran ke kanan [5], [12].

d. Detail Implementasi *Load test*

Pengujian *load test* dilakukan untuk mengevaluasi akurasi sistem dalam membaca dan mengatur beban secara otomatis menggunakan sensor *load cell* yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32-S3, di mana *linear actuator* digerakkan untuk mencapai nilai beban target yang kemudian dibandingkan dengan nilai aktual guna menghitung selisih, persentase *error*, dan akurasi sistem. Pengujian ini dilakukan pada dua kategori beban, yaitu 500 gram dan 1.350 gram, untuk memastikan kestabilan sistem dalam berbagai skenario pembebanan sesuai standar Telcordia GR-326-CORE [5]. *Flowchart* alur pengujian *load test*, yang ditunjukkan pada Gambar 5, menggambarkan proses mulai dari pengguna memilih opsi *load test* pada menu awal, kemudian memilih salah satu dari sembilan fungsi yang tersedia, yaitu atur beban presisi, tambah *preset*, jalankan *preset*, edit *preset*, reset *preset*, posisi idle, cek beban live, *maintenance*, dan kalibrasi.



GAMBAR 5

Flowchart Alur Pengujian Load test

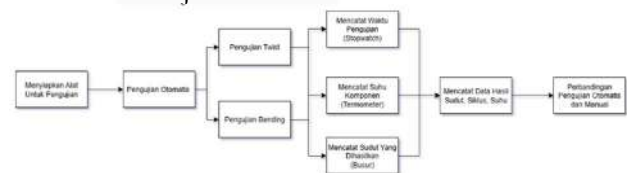
1. Komponen Pengujian Load test

Komponen utama dalam pengujian beban (*load test*) dirancang untuk memungkinkan sistem menarik dan mengukur beban secara presisi sebagai bagian dari simulasi uji mekanik kabel, di mana setiap komponen memiliki peran spesifik dalam memastikan kestabilan dan akurasi pembacaan selama proses pengujian. *Linear actuator* 12 V *Hidrolik Hydraulic* berfungsi menarik beban pada saat pengujian *repeated Bending* dengan kapasitas hingga 0.9 kg [5], sementara *driver motor* L298N mengontrol pergerakan *linear actuator* dengan mengatur arah dan kecepatan gerakannya. Selain itu, HX711 module digunakan untuk mempermudah pembacaan data dari *load cell* [12], sedangkan *load cell* sendiri berperan mendeteksi dan mengukur beban yang diterima oleh *linear actuator* [13], termasuk saat menarik beban seberat 0.9 kg guna memastikan bahwa beban yang terdeteksi sesuai dengan target pengujian.

C. Metode Pengujian

Pengujian merupakan langkah penting dalam validasi dan verifikasi kabel, khususnya untuk memastikan ketahanan dan kinerja kabel *patchcord* serta kabel *precon* dalam kondisi penggunaan nyata. Metode *repeated Bending* dan *twist test*, ketahanan mekanis kabel terhadap gerakan rotasi dan pembengkokan berulang dapat dievaluasi.

Pengujian *repeated Bending*, kabel dibengkokkan bolak-balik hingga 100 siklus untuk menilai fleksibilitasnya, sedangkan pada *twist test*, kabel dipuntir ke kiri dan kanan masing-masing 2.5 dan 5 putaran [5], untuk menguji ketahanan terhadap puntiran. Seluruh pengujian dilakukan di Laboratorium Uji Mekanik di TTH.



GAMBAR 6

Blok Diagram Skenario Pengujian Otomatis.



GAMBAR 7

Blok Diagram Skenario Pengujian Manual.

Gambar 6 menunjukkan blok diagram pengujian kabel *patchcord* dan *precon* fiber optik dengan metode otomatis berbasis mikrokontroler, sedangkan Gambar 7 menampilkan metode manual di laboratorium *Telkom Test House*. Metode otomatis menggunakan *linear actuator*, *stepper motor*, dan *load cell* yang dikendalikan ESP32-S3 untuk mencatat parameter *real-time* seperti durasi siklus, suhu, deviasi sudut, dan jumlah siklus, sedangkan metode manual bergantung pada operator sehingga berisiko tidak konsisten dan kurang akurat. Perbandingan dilakukan berdasarkan waktu, suhu, dan deviasi sudut untuk menilai efisiensi, konsistensi, dan presisi sistem otomatis. Penelitian berfokus pada pengujian ketahanan mekanis (pembengkokan dan puntiran) tanpa

mencakup pengukuran redaman optik langsung. Rumus perhitungan selisih, error, akurasi, dan nilai IL digunakan untuk analisis hasil [10], [14]. Fokus penelitian terbatas pada pengujian ketahanan mekanis, meliputi pembengkokan dan puntiran, tanpa mencakup pengujian parameter optik seperti pengukuran redaman (*attenuation*) secara langsung pada alat. Rumus yang digunakan untuk menghitung selisih, *error* (%), dan akurasi (%) serta nilai IL sebagai berikut.

$$Error (\%) = \left| \frac{\text{selisih}}{\text{Posisi Lengan (target)}} \right| \times 100\% \quad (1)$$

$$Akurasi (\%) = 100\% - Error (\%) \quad (2)$$

$$\Delta IL = IL_{\text{sesudah}} - IL_{\text{sebelum}} \quad (3)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem alat uji dilakukan berdasarkan beberapa parameter performa utama, seperti presisi pergerakan pada pengujian *repeated bending* dan *twist*, akurasi pembacaan serta pengaturan beban menggunakan sensor *load cell*, kestabilan suhu kerja *motor* penggerak selama pengujian berulang, serta efisiensi waktu pelaksanaan siklus uji. Seluruh hasil pengujian dibandingkan dengan spesifikasi yang telah dirancang pada tahap perencanaan sistem, dan dijadikan dasar untuk mengukur kesesuaian performa alat terhadap kebutuhan pengujian aktual. Selain itu, acuan standar Telcordia GR-326-CORE digunakan sebagai referensi dalam menentukan batas toleransi dan parameter minimum performa sistem.

A. Hasil Pengujian *Repeated Bending* Terhadap akurasi dan Durasi

Pengujian *repeated Bending* bertujuan menilai ketahanan kabel *patchcord* dan *precon* terhadap pembengkokan berulang seperti pada penggunaan nyata. Metode ini mensimulasikan gaya tarik dan tekuk untuk melihat keawetan dan potensi kerusakan kabel seiring waktu. Pengujian dilakukan secara manual dan otomatis, lalu hasilnya dibandingkan untuk mengetahui perbedaan efektivitas, efisiensi waktu, dan konsistensi.

a. Pengujian Secara Manual

Pengujian ini dilakukan pengulangan hingga 10x untuk mendapatkan tingkat ketelitian yang lebih detail dari 100 siklus serta sudut yang sesuai dengan standar yang digunakan yaitu pergerakan pembengkokan dari posisi *idle* 0° ke arah 90° bolak-balik, pengujian dengan kabel *patchcord/precon*. Berikut uraian pengujian *repeated Bending* menggunakan tangan secara manual.

TABEL 1

Hasil Pengujian *Repeated Bending* Terhadap akurasi dan Durasi.

No	Posisi Target	Posisi Aktual	Durasi	Error (%)	Akurasi (%)
1	90°	90°	05:02.42	0	100
2	90°	90°	05:38.13	0	100
3	90°	90°	09:51.49	0	100
4	90°	90°	08:05.09	0	100
5	90°	90°	07:40.69	0	100
6	90°	90°	05:35.65	0	100
7	90°	90°	05:54.07	0	100

8	90°	90°	05:48.09	0	100
9	90°	90°	05:43.61	0	100
10	90°	90°	07:26.64	0	100
Rata-rata			06:40.59	0	100

b. Pengujian Secara Otomatis

Pengujian *repeated Bending* dilakukan pengulangan hingga 10x untuk mendapatkan tingkat ketelitian yang lebih detail dari 100 siklus serta sudut yang sesuai dengan standar yang digunakan yaitu pergerakan pembengkokan dari posisi *idle* 0° ke arah 90° bolak-balik. Berikut uraian pengujian *repeated Bending* dengan kabel *patchcord/precon* menggunakan alat.

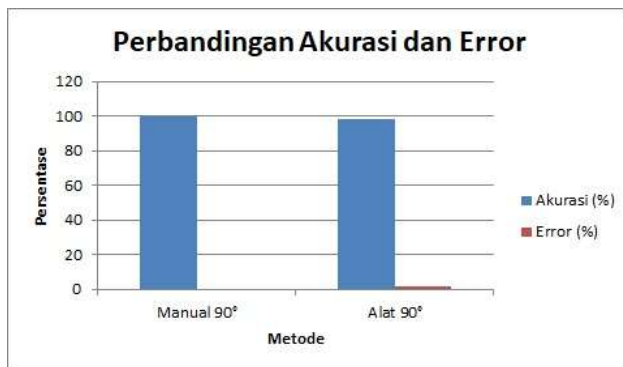
TABEL 2
Pengujian Secara Otomatis.

No	Posisi Target	Posisi Aktual	Durasi	Error (%)	Akurasi (%)
1	90°	92°	05:50.98	2.22	97.78
2	90°	91°	05:50.84	1.11	98.89
3	90°	93°	05:50.14	3.33	96.67
4	90°	92°	05:51.47	2.22	97.78
5	90°	91°	05:50.30	1.11	98.89
6	90°	90°	05:50.50	0.00	100.00
7	90°	91°	05:50.98	1.11	98.89
8	90°	92°	05:50.48	2.22	97.78
9	90°	93°	05:50.47	3.33	96.67
10	90°	91°	05:49.94	1.11	98.89
Rata-rata			05:50.61	1,67	98,42

c. Hasil Perbandingan Uji Manual dan Otomatis

Pengujian *repeated bending* bertujuan mengevaluasi presisi sistem dalam menggerakkan kabel hingga sudut 90° lalu kembali ke posisi awal setiap siklus. Pada metode manual, seluruh 10 percobaan menunjukkan hasil presisi sempurna dengan posisi aktual tepat 90°, *error* 0%, dan akurasi 100%. Rata-rata durasi penyelesaian tiap siklus adalah 6 menit 40,59 detik. Meskipun hasil ini terlihat ideal, keakuratan masih bergantung pada pengamatan visual operator dan keterampilan dalam menyesuaikan posisi, sehingga berpotensi menimbulkan bias.

Metode otomatis, seperti terlihat pada tabel hasil pengujian, menunjukkan kinerja yang lebih konsisten dan terstandarisasi. Dari 10 percobaan, posisi aktual berkisar 90°–93°, dengan rata-rata *error* 1,67%, dan akurasi 98,42%. Rata-rata durasi penyelesaian tercatat 5 menit 50,61 detik, lebih cepat dibandingkan metode manual. Meskipun tidak mencapai akurasi sempurna seperti metode manual, sistem otomatis bebas dari pengaruh faktor manusia dan memiliki *repeatability* serta *reproducibility* tinggi, menjadikannya lebih andal untuk pengujian berulang maupun pengujian berstandar industri.

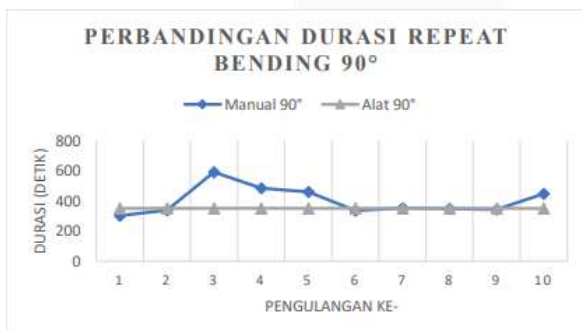


GAMBAR 8

Grafik Hasil Perbandingan Uji Manual dan Otomatis.

d. Hasil Perbandingan Durasi *Repeated Bending* Manual dan Otomatis

Pengujian *repeated bending* (100 siklus), seperti yang diilustrasikan pada grafik perbandingan durasi *repeated Bending 90°* pada Gambar 9, menunjukkan perbedaan yang sangat signifikan antara metode otomatis dan manual. Alat otomatis mampu menyelesaikan pengujian dengan rata-rata waktu 5 menit 50,61 detik secara konsisten di setiap percobaan. Sebaliknya, metode manual menunjukkan durasi yang tidak menentu, berfluktuasi antara 5 hingga 10 menit. Variabilitas ini jelas dipengaruhi oleh faktor kelelahan dan perbedaan teknik operator, di mana menjaga tempo gerakan yang sama selama ratusan siklus secara manual sangat sulit dilakukan.



GAMBAR 9

Grafik Perbandingan Durasi Pengujian *Repeated Bending*.

B. Hasil Pengujian *Repeated Bending* Berdasarkan Variasi Diameter *Repeated Bending*

Pengujian *repeated bending* digunakan untuk menilai ketahanan mekanis dan stabilitas kinerja optik kabel *patchcord* sesuai standar Telcordia, dengan diameter tekukan sebesar 20 kali *outer diameter* (OD) kabel. Tiga jenis *patchcord* diuji, masing-masing dengan OD 0,9 mm, 2 mm, dan 3 mm, sehingga diameter tekukannya 18 mm, 40 mm, dan 60 mm. Hasilnya dianalisis untuk melihat pengaruh variasi diameter tekukan terhadap perubahan *insertion loss* (IL) sebelum dan sesudah pengujian.

a. Pengukuran dan Analisis Redaman Berdasarkan Diameter Lingkaran *Bending*

Pengukuran redaman dilakukan menggunakan *Optical Power Meter* (OPM) untuk mengetahui pengaruh variasi diameter lingkaran *Bending* terhadap kinerja kabel. Data mencakup nilai redaman sebelum dan sesudah pengujian, serta nilai *insertion loss* (IL) yang dihitung dari perbedaan keduanya. Hasil ini digunakan untuk menganalisis sejauh

mana diameter *Bending* mempengaruhi besarnya redaman yang terjadi.

TABEL 3
Pengukuran dan Analisis Redaman Berdasarkan Diameter Lingkaran *Bending*.

Diameter	Sebelum (dB)	Sesudah (dB)	Nilai Δ IL
18	0,03	0,18	15
40	0,02	0,12	10
60	0,05	0,09	4

Dari tabel 3 dapat dilihat berdasarkan Gambar 10 redaman pada semua diameter meningkat setelah pengujian. Peningkatan terkecil terjadi pada diameter 60 mm (0,05 dB menjadi 0,09 dB, IL = 4), sedangkan terbesar pada diameter 20 mm (0,03 dB menjadi 0,18 dB, IL = 15). Grafik menunjukkan semakin kecil diameter *Bending*, semakin besar nilai IL, yang berarti risiko kerusakan atau perubahan sifat optik kabel lebih tinggi pada diameter kecil.



GAMBAR 10

Grafik Nilai Sebelum & Sesudah Pengujian & Nilai IL.

C. Hasil Pengujian *Twist Test* Terhadap akurasi dan Durasi

Pengujian *repeated twist* bertujuan menilai ketahanan kabel *patchcord* dan *precon* terhadap puntiran berulang yang menyerupai kondisi penggunaan sebenarnya. Metode ini mensimulasikan torsi berulang untuk mengamati tingkat keawetan serta potensi kerusakan pada kabel seiring waktu. Pengujian dilakukan secara manual dan otomatis, kemudian hasilnya dibandingkan untuk mengetahui perbedaan efektivitas, efisiensi waktu, dan konsistensi.

a. Pengujian Secara Manual (1.5 Putaran Kiri dan 3 Putaran Kanan)

Pengujian *twist test* manual dilakukan sebanyak 10 kali untuk mendapatkan hasil yang lebih representatif. Puntiran dilakukan dari posisi awal (*idle*) 0 ke kiri 1,5 putaran dan ke kanan 3 putaran. Parameter seperti sudut puntiran dan kecepatan sulit dijaga tetap konsisten pada setiap siklus karena dipengaruhi faktor manusia, seperti kelelahan dan perbedaan teknik antar operator [10], [14]. Oleh karena itu, pengulangan dilakukan untuk memperoleh nilai rata-rata yang lebih akurat. Berikut ini adalah uraian hasil dari serangkaian pengujian manual yang telah dilakukan.

TABEL 4
Pengujian *Twist* Manual (1.5 – 3 putaran).

No	target	aktual	target	aktual	Durasi	Akurasi (%)
1	1.5	1.5	3	3	00:34	100
2	1.5	1.5	3	3	00:32	100
3	1.5	1.5	3	3	00:32	100

4	1.5	1.5	3	3	00:29	100
5	1.5	1.5	3	3	00:38	100
6	1.5	1.5	3	3	00:33	100
7	1.5	1.5	3	3	00:34	100
8	1.5	1.5	3	3	00:31	100
9	1.5	1.5	3	3	00:29	100
10	1.5	1.5	3	3	00:35	100
Rata-rata					00:33	100

b. Pengujian Secara Manual (2.5 Putaran Kiri dan 5 Putaran Kanan)

Pengujian *twist test* manual dilakukan sebanyak 10 kali untuk mendapatkan hasil yang lebih representatif. Puntiran dilakukan dari posisi awal (*idle*) 0 ke kiri 2,5 putaran dan ke kanan 5 putaran. Parameter seperti sudut puntiran dan kecepatan sulit dijaga tetap konsisten pada setiap siklus karena dipengaruhi faktor manusia, seperti kelelahan dan perbedaan teknik antar operator [10], [14]. Oleh karena itu, pengulangan dilakukan untuk memperoleh nilai rata-rata yang lebih akurat. Berikut ini adalah uraian hasil dari serangkaian pengujian manual yang telah dilakukan.

TABEL 5
Pengujian *Twist* Manual (2.5 – 5 Putaran.)

No	target	aktual	target	aktual	Durasi	Akurasi (%)
1	2.5	2.5	5	5	00:40	100
2	2.5	2.5	5	5	00:43	100
3	2.5	2.5	5	5	00:41	100
4	2.5	2.5	5	5	00:45	100
5	2.5	2.5	5	5	00:46	100
6	2.5	2.5	5	5	00:49	100
7	2.5	2.5	5	5	00:46	100
8	2.5	2.5	5	5	00:47	100
9	2.5	2.5	5	5	00:45	100
10	2.5	2.5	5	5	00:42	100
Rata-rata					00:44	100

c. Pengujian Secara Otomatis (1.5 Putaran Kiri dan 3 Putaran Kanan)

Pengujian *twist* pada kabel *patchcord* dilakukan 10 kali untuk meningkatkan ketelitian pengukuran sudut puntiran sesuai standar Telcordia GR-326-CORE [5], menggunakan alat yang telah dirancang. Kabel diputar dari posisi awal 0 ke kiri 1,5 putaran dan ke kanan 3 putaran. Pengulangan ini bertujuan menilai kestabilan sistem dalam menghasilkan gerakan puntir yang presisi dan konsisten. Berikut ini adalah uraian hasil dari serangkaian pengujian otomatis yang telah dilakukan.

TABEL 6
Pengujian *Twist* Otomatis (1.5 – 3 putaran).

No	target	aktual	target	aktual	Durasi	Akurasi (%)
1	1.5	1.5	3	3	00:27	100
2	1.5	1.5	3	3	00:27	100
3	1.5	1.5	3	3	00:27	100
4	1.5	1.5	3	3	00:27	100
5	1.5	1.5	3	3	00:27	100
6	1.5	1.5	3	3	00:27	100
7	1.5	1.5	3	3	00:27	100
8	1.5	1.5	3	3	00:27	100
9	1.5	1.5	3	3	00:27	100

10	1.5	1.5	3	3	00:27	100
Rata-rata					00:27	100

d. Pengujian Secara Otomatis (2.5 Putaran Kiri dan 5 Putaran Kanan)

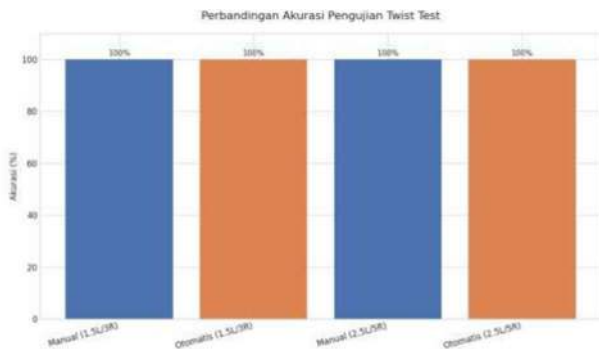
Pengujian *twist* pada kabel *patchcord* dilakukan 10 kali untuk meningkatkan ketelitian pengukuran sudut puntiran sesuai standar Telcordia GR-326-CORE [5], menggunakan alat yang telah dirancang. Kabel diputar dari posisi awal 0 ke kiri 2,5 putaran dan ke kanan 5 putaran. Pengulangan ini bertujuan menilai kestabilan sistem dalam menghasilkan gerakan puntir yang presisi dan konsisten. Berikut ini adalah uraian hasil dari serangkaian pengujian otomatis yang telah dilakukan.

TABEL 7
Pengujian *Twist* Otomatis (2.5 – 5 putaran).

No	target	aktual	target	aktual	Durasi	Akurasi (%)
1	2.5	2.5	5	5	00:45	100
2	2.5	2.5	5	5	00:44	100
3	2.5	2.5	5	5	00:44	100
4	2.5	2.5	5	5	00:44	100
5	2.5	2.5	5	5	00:44	100
6	2.5	2.5	5	5	00:44	100
7	2.5	2.5	5	5	00:44	100
8	2.5	2.5	5	5	00:44	100
9	2.5	2.5	5	5	00:44	100
10	2.5	2.5	5	5	00:44	100
Rata-rata					00:44	100

e. Hasil Perbandingan Uji Manual dan Otomatis

Pengujian *twist test* pada kabel *patchcord* dan *precon* dilakukan untuk mengevaluasi ketahanan terhadap beban puntiran berulang sesuai standar Telcordia GR-326-CORE [5], menggunakan dua skenario (1,5 putaran kiri–3 kanan dengan beban 0,5 kg, dan 2,5 putaran kiri–5 kanan dengan beban 1,35 kg) masing-masing 10 kali ulangan, baik manual maupun otomatis. Hasil menunjukkan kedua metode mampu mencapai jumlah putaran yang ditargetkan dengan *error* 0% dan akurasi 100% pada seluruh ulangan, namun keunggulan sistem otomatis terletak pada kestabilan durasi dan konsistensi proses yang bebas dari pengaruh keterampilan atau konsentrasi operator [10], [14]. Dengan pengendalian berbasis mikrokontroler dan *stepper motor*, sistem otomatis menawarkan presisi yang *repeatable* dan *reproducible*, sehingga lebih andal untuk pengujian berulang berskala besar di laboratorium, sementara metode manual meski akurat tetap berpotensi bias jika dilakukan dalam waktu lama atau oleh operator berbeda.

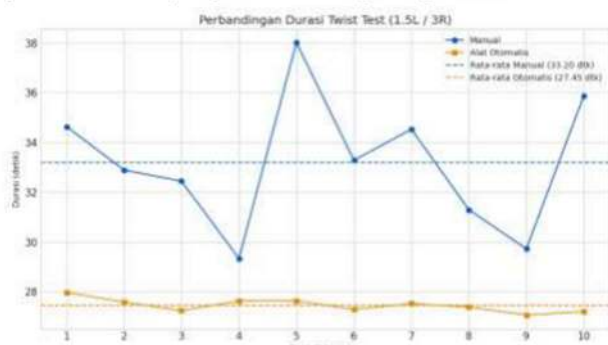


GAMBAR 11

Grafik Perbandingan Akurasi dan Error Pengujian Twist.

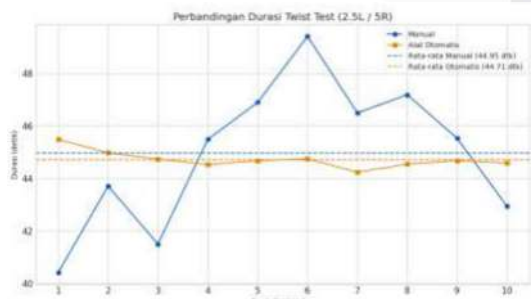
f. Hasil Perbandingan Durasi Twist Manual dan Otomatis

Analisis twist test menunjukkan pola yang sama seperti yang terlihat pada Gambar 12 (perbandingan durasi twist test 1,5 putaran kiri dan 3 putaran kanan), di mana alat otomatis menyelesaikan pengujian dengan rata-rata 27,65 detik dengan variasi waktu yang sangat kecil. Metode manual, meskipun rata-ratanya tidak terpaut jauh, menunjukkan fluktuasi tajam antar percobaan. Hasil pada Gambar 13 (perbandingan durasi twist test 2,5 putaran kiri dan 5 putaran kanan) semakin mempertegas temuan sebelumnya, di mana alat otomatis secara konsisten menyelesaikan tugas dalam 44,71 detik, sedangkan metode manual memiliki variasi waktu yang besar. Hal ini membuktikan bahwa semakin berat tugasnya, semakin sulit bagi manusia menjaga konsistensi, sementara sistem otomatis mampu mempertahankan kecepatan eksekusi yang stabil dan dapat diprediksi.



GAMBAR 12

Perbandingan Durasi Twist 1.5 – 3 Putaran.



GAMBAR 13

Perbandingan Durasi Twist 2.5 – 5 Putaran.

D. Hasil Pengujian Load test Terhadap Akurasi Pembacaan

Pengujian load cell bertujuan mengevaluasi akurasi sistem dalam membaca dan mengatur beban otomatis pada

uji mekanik kabel patchcord dan precon. Sistem berbasis mikrokontroler ESP32-S3 mengendalikan aktuatur untuk mencapai beban target dengan presisi. Nilai beban aktual dibandingkan dengan target, lalu dihitung selisih, error (%), dan akurasi (%). Pengujian dilakukan pada beban 500 g dan 1.350 g untuk memastikan kestabilan pembacaan dan memenuhi standar akurasi Telcordia GR-326-CORE [5].

a. Pengujian Terhadap Beban 0.5 kg dan 1.35 kg

Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali sesuai standar Telcordia GR-326-CORE [5], dengan beban target 500 gram dan 1350 gram yang diterapkan menggunakan linear actuator dan diukur otomatis oleh sensor load cell. Tujuannya untuk menilai kestabilan sistem dalam membaca dan mempertahankan beban secara presisi dan konsisten di setiap siklus.

TABEL 8

Pengujian Beban 0.5 kg dan 1.35 kg.

No	target	aktual	target	aktual
1	500	501	1350	1,347
2	500	502	1350	1,349
3	500	499	1350	1,355
4	500	503	1350	1,352
5	500	498	1350	1,351
6	500	502	1350	1,353
7	500	499	1350	1,351
8	500	502	1350	1,349
9	500	504	1350	1,356
10	500	502	1350	1,351

Hasil pengujian load cell pada beban target 500 gram dan 1.350 gram, masing-masing dilakukan 10 kali, menunjukkan pembacaan aktual sangat mendekati nilai target dengan deviasi kecil. Pada beban 500 gram, selisih terbesar tercatat 4 gram (error 0,8%) dan terkecil 1 gram (error 0,2%), dengan rata-rata selisih 2 gram, error 0,4%, dan akurasi 99,6%. Pada beban 1.350 gram, pembacaan berkisar 1.347–1.355 gram dengan rata-rata selisih 2,4 gram.



GAMBAR 14

Grafik Akurasi Pembacaan Load Cell Beban 0.5 kg.



GAMBAR 15

Grafik Akurasi Pembacaan Load Cell Beban 1.35 kg.

Pengaturan sistem beban yang tepat penting untuk memastikan gaya tarik sesuai standar selama uji mekanik kabel. Sistem ini menggunakan sensor *load cell* 10 kg dengan modul HX711 untuk mengukur gaya tarik *linear actuator* secara *real-time* dan akurat. Pengujian dilakukan pada dua skenario beban, yaitu 0,5 kg dan 1,35 kg masing-masing 10 kali pengulangan. Pada beban 0,5 kg, pembacaan berkisar 498–504 g dengan rata-rata 501,2 g (*error* 0,4%, akurasi 99,6%), sedangkan pada beban 1,35 kg, pembacaan berada pada kisaran 1347–1356 g dengan rata-rata 1351,4 g (*error* 0,177%, akurasi 99,922%), menunjukkan kestabilan tinggi. Kedua pengujian mengindikasikan bahwa sistem mampu mencapai dan mempertahankan beban sesuai spesifikasi dengan akurasi tinggi, meski masih terdapat potensi peningkatan pada stabilitas pembacaan akibat faktor mekanis seperti getaran atau kalibrasi.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil implementasi sistem pengujian *repeated Bending* dan *twist* untuk kabel *patchcord* dan *precon fiber* optik telah berhasil dikembangkan dan divalidasi secara fungsional. Sistem ini bekerja otomatis dengan integrasi ESP32-S3, *stepper motor*, sensor *load cell*, dan *linear actuator*, menghasilkan pengujian yang presisi, stabil, dan efisien. Hasil pengujian *repeated bending* menunjukkan keunggulan signifikan dibanding metode manual. Metode manual mampu mencapai akurasi sudut 100%, durasi pengujian tidak konsisten. Sistem otomatis mampu menjaga presisi dengan deviasi rata-rata 0,2° ke kanan dan 1,6° ke kiri, serta akurasi di atas 98%. Sistem juga menyelesaikan 100 siklus dalam rata-rata 5 menit 50,61 detik secara konsisten serta menghilangkan variabilitas waktu yang menjadi kelemahan utama metode manual. Sistem otomatis menunjukkan akurasinya sebesar 100% pada kedua skenario pengujian *twist* dan menghasilkan durasi yang stabil dan dapat diprediksi, yaitu 27,65 detik dan 44,71 detik. Sensor *load cell* bekerja stabil dan akurat dengan akurasi pembacaan mencapai >98%. Durasi pengujian manual cenderung tidak stabil akibat kelelahan dan perbedaan teknik antar operator, sehingga sulit diprediksi [10], [14]. Hasil ini membuktikan bahwa sistem berhasil menghilangkan ketergantungan terhadap metode manual yang rentan terhadap ketidakstabilan hasil.

REFERENSI

- [1] W. A. Fadila, Q. Aini, F. A. Wahyudi, and P. Fisika, "Perkembangan teknologi pemanfaatan fiber optik dalam industri telekomunikasi untuk koneksi jaringan," vol. 8, no. 2, pp. 309–320, 2024.
- [2] J. W. Simatupang, F. Syamsuri, R. Bramasto, F. Choirul Anam, and R. H. Y. Ardanta, "Analisis Perhitungan Kerugian Daya Pada Lendutan Serat Optik Dengan Simulasi Matlab," *TESLA: Jurnal Teknik Elektro*, vol. 24, no. 1, p. 13, 2022, doi: 10.24912/tesla.v24i1.15371.
- [3] J. Bughin et al., *A Future That Works: Automation, Employment, and Productivity*, no. January. 2017. [Online]. Available: http://njit2.mrooms.net/pluginfile.php/688844/mod_resource/content/1/Executive Summary of McKinsey Report on Automation.pdf
- [4] S. R. Patil and P. A. Rewatkar, "A Comparative Study on Manual and Automated Software Testing Techniques at Tata Advanced Systems Limited in Nagpur," vol. 14, no. 15, pp. 1573–1580, 2025.
- [5] Helmut Knehr, "Generic Requirements for Singlemode Optical Connectors and Jumper Assemblies," 2010. [Online]. Available: <http://telecom-info.telcordia.com>.
- [6] G. Keiser, *Optical Fiber Communications (Fourth Edition)*, vol. 53, no. 9. 2013.
- [7] (IEC), "IEC-61300-2-44-2013_Tests - Flexing," 2013.
- [8] (IEC), "IEC-61300-2-5-2009_Tests - Torsion," 2009.
- [9] "STEL L-060-2017 VERSI 2.0," 2017.
- [10] G. Salvendy, *HANDBOOK OF HUMAN FACTORS AND ERGONOMICS*. 2021. doi: 10.1002/9781119636113.ch16.
- [11] C. Elizar, R. Indrawati, and T. Y. R. Syah, "Service Quality, Customer Satisfaction, Customer Trust, and Customer Loyalty in Service of Paediatric Polyclinic Over Private H Hospital of East Jakarta, Indonesia," *Journal of Multidisciplinary Academic*, vol. 4, no. 2, pp. 105–111, 2020.
- [12] E. Sulisty, A. Saputra, A. M. Gumay, and I. M. A. Setiawan, "Rancang Bangun Blood Bag Shaker dengan Pengaturan Berdasarkan Kecepatan Beban," *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan*, pp. 17–23, 2023.
- [13] N. TARYANA, U. A. ALBAYUMI, and A. ROHIM, "Implementasi Prototype Alat Uji Flight Control Actuator Pesawat Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 5, no. 2, p. 169, 2018, doi: 10.26760/elkomika.v5i2.169.
- [14] K. Schultz and J. J. Galante, *Ergonomic guidelines for manual material handling*. 2005.
- [15] "DataSheet Stepper Motor NEMA 23," 2021. [Online]. Available: www.ato.com
- [16] "DataSheet Stepper Motor NEMA17."