

Rancang Bangun Sistem Penggerak Pada GPR (*Ground Penetrating Radar*)

Azmi Ardi Dilaga^{a)}, Erwin Renda Wardana^{a)}, Rendy Muslim Arifin^{a)}, Zaki Fadillah^{a)}, Putri Cahaya Lestari^{a)}, Rizky Augusta Gozzal^{a)}, Barokatun Hasanah^{a)}

Program Studi Teknik Elektro, Institut Teknologi Kalimantan
Jl. Soekarno Hatta No.KM 15, Karang Joang, Kec. Balikpapan Utara,
Kota Balikpapan, Kalimantan Timur 76127
Email: 04231077@student.itk.ac.id

Abstrak

Ground Penetrating Radar (GPR) telah menjadi alat penting dalam pemetaan dan pencitraan bawah permukaan tanah. Namun, untuk meningkatkan presisi dan kontrol dalam penggunaan GPR, dibutuhkan sistem penggerak GPR menggunakan motor *stepper*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem penggerak yang memanfaatkan teknologi motor *stepper*. Penelitian ini fokus pada pentingnya kontrol yang tepat terhadap pergerakan GPR untuk meningkatkan akurasi pemindaian dan kualitas citra. Dengan mengintegrasikan motor *stepper* sebagai bagian dari sistem penggerak, penelitian ini berupaya meningkatkan presisi, keandalan, dan efisiensi GPR dalam pemindaian bawah permukaan *stepper* tanah. Melalui langkah-langkah rancang bangun yang terperinci, mengimplementasikan motor *stepper* untuk mengontrol pergerakan GPR secara terstruktur dan terukur. merancang dan membangun sistem penggerak GPR menggunakan motor *stepper* guna meningkatkan presisi dan kontrol dalam pemindaian bawah tanah. Integrasi antara GUI dan Arduino IDE dalam kontrol motor *stepper* terbukti efektif, memberikan kontrol yang konsisten dan akurat. Analisis kinerja menunjukkan bahwa motor *stepper* dengan driver A3967 memiliki akurasi tinggi, terutama dalam pergerakan sejauh 0.5 hingga 2 cm, dengan kesalahan yang tidak signifikan. Motor *stepper* juga menunjukkan konsistensi pada berbagai kecepatan, sementara hubungan langsung antara durasi pulsa dan *duty cycle* mempengaruhi kontrol kecepatan dan posisi dengan presisi. Dengan demikian, penggunaan motor *stepper* dalam sistem penggerak GPR meningkatkan presisi, kontrol, dan kualitas citra pemindaian tanah, mendukung aplikasi GPR dalam berbagai bidang seperti geologi, arkeologi, dan konstruksi

Kata kunci : GPR, Koordinat XY, *Stepper* Motor, Sistem Penggerak Otomatis, Arduino IDE, dan Presisi Pemindaian

Abstract

Ground Penetrating Radar (GPR) has become an essential tool in mapping and imaging subsurface features. However, to enhance precision and control in GPR usage, a GPR drive system utilizes *stepper* motor technology. The study focuses on the importance of precise control over GPR movement to improve scanning accuracy and image quality. By integrating *stepper* motors into the drive system, the research endeavors to enhance the precision, reliability, and efficiency of GPR in subsurface scanning. Through detailed design steps, the implementation of *stepper* motors aims to structurally and measurably control GPR movement. The design and construction of the GPR drive system using *stepper* motors aim to enhance precision and control in subsurface scanning. Through detailed design steps, the implementation of *stepper* motors aims to structurally and measurably control GPR movement. The design and construction of the GPR drive system using *stepper* motors aim to enhance precision and control in subsurface scanning. The integration of GUI and Arduino IDE in *stepper* motor control has proven effective, providing consistent and accurate control. Performance analysis indicates that *stepper* motors with A3967 drivers exhibit high accuracy, particularly in movements ranging from 0.5 to 2 cm, with insignificant errors. *Stepper* motors also demonstrate consistency across various speeds, while the direct relationship between pulse duration and *duty cycle* influences speed and position control with precision. Thus, the utilization of *stepper* motors in the GPR drive system improves precision, control, and image quality in subsurface scanning, supporting GPR applications in fields such as geology, archeology, and construction.

Keywords : GPR, XY Coordinates, *Stepper* Motor, Automated drive system, Arduino IDE, and Scanning Precision

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi elektronika dalam beberapa tahun terakhir telah menghasilkan metode yang sangat efektif untuk pendeteksian bawah tanah, yakni *Ground Penetrating Radar* (GPR). Metode GPR memanfaatkan gelombang elektromagnetik untuk menghasilkan citra kondisi bawah permukaan bumi. Metode ini bersifat non-destruktif, memiliki resolusi tinggi, serta mampu memberikan gambaran bawah permukaan secara kontinu dan cepat, terutama dalam eksplorasi dangkal. Adanya beberapa singkapan batubara di sekitar blok Sungai Keruh membuat metode ini diterapkan untuk mencitrakan kondisi bawah tanah guna mengidentifikasi lapisan batubara di bawah permukaan dari singkapan yang terlihat di permukaan. (Jufri, dkk, 2015).

Info Makalah:
Dikirim : 05-26-2025;
Revisi 1 : 06-25-2025;
Revisi 2 : -
Diterima : 06-28-2025

Penulis Korespondensi:
Telp : +628xxxxxxx
e-mail :
04231072@student.ac.id

GPR telah menjadi sebuah alat yang sangat efektif dalam menggambarkan struktur bawah permukaan tanah, dan aplikasinya sangat luas, dari survei geologi hingga pemindaian arkeologi dan konstruksi. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan presisi dan kendali penggerak dalam penggunaan GPR dengan merancang dan membangun sebuah sistem penggerak yang menggunakan motor *stepper*. Penelitian ini mengandalkan pentingnya pemindaian tanah yang akurat dan terstruktur sebagai landasan utamanya. Sistem penggerak yang optimal pada GPR memiliki peran krusial dalam menjamin akurasi pemindaian, kualitas citra, dan efisiensi penggunaan perangkat ini. Dengan memilih motor *stepper* sebagai elemen penggerak utama, tujuan kami adalah meningkatkan kontrol, presisi, dan keandalan sistem GPR dalam melakukan pemindaian.

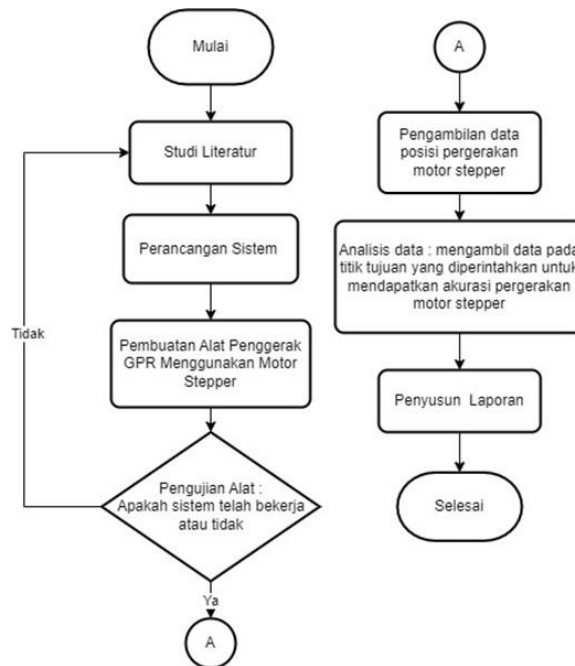
Motor *Stepper* adalah sebuah perangkat elektromekanis yang berfungsi dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis yang diskrit. Gerakan motor *stepper* tergantung pada urutan pulsa yang diberikan padanya. Pulsa digital yang disalurkan ke stator motor *stepper* menghasilkan gerakan rotasi pada rotor sesuai dengan langkah yang ditentukan. Setiap pulsa digital yang diterima oleh belitan stator menyebabkan rotor bergerak sejauh sudut tertentu, yang disebut sebagai langkah (step) angle. Langkah (step) tersebut mengacu pada jarak pergerakan rotor setiap kali menerima pulsa digital pada belitan stator. Untuk mencapai satu putaran penuh, motor *stepper* memerlukan serangkaian pulsa yang sesuai. Dengan demikian, motor *stepper* bergerak secara bertahap dengan jarak langkah yang konsisten setiap langkahnya. (Syarifudin, 2017).

Penerapan motor *stepper* dalam rancangan sistem penggerak pada GPR (*Ground Penetrating Radar*) memberikan keunggulan signifikan dalam mengontrol gerakan dengan presisi. Dalam konteks GPR, motor *stepper* digunakan untuk menggerakkan antena yang terpasang pada sistem untuk melakukan pemindaian permukaan tanah. Salah satu keunggulan utama penggunaan motor *stepper* pada GPR adalah kemampuannya untuk memberikan gerakan yang presisi dan terukur. Dengan kontrol yang akurat, motor *stepper* memungkinkan pengguna untuk menyesuaikan posisi antena Vivaldi dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi, sebuah aspek krusial dalam memperoleh data yang tepat dan akurat dalam pemindaian tanah.

Berdasarkan studi sebelumnya, penelitian ini mengadopsi pendekatan motor *stepper* untuk meningkatkan pemindaian objek yang tersembunyi di bawah permukaan tanah dengan arah pemindaian yang disesuaikan pada GPR. Fokus penelitian ini adalah merancang dan membangun sebuah sistem penggerak menggunakan motor *stepper* yang memiliki kemampuan untuk mengontrol pergerakan dengan tingkat akurasi dan keterukuran yang tinggi.

II. METODE

Pada penelitian ini memiliki langkah-langkah penelitian dengan tahapan yang sistematis sehingga mencapai hasil penelitian dengan tujuan yang diharapkan. Tahapan sistematis yang dilakukan pada penelitian ini meliputi identifikasi studi literatur, perancangan sistem, pembuatan alat, pengujian alat, pengambilan data, analisis data, dan penyusunan laporan. Adapun Tahapan penelitian ini ditampilkan pada Gambar 1.



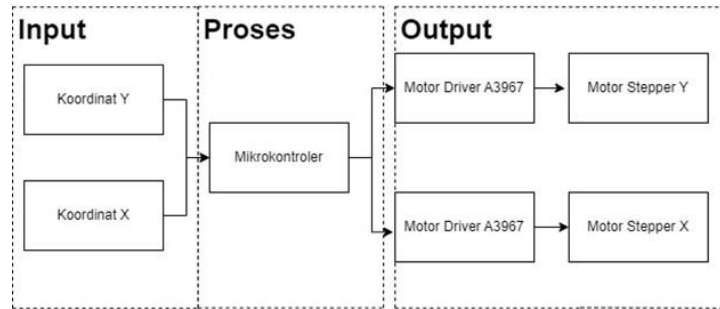
Gambar 1 Tahapan Penelitian

A. Perancangan sistem GPR menggunakan motor stepper

Sistem penggerak GPR dirancang dengan mengintegrasikan motor stepper untuk menggerakkan antena di atas media pasir. Desain sistem disesuaikan dengan dimensi media uji dan perakitan melibatkan beberapa komponen seperti Motor stepper nema 17, motor driver A3967, arduino mega, PSU 12V, aluminium profile, GT pulley 20T W6, timing belt, bracket nema 17, linear screw rod, jumper cable, serta PCB. Komponen-komponen tersebut dipilih untuk mendukung kestabilan gerak dan akurasi deteksi.

B. Blok Diagram

Sistem penggerak dikendalikan melalui mikrokontroler yang menerima input berupa koordinat X dan Y dari antarmuka pengguna berbasis GUI. Blok sistem dikategorikan menjadi tiga bagian utama yaitu input (Koordinat X dan Y), proses (Mikrokontroller) dan output (Driver A3967 dan Motor stepper NEMA 17). Komunikasi antara GUI dan mikrokontroler dilakukan melalui koneksi serial. Blok diagram sistem ditunjukkan pada Gambar 2.

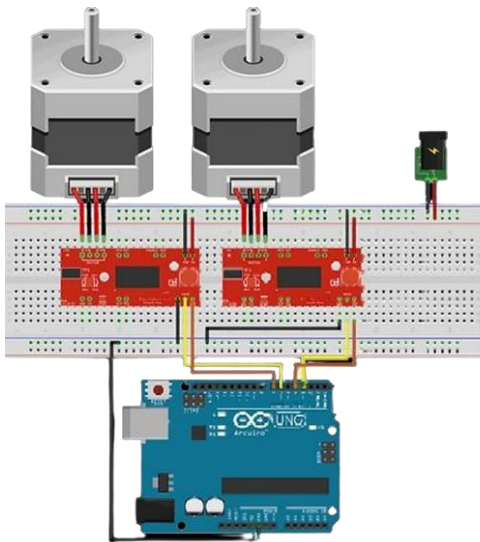


Gambar 2 Diagram Blok Sistem

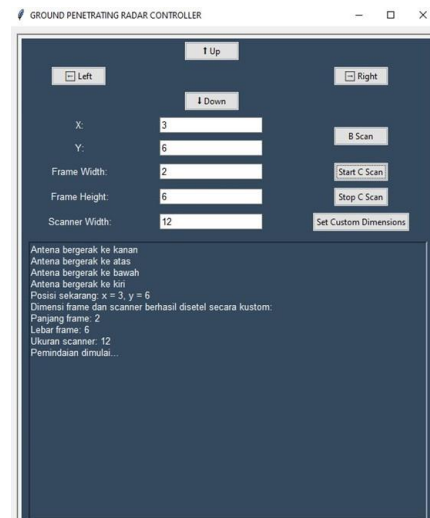
C. Skematik Sistem Penggerak

Sistem penggerak pada GPR ini menggunakan Arduino Mega sebagai pusat kendali untuk mengatur pergerakan motor stepper pada sumbu X dan Y. Antarmuka pengguna dirancang menggunakan GUI berbasis python, yang memungkinkan pengguna memasukkan nilai koordinat dan mengendalikan pergerakan motor secara manual atau otomatis.

Motor stepper dikendalikan melalui driver A3967 yang menerima sinyal step dan arah dari mikrokontroler. untuk meningkatkan presisi, sistem ini menggunakan teknik *Pulse Width Modulation* (PWM) dan mikrotesping. Sumber daya eksternal 12V digunakan untuk memastikan kestabilan sistem, GUI juga dilengkapi tombol arah dan fitur pemindaian seperti B-Scan serta pengaturan dimensi pemindahan sesuai kebutuhan. Skematik wiring Keseluruhan rangkaian pada sistem penggerak yang telah terhubung, serta tampilan GUI (Graphical User Interface) dapat dilihat pada Gambar 3 dan 4.



Gambar 3 Skematik Sistem Penggerak



Gambar 4 Tampilan GUI pada Sistem

D. Pembuatan Alat

Proses pembuatan alat dimulai dengan merakit sistem penggerak GPR berdasarkan rangkaian skematik yang telah dirancang sebelumnya. Setiap komponen dirangkai sesuai konfigurasi sistem agar berfungsi secara optimal. Penyesuaian koneksi pin pada mikrokontroler dan driver motor dilakukan untuk memastikan sinyal kontrol dan daya tersambung dengan benar. Rincian konfigurasi dari masing-masing pin dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1 Keterangan PIN

Pin	Keterangan
GND dan 5 V (<i>Out</i>)	GND dan 5V (keluar) dari Catu Daya dihubungkan ke rel daya
GND dan 5V (<i>in</i>)	GND dan 5V (<i>in</i>) dari papan Easy Driver dihubungkan ke rel daya
GND Mega	GND dari Mega terhubung ke power rail GND papan
Easy Driver GND	Setiap Easy Driver GND terhubung ke power rail GND
Pin 3 dan 4 Mega	Pin 3 dan 4 Mega terhubung ke pin STEP dan DIR dari satu Easy Driver.
Pin 6 dan 7 Mega	Pin 6 dan 7 Mega terhubung ke pin STEP dan DIR Easy Driver lainnya.

E. Spesifikasi Alat

Dari Skematik Sistem yang dibuat juga terdapat spesifikasi dari alat yang digunakan dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3.

1. Motor Stepper

Jenis atau Motor Stepper yang digunakan dalam penelitian ini yaitu stepper motor NEMA 17. Adapun data spesifikasi Motor Stepper yang akan digunakan pada tabel berikut:

Tabel 2 Spesifikasi Stepper Motor NEMA 17

Keterangan	Nilai	Satuan
Dimension	6,8 * 4,2 * 4,2	cm
Weight	280	g
Diameter Shaft	5	mm
voltage	12	V
Rated Current	1.5	A W
Rated Power	5	N.cm
Holding Torque	40	

2. Motor Driver A3957

Jenis atau modul driver yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu motor driver A3957. Adapun data spesifikasi driver A3957 yang akan digunakan pada tabel berikut.

Tabel 3 Spesifikasi Motor Driver A3957

Keterangan	Nilai	Satuan
Dimension	47 * 20	mm
Ukuran Pin header	51 * 11	mm
Power supply range	7 - 30	V
Logic voltage	5	V

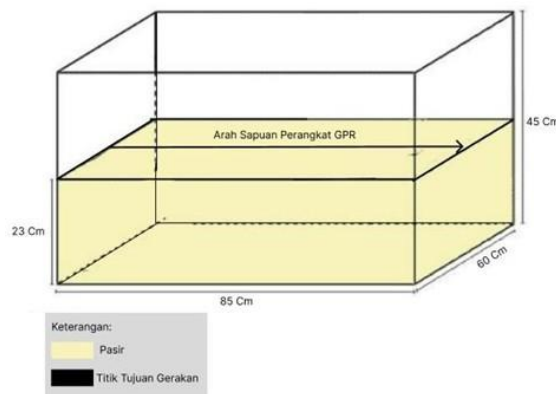
Pada tahap pengujian, alat akan diverifikasi kinerjanya. Perangkat pengukuran GPR ini terdiri dari beberapa bagian. antara lain motor stepper NEMA 17 untuk menggerakkan sumbu X dan Y agar lebih presisi, Arduino Mega sebagai pengendali utama untuk berbagai tugas dan mengontrol komponen elektronik, Power supply sebagai sumber tegangan untuk komponen, driver motor driver 13957 untuk mengoperasikan motor stepper bipolar, PCB sebagai papan rangkaian elektronik, serta software Arduino IDE untuk menjalankan motor atau melakukan pemindaian GUI sebagai antarmuka pengguna. Proses penggerakan alat dilakukan di atas permukaan pasir yang dirancang menggunakan motor stepper. Sistem penggerak akan dioperasikan dalam berbagai arah (maju, mundur, kiri, dan kanan) dengan menggunakan kontrol GUI untuk mencapai koordinat X dan Y yang diinginkan. Alternatifnya, pengguna dapat menentukan atau memasukkan koordinat X dan Y dengan menekan tombol GUI B-Scan, alat akan bergerak menuju koordinat yang telah ditentukan.

Selain itu, pengguna juga dapat memanggil fungsi untuk melakukan gerakan otomatis untuk memperoleh citra dari objek yang terkubur di dalam bak pasir, seperti yang diilustrasikan pada gambar 5, 6, dan 7. Cara menentukan koordinat saat melakukan pemindaian di area yang telah ditentukan adalah dengan menggunakan kontrol GUI untuk menavigasi arah atas, bawah, kiri, dan kanan, serta menggunakan fungsi B-Scan dengan mengatur Custom Dimensions.

F. Pengambilan Data

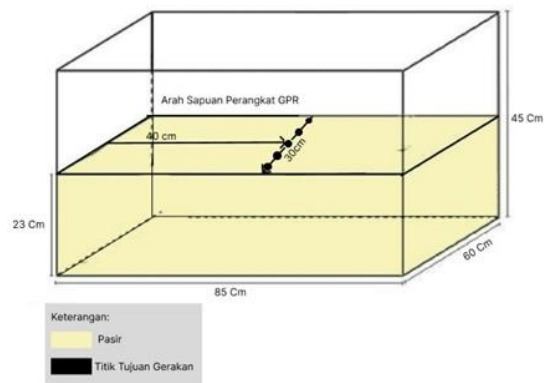
Pengambilan data dilakukan untuk menguji akurasi sistem penggerak GPR berdasarkan variasi titik dan jarak gerak. Alat diarahkan menuju lokasi berdasarkan input koordinat dari titik awal dan dilakukan pengamatan terhadap akurasi gerakan dengan tiga kali pengulangan. Terdapat tiga skema pengambilan data:

1. Pengambilan data awal alat digerakkan dari titik awal menuju titik tujuan dalam satu garis lurus melalui antarmuka GUI, dengan empat kali pengulangan untuk melihat pengaruh kecepatan terhadap akurasi posisi. Posisi lokasi pengambilan data dikonfigurasi sesuai dengan yang ditunjukkan pada gambar 5.



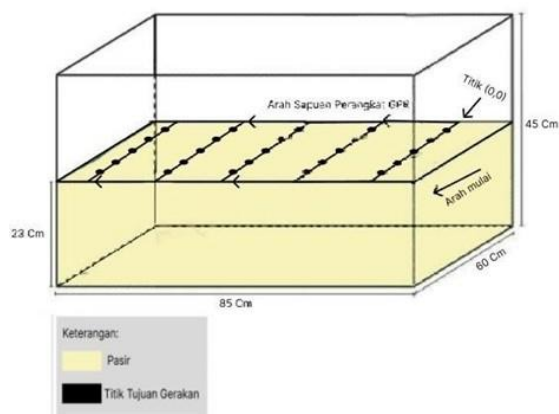
Gambar 5 Arah Pergerakan Percobaan Motor

2. Pengambilan data kedua dilaksanakan dengan pergerakan maju ke arah koordinat X dan kesamping arah koordinat Y, dilakukan proses pengulangan dengan jarak koordinat yang berbeda untuk mengamati hasil yang diperoleh. Konfigurasi lokasi pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Arah pergerakan B-Scan

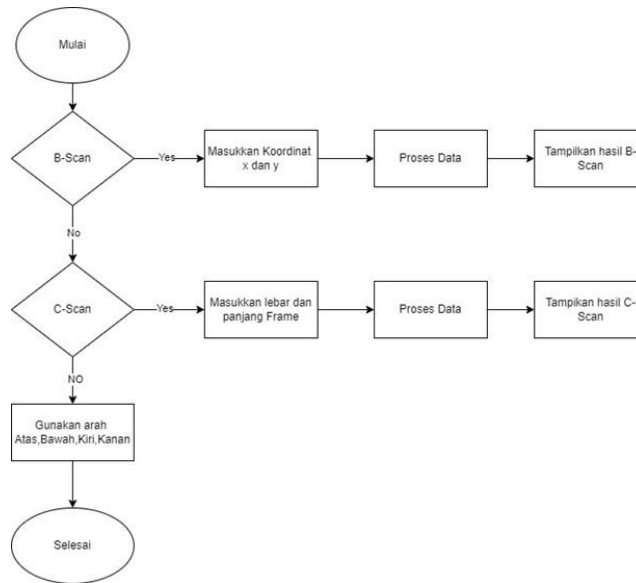
3. Pengambilan data ketiga dilakukan secara zig-zag dan akan dilakukan pengulangan sebanyak 2 kali dengan kecepatan yang berbeda untuk mengetahui hasil data posisi alat dengan titik lokasi tujuan. Konfigurasi lokasi pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Arah Pergerakan C-Scan

G. Diagram Alir

Adapun diagram alir pada penelitian untuk “rancang Bangun Sistem Penggerak Pada GPR (*Ground Penetrating Radar*) Menggunakan Motor Stepper”.

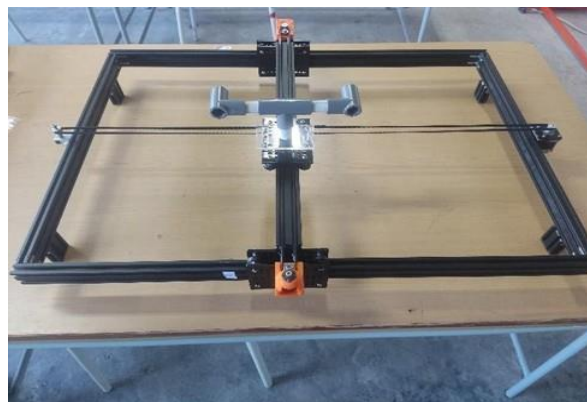


Gambar 8 Flowchart Cara kerja Sistem

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Hasil Perancangan Hardware

Hasil Perancangan *hardware* sistem penggerak GPR(*Ground Penetrating Radar*) memiliki beberapa bagian, Driver A3967, Arduino Mega, Motor Stepper Nema 17, Aluminium Profile V slot, Gantry Carts, dan PSU 12V hingga Antena Vivaldi.



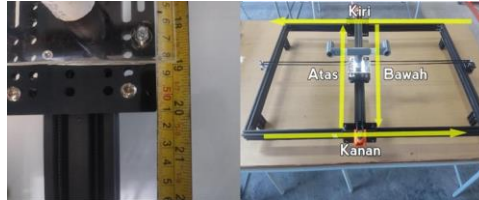
Gambar 9. Sistem Penggerak GPR

Pada gambar 9 merupakan hasil perancangan , motor stepper Nema 17 yang berfungsi sebagai penggerak koordinat x dan y dan Aluminium Profile. Aluminium Profile V slot dengan ukuran panjang 90 cm dan lebar 60 cm untuk pergerakan yang halus dan stabil. Dengan desain ini, aluminium profile V slot memberikan fleksibilitas dalam merancang dan membangun struktur yang sesuai dengan kebutuhan proyek, serta memudahkan pemasangan komponen-komponen tambahan seperti motor stepper.

B. Pengujian PWM Motor Stepper dengan driver A3967

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja motor *stepper* yang dikendalikan oleh driver A3967, dengan fokus pada analisis respons motor terhadap variasi durasi pulsa dan duty cycle. Melalui pengujian ini, diharapkan dapat diperoleh data yang akurat mengenai bagaimana variasi dalam durasi pulsa "High" dan "Low" mempengaruhi duty cycle dan performa keseluruhan motor *stepper*.

Pada pengujian terhadap motor stepper yang digunakan dalam sistem *Ground Penetrating Radar* (GPR) dengan menggunakan driver A3967, fokus dilakukan pada analisis respons motor stepper terhadap perintah yang diberikan serta pengukuran akurasi pergerakan motor dalam menjalankan langkah-langkah tertentu. Pengujian ini secara khusus memperhatikan hubungan antara pergerakan motor stepper dan jumlah langkah yang dijalankan. Sebagai aspek penting, penelitian ini mengeksplorasi korelasi antara pergerakan motor stepper dengan perpindahan yang diinginkan pada permukaan tanah.



Gambar 9 Pengujian Motor Stepper Dengan Driver A3967

Pada gambar 9 merupakan pengujian yang dilakukan untuk membandingkan data akurasi yaitu jarak yang didapat pada pergerakan motor menggunakan driver A3967 pengujian ini yang dapat dilihat pada tabel 4 dan 5 data pengujian motor dimana menggunakan aplikasi Arduino IDE dengan bergerak 0.5 cm sampai 2 cm ke setiap arah seperti atas, bawah, kiri, dan, kanan kemudian dilakukan pengujian custom frame dimana motor bergerak zigzag seperti pada gambar 7.

Tabel 4 Tabel pengujian gerakan motor menggunakan Arduino IDE

Waktu Delay Setiap Step (ms)	Pergerakan Arah Motor	Error			
		2 cm	1.5 cm	1 cm	0.5 cm
		800 Step	600 step	400 Step	200 Step
1	Atas	0	0	0	0
	Bawah	0	0	0	0
	Kiri	0	0	0	0
	Kanan	0	0	0	0
5	Atas	0	0	0	0
	Bawah	0	0	0	0
	Kiri	0	0	0	0
	Kanan	0	0	0	0
10	Atas	0	0	0	0
	Bawah	0	0	0	0
	Kiri	0	0	0	0
	Kanan	0	0	0	0

Tabel 5 Pengujian Custom Frame

Pengujian Custom Frame (400 Step / 1 cm)					
Ukuran Custom Frame (cm)		Hasil Pengukuran (cm)		Error	
Panjang (x)	Lebar (y)	x	y	x	y
3	5	3	5	0	0

5	5	5	5	0	0
10	8	10	8	0	0
10	10	10	10	0	0
12	12	12	12	0	0

Dari analisis Tabel 4 dan 5, motor stepper yang menggunakan driver A3967 menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi dalam pergerakan antara 2 cm (800 langkah) hingga 0.5 cm (200 langkah) dengan waktu delay setiap step konstan 1 mili detik (ms). Tidak terdapat kesalahan atau penyimpangan yang melebihi 2 cm hingga 0.5 cm dalam semua arah (atas, bawah, kiri, kanan) pada pengujian menggunakan aplikasi Arduino IDE. Selain itu, data yang tersedia juga tidak menunjukkan adanya pengaruh kecepatan terhadap akurasi pergerakan motor stepper. Hal ini menegaskan bahwa motor stepper mampu mempertahankan tingkat akurasi yang konsisten pada berbagai kecepatan. Selain itu, pengujian khusus pada *Custom Frame* menunjukkan bahwa perubahan jarak pada sumbu x dan y tidak menghasilkan kesalahan atau perbedaan jarak dari ukuran yang ditentukan.

C. Pengujian Motor Stepper Dengan Gerakan B-Scan



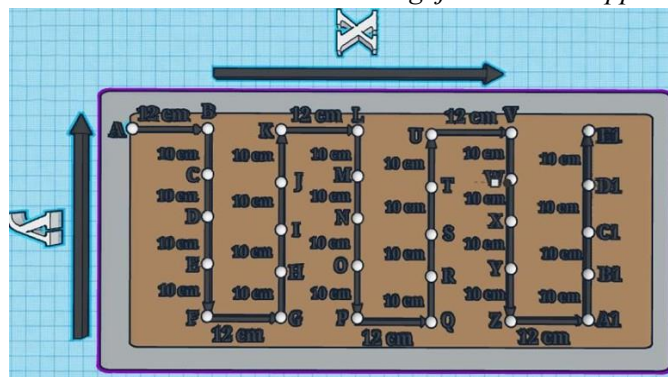
Gambar 10. Arah Pergerakan B-Scan

Tabel 6 Tabel pengujian gerakan B-Scan menggunakan Arduino IDE

Waktu Delay Setiap step (ms)	Posisi Awal (cm)		Koordinat		Hasil Pengukuran		Error	
					1 cm (400 Step)			
	x	y	x	y	x	y	x	y
1	76	50	-3	4	73	53.9	0	0.1
	70	40	5	-5	75	34.9	0	0.1
	60	30	-10	10	50	39.9	0	0.1
5	76	50	-3	4	73	53.9	0	0.1
	70	40	5	-5	75	34.9	0	0.1
	60	30	-10	10	50	39.9	0	0.1

Dalam serangkaian pengujian B-Scan untuk pergerakan motor ke sumbu x dan y, dapat dilihat dari tabel 6 bahwa setiap perpindahan sejauh 1 cm membutuhkan 400 langkah motor. Meskipun telah mengimplementasikan pengendalian melalui kode Arduino IDE, observasi menunjukkan adanya kesalahan yang konsisten. Pada percobaan pertama, dimana pengujian menargetkan koordinat x 76 cm dan y 50 cm dengan menggunakan delay 1 milidetik (ms) untuk setiap step dilakukan oleh motor. Meskipun pergerakan sumbu x terjadi tanpa kesalahan yang signifikan, hasil mencatat adanya kesalahan sebesar 0.1 cm pada pergerakan sumbu y. Uji ulang dengan delay yang sama atau bahkan lebih lama, yakni 5 detik, menghasilkan hasil yang serupa. Percobaan kedua, yang menargetkan koordinat x 70 cm dan y 40 cm, menghasilkan pengamatan yang serupa. Meskipun pergerakan sumbu x tetap konsisten, kesalahan sebesar 0.1 cm terlihat pada pergerakan sumbu y, bahkan dengan uji ulang dengan delay yang sama. Dalam percobaan ketiga, yang menargetkan koordinat x 60 cm dan y 30 cm, kesalahan pada pergerakan sumbu y juga tetap konsisten pada 0.1 cm. Meskipun memperpanjang delay menjadi 5 ms, hasilnya tidak berubah. Kesalahan ini kemungkinan terjadi karena motor stepper pada sumbu y mengalami beban tambahan. Misalnya, kekakuan kabel yang menghambat gerakan vertikal (atas dan bawah), sehingga motor lebih rentan terhadap kesalahan posisi.

D. Pengujian Motor Stepper Dengan Gerakan C- Scan



Gambar 11 Alat Pergerakan C-Scan

Tabel 7 Tabel pengujian gerakan C-Scan menggunakan Arduino IDE

Gerakan	Titik	Target Jarak (cm)	Pengukuran Jarak (cm)	Error
1	A-B	12	11.5	0.5
2	B-C	10	10	0
3	C-D	10	9.8	0.2
4	D-E	10	9.8	0.2
5	E-F	10	9.8	0.2
6	F-G	12	11.9	0.1
7	G-H	10	9.5	0.5
8	H-I	10	9.5	0.5
9	I-J	10	9.5	0.5
10	J-K	10	9.5	0.5
11	K-L	12	11.9	0.1
12	L-M	10	9.8	0.2
13	M-N	10	9.8	0.2

14	N-O	10	9.8	0.2
15	O-P	10	9.8	0.2
16	P-Q	12	11.8	0.2
17	Q-R	10	9.5	0.5
18	R-S	10	9.5	0.5
19	S-T	10	9.5	0.5
20	T-U	10	9.5	0.5
Gerakan	Titik	Target Jarak (cm)	Pengukuran Jarak (cm)	Error
21	U-V	12	11.8	0.2
22	V-W	10	9.5	0.2
23	W-X	10	9.5	0.2
24	X-Y	10	9.5	0.2
25	Y-Z	10	9.5	0.2
26	Z-A1	12	11.8	0.2
27	A1-B1	10	9.8	0.5
28	B1-C1	10	9.8	0.5
29	C1-D1	10	9.8	0.5
30	D1-E1	10	9.8	0.5
Rata - Rata				0.4

Dalam rangkaian pengujian motor stepper untuk pergerakan C-Scan, hasil yang terdokumentasi dalam Tabel 7 mengungkapkan beberapa pola kesalahan yang signifikan. Pada pengujian pertama, terdapat enam titik untuk pergerakan sumbu x, dengan setiap gerakan seharusnya menempuh jarak 12 cm atau setara dengan 4800 langkah. Namun, terjadi kesalahan yang bervariasi, di mana error pertama mencapai 0.5 cm, sementara kesalahan berikutnya berkisar antara 0.1 cm hingga 0.2 cm. Demikian pula, pengujian pada pergerakan sumbu y juga menunjukkan ketidakakuratan yang serupa. Pada setiap pengujian, kesalahan yang konsisten sebesar 0.2 cm tercatat hingga empat kali. Pengujian yang berikutnya menunjukkan pola yang serupa, dengan kesalahan yang sama terjadi sebanyak empat kali. Namun, terdapat perbedaan signifikan pada pengujian keempat, di mana kesalahan mencapai 0.5 cm. Pengujian selanjutnya kembali menunjukkan kesalahan sebesar 0.2 cm, kemudian pada pengujian terakhir di mana kesalahan mencapai 0.5 cm dan terjadi sebanyak empat kali dari semua pengujian pada gerakan C-Scan didapatkan error rata-rata mencapai 0.4 cm. nilai error yang didapat dapat terjadi karena gangguan luar seperti getaran atau guncangan lebih tinggi. Gangguan ini dapat mengganggu pergerakan motor dan menyebabkan ketidakakuratan.

E. Pengujian Menggunakan GUI

Tabel 8 Tabel pengujian gerakan motor menggunakan GUI

Waktu Delay Setiap Step (Detik)	Pergerakan Arah Motor	Error			
		2 cm	1.5 cm	1 cm	0.5 cm
		800 Step	600 step	400 Step	200 Step
1	Atas	0	0	0	0
	Bawah	0	0	0	0
	Kiri	0	0	0	0
	Kanan	0	0	0	0

5	Atas	0	0	0	0
	Bawah	0	0	0	0
	Kiri	0	0	0	0
	Kanan	0	0	0	0
10	Atas	0	0	0	0
	Bawah	0	0	0	0
	Kiri	0	0	0	0
	Kanan	0	0	0	0

Tabel 9 Tabel pengujian gerakan B-Scan menggunakan GUI

Waktu Delay Setiap Step (Detik)	Posisi Awal (cm)		Koordinat		Hasil Pengukuran		Error	
					1 cm (400 Step)			
	x	y	x	y	x	y	x	y
1	76	50	-3	4	73	53.9	0	0.1
	70	40	5	-5	75	34.9	0	0.1
	60	30	-10	10	50	39.9	0	0.1
5	76	50	-3	4	73	53.9	0	0.1
	70	40	5	-5	75	44.9	0	0.1
	60	30	-10	10	50	39.9	0	0.1

Tabel 10 Tabel pengujian gerakan C-Scan menggunakan GUI

Gerakan	Titik	Target Jarak (cm)	Pengukuran Jarak (cm)	Error
1	A-B	12	11.5	0.5
2	B-C	10	10	0
3	C-D	10	9.8	0.2
4	D-E	10	9.8	0.2
5	E-F	10	9.8	0.2
6	F-G	12	11.9	0.1
7	G-H	10	9.5	0.5
8	H-I	10	9.5	0.5
Gerakan	Titik	Target Jarak (cm)	Pengukuran Jarak (cm)	Error
9	I-J	10	9.5	0.5
10	J-K	10	9.5	0.5
11	K-L	12	11.9	0.1
12	L-M	10	9.8	0.2
13	M-N	10	9.8	0.2
14	N-O	10	9.8	0.2
15	O-P	10	9.8	0.2

16	P-Q	12	11.8	0.2
17	Q-R	10	9.5	0.5
18	R-S	10	9.5	0.5
19	S-T	10	9.5	0.5
20	T-U	10	9.5	0.5
21	U-V	12	11.8	0.2
22	V-W	10	9.5	0.2
23	W-X	10	9.5	0.2
24	X-Y	10	9.5	0.2
25	Y-Z	10	9.5	0.2
26	Z-A1	12	11.8	0.2
27	A1-B1	10	9.8	0.5
28	B1-C1	10	9.8	0.5
29	C1-D1	10	9.8	0.5
30	D1-E1	10	9.8	0.5
Rata - Rata				0.4

Dalam rangkaian pengujian motor stepper untuk pergerakan C-Scan, hasil yang terdokumentasi dalam Tabel 10 mengungkapkan beberapa pola kesalahan yang signifikan. Pada pengujian pertama, terdapat enam titik untuk pergerakan sumbu x, dengan setiap gerakan seharusnya menempuh jarak 12 cm atau setara dengan 4800 langkah. Namun, terjadi kesalahan yang bervariasi, di mana error pertama mencapai 0.5 cm, sementara kesalahan berikutnya berkisar antara 0.1 cm hingga 0.2 cm. Demikian pula, pengujian pada pergerakan sumbu y juga menunjukkan ketidakakuratan yang serupa. Pada setiap pengujian, kesalahan yang konsisten sebesar 0.2 cm tercatat hingga empat kali. Pengujian yang berikutnya menunjukkan pola yang serupa, dengan kesalahan yang sama terjadi sebanyak empat kali. Namun, terdapat perbedaan signifikan pada pengujian keempat, di mana kesalahan mencapai 0.5 cm. Pengujian selanjutnya kembali menunjukkan kesalahan sebesar 0.2 cm, kemudian pada pengujian terakhir di mana kesalahan mencapai 0.5 cm dan terjadi sebanyak empat kali dari semua pengujian pada gerakan C-Scan didapatkan error rata-rata mencapai 0.4 cm. Nilai error yang didapat dapat terjadi karena gangguan luar seperti getaran atau guncangan lebih tinggi. Gangguan ini dapat mengganggu pergerakan motor dan menyebabkan ketidakakuratan.

IV. KESIMPULAN

Perancangan sistem penggerak dalam sistem *Ground Penetrating Radar* (GPR) dilakukan dengan menggunakan motor stepper untuk menggerakkan komponen-komponen yang diperlukan. Motor stepper dipilih karena kemampuannya memberikan pergerakan yang presisi dan terkontrol. Dari hasil data percobaan yang diperoleh, nilai error yang terjadi tidak terlalu signifikan, yang menunjukkan bahwa sistem penggerak ini memiliki performa yang stabil. Selanjutnya, dilakukan penyinkronan antara aplikasi antarmuka pengguna (*Graphical User Interface/GUI*) yang dikembangkan menggunakan *Python* dan aplikasi *Arduino IDE* dengan sistem kontrol motor stepper. Penyelarasan ini bertujuan agar pengguna dapat mengoptimalkan operasional motor stepper sesuai dengan kebutuhan spesifik aplikasi GPR. Meskipun dikendalikan melalui dua antarmuka yang berbeda, hasil pengujian menunjukkan bahwa tidak terdapat perbedaan signifikan antara data yang dihasilkan oleh GUI dan aplikasi *Arduino IDE*. Hal ini menandakan bahwa keduanya mampu memberikan kontrol yang efektif dan konsisten terhadap motor stepper.

Analisis terhadap kinerja sistem penggerak pada GPR yang menggunakan motor stepper dengan driver A3967 menunjukkan bahwa sistem ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi, khususnya pada

pergerakan sejauh 0,5 cm (200 langkah) hingga 2 cm (800 langkah). Nilai kesalahan atau error yang diperoleh juga tergolong tidak signifikan, baik pada arah pergerakan horizontal maupun vertikal, berdasarkan pengujian yang dilakukan menggunakan aplikasi *Arduino IDE* dan *GUI Python*. Selain itu, pengaruh variasi kecepatan terhadap akurasi pergerakan motor stepper turut dianalisis. Hasil pengujian menunjukkan bahwa motor stepper mampu mempertahankan tingkat akurasi yang konsisten meskipun mengalami perubahan kecepatan. Uji coba terhadap parameter sinyal kendali juga menunjukkan adanya hubungan langsung antara durasi pulsa dalam kondisi logika tinggi (*high*) dengan nilai *duty cycle*. Peningkatan durasi pulsa menyebabkan peningkatan *duty cycle*, yang berperan penting dalam pengaturan kecepatan dan posisi motor stepper secara presisi. Temuan ini menjadi aspek penting dalam optimalisasi sistem kendali motor stepper pada aplikasi GPR.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada LPPM ITK atas bantuan dan kerjasama yang diberikan sangat mendukung kelancaran pelaksanaan penulisan jurnal ini dari awal hingga penyusunan laporan. Semoga hasil penulisan jurnal ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan memberikan kontribusi positif bagi para mitra yang terlibat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Asikin, *Geologi Struktur Indonesia*. Bandung: Jurusan Teknik Geologi, Institut Teknologi Bandung, 1998.
- [2] A. S. Bahri, Supriyanto, dan B. J. Sentosa, “Penentuan Karakteristik Dinding Gua Seropan Gunung kidul Dengan Metode Ground Penetrating Radar,” Prodi Geofisika, FMIPA, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2010.
- [3] D. J. Daniel, *Ground Penetrating Radar*. IEEE Radar Series, London, 2004.
- [4] I. K. Dewi, K. Mashendra, S. Putri, dan Y. Maulindra, “Identifikasi Litologi pada Lahan Gambut dengan Penerapan Metode Ground Penetrating Radar di Desa Jati Mulyo,” *Seminar Nasional Lahan Suboptimal*, vol. 10, no. 1, pp. 166-177, Jan. 2023.
- [5] D. J. Daniel, *Surface Penetrating Radar*. London: The Institution of Electrical Engineers, 1996.
- [6] J. Ersuo *et al.*, “On the polymorphic and morphological changes of cellulose nanocrystals (CNC-I) upon mercerization and conversion to CNC-II,” *Carbohydrate Polymers*, vol. 143, pp. 327–335, 2016.
- [7] E. Elfarabi, A. Widodo, dan F. Syaifudin, “Pemetaan Bawah Permukaan Pada Daerah Tanggulangin, Sidoarjo Dengan Menggunakan Metoda Ground Penetrating Radar (GPR),” *Jurnal Geosaintek*, vol. 3, no. 1, pp. 45-50, 2017.
- [8] M. Grasmueck, R. J. Weger, dan H. Horstmeyer, “Full-resolution 3D GPR imaging,” *Geophysics*, vol. 70, no. 1, pp. K12–K19, 2005.
- [9] Handson, “CNC Shield V3 for Arduino UNO - Stepper Motor Controller.” [Online]. Available: <http://qctrading.com.my/cnc-shield-v3-stepper-motor-controller-a4988>. [Diakses: 8 Juli 2019].
- [10] V. S. Heteren, D. M. Fitzgerald, P. A. McKinlay, dan I. V. Buynevich, “Radar Facies of Paraglacial Barrier System, Coastal New England, USA,” *Sedimentology*, 1998.

- [11] Y. Iswati, "Analisis Core dan Defleksi LOS Untuk Mengetahui Lingkungan Pengendapan dan Menentukan Cadangan Batubara di Banko Barat Pit 1, Sumatera Selatan," Skripsi, Universitas Lampung, 2012.
- [12] R. Knight, "Ground Penetrating Radar for Environment Application," *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, vol. 29, pp. 229-255, 2001.
- [13] R. P. Koesoemadinata, "Tertiary Coal Basin of Indonesia," *United Nation ESCAP, CCOP Technical Bulletin*, Bandung, 1978.
- [14] F. Oktafiani, S. Sulistyaningsih, dan Y. N. Wijayanto, "Sistem Ground Penetrating Radar Untuk Mendeteksi Benda-benda Di Bawah Permukaan Tanah," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 1, no. 2, pp. 53–57, 2010.
- [15] M. A. Saputra, H. Wijanto, dan Y. Wahyu, "Antena vivaldi antipodal sirkular ultra wide-band (UWB) untuk radar tembus tembok," *Prosiding Semnastek*, 2018.