

LAPORAN TUGAS AKHIR 2

Low Cost Smart Inclinometer Geotechnical



Penyusun:

Aryuda Dicky Pratama (20524082)

Rafiq Aziz Isnaw (20524210)

**Program Studi Teknik Elektro
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta
2024**

HALAMAN PENGESAHAN

Low Cost Smart Inclinator Geotechnical

Penyusun:

Aryuda Dicky Pratama (20524082)

Rafiq Aziz Isnaw (20524210)

Yogyakarta, 09 Juli 2024

Dosen Pembimbing 1



Yusuf Aziz Amrullah, S.T., M.Eng.,

Ph.D.

045240101

Dosen Pembimbing 2



Medilla Kusriyanto, S.T., M.Eng.

015240101

Program Studi Teknik Elektro

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta

2024

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Low Cost Smart Inclinometer Geotechnical



Ketua Penguji

Anggota Penguji 1

Anggota Penguji 2

: Medilla Kusriyanto, S.T., M.Eng.

: Firdaus, S.T., M.T., Ph.D.

: I Gede Sudiasa, S.T.

Tugas akhir ini telah disahkan sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal: 01-Agustus-2024

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Dwi Ana Ratna Wati, S.T., M.Eng.

035240102

PERNYATAAN

PERNYATAAN

Dengan ini kami menyatakan bahwa:

1. Tugas Akhir ini tidak mengandung karya yang diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi lainnya, dan sepanjang pengetahuan kami juga tidak mengandung karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Informasi dan materi Tugas Akhir yang terkait hak milik, hak intelektual, dan paten merupakan milik bersama antara tiga pihak, yaitu penulis, dosen pembimbing, dan Universitas Islam Indonesia. Dalam hal ini, penggunaan informasi dan materi Tugas Akhir terkait paten maka akan didiskusikan lebih lanjut untuk mendapatkan persetujuan dari ketiga pihak tersebut di atas.

Yogyakarta, 1 Agustus 2024



Aryuda Dicky Pratama (20524082)



Rafiq Aziz Isnaw (20524210)

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN	iii
DAFTAR ISI	iv
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
RINGKASAN	ix
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang dan Identifikasi Masalah.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan	4
1.4 Batasan Masalah	4
1.5 Batasan Realistis Aspek Keteknikan	4
BAB 2 IDENTIFIKASI KEBUTUHAN SISTEM	6
2.1 Inclinometer	6
2.2 Dasar Teori.....	9
2.2.1 Jenis-jenis Sensor Probe Inclinometer	9
2.2.2 Prosedur Pemasangan Inclinometer	10
2.3 Analisis Stakeholder	12
2.4 Analisis Aspek yang Mempengaruhi Sistem	12
2.5 Spesifikasi Sistem	13
BAB 3 USULAN SOLUSI	14
3.1 Usulan Solusi 1	14
3.1.1 Desain Sistem 1	14
3.1.2 Rencana Anggaran Desain Sistem 1	19
3.1.3 Analisis Risiko Desain 1	19
3.1.4 Pengukuran Performa	20
3.2 Usulan Solusi 2	21
3.2.1 Desain Sistem 2	22

3.2.2	Rencana Anggaran Desain Sistem 2	26
3.2.3	Analisis Risiko Desain 2	27
3.2.4	Pengukuran Performa	27
3.3	Analisis dan Penentuan Usulan Solusi/Desain Terbaik	28
3.4	Gantt Chart.....	29
3.5	Realisasi Pelaksanaan Tugas Akhir 1	30
BAB 4 HASIL RANCANGAN DAN METODE PENGUKURAN		32
4.1	Hasil Rancangan Sistem	32
4.2	Metode Pengukuran Kinerja Hasil Perancangan	38
BAB 5 HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS		46
5.1	Analisis Hasil	46
5.1.1	Hasil dan Analisis Pengujian Indikator	46
5.1.2	Pemenuhan Spesifikasi Sistem.....	64
5.1.3	Pengalaman Pengguna (Anggota Tim Tugas Akhir Y1).....	65
5.1.4	Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya	66
5.2	Dampak Implementasi Sistem	68
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN		70
6.1	Kesimpulan	70
6.2	Saran	70
DAFTAR PUSTAKA.....		72
LAMPIRAN – LAMPIRAN		74

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Hasil survei antara pengembang dan pengguna	2
Tabel 2.1. Hasil studi literatur solusi sejenis	7
Tabel 2. 2. Spesifikasi sistem.....	13
Tabel 3.1. Inventarisasi kebutuhan usulan sistem perangkat keras desain sistem 1	17
Tabel 3. 2 Rencana anggaran Low Cost Smart Inclinometer Geotechnical desain sistem 1	19
Tabel 3.3. Inventarisasi kebutuhan usulan sistem perangkat keras desain sistem 2	25
Tabel 3. 4 Rencana anggaran <i>Low Cost Smart Inclinometer Geotechnical</i> desain sistem 2	26
Tabel 3. 5 Analisis matrix decision penentuan desain terbaik.....	29
Tabel 3. 6 Gantt chart pelaksanaan <i>capstone project</i> sistem inclinometer	29
Tabel 3. 7 Realisasi pelaksanaan Tugas Akhir 1	31
Tabel 5. 1 Data setelah proses kalibrasi ulang sensor.....	49
Tabel 5. 2 Hasil pengukuran sensor dalam <i>probe</i> terhadap sumbu X	50
Tabel 5. 3 Hasil pengukuran sensor dalam <i>probe</i> terhadap sumbu Y	51
Tabel 5. 4 Hasil pengambilan data pengujian dengan acuan sumbu X 0^0 & sumbu Y 0^0	58
Tabel 5. 5 Hasil pengambilan data pengujian dengan acuan sumbu X 30^0 & sumbu Y -15^0	60
Tabel 5. 6 Hasil pengambilan data pengujian dengan acuan sumbu X -5^0 & sumbu Y -2^0	61
Tabel 5. 7 Hasil pengambilan data pengujian dengan acuan sumbu X 12^0 & sumbu Y -1^0	62
Tabel 5. 8 Perbandingan usulan dan hasil perancangan lain	64
Tabel 5. 9 Pengalaman pengguna	65
Tabel 5. 10 Kesesuaian antara usulan dan realisasi <i>timeline</i> pengerjaan tugas akhir 2	66
Tabel 5. 11 Kesesuaian RAB Tugas Akhir antara usulan dan realisasi.....	67
Tabel 5. 12 Realisasi aktivitas pelaksanaan tugas akhir 2	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Servo Accelerometer	9
Gambar 2. 2 <i>MEMS Accelerometer</i>	10
Gambar 2. 3 Pemasangan inclinometer dengan posisi vertikal	11
Gambar 2. 4 Pemasangan inclinometer dengan posisi horizontal	12
Gambar 3. 1 Diagram blok desain sistem 1	15
Gambar 3. 2 Koneksi keseluruhan sistem (<i>Probe</i> dan Terminal) desain sistem 1	15
Gambar 3. 3 Desain skematik desain sistem 1.....	16
Gambar 3. 4 Proses kerja sistem desain sistem 1.....	16
Gambar 3. 5 Desain 3D desain sistem 1	17
Gambar 3. 6 Aplikasi untuk pengguna	18
Gambar 3. 7 Diagram blok desain sistem 2	22
Gambar 3. 8 Koneksi keseluruhan sistem (<i>Probe</i> dan Terminal) desain sistem 2	23
Gambar 3. 9 Diagram skematik desain sistem 2.....	23
Gambar 3. 10 Proses kerja sistem desain sistem 2.....	24
Gambar 3. 11 Desain 3D desain sistem 2	24
Gambar 3. 12 Usulan rancangan aplikasi untuk pengguna desain sistem 2	26
Gambar 4.1 Hasil rancangan rangkaian elektronik.....	32
Gambar 4. 2 Diagram blok hasil rancangan akhir	32
Gambar 4.3 Desain 3D terminal	33
Gambar 4.4 Desain 3D probe inclinometer	34
Gambar 4.5 Tampilan awal aplikasi inclinometer	35
Gambar 4.6 Tampilan menu aplikasi inclinometer.....	35
Gambar 4. 7 Hasil akhir rangkaian komponen probe	36
Gambar 4. 8 Hasil akhir rangkaian elektronik terminal.....	36
Gambar 4.9 Hasil akhir rancangan terminal di dalam gulungan kabel.....	37
Gambar 4. 10 Hasil akhir rancangan probe inclinometer	37
Gambar 4. 11 Inclinometer digital alat pembanding inclinometer yang dirancang.....	39
Gambar 5. 1 Realisasi alat	46
Gambar 5. 2 Proses kalibrasi dengan acuan aplikasi “Laser Level”.....	47

Gambar 5. 3 Data dan grafik hasil proses kalibrasi	48
Gambar 5. 4 Nilai offsett dari proses kalibrasi ulang sensor MPU-6050	49
Gambar 5. 5 Rata-rata dari nilai offsett kalibrasi ulang sensor.....	49
Gambar 5. 6 Grafik data setelah proses kalibrasi ulang sensor	50
Gambar 5. 7 Perintah metode checksum mikrokontroler di <i>probe</i> (Arduino Nano)	53
Gambar 5. 8 Perintah metode checksum mikrokontroler terminal (Arduino Uno)	53
Gambar 5. 9 Hasil metode checksum pada sistem inclinometer	53
Gambar 5. 10 Tampilan data pada aplikasi inclinometer di android	55
Gambar 5. 11 Tampilan data pada serial monitor arduino uno di laptop	55
Gambar 5. 12 Penyimpanan data dari aplikasi ke database di laptop	56
Gambar 5. 13 Pemanggilan data dari database pada aplikasi inclinometer	57
Gambar 5. 14 Lokasi pengujian alat inclinometer	58
Gambar 5. 15 Grafik dan hasil analisa pengujian pertama terhadap sumbu X 0^0 (Roll).....	59
Gambar 5. 16 Grafik dan hasil analisa pengujian pertama terhadap sumbu Y 0^0 (Pitch).....	59
Gambar 5. 17 Grafik dan hasil analisa pengujian kedua terhadap sumbu X 30^0 (Roll)	60
Gambar 5. 18 Grafik dan hasil analisa pengujian kedua terhadap sumbu Y -15^0 (Pitch).....	61
Gambar 5. 19 Grafik dan hasil analisa pengujian ketiga terhadap sumbu X -5^0 (Roll).....	62
Gambar 5. 20 Grafik dan hasil analisa pengujian ketiga terhadap sumbu Y -2^0 (Pitch)	62
Gambar 5. 21 Grafik dan hasil analisa pengujian keempat terhadap sumbu X 12^0 (Roll)	63
Gambar 5. 22 Grafik dan hasil analisa pengujian keempat terhadap sumbu Y -1^0 (Pitch).....	63

RINGKASAN

Latar belakang proyek ini adalah kebutuhan yang meningkat akan inclinometer dalam industri konstruksi seiring dengan pertumbuhan industri tersebut. Namun, ketersediaan inclinometer di Indonesia masih terbatas dan harganya relatif mahal. Oleh karena itu, proyek ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan inclinometer yang lebih terjangkau dan memenuhi standar industri konstruksi. Alat ini dirancang untuk memberikan pengukuran kemiringan yang presisi, ekonomis, dan mudah digunakan, sehingga memastikan struktur sesuai dengan desain yang diinginkan.

Desain yang diusulkan adalah inclinometer yang mampu mengukur kemiringan pada sumbu X, Y, dan Z. Sistem ini terdiri dari tiga komponen utama: rangkaian elektronik yang mencakup sensor dan mikrokontroler, desain fisik yang dibuat melalui gambar desain 3D untuk memastikan penempatan komponen yang optimal, dan software interface yang memungkinkan pengguna melihat dan menganalisis data secara real-time. Pengujian dilakukan dengan memasukkan sensor ke dalam probe yang dimasukkan ke dalam pipa PVC sepanjang empat meter, dengan pengukuran dicatat pada interval 0,5 meter menggunakan acuan aplikasi waterpass pada handphone dan *inclinometer digital* yang sudah terstandarisasi. Parameter performa meliputi keakuratan pengukuran kemiringan pada sumbu X dan Y dengan masing-masing nilai eror 1.28% dan 1.55%. Selanjutnya, data yang dikumpulkan dianalisis untuk mengetahui arah dan rata-rata kemiringan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa inclinometer yang dirancang sangat akurat dan memiliki error pengukuran yang kecil. Sistem ini mengukur kemiringan dengan presisi yang dapat diandalkan untuk tujuan konstruksi. Desain ini tidak hanya menjaga kualitas dan akurasi pengukuran tetapi juga lebih ekonomis dibandingkan dengan perangkat yang ada di pasar. Nilai tambah lainnya adalah desain sistem yang kompak dan mudah digunakan, memberikan solusi pengukuran kemiringan yang praktis dan efisien sesuai dengan standar industri konstruksi.

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang dan Identifikasi Masalah

Industri konstruksi merupakan salah satu bidang yang sangat potensial di Indonesia saat ini. Industri konstruksi terus mengalami perkembangan dalam beberapa dekade terakhir. Berkembangnya sektor konstruksi tersebut juga merupakan hasil dari dukungan pemerintah untuk perkembangan ekonomi, dan adanya investasi terhadap infrastruktur yang besar.

Pertumbuhan yang terjadi pada sektor industri konstruksi di Indonesia saat ini mencapai sekitar 6-7% tiap tahun. Angka tersebut diperkirakan akan tetap mengalami pertumbuhan hingga 10-15% pada tahun 2050 bersamaan dengan adanya program Masterplan Percepatan dan Perluasan Pertumbuhan Ekonomi Indonesia (MP3EI) [1]. Angka pertumbuhan itu akan sebanding dengan semakin naiknya tantangan dunia pada jasa konstruksi ke depannya, sehingga ketentuan terhadap efisiensi, keberhasilan dan tanggung jawab terhadap pelaksanaan proyek konstruksi akan semakin naik.

Perkembangan industri konstruksi ditunjukkan oleh banyaknya investasi yang dilakukan dalam berbagai sektor, seperti pembangunan jalan tol, bandara, dan pembangkit listrik, pertumbuhan industri konstruksi di Indonesia semakin meningkat. Ini mendorong industri konstruksi di Indonesia untuk berkembang, membuka banyak peluang bagi para pengelola konstruksi [2]. Salah satu industri paling kompleks, konstruksi bergantung pada banyak pihak, seperti supplier bahan bangunan, banyak tenaga kerja, pemilik alat berat dan teknologi canggih, dan lembaga keuangan yang memberikan dana untuk proyek. Namun, meskipun pertumbuhan konstruksi yang pesat tersebut, masih ada banyak masalah. Ini terutama karena infrastruktur yang kurang dan bergantung pada banyak pihak.

Salah satu teknologi yang penting untuk digunakan dalam pembangunan infrastruktur pada industri konstruksi yaitu inclinometer. Inclinometer adalah salah satu elemen dari kompas teknologi yang sebagai alat dalam pengukuran dan menganalisa derajat atau kemiringan sebuah struktur tanah. Salah satu contoh proyek yang menggunakan alat ini yaitu pada pembangunan jalan Tol Cisumdawu yang dilakukan pada 8 Mei 2023 yang dilakukan oleh PT Global Intan Teknindo. Saat ini penggunaan teknologi ini di Indonesia hanya bisa didapatkan dari melakukan impor dari luar negeri dikarenakan belum ada produsen teknologi tersebut di Indonesia. Apabila alat tersebut mengalami kerusakan, pemilik atau pengelola alat tersebut harus mengirimkan kembali alat

tersebut ke negara produsen untuk dilakukan perbaikan dan proses tersebut sangat rumit dan membutuhkan waktu yang cukup lama, sehingga akan menunda proses pembangunan konstruksi dan menyebabkan pembangunan menjadi tersendat [3]. Dengan beberapa hambatan tersebut, sehingga diperlukan dilakukannya pengembangan terhadap inclinometer dengan biaya yang terjangkau sehingga tidak perlu untuk melakukan impor alat dari luar negeri.

Pada tugas akhir ini kelompok kami ingin membuat sebuah prototipe inclinometer cerdas yang menggunakan komponen yang sudah ada di dalam negeri. Penggunaan komponen yang tersedia di pasaran dalam negeri merupakan upaya dalam menciptakan solusi yang ekonomis yang diharapkan memberikan solusi alternatif yang terjangkau bagi sektor konstruksi, geoteknik, dan beberapa industri yang terkait. Teknologi cerdas yang digunakan mencakup akses data dengan cepat dan efisien serta kemudahan dalam pemantauan jarak jauh.

Sebagai salah satu proses desain inclinometer kami menggali informasi dari *stakeholder*, salah satunya adalah pihak usaha konstruksi di Indonesia yaitu PT Waskita Karya. Proses penggalan informasi dilakukan dengan survei. Pertanyaan mengenai survei ini ditunjukkan pada Tabel 1.1.

Tabel 1. 1 Hasil survei antara pengembang dan pengguna

Pertanyaan	Jawaban/tanggapan
Seberapa sering dan seberapa penting penggunaan inclinometer dalam proyek konstruksi di Indonesia saat ini?	<ul style="list-style-type: none"> - Penggunaan alat tersebut tidak terlalu sering yang digunakan untuk memonitoring kemiringan lereng dengan menghasilkan data kemiringan yang periodik - Penggunaan inclinometer penting namun pada pekerjaan perbaikan konduktor tanah dengan metode vakum PVD untuk melihat pergerakan lateral tanah.
Kisaran harga beli atau sewa inclinometer saat ini di Indonesia?	<ul style="list-style-type: none"> - 50 jt - 120 jt
Menurut anda untuk saat ini apakah perlu dilakukannya pengembangan inclinometer dengan biaya terjangkau untuk konstruksi di Indonesia?	<ul style="list-style-type: none"> - Untuk saat ini alat tersebut tidak digunakan pada proyek berskala menengah dan kecil, sehingga untuk pengembangan alat tersebut cukup perlu untuk proyek skala menengah dan kecil - Pengembangan tersebut dapat dilakukan yang dapat mempercepat proses pengecekan lahan.
Apakah ada tantangan atau hambatan yang sering dihadapi dalam penggunaan inclinometer pada konstruksi saat ini?	<ul style="list-style-type: none"> - Tantangan yang sering dihadapi yaitu data yang tidak terkalibrasi secara terus menerus, sehingga diperlukan kalibrasi pada periode yang relatif sering - Keadaan cuaca seperti hujan yang dapat

Pertanyaan	Jawaban/tanggapan
	menyebabkan kerusakan pada alat tersebut.
Apakah saudara memiliki ide atau saran mengenai pengembangan inclinometer dengan biaya rendah tersebut?	<ul style="list-style-type: none"> - Mungkin alat tersebut nantinya lebih dibutuhkan dengan fungsinya serta dapat diproduksi dalam negeri dengan kualitas yang memadai - Supaya dalam pengembangan alat tersebut bisa melakukan konsultasi terlebih dahulu kepada kontraktor lokal selain BUMN.
Selama penggunaan alat tersebut, apakah ada standar khusus yang harus dipertimbangkan sebelum melakukan pengembangan inclinometer yang lebih terjangkau?	Standar khusus yang harus dipertimbangkan dalam pengembangan alat tersebut yaitu akurasi yang dihasilkan dari pengukuran alat tersebut nantinya, kemudian bagaimana maintenance dari alat tersebut, dan bagaimana biaya dari pengembangan alat tersebut.

Penggunaan inclinometer saat ini cenderung tidak banyak digunakan dalam proyek konstruksi dan belum menjadi alat pemantauan yang umum. Namun, inclinometer sangat penting untuk perbaikan konduktor tanah dengan metode vakum PVD, terutama untuk melihat pergerakan lateral tanah. Namun, untuk sebagian besar proyek konstruksi, inclinometer hanya digunakan untuk melihat kemiringan lereng dan mengumpulkan data kemiringan secara periodik. Harga inclinometer yang dapat dibeli atau disewa di Indonesia berkisar antara 50 juta hingga 120 juta rupiah, jadi mungkin sulit untuk menggunakannya pada proyek yang lebih kecil atau dengan anggaran terbatas. Akibatnya, pengembangan inclinometer yang lebih murah mungkin merupakan langkah penting yang akan memungkinkan lebih banyak proyek konstruksi skala menengah dan kecil untuk memanfaatkan teknologi ini. Salah satu masalah yang paling umum saat menggunakan inclinometer adalah kalibrasi yang relatif sering dan pengaruh cuaca, terutama hujan, yang dapat merusak alat. Dalam proses pengembangannya, hal-hal seperti akurasi pengukuran yang dihasilkan, cara perawatan alat tersebut akan dilakukan, dan bagaimana biaya pengembangannya dapat dihemat semaksimal mungkin harus dipertimbangkan. Ada potensi besar untuk membuat inclinometer yang lebih murah dan mudah diakses, sehingga proyek kecil dan menengah di Indonesia dapat memanfaatkan alat ini. Untuk membuat alat ini, konsultasi dengan kontraktor lokal selain BUMN mungkin merupakan pilihan yang bijak. Upaya ini mungkin akan berdampak positif pada industri konstruksi Indonesia

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam pengerjaan Tugas Akhir ini adalah bagaimana merancang

inclinometer yang sesuai standar industri saat ini, cerdas namun dengan biaya yang terjangkau. Cerdas yang dimaksud pada alat tersebut yaitu mampu mengirimkan data ke handphone dan menganalisa data tersebut, serta dapat memberikan informasi terkait error yang terjadi.

1.3 Tujuan

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah:

1. Mampu mendesain inclinometer yang lebih murah dari yang sudah ada dan memenuhi standar industri konstruksi saat ini.
2. Mampu merealisasikan desain dalam sebuah prototipe.
3. Melakukan pengujian prototipe inclinometer dan dapat dibandingkan dengan standarisasi yang sudah ada.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada Tugas Akhir ini adalah:

1. Pengujian alat dilakukan di lokasi yang memiliki kondisi struktur tanah yang lunak dengan kedalaman 5 hingga 10 meter, dengan jumlah pengukuran 5 hingga 10 kali.
2. Lokasi pengujian alat dilakukan di daerah Kab. Sleman.
3. Komunikasi data yang digunakan dari sensor ke terminal di permukaan tanah menggunakan kabel sedangkan dari terminal ke handphone menggunakan bluetooth.

1.5 Batasan Realistis Aspek Keteknikan

Dalam proses perancangan *Low Cost Smart Inclinometer Geotechnical* ini diketahui bahwa terdapat batasan realistis dalam aspek keteknikan sebagai berikut:

1. Ekonomi

Alat ini dibangun dengan menggunakan komponen yang sudah tersedia secara massal dan murah, seperti sensor MEMS yang tersedia di pasar. Untuk mengurangi biaya produksi dan perakitan, proses desain inclinometer harus sederhana dan efisien. Dengan spesifikasi baterai yang mudah diganti dan murah, desain harus mengoptimalkan penggunaan daya.

2. Lingkungan

Alat dibuat dengan bahan yang ramah lingkungan, atau bahan yang tidak membahayakan lingkungan.

3. Sosial

Alat ini dapat digunakan oleh berbagai kelompok masyarakat yang membutuhkan dan membutuhkan desain yang mudah digunakan dengan dukungan teknis yang memadai. Perancangan alat harus mempertimbangkan keselamatan masyarakat, terutama ketika digunakan dengan proses yang dapat menimbulkan risiko.

4. Kesehatan dan Keamanan

Standar keamanan yang berlaku, terutama yang berkaitan dengan elektronika dan teknologi nirkabel, digunakan selama proses perancangan. Alat harus dirancang untuk melindungi alat dari suhu tinggi dan terhadap debu dan air.

5. Manufacturability

Desain alat harus memikirkan cara-cara untuk mempermudah proses perakitan dengan menggunakan komponen yang mudah ditemukan. Perancangan harus memperhitungkan kemudahan dalam pengujian dan pemeliharaan alat.

6. Sustainability

Alat dapat digunakan untuk jangka waktu yang lama guna mengurangi limbah elektronik.

7. Inspectability

Dengan protokol komunikasi Bluetooth, alat dapat dipantau dari jarak jauh untuk memeriksa data pengukuran tanpa harus mendekati alat. Periksa integrasi dengan perangkat lunak untuk memudahkan penggunaan dan analisis hasil pengukuran.

8. Standar Keteknikan

Alat yang dirancang merujuk pada standar keteknikan SNI 3404:2008: Tata Cara Pemasangan Inclinomometer dan Pemantauan Pergerakan Horisontal Tanah.

BAB 2 IDENTIFIKASI KEBUTUHAN SISTEM

2.1 Inclinometer

Inclinometer adalah sebuah alat instrumen yang memanfaatkan efek gravitasi dalam melakukan pengukuran kemiringan sudut yang pada umumnya kemiringan dari struktur tanah atau bagian dari suatu struktur. Pembacaan inclinometer pada umumnya ditampilkan dalam bentuk derajat sudut deviasi dari bidang vertikal maupun horizontal, sebagai persentase tingkat, atau sebagai deviasi mutlak dalam milimeter atau inci.

Inclinometer dapat melakukan deteksi orientasi yang relatif terhadap gravitasi, sehingga inclinometer dapat melakukan identifikasi pergerakan material atau struktur dengan membandingkan beberapa hasil pengukuran yang diambil pada titik waktu berbeda. Dalam monitoring geoteknik, informasi tersebut digunakan untuk mendeteksi adanya pergerakan dan *deformasi* baik di dalam tanah maupun pada struktur tanah. *Deformasi* adalah terjadinya perubahan terhadap suatu bentuk atau ukuran dari sebuah objek yang diakibatkan oleh adanya sebuah gaya atau perubahan suhu. Pergerakan yang dideteksi tersebut dapat berupa pergerakan lateral, penurunan permukaan tanah, dan gerakan naik-turun dalam tanah, serta penurunan dan *defleksi* pada struktur. Pemantauan tersebut penting untuk membaca stabilitas selama pekerjaan konstruksi atau perbaikan serta mengetahui stabilitas dalam jangka panjang setelah pekerjaan konstruksi tersebut selesai.

Pada saat ini, inclinometer digunakan hampir pada semua jenis bendungan dan pada dinding penahan, mulai dari dinding penahan timbunan tanah terkecil hingga bendungan beton yang tersebut, hal tersebut ditujukan untuk pemantauan stabilitas struktur dan tanah yang menjadi penahan bendungan tersebut. Tidak hanya pada bendungan, inclinometer juga diaplikasikan pada objek lainnya seperti jalan raya, jembatan, dan terowongan. Penggunaan inclinometer pada objek tersebut digunakan untuk pemantauan integritas balok-balok yang menahan dek jembatan atau memberikan peringatan jika terjadinya penurunan struktur tanah di bawah permukaan aspal. Penggunaan inclinometer lainnya yaitu dalam proyek apapun yang melibatkan proses penggalian, seperti *open pit mining*. *Open pit mining* adalah sebuah metode dalam proses penambangan yang digunakan untuk menggali mineral deposit yang ada pada suatu batuan yang memungkinkan jumlah produksi yang tinggi namun dengan ongkos yang rendah. Dalam kasus tersebut penggunaan inclinometer dimanfaatkan sebagai pemantauan *deformasi* tanah pada area sekitar

galian dengan tujuan mendeteksi masalah stabilitas sebelum terjadi.

Tabel 2.1. Hasil studi literatur solusi sejenis

Judul	Usulan solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
<p>A Low-Cost Inclinometer with Data Acquisition Library Developed in Python, for In-Situ Displacement Measurements[4]</p>	<p>Solusi yang ditawarkan peneliti yaitu penggunaan accelerometer MPU6050 dengan biaya rendah untuk menentukan kemiringan dan menggunakannya sebagai inclinometer industri untuk mendeteksi kedalaman tanah longsor</p>	<p>Hasil: Alat tersebut memungkinkan pembacaan kedalaman struktur tanah dalam tiga sumbu Kelebihan: Port I2C memungkinkan menghubungkan dua atau lebih perangkat, yang akan ideal untuk membuat kontinu dan sistem pemantauan tanpa pengawasan, sehingga dapat memperoleh pembacaan waktu secara real Kekurangan: Perpindahan kumulatif yang diukur oleh MPU6050 mengurangi akurasi dan presisi ketika perpindahan kumulatif dari inclinometer industri cenderung 0 [mm].</p>
<p>Advances on Measuring Deep-Seated Ground Deformations Using Robotized Inclinometer System [5]</p>	<p>Solusi yang ditawarkan peneliti berupa pengukuran inclinometer manual dengan menggunakan pendekatan robot yang meningkatkan hasil dalam hal akurasi, waktu peninjauan kembali, dan aksesibilitas situs.</p>	<p>Hasil: Hasil yang diperoleh mengkonfirmasi potensi instrumentasi dan mengkonfirmasi apa yang telah diamati dalam penelitian sebelumnya di bidang pemantauan tanah longsor Kelebihan: Data yang diperoleh dari penelitian-penelitian ini mengkonfirmasi potensi instrumen ini dalam hal ketepatan dan keandalan Kekurangan: Mengingat sistem ini telah bekerja pada fenomena aktif, tidak selalu mudah untuk memisahkan komponen yang terkait dengan toleransi instrumen dengan yang disebabkan oleh aktivitas tanah longsor.</p>

Judul	Usulan solusi	Hasil/Evaluasi (Kelebihan/Kekurangan)
Internet of Things Geosensor Network for Cost-Effective Landslide Early Warning Systems [6]	Solusi yang ditawarkan peneliti adalah pengembangan jaringan geosensor hemat biaya yang dirancang khusus untuk digunakan dalam LEWS dengan menggunakan IoT terdiri dari sensor mikro-elektro-mekanis (MEMS) dan protokol LoRa.	<p>Hasil: Jaringan sensor ini terdiri dari tiga node sensor yang berbeda, yang memungkinkan untuk memantau pergerakan/deformasi bawah permukaan (SN, LCI) atau infrastruktur yang ada (IN) serta kondisi air tanah di lapisan tanah dekat permukaan</p> <p>Kelebihan: Sensor ini menawarkan pengukuran yang masuk akal kualitas yang wajar dengan biaya yang jauh lebih rendah</p> <p>Kekurangan: Node sensor yang baru dikembangkan tidak setepat sensor geoteknik berkualitas tinggi yang sudah ada.</p>

Dari hasil observasi yang penulis lakukan kepada beberapa pekerja dari pihak konstruksi, diketahui bahwa saat ini penggunaan inclinometer hanya dilakukan pada proyek berskala besar, yang bertujuan untuk mengetahui keadaan struktur tanah dalam pembangunan proyek tersebut. Namun ada beberapa penggunaan inclinometer pada proses perbaikan konduktor tanah menggunakan metode vakum PVD yang bertujuan untuk melihat bagaimana pergerakan dari sebuah struktur tanah.

Hasil observasi selanjutnya yaitu penggunaan inclinometer di Indonesia pada umumnya hanya digunakan pada proyek konstruksi berguna untuk mempercepat proses pengecekan lahan, dengan harga alat yang berkisar di antara 50-120 juta, sehingga diperlukan alat dengan harga yang lebih murah dan bisa digunakan pada proyek skala menengah dan kecil. Kemudian tantangan yang sering dihadapi dalam penggunaan inclinometer saat ini adalah hasil pengukuran yang tidak dapat langsung menampilkan hasil yang sudah terkalibrasi sehingga memerlukan proses untuk mengkalibrasi data-data hasil pengukuran tersebut.

Dari hasil observasi tersebut, penulis menyimpulkan bahwa pengembangan inclinometer dengan biaya yang lebih terjangkau untuk saat ini dibutuhkan dalam proyek konstruksi di Indonesia. Alat tersebut nantinya dapat digunakan masyarakat dengan skala yang lebih luas

dikarenakan memiliki biaya yang lebih murah. Namun walaupun dengan biaya yang lebih terjangkau, diharapkan alat tersebut dapat memberikan hasil yang sesuai dengan standar yang ada pada saat ini.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Jenis-jenis Sensor *Probe Inclinometer*

Probe inclinometer diciptakan dengan menggunakan dua jenis akselerometer. *Probe* inclinometer adalah perangkat yang memiliki bentuk seperti tabung dan ramping yang rancang untuk dimasukkan ke dalam lubang bor atau jalur inclinometer yang ada di dalam tanah.

1. *Servo-Accelerometer*

Servo-Accelerometer ketika terjadi percepatan, menggunakan mekanisme umpan balik untuk menjaga massa tetap pada posisi yang diinginkan, dan akan memberikan informasi tentang perubahan percepatan yang terjadi. Inclinometer jenis ini dilengkapi dengan dua set roda yang memiliki tekanan pegas yang berfungsi untuk mengonfirmasi *probe* di sepanjang alur *casing* inclinometer. Jenis ini biasanya digunakan pada aplikasi yang membutuhkan ketepatan dan akurasi tinggi dalam pengukuran percepatan. Contohnya termasuk aplikasi militer, navigasi inertial dan beberapa penelitian ilmiah yang membutuhkan ketepatan yang tinggi. Dari segi ekonomi jenis ini memiliki harga yang lebih mahal dan cenderung mempunyai ukuran yang lebih besar karena kompleksitas sistem servo-umpan balik yang digunakan.



Gambar 2. 1 *Servo Accelerometer*

2. *Accelerometer MEMS*

Inclinometer jenis ini juga biasa disebut sebagai inclinometer MEMS. Hingga saat sekarang ini, teknologi MEMS atau *Micro-Electro-Mechanical Systems* telah banyak digunakan sebagai bahan utama untuk membangun *probe* sensor kemiringan. MEMS terdiri dari beberapa elemen seperti elemen mekanis, sensor, aktuator, dan elektronik pada substrat silikon umum yang sudah melalui tahapan teknologi mikrofabrikasi.

Accelerometer MEMS menggunakan sensor mikro-elektromagnetik kecil yang dapat merespons perubahan percepatan. Sensor ini terdiri dari massa mikro yang tergantung pada pegas mikro dan ketika terjadi percepatan, massa ini akan mengalami perpindahan terhadap kerangka referensi dan perubahan ini dapat diukur untuk menentukan besarnya percepatan. Jenis ini biasanya digunakan pada aplikasi yang membutuhkan ukuran yang kecil, ringan dan hemat energi, *accelerometer MEMS* memiliki harga yang lebih murah dan ukuran yang lebih kecil, namun ketepatan pengukuran lebih rendah dibandingkan *servo-accelerometer*.



Gambar 2. 2 *MEMS Accelerometer*

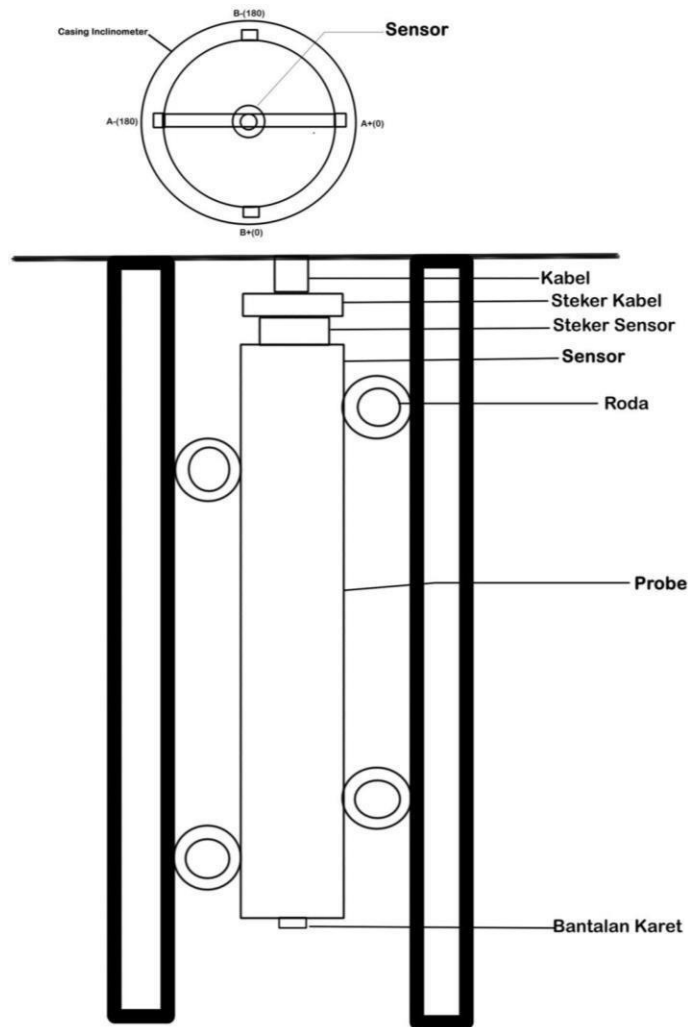
2.2.2 **Prosedur Pemasangan Inclinometer**

Prosedur pemasangan inclinometer dilakukan dengan dua cara, yaitu:

1. Pemasangan Inclinometer Vertikal

Pemasangan inclinometer dengan cara ini digunakan untuk melakukan pengukuran perpindahan *horizontal* relatif yang mempengaruhi bentuk *casing* inclinometer yang tertanam di dalam struktur tanah. Lubang pengukuran yang vertikal dibangun dengan memasang *casing* inclinometer pada lubang bor, yang tertanam di dalam tanah/timbunan batu atau struktur beton selama dan setelah konstruksi. *Probe* inclinometer diarahkan melalui pipa *casing* pengukuran dari

bawah ke atas, pengambilan data dilakukan pada interval tertentu. *Probe* atau torpedo inclinometer tersebut terdiri dari dua buah akselerometer yang berfungsi mendeteksi kemiringan tabung akses 90 satu sama lain. Bagian ujung bawah pada casing berfungsi sebagai referensi stabil atau *datum* dan harus terbenam di luar zona pergeseran. Pergeseran yang relatif dari waktu ke waktu dipilih dengan cara mengulang proses pengukuran pada kedalaman yang sama serta membandingkan dataset yang sudah diperoleh sebelumnya. Prosedur pemasangan inclinometer secara vertikal ini dapat dilihat pada Gambar 2.3.

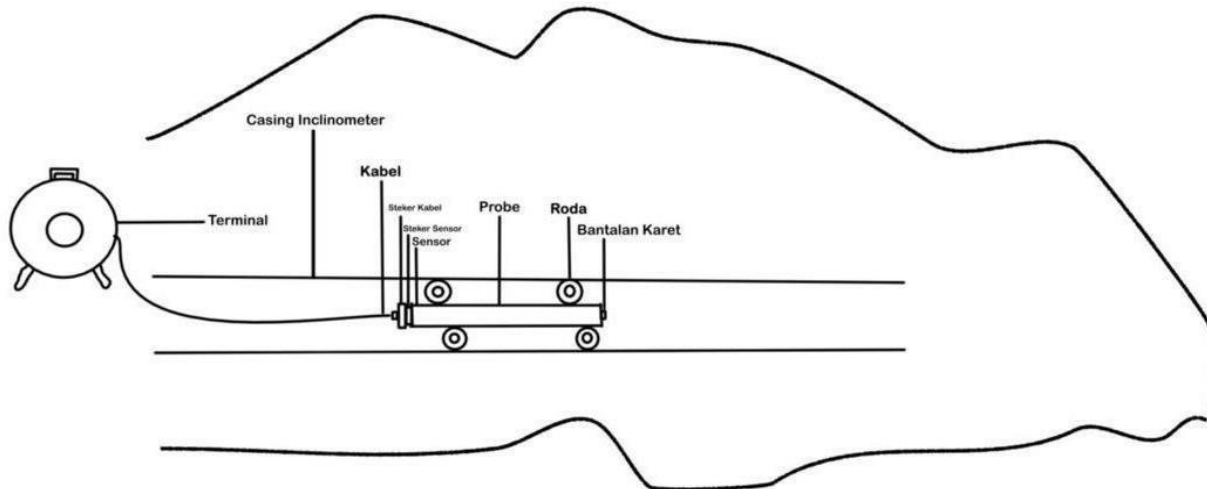


Gambar 2. 3 Pemasangan inclinometer dengan posisi vertikal

2. Pemasangan Inclinometer Horizontal

Sistem inclinometer horizontal digunakan untuk melacak profil permukaan tanah di bawah tangki penyimpanan, bendungan, tanggul, dan tempat pembuangan sampah. *Probe* inclinometer horizontal memiliki akselerometer servo seimbang gaya yang mengukur kemiringan dari bidang

roda *probe* ke arah horizontal. Sudut kemiringan berubah, menunjukkan pergerakan. Untuk menghitung pergerakan, perbedaan antara pembacaan kemiringan saat ini dan pembacaan awal dihitung dengan mengonversi hasilnya ke jarak vertikal. Prosedur pemasangan inclinometer secara horizontal tersebut dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2. 4 Pemasangan inclinometer dengan posisi horizontal

2.3 Analisis Stakeholder

Stakeholder dalam pengerjaan tugas akhir mencakup berbagai pihak yang mempunyai kepentingan dan memiliki dampak terhadap pengerjaan proyek ini. Mahasiswa menyelesaikan tugas akhir dan mengembangkan pengetahuan mekanis yang didapat selama perkuliahan, dosen pembimbing sendiri mempunyai peran dalam membimbing mahasiswa dan menilai proses dari pengerjaan tugas akhir ini. Pihak universitas mengharapkan reputasi dan kualitas pendidikan ketika pengerjaan tugas akhir nantinya berhasil. Rekan mahasiswa dapat melakukan kolaborasi dalam pengerjaan proyek ini dan masyarakat nantinya kemungkinan mendapatkan manfaat dari penggunaan *Low Cost Smart Inclinometer Geotechnical* tersebut. Stakeholder lainnya adalah pihak konstruksi yang mempunyai kepentingan dalam menentukan keakuratan dan keandalan *Low Cost Smart Inclinometer Geotechnical* dalam proyek konstruksi. Semua stakeholder yang terlibat dalam pengerjaan tugas akhir ini mempunyai dampak yang berbeda-beda pada keberhasilan proyek tugas akhir ini.

2.4 Analisis Aspek yang Mempengaruhi Sistem

Analisis aspek yang mempengaruhi sistem ini melibatkan pemahaman mendalam terhadap

berbagai faktor kritis yang mempengaruhi kinerja dan keberhasilan sistem. Aspek ekonomi menjadi faktor utama yang membatasi keberlanjutan sistem, dengan kebutuhan untuk meminimalkan biaya produksi dan perakitan serta mengoptimalkan penggunaan daya. Faktor lingkungan juga sangat penting, dengan penekanan pada penggunaan bahan ramah lingkungan, seiring dengan mempertimbangkan dampak ekologis dalam siklus hidup sistem. Aspek sosial memerlukan desain yang inklusif agar sistem dapat digunakan oleh berbagai kelompok masyarakat, sambil mempertimbangkan keselamatan masyarakat dalam penggunaan sistem. Kesehatan dan keamanan harus mematuhi standar yang berlaku, sementara manufakturabilitas harus mempermudah proses perakitan dan pemeliharaan sistem. Keberlanjutan menjadi faktor penting dengan memperpanjang umur sistem untuk mengurangi limbah elektronik. Selain itu, kemampuan pemeriksaan melalui protokol komunikasi Bluetooth memungkinkan pemantauan jarak jauh dan integrasi perangkat lunak untuk memudahkan analisis data pengukuran. Semua faktor ini harus dipertimbangkan dengan cermat dalam perancangan sistem yang sukses.

2.5 Spesifikasi Sistem

Berdasarkan kajian literatur, dasar teori dan informasi yang didapat, mahasiswa menulis spesifikasi dan kriteria sistem yang akan dirancang. Rincian spesifikasi terdapat dalam Tabel 2.2 di bawah ini.

Tabel 2. 2. Spesifikasi sistem

Bagian	Spesifikasi
<i>Probe</i>	Material : Besi Stainless Dimensi : 2 cm * 90 cm Bobot : ± 2 kg Penyimpanan -20°C - 70°C Pengoperasian 0°C - 50°C Tegangan Kerja Sensor : 3.3V
Kabel Penghubung	Panjang : 10-15 m
Terminal	Material : Besi dan Plastik Tegangan Kerja : 4.75-5.25 V
<i>Interface</i> Komunikasi	Protokol Komunikasi : Bluetooth Jenis : Android Kapasitas Penyimpan : 8GB ROM

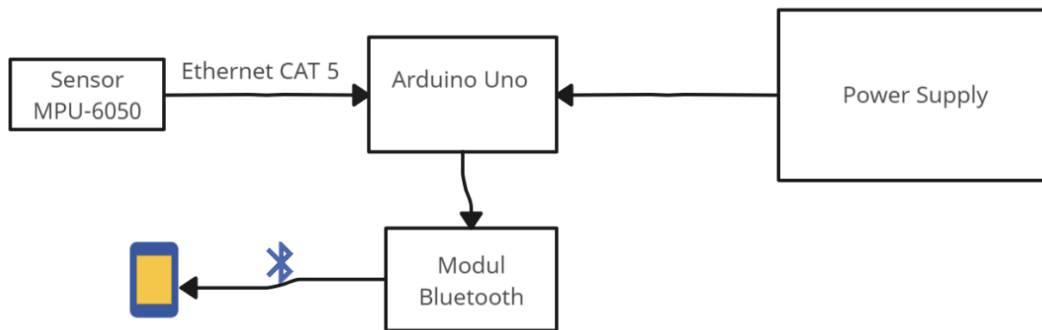
BAB 3 USULAN SOLUSI

3.1 Usulan Solusi 1

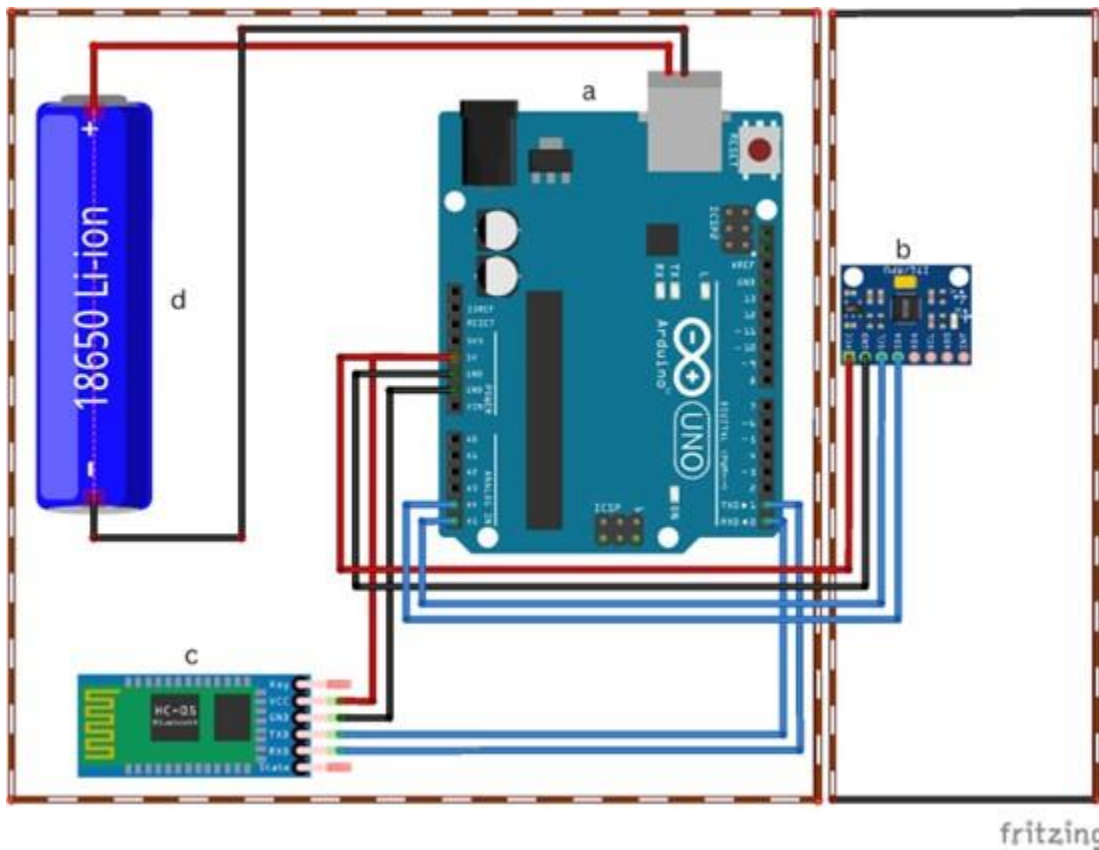
Salah satu solusi yang dapat diusulkan adalah membagi proyek menjadi dua bagian utama: *probe* yang terdiri dari sensor MPU-6050 dan terminal yang terdiri dari Arduino Uno, sensor Bluetooth HC-05, dan catu daya. Koneksi antara *probe* dan terminal menggunakan kabel Ethernet CAT 5 untuk mengatasi jarak yang cukup panjang antara kedua perangkat tersebut, sedangkan komunikasi antara Arduino Uno dan pengguna menggunakan teknologi Bluetooth untuk mengirimkan data dari *probe* ke pengguna. Kelebihan dari solusi ini adalah penggunaan kabel Ethernet CAT 5 yang dapat menangani jarak yang cukup jauh dengan stabilitas transmisi data yang baik. Selain itu, sensor Bluetooth HC-05 memungkinkan komunikasi nirkabel antara Arduino Uno dan pengguna, memberikan fleksibilitas dan kemudahan akses data ke pengguna dari jarak yang cukup jauh. Namun, terdapat beberapa kekurangan yang mungkin timbul. Meskipun kabel Ethernet CAT 5 dapat menangani jarak yang jauh, penggunaannya dalam lingkungan yang bukan jaringan dapat menghadapi kesulitan dalam pengaturan dan konektivitas yang mungkin memerlukan penyesuaian yang rumit. Selain itu, teknologi Bluetooth dapat rentan terhadap interferensi atau gangguan sinyal, terutama jika digunakan dalam lingkungan dengan banyak perangkat nirkabel lainnya.

3.1.1 Desain Sistem 1

Desain sistem ini terdiri dari dua komponen utama, yaitu *probe* yang mencakup sensor MPU-6050 yang terhubung ke Arduino Uno menggunakan kabel Ethernet CAT 5, dan terminal yang terdiri dari Arduino Uno yang kemudian mengirimkan data melalui sensor Bluetooth HC-05 kepada perangkat antarmuka pengguna melalui koneksi Bluetooth. Penggunaan kabel Ethernet CAT 5 memungkinkan transmisi data yang stabil dan andal antara sensor dan terminal dalam jarak yang cukup jauh, sementara koneksi Bluetooth memfasilitasi pengiriman data nirkabel dari terminal ke perangkat pengguna untuk memantau atau mengontrol sistem secara lebih praktis dan fleksibel. Solusi ini membagi tugas komunikasi data dengan pendekatan yang lebih efisien, memaksimalkan keandalan transmisi antara sensor dan terminal serta memberikan kemudahan akses data kepada pengguna dari jarak yang lebih jauh.

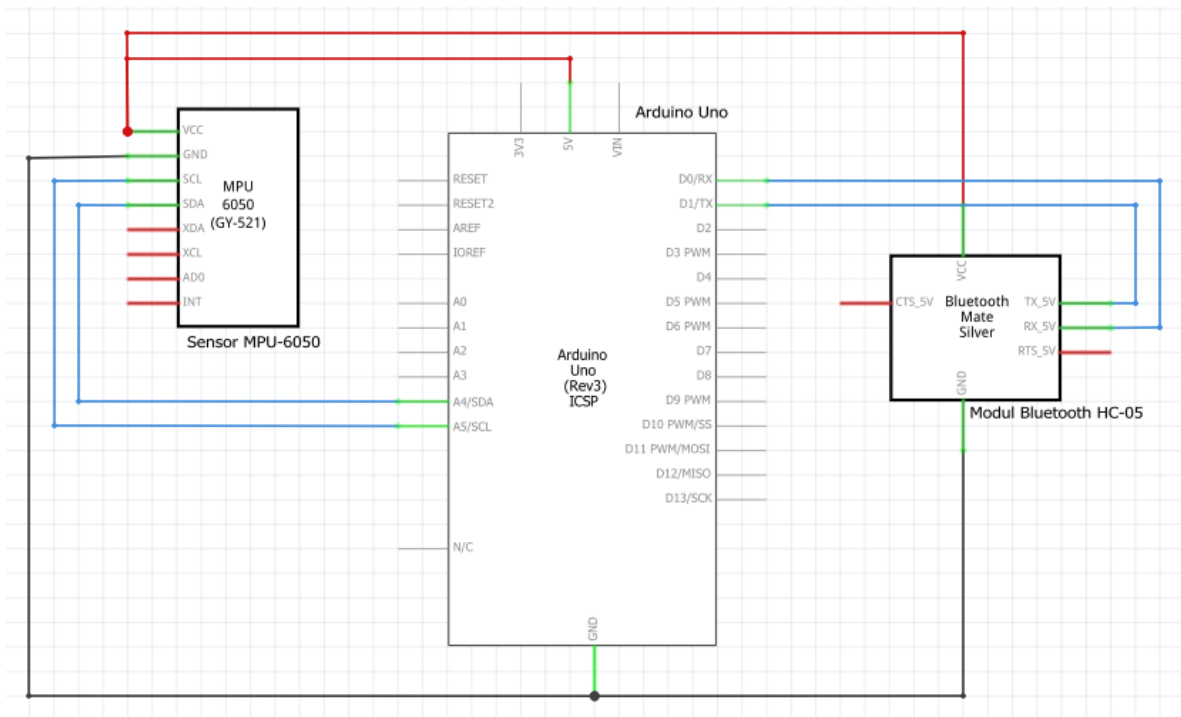


Gambar 3. 1 Diagram blok desain sistem 1

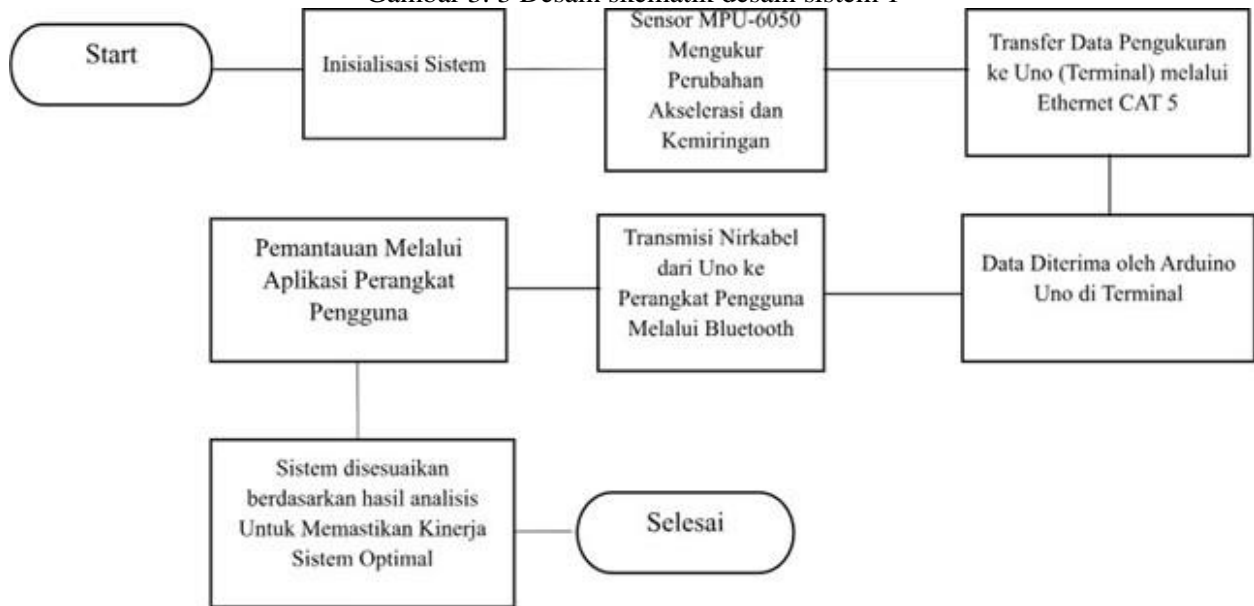


Gambar 3. 2 Koneksi keseluruhan sistem (*Probe* dan Terminal) desain sistem 1

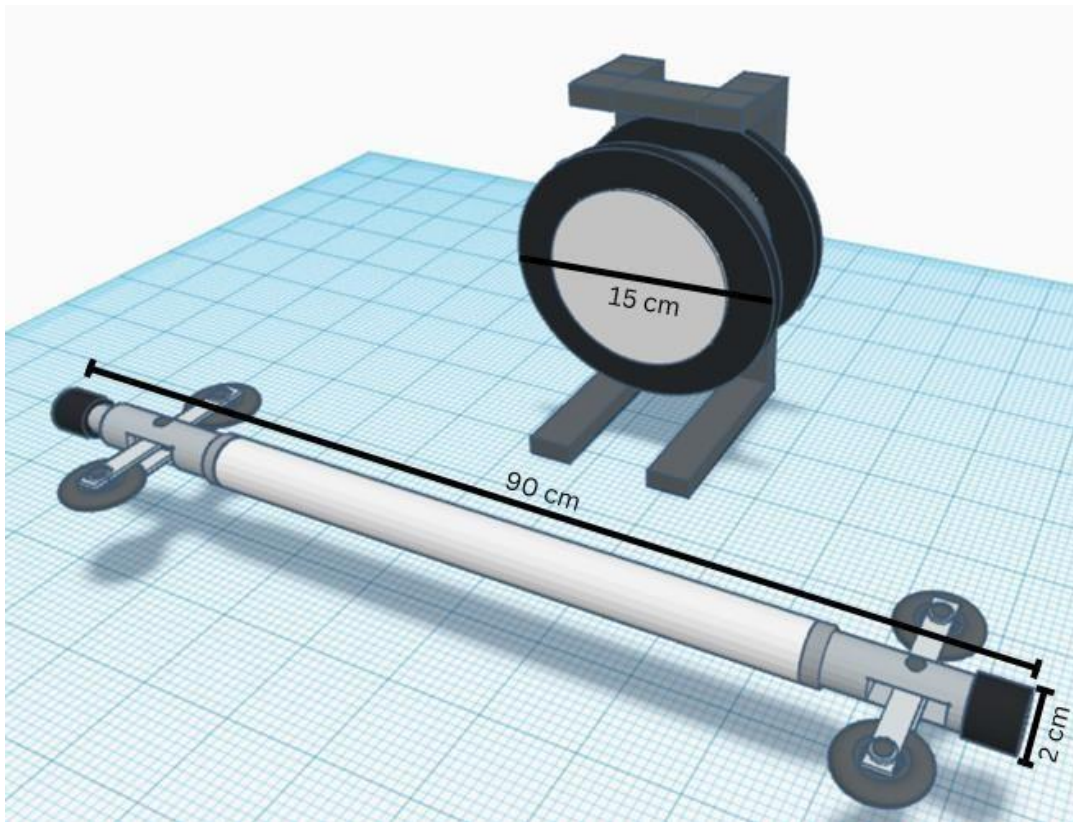
Dimana, (a) Arduino Uno, (b) adalah Sensor MPU-6050, (c) adalah Modul Bluetooth HC-05, (d) adalah Catu Daya.



Gambar 3. 3 Desain skematik desain sistem 1



Gambar 3. 4 Proses kerja sistem desain sistem 1



Gambar 3. 5 Desain 3D desain sistem 1

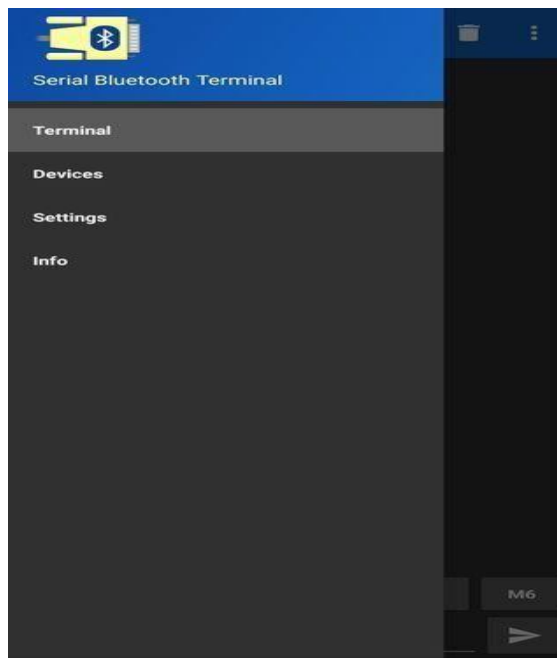
Untuk dapat memenuhi usulan sistem tersebut, maka diperlukan inventarisasi kebutuhan sistem perangkat keras. Tabel 3.1 memperlihatkan kebutuhan sistem sesuai usulan dan spesifikasi yang dibutuhkan.

Tabel 3.1. Inventarisasi kebutuhan usulan sistem perangkat keras desain sistem 1

No	Nama Alat	Keterangan
1	<i>Probe</i>	Sensor MPU-6050: sensor kombinasi yang mengintegrasikan akselerometer dan gyroscope dalam satu chip. Akselerometer memungkinkan sensor untuk mengukur percepatan linier pada tiga sumbu yang berbeda, sedangkan gyroscope mengukur kecepatan sudut atau rotasi pada tiga sumbu yang sama. Sensor MPU-6050 umumnya dihubungkan ke mikrokontroler menggunakan protokol komunikasi seperti I2C atau SPI seperti Arduino Uno.
2	Terminal	Arduino Uno: arduino uno digunakan karena bisa menjadi komunikasi serial dengan arduino uno pada probe dan juga digunakan sebagai perangkat untuk mengirimkan data ke handphone pengguna. Baterai: baterai dengan kapasitas 5V 6000mAh Li-Po memiliki kapasitas energi yang baik dan memiliki bentuk dan ukuran yang fleksibel. Modul Bluetooth: digunakan modul bluetooth tipe HC-05 yang dapat bekerja dengan tegangan 3.3V yang ada pada arduino uno.
		Casing <i>probe</i> : dibuat dari bahan yang kuat untuk melindungi komponen- komponen agar tidak rusak ketika berada pada tekanan

No	Nama Alat	Keterangan
3	Keseluruhan Sistem	yang tinggi Kotak terminal: dibuat dari bahan yang ringan namun dapat melindungi komponen-komponen pada bagian terminal jika berada pada lingkungan yang dapat merusak komponen. Kabel komunikasi: kabel yang digunakan yaitu kabel Ethernet CAT 5 yang dapat melakukan transfer data tanpa ada gangguan pada jarak 10- 15 m dan bisa protokol komunikasi I2C.

Dikarenakan sistem ini tidak hanya menggunakan sistem perangkat keras, namun juga perangkat lunak, maka dalam usulan perancangan ini, kami menggunakan aplikasi yang sudah tersedia di Google Play Store. Aplikasi Serial Bluetooth Terminal dapat menerima data yang dikirimkan melalui bluetooth, data tersebut dapat berupa angka, tulisan, maupun informasi lain yang dikirimkan dari arduino uno melalui modul bluetooth. Hal ini menjadi salah satu cara dalam mengurangi biaya dalam perancangan karena tidak memerlukan biaya untuk merancang aplikasi lainnya, dengan desain tampilan seperti Gambar 3.6 berikut.



Gambar 3. 6 Aplikasi untuk pengguna

3.1.2 Rencana Anggaran Desain Sistem 1

Dalam rangka perencanaan dan pengembangan desain sistem 1, penting untuk memetakan estimasi biaya yang dibutuhkan. Tabel 3.2 di bawah ini merinci perkiraan biaya untuk komponen-komponen utama dan sumber daya yang diperlukan selama proses perancangan. Anggaran ini bertujuan untuk memastikan alokasi dana yang tepat guna dan efisien serta membantu memprediksi biaya keseluruhan dalam tahap perencanaan hingga implementasi proyek ini.

Tabel 3. 2 Rencana anggaran *Low Cost Smart Inclinometer Geotechnical* desain sistem 1

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Harga Total
1	Stainless SS 316	Meter	Rp. 300.000, -	1	Rp. 300.000, -
2	Modul sensor MPU-6050	Pcs	Rp. 100.000, -	1	Rp. 100.000, -
3	Arduino Uno	Pcs	Rp. 400.000, -	1	Rp. -
4	Baterai	Pcs	Rp. 250.000, -	1	Rp. 250.000, -
5	Cable Roll	Pcs	Rp. 160.000, -	1	Rp. 160.000, -
6	Kabel	Set	Rp. 50.000, -	1	Rp. 50.000, -
Total Belanja					Rp. 860.000, -

3.1.3 Analisis Risiko Desain 1

Terdapat beberapa risiko yang mungkin timbul dalam usulan sistem yang melibatkan sensor MPU-6050, Arduino Uno, sensor Bluetooth HC-05, dan koneksi kabel Ethernet CAT 5. Berikut adalah beberapa analisis risiko yang mungkin terjadi.

1. Gangguan Koneksi

Risiko ini berkaitan dengan gangguan atau penurunan kualitas transmisi data antara sensor MPU-6050 dan Arduino Uno menggunakan kabel Ethernet CAT 5 pada jarak yang panjang. Gangguan atau interferensi pada kabel dapat menyebabkan distorsi data atau kehilangan informasi yang signifikan. Solusi potensial untuk mengatasi risiko ini meliputi pengujian cermat terhadap kabel, pemilihan kabel yang berkualitas baik, serta pemasangan yang tepat dan perawatan yang teratur untuk memastikan keandalan transmisi data dalam jarak yang diperlukan.

2. Kompleksitas Konfigurasi dan Keterbatasan Daya

Risiko terkait dengan kompleksitas konfigurasi dan kebutuhan daya yang berbeda untuk mendukung koneksi jarak jauh memerlukan perhatian khusus. Konfigurasi yang rumit atau kebutuhan daya yang tidak memadai dapat menyebabkan masalah tegangan atau gangguan pada sistem secara keseluruhan. Solusi untuk mengurangi risiko ini termasuk pemilihan catu daya yang tepat, pemantauan yang cermat terhadap tegangan dan arus yang digunakan oleh perangkat, serta pengaturan konfigurasi yang terukur dan teruji sebelum implementasi.

3. Gangguan Komunikasi Bluetooth

Risiko ini berkaitan dengan kemungkinan gangguan atau kegagalan pada komunikasi antara sensor Bluetooth HC-05 dan perangkat pengguna melalui koneksi Bluetooth. Kegagalan komunikasi ini dapat mengganggu akses data yang stabil. Solusi untuk mengatasi risiko ini termasuk pengujian cermat terhadap koneksi Bluetooth, pemilihan komponen yang handal dan kompatibel, serta perawatan berkala terhadap perangkat untuk memastikan ketersediaan data yang stabil.

4. Ketidakakuratan Sensor

Risiko terkait dengan kecacatan atau ketidakakuratan pada sensor MPU-6050 yang dapat menghasilkan data yang tidak akurat. Solusi mitigasi risiko ini termasuk kalibrasi sensor secara teratur, pengujian fungsi sensor yang menyeluruh, dan pemantauan berkala terhadap performa sensor untuk memastikan konsistensi dan akurasi pengukuran.

3.1.4 Pengukuran Performa

Dalam mengukur performa desain alat untuk proyek *Low Cost Smart Inclinometer Geotechnical*, sejumlah parameter utama akan dievaluasi secara komprehensif. Parameter-parameter tersebut yaitu:

1. Pengukuran Transmisi Data

Pengukuran pertama yang perlu dilakukan adalah evaluasi bandwidth dan kecepatan transmisi data antara sensor MPU-6050 dan Arduino Uno menggunakan kabel Ethernet CAT 5. Hal ini dapat dilakukan dengan mengirimkan data dalam kondisi yang berbeda, seperti jarak yang bervariasi atau dalam lingkungan yang berbeda. Selain itu, penting juga untuk memeriksa integritas data yang diterima oleh Arduino Uno, memastikan data yang diterima sesuai dengan data yang dikirimkan dan tidak mengalami distorsi atau kehilangan.

2. Keandalan Koneksi Bluetooth

Pengukuran berikutnya adalah mengevaluasi kekuatan sinyal dan keandalan koneksi Bluetooth antara sensor Bluetooth HC-05 dan perangkat pengguna. Hal ini dapat dilakukan dengan mengukur kestabilan sinyal dalam kondisi jarak yang bervariasi dan memeriksa latensi atau konsistensi pengiriman data melalui koneksi Bluetooth.

3. Akurasi dan Respon Sensor

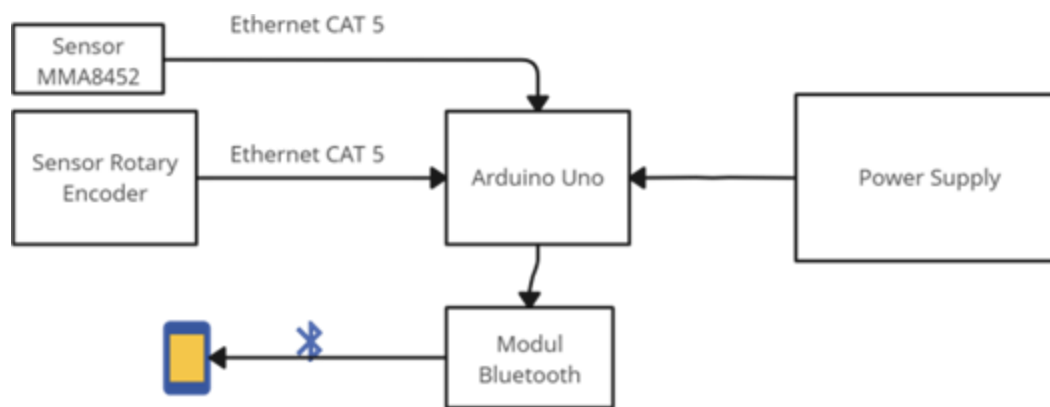
Pengukuran ketiga melibatkan evaluasi akurasi sensor MPU-6050 dalam mengukur percepatan dan orientasi. Pengujian untuk memeriksa waktu respons sensor juga penting untuk mengetahui seberapa cepat sensor merespons perubahan lingkungan atau posisi.

3.2 Usulan Solusi 2

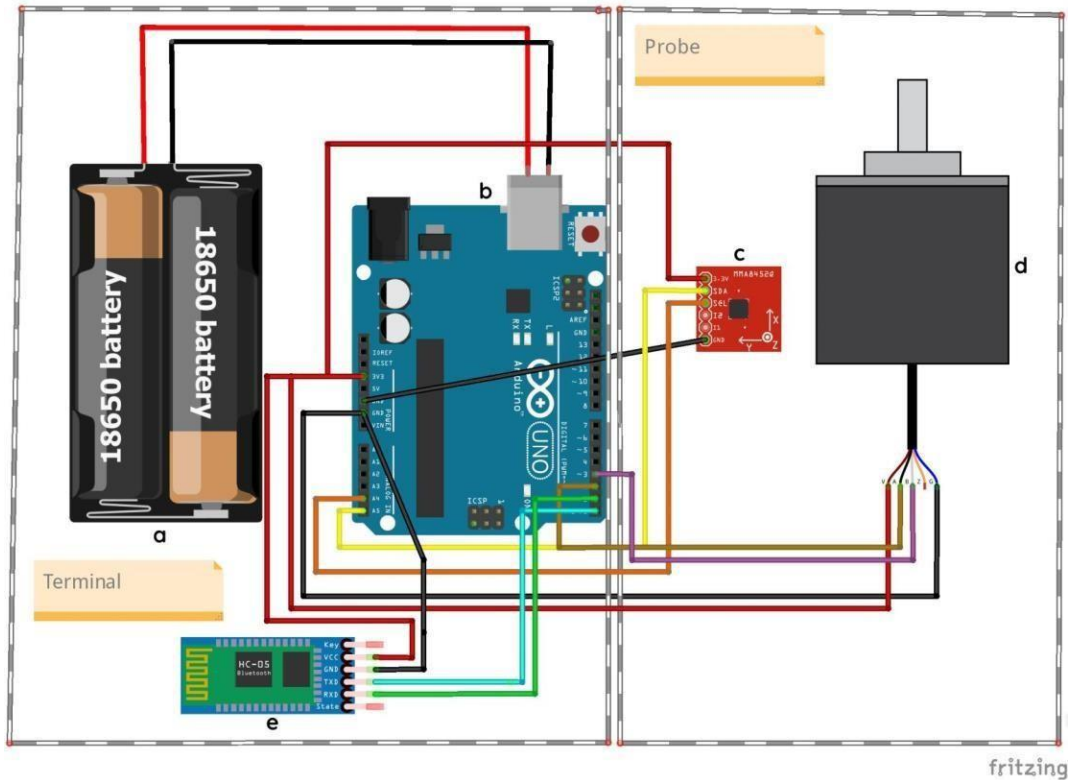
Usulan solusi untuk *Low Cost Smart Inclinometer Geotechnical* ini melibatkan penggunaan sensor percepatan MMA8452Q dan Rotary Encoder. Dalam solusi kedua yang terbagi antara *probe* dan terminal, bagian *probe* menampilkan sensor MMA8452Q dan rotary encoder, sementara bagian terminal memuat Arduino Uno, modul Bluetooth, dan catu daya. Sensor MMA8452Q pada *probe* bertanggung jawab atas pengukuran perubahan akselerasi, sementara rotary encoder digunakan untuk melacak perubahan sudut atau rotasi pada objek. Di sisi lain, Arduino Uno yang terletak di terminal berfungsi sebagai pusat pemrosesan data dari sensor-sensor tersebut. Modul Bluetooth memfasilitasi transmisi data nirkabel. Sementara catu daya menyediakan daya yang dibutuhkan untuk menjalankan sistem ini. Kelebihan solusi ini adalah penggunaan sensor MMA8452Q yang dapat mengukur perubahan akselerasi dan penggunaan rotary encoder untuk mendeteksi perubahan sudut atau rotasi, serta modul Bluetooth yang memungkinkan akses nirkabel ke data yang terkumpul. Namun, potensi kekurangannya mungkin terletak pada kompleksitas dalam penggunaan MMA8452 dan Rotary Encoder yang memerlukan kalibrasi dan pengaturan yang cermat. Selain itu, pengolahan data yang dilakukan oleh Arduino Uno mungkin memiliki keterbatasan dalam menangani pemrosesan data yang kompleks atau dalam skala besar. Manajemen daya dari sistem ini juga memerlukan perhatian agar dapat beroperasi secara optimal. Terlebih lagi, penggunaan kabel Ethernet CAT 5 sebagai media komunikasi antara *probe* dan terminal juga menjadi bagian integral dari solusi ini, memastikan transfer data yang stabil dalam sistem inclinometer yang dirancang.

3.2.1 Desain Sistem 2

Usulan desain sistem *Low Cost Smart Inclinometer Geotechnical* ini terdiri dari dua bagian utama: bagian *probe* dan bagian terminal. Bagian *probe* mencakup sensor percepatan MMA8452Q dan rotary encoder yang terhubung ke mikrokontroler, seperti Arduino Nano. Sensor MMA8452Q bertanggung jawab atas pengukuran perubahan akselerasi, sementara rotary encoder digunakan untuk mendeteksi perubahan sudut atau rotasi pada objek. Di sisi terminal, terdapat Arduino Uno sebagai pusat pemrosesan data dari sensor-sensor di *probe*. Terminal juga dilengkapi dengan modul Bluetooth HC-05 untuk transmisi data nirkabel dan catu daya yang menyediakan daya yang diperlukan. Penggunaan kabel Ethernet CAT 5 menjadi aspek penting dalam sistem ini, khususnya untuk penggunaan kabel yang panjang hingga 15 meter antara *probe* dan terminal. Ini memastikan transfer data yang stabil dan handal, mengatasi masalah potensial yang terkait dengan jarak jauh dalam komunikasi data antara komponen-komponen sistem. Meskipun begitu, untuk memastikan kinerja yang optimal, perlu dilakukan pengujian lebih lanjut dan evaluasi menyeluruh terhadap efisiensi daya, pemrosesan data, serta untuk memenuhi kebutuhan aplikasi secara keseluruhan.

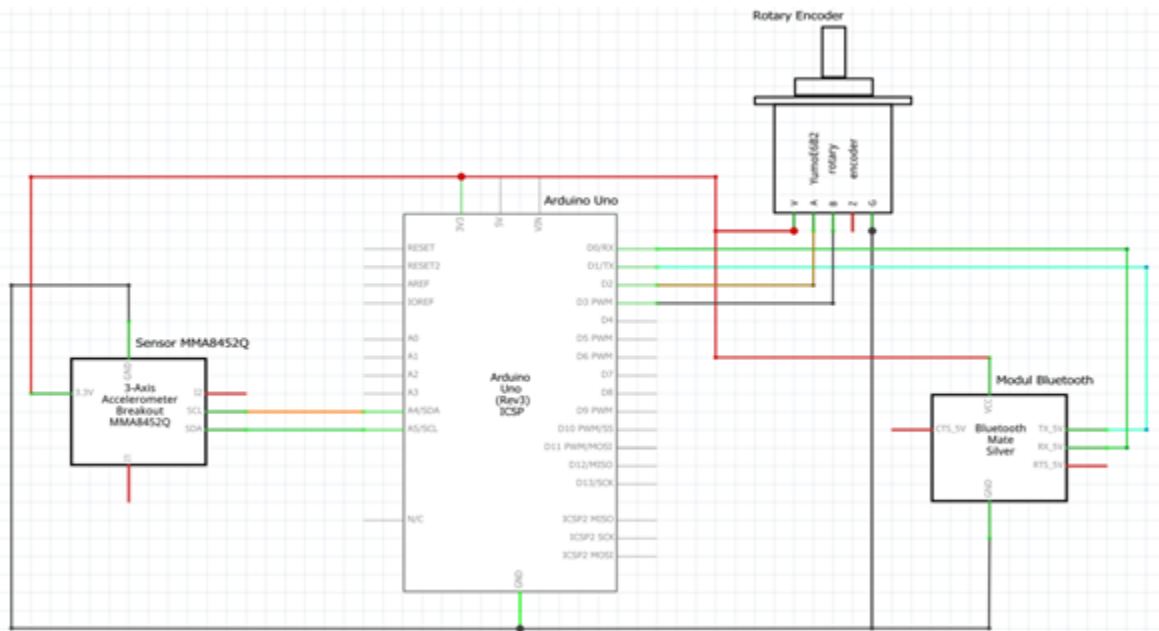


Gambar 3. 7 Diagram blok desain sistem 2

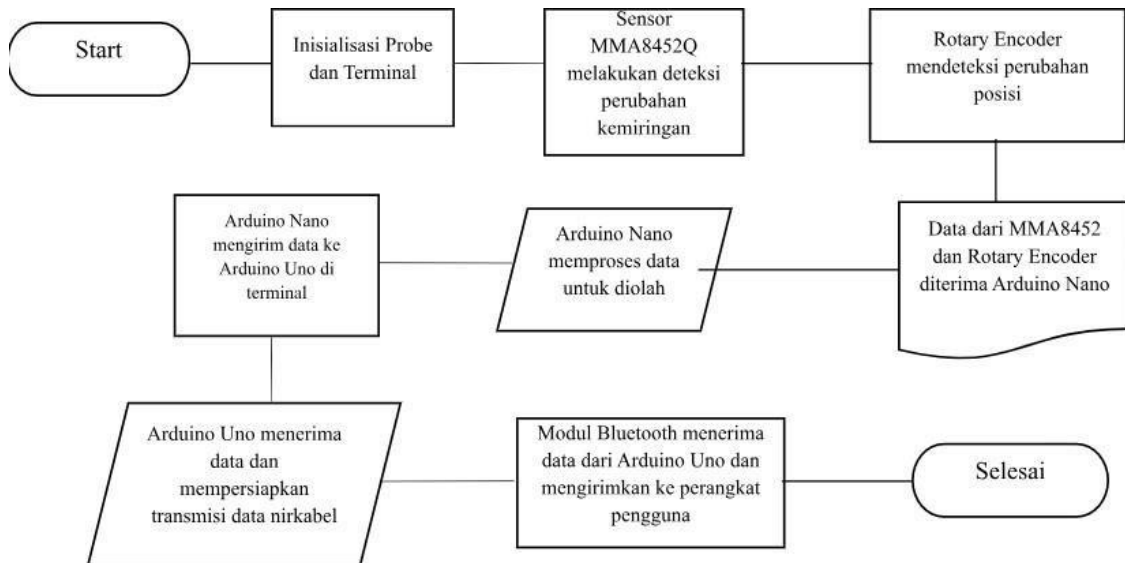


Gambar 3. 8 Koneksi keseluruhan sistem (*Probe* dan Terminal) desain sistem 2

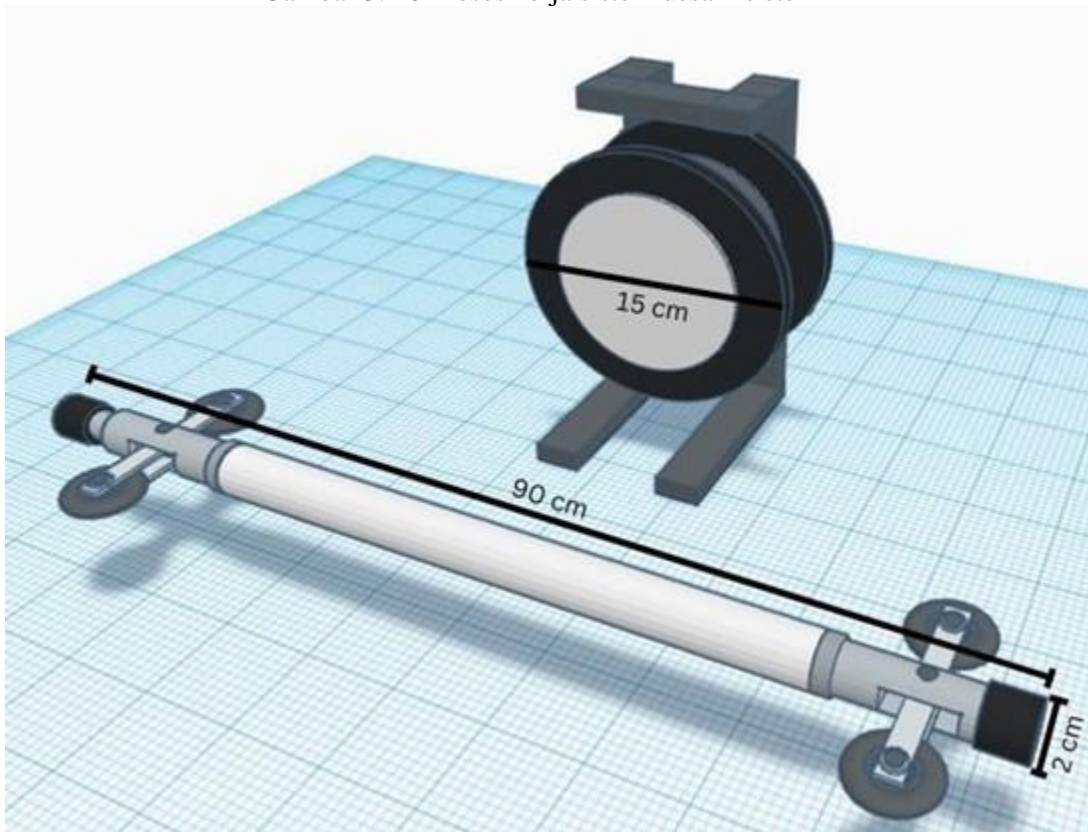
Dimana, (a) adalah catu daya, (b) adalah Arduino Uno, (c) adalah Sensor MMA8452Q, (d) adalah Rotary Encoder, dan (e) adalah Modul Bluetooth HC-05.



Gambar 3. 9 Diagram skematik desain sistem 2



Gambar 3. 10 Proses kerja sistem desain sistem 2



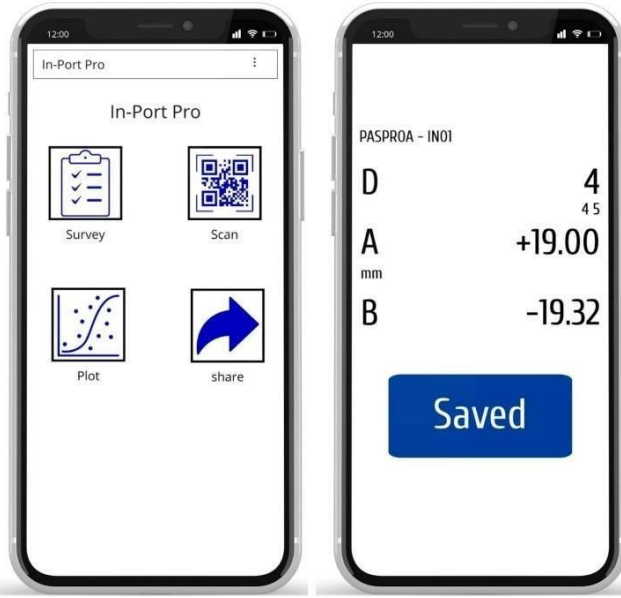
Gambar 3. 11 Desain 3D desain sistem 2

Untuk dapat memenuhi usulan sistem tersebut, maka diperlukan inventarisasi kebutuhan sistem perangkat keras. Tabel 3.3 memperlihatkan kebutuhan sistem sesuai usulan dan spesifikasi yang dibutuhkan.

Tabel 3.3. Inventarisasi kebutuhan usulan sistem perangkat keras desain sistem 2

No	Nama Alat	Keterangan
1	<i>Probe</i>	<p>Sensor MMA8452Q: Sensor ini memiliki tingkat sensitivitas yang tinggi terhadap perubahan percepatan dan mampu memberikan data dengan akurasi yang baik terkait kemiringan atau perubahan posisi.</p> <p>Rotary Encoder: Encoder ini dapat memberikan data posisi dengan presisi tinggi, bahkan pada perubahan pergerakan yang sangat kecil. Rotary encoder membantu dalam mendeteksi dan mengukur perubahan posisi, memungkinkan sistem untuk melacak rotasi dan pergerakan dalam aplikasi yang mengukur sudut atau kemiringan.</p>
2	Terminal	<p>Arduino Uno: Arduino Uno memiliki kemampuan pengolahan data yang cukup baik dan dapat berperan sebagai stasiun penerima informasi dari bagian <i>probe</i>.</p> <p>Baterai: baterai dengan kapasitas 5V 6000mAh Li-Po memiliki kapasitas energi yang baik dan memiliki bentuk dan ukuran yang fleksibel.</p> <p>Modul Bluetooth: Modul ini memungkinkan sistem untuk mentransfer data secara nirkabel, yang dapat menjadi solusi untuk pemantauan jarak jauh atau penggunaan aplikasi pada smartphone atau komputer.</p>
3	Keseluruhan Sistem	<p>Casing <i>probe</i>: dibuat dari bahan yang kuat untuk melindungi komponen-komponen agar tidak rusak ketika berada pada tekanan yang tinggi</p> <p>Kotak terminal: dibuat dari bahan yang ringan namun dapat melindungi komponen-komponen pada bagian terminal jika berada pada lingkungan yang dapat merusak komponen.</p> <p>Kabel komunikasi: kabel yang digunakan yaitu kabel Ethernet CAT 5 yang dapat melakukan transfer data tanpa ada gangguan pada jarak 10-15 m dan bisa protokol komunikasi I2C.</p>

Pada usulan solusi dua kami merancang sebuah aplikasi In-Port Pro. Aplikasi ini dirancang untuk menjadi antarmuka pengguna yang akan menerima dan menampilkan data pengukuran yang dikirimkan oleh sistem inclinometer. Rancangan ini bertujuan untuk memberikan pengguna kemampuan memantau dan mengakses data pengukuran secara mudah dan intuitif melalui perangkat seluler mereka, sehingga dapat membantu dalam analisis dan pengambilan keputusan terkait kecenderungan kemiringan tanah secara real-time. Gambar 3.12 di bawah ini menunjukkan rancangan aplikasi tersebut.



Gambar 3. 12 Usulan rancangan aplikasi untuk pengguna desain sistem 2

3.2.2 Rencana Anggaran Desain Sistem 2

Dalam tahap perancangan solusi kedua proyek *Low Cost Smart Inclinometer Geotechnical*, penting untuk menyusun rencana anggaran yang terperinci. Tabel 3.4 di bawah ini memberikan perkiraan biaya untuk komponen-komponen utama dan sumber daya yang diperlukan sepanjang tahapan perencanaan hingga implementasi. Hal ini bertujuan untuk memastikan alokasi dana yang tepat serta efisiensi dalam penggunaan sumber daya, yang pada gilirannya memungkinkan pencapaian tujuan solusi kedua proyek ini dalam batas anggaran yang sudah ditentukan.

Tabel 3. 4 Rencana anggaran *Low Cost Smart Inclinometer Geotechnical* desain sistem 2

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Harga Total
1	Stainless SS 316	Meter	Rp. 300.000, -	1	Rp. 300.000, -
2	Modul sensor MMA8452Q	Pcs	Rp. 200.000, -	1	Rp. 200.000, -
3	Sensor Rotary encoder	Pcs	Rp. 60.000, -	1	Rp.60.000,-
4	Arduino Uno	Pcs	Rp. 400.000, -	1	Rp. -
5	Baterai	Pcs	Rp. 250.000, -	1	Rp. 250.000, -
6	Cable Roll	Pcs	Rp. 160.000, -	1	Rp. 160.000, -

No.	Item/Pengeluaran	Satuan	Harga satuan	Jumlah	Harga Total
7	Kabel	Set	Rp. 50.000, -	1	Rp. 50.000, -
Total Belanja					Rp. 1.020.000, -

3.2.3 Analisis Risiko Desain 2

Desain sistem *Low Cost Smart Inclinator Geotechnical* memiliki risiko-risiko potensial yang perlu diperhatikan. Risiko-risiko tersebut dapat mempengaruhi kinerja dari sistem yang dibangun. Beberapa risiko tersebut yaitu:

1. Ketidakakuratan Sensor

Bagaimana respon sensor terhadap perubahan kemiringan yang terjadi bisa mengakibatkan risiko hasil pengukuran yang tidak akurat. Hal tersebut dapat mengakibatkan akurasi data yang dihasilkan menjadi tidak akurat.

2. Koneksi Kompleks dan Kompatibilitas yang Tidak Sesuai

Penggunaan dua sensor, yaitu MMA8452 dan Rotary Encoder menjadikan koneksi sistem yang kompleks dan perbedaan dalam kompatibilitas bisa mengakibatkan penghambatan transfer data secara keseluruhan sehingga bisa terjadi gangguan dalam operasi sistem.

3. Kualitas Transmisi Data Melalui Bluetooth

Modul bluetooth terkadang rentan terhadap interferensi yang bisa mengakibatkan adanya pengaruh terhadap kualitas transmisi data. Hal tersebut dapat mengakibatkan keandalan sistem secara keseluruhan dapat berkurang.

4. Pengembangan Perangkat Lunak

Dikarenakan pada solusi ini terdapat rancangan untuk aplikasi user, proses pengembangan perangkat lunak yang kompleks membutuhkan waktu yang lebih lama dan terkadang rentan terhadap bug yang mempengaruhi fungsi sistem.

3.2.4 Pengukuran Performa

Pengukuran performa pada sistem *Low Cost Smart Inclinator Geotechnical* dapat dilakukan dengan menguji beberapa parameter kunci. Pengukuran performa yang dilakukan merupakan tahap kunci untuk mengevaluasi kemampuan serta kualitas sistem secara menyeluruh. Berikut beberapa parameter yang dijadikan landasan penting dalam pengukuran performa. Berikut

beberapa parameter tersebut:

1. Akurasi Sensor

Hasil pengukuran yang didapatkan nantinya akan dibandingkan dengan standar yang telah ditetapkan untuk mengevaluasi tingkat akurasi dalam proses pengukuran sudut kemiringan.

2. Resolusi Sensor

Pengukuran dilakukan untuk menentukan seberapa jauh sistem nantinya dalam melakukan deteksi perubahan yang sangat kecil, hal itu bertujuan untuk mengetahui seberapa besar tingkat ketelitian sensor.

3. Ketahanan terhadap Gangguan Eksternal

Pengukuran performa sistem juga dilakukan ketika adanya gangguan eksternal seperti suhu atau getaran yang ekstrem, hal tersebut dilakukan untuk mengetahui stabilitas dan keandalan pengukuran sensor.

4. Waktu Respon Sistem

Pengukuran waktu respon sistem bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat sensor merespons perubahan sudut yang terdeteksi selama dilakukannya pengukuran.

3.3 Analisis dan Penentuan Usulan Solusi/Desain Terbaik

Untuk melakukan penilaian dan pemilihan solusi atau desain terbaik yang paling sesuai dengan kebutuhan proyek, kami menggunakan metode Decision Matrix Analysis. Metode ini memungkinkan kita untuk menggambarkan kriteria yang relevan, memberi bobot pada setiap kriteria, dan mengevaluasi setiap alternatif solusi atau desain secara sistematis. Melalui pendekatan ini, kami dapat memberikan penilaian yang lebih terperinci dan objektif, memungkinkan kami untuk menentukan solusi atau desain yang paling optimal untuk proyek ini. Tabel 3.5 dibawah ini menunjukkan analisis yang kami lakukan dalam penentuan usulan terbaik.

Tabel 3. 5 Analisis matrix decision penentuan desain terbaik

Kriteria	Bobot	Desain Sistem 1	Desain Sistem 2
Akurasi Sensor	5	5	3
Kemudahan Implementasi	5	4	5
Ketersediaan Bahan	5	4	5
Fleksibilitas dan Skalabilitas	5	4	3
Biaya	5	4	3
Total		21	19

Dengan menggunakan metode *Decision Matrix Analysis* yang terdapat pada Tabel 3.5, usulan desain sistem 1 berhasil memperoleh total skor 21, sedangkan usulan desain sistem 2 memperoleh total skor 19. Melalui evaluasi ini, terlihat bahwa usulan desain sistem 1 memiliki skor yang lebih tinggi, menunjukkan kesesuaian yang lebih baik dengan kriteria yang telah ditetapkan. Oleh karena itu, berdasarkan hasil evaluasi, usulan desain sistem 1 dianggap sebagai pilihan yang lebih optimal dan sesuai dengan kebutuhan proyek ini.

3.4 Gantt Chart

Untuk mempermudah pengerjaan sistem, maka diperlukan suatu perencanaan dan manajemen agar seluruh distribusi tugas dan target pencapaian dapat dipenuhi. Perencanaan disini meliputi ketiga tahapan dalam perancangan sistem keteknikan dan dilaksanakan selama 2 semester (Tugas Akhir 1 dan Tugas Akhir 2) menggunakan *Gantt chart* pada Tabel 3.6 berikut.

Tabel 3. 6 Gantt chart pelaksanaan *capstone project* sistem inclinometer

No.	Kegiatan/Capaian	Bulan ke -											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Survei dan identifikasi permasalahan	R, A											
2	Mencari literatur dan informasi untuk kebutuhan dan spesifikasi sistem		R, A										

No.	Kegiatan/Capaian	Bulan ke -											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
3	Mengumpulkan seluruh ide solusi dan finalisasi usulan perancangan sistem serta manajemen dan rancangan Belanja		R, A	R, A									
4	Pengumpulan proposal Tugas Akhir 1/Capstone Project dan seminar				R, A								
5	Pembelian alat dan bahan				R, A								
6	Perancangan sistem sesuai proposal				R, A	R, A	R, A	R, A					
7	Testing dan Validasi								R, A	R, A			
8	Expo dan pengumpulan laporan akhir										R, A		

Ket.: PIC – *Person in Charge* (Pihak yang bertanggung untuk kegiatan tersebut) R : Rafiq, A : Aryuda

3.5 Realisasi Pelaksanaan Tugas Akhir 1

Dalam pengerjaan tugas akhir ini, fokus pada bagian realisasi pelaksanaan tugas akhir menjadi hal yang krusial. Pada tahapan ini, penekanan utama diberikan pada implementasi metodologi yang telah dirancang dalam tahap perencanaan sebelumnya. Pada tabel 3.7 yang akan disajikan berikut ini, terdapat rangkaian langkah-langkah eksekusi yang terinci, meliputi proses desain inklometer cerdas, pengembangan perangkat keras, pembuatan perangkat lunak, serta serangkaian pengujian dan evaluasi performa. Tabel ini akan memuat informasi yang sangat relevan dan merinci tiap langkah-langkah yang diambil dalam realisasi proyek ini.

Tabel 3. 7 Realisasi pelaksanaan Tugas Akhir 1

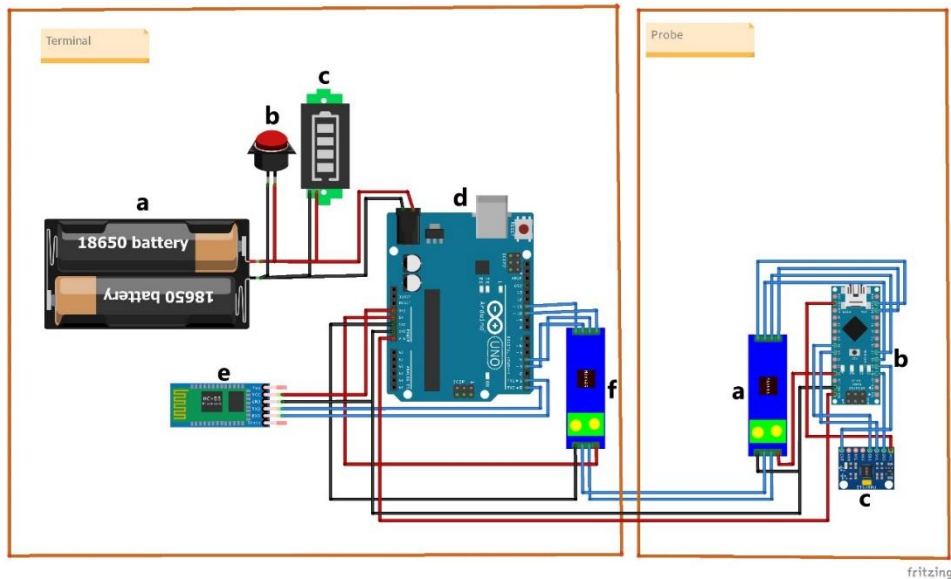
No	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
1	Senin, 17 September 2023, 3-4 jam	Identifikasi Latar Belakang dan Masalah	Rafiq, Aryuda
2	Selasa, 03 Oktober 2023, 1 jam	Survei online terhadap narasumber	Rafiq, Aryuda
3	Rabu, 04 Oktober 2023, 1 jam	Survei online terhadap narasumber	Rafiq, Aryuda
4	Sabtu, 07 Oktober 2023, 3 jam	Identifikasi Studi Literatur dan Observasi terkait judul	Rafiq, Aryuda
5	Kamis, 12 Oktober 2023, 4 jam	Dasar teori dan analisis stakeholder	Rafiq, Aryuda
6	Rabu, 18 Oktober 2023, 3 jam	Analisis Aspek Mempengaruhi Sistem & spesifikasi sistem	Rafiq, Aryuda
7	Rabu, 25 Oktober 2023, 4-5 jam	Perancangan Usulan Desain Sistem 1	Rafiq, Aryuda
8	Kamis, 16 November 2023, 4-5 jam	Perancangan Usulan Desain Sistem 2	Rafiq, Aryuda
9	Sabtu, 25 November 2023, 2-3 jam	Analisis Penentuan Usulan Terbaik & Gantt Chart	Rafiq, Aryuda

BAB 4 HASIL RANCANGAN DAN METODE PENGUKURAN

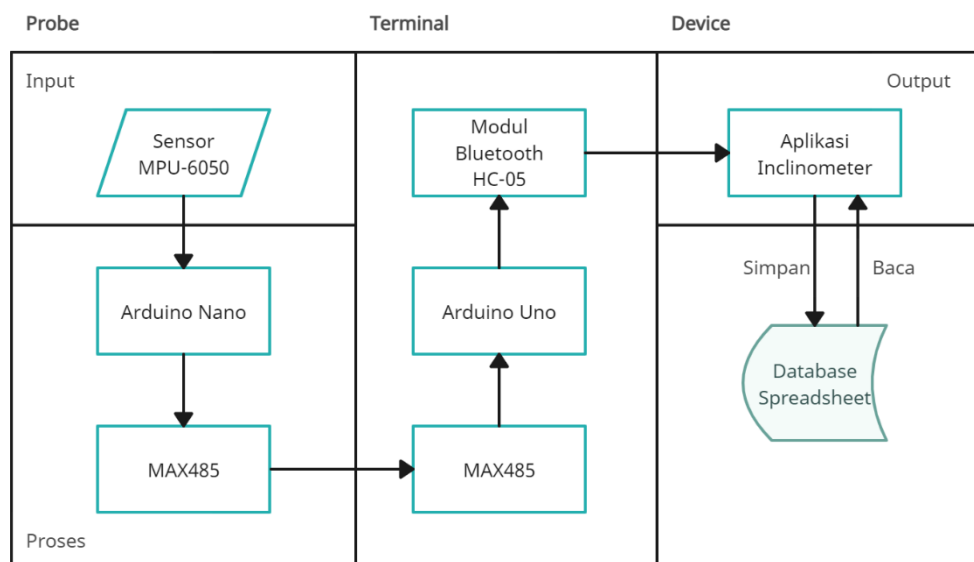
4.1 Hasil Rancangan Sistem

Hasil rancangan sistem dari pembuatan prototipe ini terdiri dari 3 bagian, yaitu rangkaian elektronik, gambar desain 3D, dan *software* atau *interface*.

1. Rangkaian elektronik



Gambar 4.1 Hasil rancangan rangkaian elektronik



Gambar 4. 2 Diagram blok hasil rancangan akhir

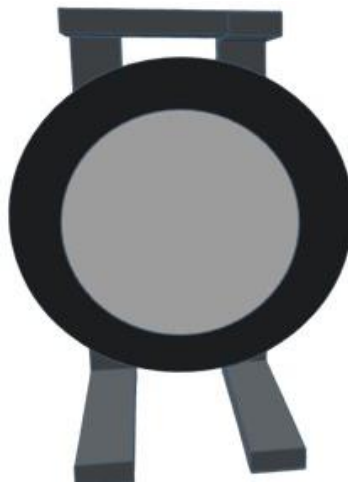
Pada gambar 4.1 diatas merupakan rangkaian elektronis akhir sistem yang terdiri dari dua

perangkat keras, pada bagian kiri yaitu Terminal yang terdiri dari (a) adalah Catu Daya, (b) adalah Push Button, (c) adalah Baterai Level Indikator, (d) adalah Arduino Uno, (e) adalah Modul Bluetooth HC-05, dan (f) adalah MAX485. Kemudian bagian kanan yaitu *Probe* yang terdiri dari (a) adalah MAX485, (b) adalah Arduino Nano, dan (c) adalah Modul Sensor MPU-6050. Terdapat perbedaan dengan rangkaian usulan yang awal yaitu penggunaan komunikasi serial RS485 antara *probe* dan terminal. Jika hanya menggunakan komunikasi I2C antara *probe* dan terminal dengan jarak 10-15 meter, data yang diukur sensor tidak dapat terkirim karena komunikasi I2C hanya dapat bekerja dengan baik pada jarak maksimal 1 meter. Sehingga diperlukan komunikasi serial tambahan antara *probe* dan terminal agar yang diukur oleh sensor dapat terkirim dengan baik.

Sedangkan Gambar 4.2 merupakan cara kerja sistem atau diagram blok dari hasil rancangan akhir yang digunakan. Cara kerja sistem juga mengalami perubahan karena rancangan akhir rangkaian elektronik mengalami perubahan.

2. Gambar desain tiga dimensi (3D)

Gambar 4.3 merupakan desain 3D dari bagian terminal dan gambar 4.4 merupakan desain 3D dari *probe*. Untuk desain fisik sistem inclinometer ini tidak memiliki perubahan dari sisi bagian *probe* ataupun terminal dengan desain awal pada tahap perancangan solusi.



Gambar 4.3 Desain 3D terminal



Gambar 4.4 Desain 3D *probe* inclinometer

3. *Software* atau *interface*

Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 merupakan bagian dari Aplikasi Inclinometer yang dirancang. Pada Gambar 4.5 merupakan bagian awal ketika aplikasi dibuka dan Gambar 4.6 merupakan bagian dashboard dari aplikasi. Pada dashboard bagian atas aplikasi terdapat tombol untuk menyambungkan bluetooth, tombol untuk memutuskan sambungan bluetooth, dan status dari Bluetooth. Sedangkan pada bagian tengah aplikasi terdiri dari bagian untuk menginputkan kedalaman dan menampilkan dari alat, dan beberapa tombol yang berfungsi untuk menyimpan, memanggil, menghapus data pada layar bagian bawah, dan kembali ke layar awal aplikasi. Dan pada bagian bawah aplikasi terdapat bagian untuk menampilkan data yang dipanggil ketika tombol baca ditekan.

Sistem Monitoring Inclinator

Mulai



Gambar 4.5 Tampilan awal aplikasi inclinometer



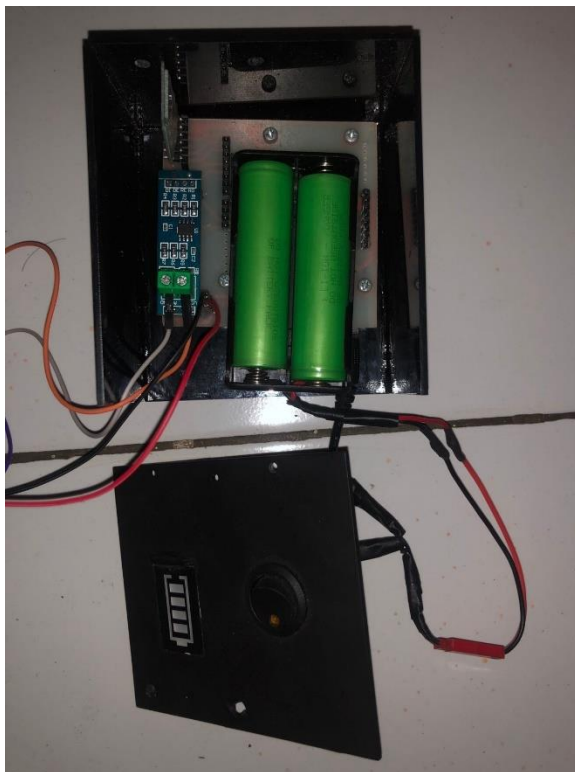
Gambar 4.6 Tampilan menu aplikasi inclinometer

4. Foto hasil akhir perancangan

Hasil akhir dari rancangan yang dilakukan terdiri dari rangkaian pada *probe*, rangkaian pada terminal, *probe inclinometer*, dan gulungan kabel.



Gambar 4. 7 Hasil akhir rangkaian komponen *probe*



Gambar 4. 8 Hasil akhir rangkaian elektronik terminal



Gambar 4.9 Hasil akhir rancangan terminal di dalam gulungan kabel



Gambar 4. 10 Hasil akhir rancangan *probe* inclinometer

Hasil akhir rancangan untuk rangkaian *probe* yang ada pada Gambar 4.7, dirangkai

menggunakan PCB *double layer* agar rangkaian dapat masuk ke dalam *probe* yang memiliki diameter 2.5 cm. Gambar 4.8 merupakan rangkaian pada terminal, yang dimana menggunakan PCB *single layer* karena ruang pemasangan komponen yang cukup besardan kotak akrilik yang nantinya dimasukkan ke dalam gulungan kabel seperti pada Gambar 4.10. Gambar 4.9 diatas merupakan hasil akhir dari rancangan *probe* dari stainless. Terdapat tambahan besi pada bagian atas *probe* karena ukuran diameter stainless terlalu kecil untuk memasukkan komponen-komponen pada *probe*, sehingga dibutuhkan tambahan besi dengan diameter lebih besar agar komponen pada *probe* bisa masuk dengan sempurna. Gambar 4.10 merupakan hasil rancangan dari terminal atau gulungan kabel. Pada bagian dalam dari terminal ini terdapat komponen rangkaian untuk bagian terminal yang terdapat pada Gambar 4.8.

4.2 Metode Pengukuran Kinerja Hasil Perancangan

Dalam pengujian sistem *Low Cost Smart Inclinometer Geotechnical* ini, pengukuran kinerja hasil perancangan dilakukan menggunakan *inclinometer digital* yang sudah terstandarisasi sebagai pembandingnya. Alat yang digunakan sebagai alat pembanding dan validasi tersebut yaitu *Digital Inclinometer Spirit Level Protactor Gauge Meter Level*, yang dimana alat tersebut memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Bahan: Plastik ABS
2. Baterai: 2 * Baterai AAA
3. Rentang pengukuran: 2 * 180⁰ atau 0 - 360⁰
4. Resolusi: 0.005⁰ (<100⁰), 0.1⁰ (100⁰ - 180⁰)
5. Akurasi: $\pm 0.2^0$
6. Kemampuan berulang: 0.1⁰
7. Suhu kerja: 0 °C – 40 °C
8. Berat: 45.5 gram
9. Ukuran: 60*30*55mm



Gambar 4. 11 *Inclinometer digital* alat pembanding *inclinometer* yang dirancang

Gambar 4.11 merupakan *inclinometer digital* yang digunakan sebagai alat pembanding dari *inclinometer geotechnical* yang dirancang. Penggunaan alat ini bertujuan untuk memastikan bahwa hasil pengukuran dari *inclinometer geotechnical* yang dirancang dapat dibandingkan dengan standar yang telah diakui, sehingga memungkinkan evaluasi yang akurat terhadap kinerja alat yang dikembangkan. Pemilihan *inclinometer digital* yang digunakan tersebut dipilih karena memiliki kemampuan yang dapat memberikan pengukuran sudut yang presisi dan stabil, yang merupakan hal penting untuk memastikan bahwa alat yang dirancang mampu bekerja dengan tingkat akurasi yang tinggi sesuai dengan kebutuhan di lapangan.

Merujuk pada standar keteknikan yaitu SNI 3404:2008: Tata Cara Pemasangan Inclinometer dan Pemantauan Pergerakan Horisontal Tanah. Dokumen tersebut berisikan bagaimana cara pemasangan *inclinometer* yang sesuai dengan standar. Terdapat 3 tahap dalam pemasangan *inclinometer* tersebut.

1. Proses Kalibrasi

Kalibrasi:

- Pasang pipa untuk kalibrasi pada tembok atau bidang yang kuat, sehingga pipa kalibrasi berada dalam posisi vertikal atau dengan kemiringan sumbu X 0^0 dan sumbu Y 0^0
- Masukkan torpedo atau *probe* ke dalam pipa kalibrasi dan tempatkan roda *probe* pada arah alur yang diukur
- Lakukan kalibrasi sensor lebih dari satu kali agar bisa mendapatkan rata-rata nilai offset

yang baik

- Hitung hasil pembacaan dan bandingkan dengan nilai dari alat pembanding, apabila hasil yang didapatkan lebih besar dari nilai yang ditetapkan maka nilai selisih tersebut merupakan faktor koreksi terhadap hasil pembacaan

2. Pemasangan Inclinometer

Sebelum pemasangan pipa atau casing *inclinometer* pada lubang bor dan urugan tanah harus dilakukan persiapan sebagai berikut:

- Buat lubang bor dengan bantuan mesin bor dengan diameter yang sesuai dengan diameter casing *inclinometer* yang akan dipasang
- Posisi mesin bor dan putaran harus dibuat sedemikian rupa sehingga dinding lubang bor harus lurus dan rata
- Pasang casing *inclinometer* sampai pada kedalaman yang diperkirakan dinding lubang bor mengalami keruntuhan
- Perkirakan kedalaman lubang bor, sehingga bagian bawah casing *inclinometer* betul-betul terjepit pada lapisan yang stabil
- Pastikan bagian bawah lubang telah memenuhi kemiringan yang direncanakan horizontal (pemasangan miring) atau vertikal (pemasangan vertikal)
- Tutup bagian bawah casing *inclinometer* dengan alat penutup yang telah disediakan supaya bagian bawah casing terisi butiran tanah atau batuan

3. Pemantauan

Dalam menentukan kondisi dan keamanan suatu bangunan teknik sipil antara lain tubuh bendungan, tanggul, pangkal jembatan dan tembok penahan tanah akan dibutuhkan data pergerakan horizontal dari bangunan tersebut. Data pergerakan horizontal ini bisa diperoleh dengan mengukur pergerakan horizontal tubuh bangunan dengan menggunakan unit peralatan *inclinometer*. data pergerakan horizontal yang baik tentu memerlukan cara pengukuran yang sesuai dengan tata cara yang ada. Dalam pelaksanaan pemantauan ini akan melibatkan beberapa kegiatan yaitu pengukuran pergerakan horizontal tanah sesuai jadwal yang telah ditentukan sesuai dengan kondisi bangunan akibat beban yang terjadi maupun kemajuan pelaksanaan bangunan tersebut.

4.2.1 Kesamaan Data dari Sensor MPU-6050 dengan Keadaan Real

Parameter pertama yang menjadi acuan dalam perancangan sistem ini adalah kesamaan data yang diukur oleh sensor dibandingkan dengan keadaan real. Pada parameter ini kami

menggunakan aplikasi sater pass pada handphone sebagai acuan atau keadaan real untuk dibandingkan dengan data yang dihasilkan oleh sensor. Pengukuran ini nantinya dilakukan dengan melakukan kalibrasi terhadap sensor dengan posisi horizontal atau memiliki sudut kemiringan $\pm 0^0$. Proses ini dilakukan untuk memastikan apakah data yang dihasilkan oleh sensor dapat menyamai angka yang ditampilkan oleh aplikasi pada handphone tersebut. Disini aplikasi yang kami gunakan yaitu Laser Level dan *inclinometer digital*. Proses kalibrasi dilakukan untuk mendapatkan nilai offsett dari sensor yang nantinya akan digunakan pada program utama. Nilai offsett tersebut adalah nilai koreksi yang diterapkan pada output sensor untuk menghilangkan bias atau deviasi dari nilai nol yang seharusnya. Dengan kata lain, nilai offsett berfungsi untuk menyesuaikan pembacaan akselerometer dan giroskop agar menunjukkan nilai nol ketika sensor berada dalam posisi ketika proses kalibrasi.

4.2.2 Pengukuran Sensor Setelah Berada di Dalam *Probe* dengan Keadaan Real

Pada parameter ini, difokuskan terhadap data dari sensor yang sudah dimasukkan ke dalam *probe inclinometer*. Pada parameter ini memiliki perbedaan dengan parameter pertama tadi, paada parameter ini dilakukan dengan melakukan kalibrasi ulang terhadap sensor dan membandingkan data tersebut dengan angka kemiringan yang ditampilkan pada layar handphone. Pada parameter ini memiliki beberapa langkah-langkah sebagai berikut :

1. Persiapkan pipa PVC sepanjang 1 meter dengan diameter 2.5 inch
2. Atur kemiringan pipa menggunakan aplikasi water pass pada handphone dan *inclinometer digital* hingga didapatkan sudut kemiringan sebesar $\pm 0^0$ untuk sumbu X dan $\pm 0^0$ untuk sumbu Y.
3. Setelah didapatkan sudut kemiringan tersebut, kemudian masukkan *probe inclinometer* ke dalam pipa
4. Kemudian koneksikan kabel port type-C pada arduino nano ke laptop untuk melakukan kalibrasi ulang
5. Upload program kalibrasi untuk mendapatkan nilai offsett dari sensor dan kemudian masukkan ke dalam program utama
6. Setelah program terupload ke arduino nano, data kemiringan dari posisi *probe* tersebut akan tampil
7. Kemudian langkah selanjutnya yaitu membandingkan data yang dihasilkan sensor dengan data yang ditampilkan pada layar handphone melalui aplikasi waterpass

8. Kemudian miringkan posisi pipa PVC sesuai keinginan dan ukur kemiringan menggunakan aplikasi waterpass “Level Laser” dan *inclinometer digital* untuk mengetahui nilai derajat dari kemiringan pipa tersebut, lakukan proses tersebut untuk sumbu X dan sumbu Y
9. Selanjutnya jalankan sistem *inclinometer* dan sambungkan ke aplikasi *inclinometer*
10. Amati nilai derajat sumbu X dan sumbu Y yang ditampilkan pada aplikasi
11. Ulangi langkah 8-10 dengan kemiringan pipa yang bervariasi.

4.2.3 Komunikasi Antara *Probe Inclinometer* dan Terminal (Cabel Roll)

Parameter ini merupakan lanjutan dari parameter sebelumnya. Pada parameter ini difokuskan terhadap komunikasi yang digunakan untuk mengirimkan data dari *probe inclinometer* dan terminal. Parameter ini dilakukan untuk mengetahui pengiriman data dari *probe inclinometer* (pengirim) terkirim ke terminal (penerima) apakah terjadi perbedaan data atau tidak. Dalam sistem *inclinometer* yang dirancang ini menggunakan MoodBus RS485 sebagai komunikasi antara *probe inclinometer* dengan terminal. Metode yang dilakukan untuk parameter ini yaitu menggunakan metode checksum. Metode checksum merupakan metode sederhana yang bertujuan untuk mendeteksi kesalahan data yang dikirimkan. Metode ini berkeja dengan cara menghasilkan nilai checksum dari data asli yang kemudian dikirimkan bersama data tersebut. Penerima data atau terminal nantinya akan mendapatkan nilai checksum dari data yang diterima yang kemudian dibandingkan dengan nilai checksum yang dikirimkan. Ketika nilai-nilai tersebut sama, maka data yang diterima tidak mengalami perubahan, begitupun sebaliknya jika nilai-nilai tersebut tidak cocok, maka terdapat kesalahan pada proses pengiriman data. Langkah-langkah dalam melakukan pengukuran parameter sebagai berikut :

1. Koneksikan sistem pada *probe* yaitu port type-C pada arduino nano ke laptop dan pada terminal port USB pada arduino uno ke laptop
2. Setelah kedua mikrokontroler terkoneksi dengan baik, lakukan penguploadan program pada kedua mikrokontroler
3. Program pada arduino nano di *probe* sebagai pengirim dan program pada arduino uno di terminal sebagai penerima
4. Setelah kedua program terupload, maka data dari *probe* atau sisi pengirim akan dikirimkan melewati kabel 10-15 meter ke terminal atau penerima
5. Kemudian data yang ditampilkan pada serial monitor arduino uno atau penerima akan menampilkan apakah data yang diterima tersebut apakah cocok atau tidak, jika cocok maka

komunikasi antara *probe* dan terminal dianggap sudah benar dan bisa untuk digunakan, tetapi jika tidak cocok maka terdapat kesalahan yang terjadi pada proses pengiriman data oleh *probe* atau pengirim ke terminal atau penerima.

4.2.4 Komunikasi Sistem dengan (aplikasi)

Parameter ini juga merupakan lanjutan dari parameter sebelumnya. Ketika data yang dikirimkan antara *probe* dan terminal menggunakan komunikasi serial atau RS485 berhasil, maka parameter selanjutnya yaitu pengiriman data dari sistem *inclinometer* (terminal) ke aplikasi atau handphone. Perancangan aplikasi untuk sistem *inclinometer* ini dibuat menggunakan MIT APP Inventor. Pada perancangan aplikasi ini, dirancang menggunakan bluetooth sebagai komunikasi antara sistem hardware dan *software*. Ketika aplikasi tersebut selesai selanjutnya yaitu melakukan pengetesan pengiriman data dari sistem hardware ke aplikasi tersebut. Parameter ini dilakukan untuk mengetahui apakah data yang dikirimkan dari terminal dan diterima oleh aplikasi sama atau tidak. Berikut langkah-langkah dalam pengukuran parameter tersebut :

1. Hidupkan sistem *inclinometer* hingga *probe* dan terminal terkoneksi dengan baik
2. Sambungkan port USB arduino uno ke laptop dan buka serial monitor
3. Koneksikan antara bluetooth handphone dengan modul bluetooth HC-05
4. Buka aplikasi *inclinometer* pada handphone
5. Tekan tombol *connect* pada aplikasi dan sambungkan dengan modul bluetooth HC-05
6. Setelah tersambung, amati data yang yang ditampilkan pada serial monitor arduino uno dengan data yang diterima pada aplikasi *inclinometer*
7. Ketika data yang diterima aplikasi sudah sama dengan yang ditampilkan pada serial monitor, berarti komunikasi yang digunakan antara hardware dan *software* berjalan dengan baik. Jika data yang diterima berbeda, maka harus dilakukan penelitian ulang terkait kesalahan yang terjadi pada komunikasi tersebut.

4.2.5 Penyimpanan dan Pemanggilan Data dari Aplikasi Handphone dan Database pada Laptop

Setelah komunikasi antara sistem hardware dan *software* berhasil, maka parameter terakhir yaitu melakukan pengecekan pengiriman data aplikasi *inclinometer* ke database sistem pada laptop. Pengiriman data ini menggunakan komunikasi dengan parameter-parameter sebelumnya. Pengiriman data dari aplikasi ke database menggunakan komunikasi WiFi. Penggunaan komunikasi ini dipilih karena penggunaannya yang mudah dan tidak membuat file penyimpanan

tersendiri pada handphone sehingga dapat langsung dipantau walaupun dengan jarak antara handphone dan laptop sangat jauh. Langkah-langkah dalam pengukuran parameter ini yaitu :

1. Buka aplikasi *inclinometer* pada handphone
2. Koneksikan bluetooth handphone dengan modul bluetooth HC-05
3. Tekan button *connect* pada aplikasi dan pilih bluetooth HC-05
4. Setelah data yang diterima aplikasi sudah muncul, inputkan nilai pada kolom kedalaman
5. Kemudian tekan tombol “simpan” pada aplikasi untuk menyimpan data tersebut ke database pada laptop
6. Setelah data tersimpan akan muncul notifikasi “data tersimpan”
7. Lakukan pengecekan database pada laptop untuk memastikan apakah data tersebut sudah benar tersimpan atau belum
8. Setelah pengecekan database dan data telah tersimpan, tekan tombol “baca” pada aplikasi *inclinometer*
9. Kemudian data yang telah tersimpan di database akan muncul pada layar bagian bawah aplikasi
10. Langkah terakhir yaitu lakukan pengecekan data antara layar aplikasi dan database untuk memastikan kedua data tersebut sama dan tidak terdapat perbedaan.

4.2.6 Pengujian Alat Berdasarkan Kegunaannya di Lapangan

Pada parameter ini bertujuan untuk melakukan pengujian alat *inclinometer* yang sesuai dengan kegunaannya. Pada dasarnya *inclinometer* digunakan untuk memantau kemiringan atau stabilitas lereng, bendungan, jembatan atau struktur bawah tanah lainnya. Pada pengukuran parameter yang awalnya direncanakan dilakukan di saluran air hujan yang ada pada bangunan kampus FTI UII. Namun setelah dilakukan pengecekan di kampus FTI UII, saluran air yang ada memiliki diameter pipa 5-6 inch, sehingga tidak bisa dilakukan pengujian karena akan menyebabkan *probe inclinometer* tidak bisa berada dalam kondisi diam atau akan mengalami perubahan posisi yang akan mempengaruhi hasil dari pengukuran. Oleh karena itu, pengukuran dilakukan dengan menggunakan pipa air dengan diameter 2,5 inch dengan panjang 4 meter. Penggunaan pipa dengan panjang 4 meter disebabkan karena keterbatasan biaya dan tenaga jika ingin menggunakan pipa dengan panjang 10-15 meter. Pengukuran ini dilakukan didasarkan untuk merealisasikan alat yang dirancang apakah sesuai dengan penggunaan alat secara nyata di lapangan. Langkah-langkah dalam melakukan pengukuran parameter ini yaitu :

1. Pengguna berada pada ketinggian 4 meter dan mengatur posisi pipa sesuai keinginan

2. Posisi pipa diatur dengan kemiringan tertentu dengan acuan aplikasi waterpass pada handphone dan *inclinometer digital*.
3. Setelah kemiringan terkonfirmasi, nyalakan sistem *inclinometer* dan masukkan *probe inclinometer* ke kedalaman paling dalam
4. Kemudian amati kemiringan yang diukur oleh sistem
5. Inputkan kedalaman pada bagian kedalaman pada aplikasi kemudian tekan tombol simpan
6. Pengukuran dilakukan dengan interval kedalaman sekitar 0,5 meter dan lakukan hingga kedalaman 0,5 meter
7. Lakukan langkah 2 hingga 6 dan variasikan posisi pipa sesuai dengan keinginan dengan posisi yang berbeda-beda
8. Setelah beberapa data didapatkan, simpan data tersebut dalam format csv dan upload ke dalam program untuk melakukan analisa kemiringan tersebut
9. Hasil analisa berguna untuk memastikan apakah data yang didapatkan sesuai dengan acuan yang ditampilkan pada aplikasi waterpass pada handphone dan *inclinometer digital*.

BAB 5 HASIL PENGUKURAN DAN ANALISIS

Pengukuran yang dilakukan terhadap prototipe alat berkaitan dengan beberapa parameter inti seperti hasil kalibrasi sensor, ketepatan nilai derajat terhadap alat ukur pembanding, ketepatan nilai derajat terhadap Sumbu X dan Sumbu Y, serta kegunaan prototipe yang dirancang sesuai fungsinya di lapangan. Analisa yang dilakukan terhadap hasil pengujian prototipe sesuai dengan fungsinya di lapangan yaitu analisa akhir yang terdiri berapa derajat kemiringan struktur terhadap Sumbu X dan Sumbu Y, serta ke arah mana kemiringan struktur tersebut. Analisa lain yang dilakukan yaitu terkait kelebihan dan kekurangan alat yang dirancang yang nantinya bisa untuk dikembangkan lebih lanjut lagi.



Gambar 5. 1 Realisasi alat

Dan Gambar 5.1 merupakan realisasi setelah perakitan keseluruhan sistem. Dari gambar tersebut dapat dilihat terdapat dua komponen utama dari alat *inclinometer*. yang pertama yaitu *probe inclinometer* dan yang kedua yaitu gulungan kabel yang di dalamnya terdapat bagian terminal.

5.1 Analisis Hasil

5.1.1 Hasil dan Analisis Pengujian Indikator

Berdasarkan indikator pengukuran hasil perancangan pada bab 4, terdapat 6 indikator yang

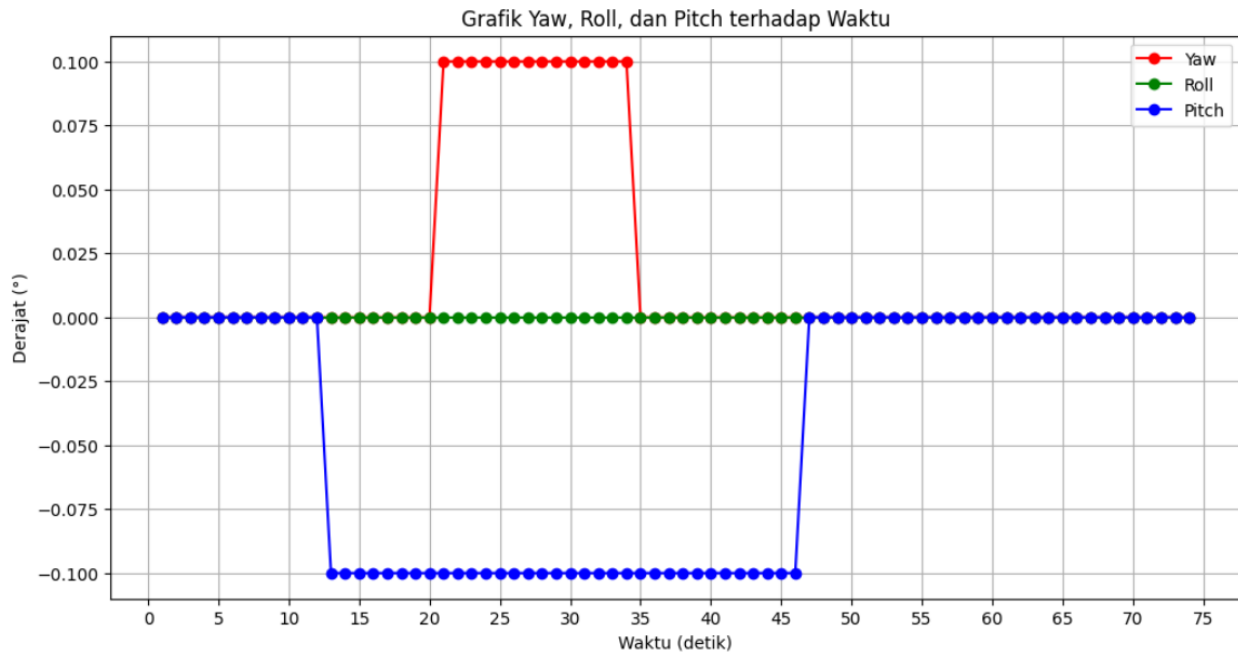
menjadi parameter penting dalam pengujian *inclinometer* yang dirancang. Parameter-parameter tersebut terdiri dari kesamaan data sensor dengan keadaan real, pengukuran sensor setelah berada dalam *probe inclinometer*, komunikasi antara *probe inclinometer* dengan terminal, komunikasi pengiriman data antara *inclinometer* dengan perangkat pengguna, penyimpanan dan pemanggilan data dari aplikasi ke database pada laptop, dan parameter yang terakhir yaitu pengujian alat sesuai dengan kegunaannya di lapangan. Dari tiap-tiap parameter tersebut memiliki hasil pengujian yang berbeda-beda. Dan antara parameter memiliki hubungan yang signifikan.

5.1.1.1 Kesamaan Data dari Sensor MPU-6050 dengan Keadaan Real

Pada pengukuran parameter ini, langkah pertama yang dilakukan yaitu menggunakan aplikasi waterpass “Laser Level” pada handphone dan *inclinometer digital* sebagai acuan. Posisi sensor dan handphone berada dalam keadaan horizontal. Selanjutnya lakukan proses kalibrasi pada sensor untuk mendapatkan nilai offset yang nantinya dimasukkan ke dalam program utama yang akan menghasilkan nilai derajat dari sensor, kemudian data yang dihasilkan akan dibandingkan nilai derajat yang ditampilkan aplikasi waterpass “Laser Level” dan *inclinometer digital*.



Gambar 5. 2 Proses kalibrasi dengan acuan aplikasi “Laser Level”



Gambar 5. 3 Data dan grafik hasil proses kalibrasi

Gambar 5.2 diatas merupakan proses kalibrasi dan pengukuran dari parameter pertama yang dilakukan. Dapat dilihat pada gambar tersebut posisi sensor berada dalam keadaan horizontal begitu juga dengan posisi handphone. Nilai derajat yang ditampilkan aplikasi untuk sumbu X yaitu 0.5^0 dan sumbu Y 0.4^0 . nilai derajat yang ditampilkan aplikasi tidak berada pada nilai 0.0^0 dikarenakan bagian belakang handphone mengalami kerusakan sehingga mengalami kesusahan untuk mendapatkan nilai derajat $\pm 0.0^0$, namun untuk pengukuran parameter pertama ini hanya untuk memastikan sensor dapat bekerja dengan baik dan program yang dibuat nantinya dapat menghasilkan nilai yang bagus.

Gambar 5.3 merupakan data nilai derajat yang dihasilkan oleh sensor setelah di kalibrasi. Dapat dilihat grafik tersebut nilai derajat yang dihasilkan sensor dominan berada pada nilai $\pm 0.0^0$ untuk setiap sumbu X, Y, dan Z. Terdapat perubahan derajat yang terjadi pada nilai Yaw dan Pitch. Perubahan tersebut terjadi karena sensor memang memiliki sensitivitas yang tinggi yang terkadang mengalami perubahan walaupun sensor tidak mengalami perubahan posisi, tetapi perubahan yang terjadi tersebut bernilai sangat kecil. Dengan nilai derajat yang dihasilkan oleh sensor tersebut dapat dikatakan bahwa sensor bekerja dengan baik karena nilai derajat yang dihasilkan yaitu $\pm 0.0^0$ yang dimana nilai derajat itu memang berada dalam posisi yang horizontal sehingga dapat dikatakan proses kalibrasi dan program yang digunakan sudah benar.

5.1.1.2 Pengukuran Sensor Setelah Berada di Dalam *Probe* dengan Keadaan Real

Pengukuran parameter yang kedua ini dilakukan dengan langkah-langkah yang hampir sama dengan parameter sebelumnya. Perbedaannya dengan sebelumnya adalah posisi sensor yang sudah dimasukkan ke dalam *probe inclinometer* sehingga nilai derajat yang awalnya sudah 0.00 pasti akan berbeda ketika sensor berada di dalam *probe*. Perbedaan itu dikarenakan ketika sensor berada di dalam *probe* maka acuan nilai derajat ± 0.00 tidak akan bisa didapatkan pada posisi *probe* vertikal. Untuk mendapatkan nilai derajat ± 0.00 pada posisi *probe* vertikal, maka harus dilakukan kalibrasi ulang. Pada proses kalibrasi ini dilakukan dengan menggunakan bantuan pipa PVC sekitar 1 meter dengan diameter 2,5 inch. Kemudian pipa PVC tersebut di tanamkan ke tanah sekitar sekitar 10-15 cm kemudian pada bagian ujung atas pipa di tempelkan handphone dengan aplikasi waterpass “Laser Level” dan *inclinometer digital* sebagai acuan nilai $\pm 0.0^0$. setelah didapatkan nilai acuan tersebut maka *probe* dimasukkan ke dalam pipa tersebut tanpa mengubah posisi pipa sedikitpun. Kemudian proses kalibrasi ulang yang dilakukan sebanyak 3 kali agar mendapatkan nilai offset sensor yang beragam. Setelah proses kalibrasi selesai, kami mencari nilai rata-rata dari tiap-tiap nilai offset sensor yang terdiri dari nilai accelX, accelY, accelZ, giroX, giroY, dan giroZ. Kemudian dari nilai rata-rata tersebut dimasukkan ke dalam program utama.

Your Offsets:	178	378	1501	29	-41	-75
Your offsets:	178	384	1499	29	-41	-75
Your offsets:	178	385	1500	29	-41	-74

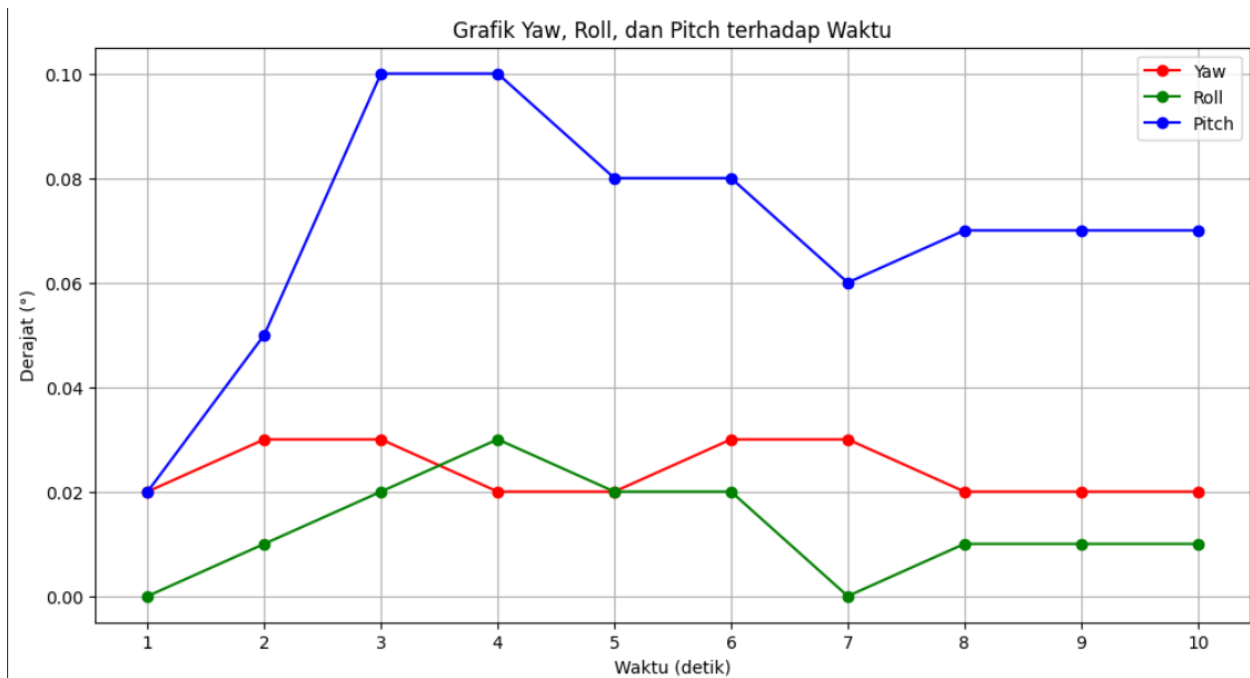
Gambar 5. 4 Nilai offset dari proses kalibrasi ulang sensor MPU-6050

Rata-rata:	178	382	1500	29	-41	-74
------------	-----	-----	------	----	-----	-----

Gambar 5. 5 Rata-rata dari nilai offset kalibrasi ulang sensor

Tabel 5. 1 Data setelah proses kalibrasi ulang sensor

Waktu (detik)	Roll	Pitch	Yaw
1	0.02	0.00	0.02
2	0.03	0.01	0.05
3	0.03	0.02	0.10
4	0.02	0.03	0.10
5	0.02	0.02	0.08
6	0.03	0.02	0.08
7	0.03	0.00	0.06
8	0.02	0.01	0.07
9	0.02	0.01	0.07
10	0.02	0.01	0.07



Gambar 5. 6 Grafik data setelah proses kalibrasi ulang sensor

Gambar 5.4 merupakan nilai-nilai offsett dari proses kalibrasi ulang yang dilakukan sebanyak tiga kali dan Gambar 5.5 merupakan nilai rata-rata nilai offsett dari proses kalibrasi ulang yang dilakukan. Tabel 5.1 dan Gambar 5.6 menunjukkan nilai derajat yang dihasilkan setelah melakukan kalibrasi ulang sensor yang sudah dimasukkan ke dalam *probe inclinometer*. Dapat dilihat nilai derajat yang didapatkan setelah kalibrasi ulang nilai derajat yang berkisar antara 0.00^0 hingga 0.10^0 , perubahan nilai derajat yang terjadi sangat kecil dan tidak melewati 1^0 yang dapat dikatakan bahwa proses kalibrasi ulang tersebut berhasil. Dari nilai-nilai tersebut didapatkan bahwa nilai error nya tidak melewati $\pm 1^0$.

Kemudian pengukuran parameter berikutnya yaitu membandingkan nilai derajat dari sensor dengan aplikasi waterpass dan *inclinometer digital* dengan keadaan pipa PVC miring. Pengukuran ini kami lakukan dengan interval kemiringan sebesar 10^0 . Pengukuran ini dilakukan pada tiap tiap sumbu, yaitu pada sumbu X, sumbu -X, sumbu Y, dan sumbu -Y.

Tabel 5. 2 Hasil pengukuran sensor dalam *probe* terhadap sumbu X

Sudut (0) Aplikasi Waterpass	Sudut (0) Inclinometer Digital	Hasil Pengukuran (0)	Sumbu	Error (0)	Error (0)	% Error
85	85.06	84.41	X	0.65	0.65	0.76
75	75.02	74.19	X	0.83	0.83	1.10
65	64.97	66.6	X	-1.6	1.63	2.5
55	55.16	54.85	X	0.31	0.31	0.56

Sudut ($^{\circ}$) Aplikasi Waterpass	Sudut ($^{\circ}$) Inclinometer Digital	Hasil Pengukuran ($^{\circ}$)	Sumbu	Error ($^{\circ}$)	Error ($^{\circ}$)	% Error
45	45.24	46.03	X	-0.79	0.79	1.74
0	0	-0.7		0.7	0.7	
-45	-45.24	-45.16	-X	-0.08	0.08	0.17
-55	-55.16	-55.25	-X	0.09	0.09	0.16
-65	-64.97	-66.02	-X	1.05	1.05	1.61
-75	-75.02	-76.7	-X	1.68	1.68	2.23
-85	-85.06	-86.74	-X	1.68	1.68	1.97
Rata-rata						1.28

Tabel 5.3 Hasil pengukuran sensor dalam *probe* terhadap sumbu Y

Sudut ($^{\circ}$) Aplikasi Waterpass	Sudut ($^{\circ}$) Inclinometer Digital	Hasil Pengukuran ($^{\circ}$)	Sumbu	Error ($^{\circ}$)	Error ($^{\circ}$)	% Error
85	85.06	84.41	Y	-0.65	0.65	0.76
75	75.02	74.42	Y	-0.6	0.6	0.79
65	64.97	66.41	Y	1.44	1.44	2.21
55	55.16	56.09	Y	0.93	0.93	1.68
45	45.24	46.18	Y	0.94	0.94	2.07
0	0	-0.47		-0.47	0.47	
-45	-45.24	-46.38	-Y	-1.14	1.14	2.51
-55	-55.16	-56.16	-Y	-1	1	1.81
-65	-64.97	-66.53	-Y	-1.56	1.56	2.40
-75	-75.02	-74.27	-Y	0.75	0.75	0.99
-85	-85.06	-84.8	-Y	0.26	0.26	0.30
Rata-rata						1.55

Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 diatas merupakan data dari pengukuran yang dilakukan terhadap sumbu X, sumbu -X, sumbu Y, dan sumbu -Y dengan interval nilai kemiringan 10° . Dari hasil pengukuran menggunakan alat pembanding yaitu inclinometer digital yang sudah terstandarisasi, diperoleh rata-rata persentase error sebesar 1.28% pada sumbu X dan rata-rata persentase error sebesar 1.55% pada sumbu Y. Error terbesar pada sumbu X adalah 1.68 derajat dengan persentase error 2.23%, dan error terbesar pada sumbu Y adalah 1.56 derajat dengan persentase error 2.51%. Error terkecil pada sumbu X adalah 0.08 derajat dengan persentase error 0.17%, dan error terkecil pada sumbu Y adalah 0.26 derajat dengan persentase error 0.30%. Error terjadi secara simetris pada sudut positif dan negatif, menunjukkan variasi acak. Dengan rata-rata persentase error yang rendah, inclinometer yang dirancang menunjukkan akurasi dan keandalan yang memadai untuk aplikasi konstruksi dan pemantauan kemiringan lereng, meskipun kalibrasi lebih lanjut dapat

meningkatkan presisi. Hasil tersebut juga memiliki selisih antara interval derajat pengujian yang stabil yaitu berkisar diantara $\pm 8-10^0$, bernilai positif ketika acuan positif dan bernilai negatif ketika acuan juga bernilai negatif. Sehingga dapat dikatakan bahwa alat yang dirancang memiliki kestabilan derajat kemiringan yang dihasilkan. Dari penggunaan dua alat pembanding, yaitu aplikasi waterpass pada handphone dan *inclinometer* digital juga tidak memiliki perbedaan yang jauh, sehingga penggunaan salah satu dari alat pembanding tersebut tidak akan bermasalah.

5.1.1.3 Komunikasi Antara *Probe Inclinometer* dan Terminal (Cabel Roll)

Pengukuran parameter ini berfokus pada keberhasilan pengiriman dan penerimaan data menggunakan komunikasi tambahan yaitu Moodbus RS485 antara *probe* dan terminal *inclinometer*. Mikrokontroler yang terdapat pada *probe* yaitu Arduino Nano sedangkan pada terminal yaitu Arduino Uno. Penggunaan dua mikrokontroler tersebut memiliki alasan yaitu jika menggunakan satu mikrokontroler saja pada bagian terminal dan jenis komunikasi antara sensor dan mikrokontroler yaitu I2C, maka data yang didapatkan oleh sensor tidak dapat terkirim dengan baik ke mikrokontroler. Hal tersebut terjadi karena jenis komunikasi I2C tidak mampu bekerja dengan baik pada jarak 15-20 meter, sehingga membutuhkan satu buah mikrokontroler pada bagian *probe* agar data tersebut bisa dikirimkan ke bagian terminal. Sedangkan alasan penggunaan komunikasi tambahan yaitu pada umumnya untuk penggunaan dua atau lebih mikrokontroler yang berfungsi untuk mengirim dan menerima data diperlukan komunikasi serial tambahan seperti Moodbus Serial RS485, sehingga penggunaan komunikasi serial tambahan pada sistem ini sangat diperlukan agar data dapat dikirim dan diterima dengan baik. Pada pengukuran parameter ini, kami menggunakan metode checksum untuk mengecek data yang dikirim oleh *probe* itu sama atau tidak dengan data yang diterima oleh bagian terminal. Penggunaan metode ini dilakukan dengan penguploadan program metode checksum pada kedua mikrokontroler yang nantinya data akan di cek dan ditampilkan pada serial monitor arduino uno di terminal.

```

String data = String(Yaw) + "," + String(Pitch) + "," + String(Roll);
byte checksum = 0;
for (int i = 0; i < data.length(); i++) {
    checksum ^= data[i];
}

// Send data to RS485
digitalWrite(DE_PIN, HIGH);
RS485Serial.print(data);
RS485Serial.print(",");
RS485Serial.println(checksum, HEX);
digitalWrite(DE_PIN, LOW);

digitalWrite(LED_PIN, !digitalRead(LED_PIN));

```

Gambar 5. 7 Perintah metode checksum mikrokontroler di *probe* (Arduino Nano)

```

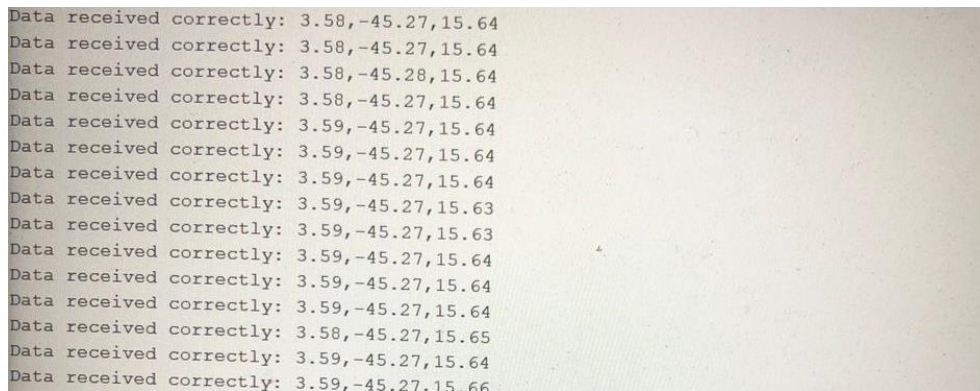
byte checksum = (byte) strtol(checksumString.c_str(), NULL, 16);

byte calculatedChecksum = 0;
for (int i = 0; i < dataString.length(); i++) {
    calculatedChecksum ^= dataString[i];
}

if (calculatedChecksum == checksum) {
    Serial.println("Data received correctly: " + dataString);
} else {
    Serial.println("Checksum error");
}

```

Gambar 5. 8 Perintah metode checksum mikrokontroler terminal (Arduino Uno)



The image shows a terminal window with a light background and dark text. It displays a series of 15 lines, each starting with "Data received correctly:" followed by three comma-separated floating-point numbers. The numbers vary slightly between lines, for example, the first line is "3.58,-45.27,15.64" and the last line is "3.59,-45.27,15.66".

Gambar 5. 9 Hasil metode checksum pada sistem *inclinometer*

Gambar 5.7 merupakan program pada *probe* atau Arduino Nano yang berfungsi untuk membuat string data yang berisikan nilai yaw, roll, dan pitch yang kemudian menghitung nilai checksum untuk data-data tersebut yang dihitung dengan operasi XOR dari semua karakter yang ada dalam string data. Kemudian nilai checksum tersebut dikirimkan dalam format heksadeimal melalui komunikasi serial RS485.

Gambar 5.8 merupakan proram metode checksum pada terminal atau Arduino Uno yang

bertindak sebagai penerima data. Program tersebut berisikan perintah untuk mengonversi nilai checksum dari format heksadesimal ke bentuk byte, yang kemudian menghitung nilai checksum data yang diterima dengan operasi XOR pada tiap karakter dalam string data. Kemudian program akan membandingkan checksum data yang dihitung dengan checksum yang diterima. Apabila nilainya sama, maka data yang diterima benar dan data tersebut akan ditampilkan pada serial monitor, namun jika nilainya berbeda maka data tidak akan ditampilkan di serial monitor.

Gambar 5.9 merupakan hasil dari implementasi metode checksum pada sistem *inclinometer*. Dapat dilihat bahwa data yang diterima oleh arduino uno di terminal memiliki nilai checksum yang sama dengan nilai checksum yang dikirim dari arduino nano, sehingga nilai derajat yang diukur oleh sensor ditampilkan pada serial monitor arduino uno. Dari pengukuran parameter ini, dapat disimpulkan bahwa penggunaan dua mikrontroler untuk *probe* dan terminal, penggunaan komunikasi serial tambahan untuk sistem *inclinometer* ini tidak mengalami kendala atau berjalan dengan baik.

5.1.1.4 Komunikasi Sistem Hardware dengan *Software* (aplikasi)

Pengukuran parameter ini bertujuan untuk mengetahui apakah komunikasi yang digunakan antara sistem hardware dan *software* dapat berjalan dengan baik. Jenis komunikasi yang digunakan antara sistem hardware dan *software* yaitu komunikasi bluetooth dengan Modul Bluetooth HC-05. Pada parameter ini, pengukuran dilakukan dengan melakukan pengetesan pengiriman data dari sistem hardware ke *software* atau aplikasi yang dirancang. Tujuan dari pengukuran parameter ini adalah untuk menentukan apakah jenis komunikasi yang digunakan pada sistem sudah berjalan dengan baik dan cocok digunakan untuk sistem pada alat *inclinometer* ini. Pengukuran dilakukan dengan cara menyambungkan kabel port-USB ke Arduino Uno di terminal dan menyalakan sistem *inclinometer* kemudian menyambungkan bluetooth handphone ke alat *inclinometer*, kemudian pengguna membuka aplikasi dan memilih bluetooth HC-05 pada pilihan bluetooth yang ingin disambungkan. Setelah tersambung maka data dari alat akan tampil di layar aplikasi dan bandingkan dengan data yang tampil pada layar serial monitor laptop.



Gambar 5. 10 Tampilan data pada aplikasi *inclinometer* di android

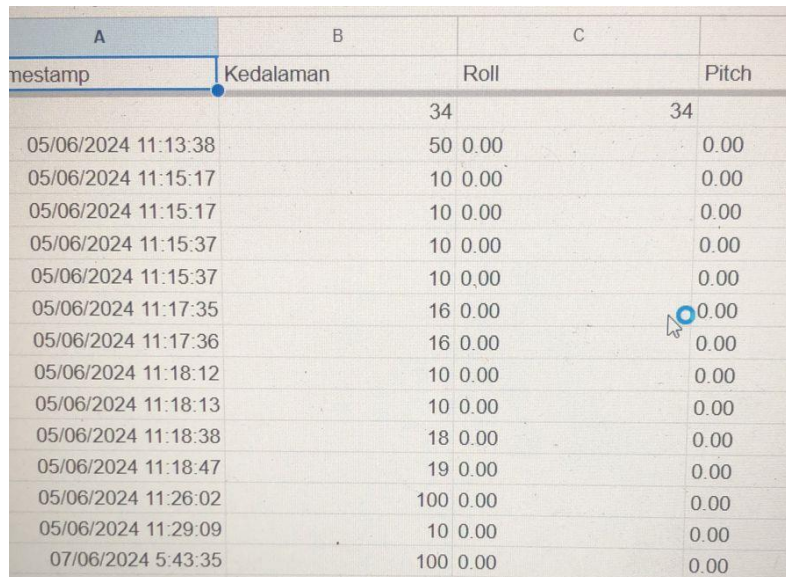
```
HASIL|-75.62|-1.84|4.83
HASIL|-75.62|-1.84|4.83
HASIL|-75.62|-1.85|4.83
HASIL|-75.62|-1.85|4.82
HASIL|-75.62|-1.86|4.82
HASIL|-75.62|-1.86|4.82
```

Gambar 5. 11 Tampilan data pada serial monitor arduino uno di laptop

Gambar 5.10 diatas memperlihatkan nilai derajat yang diukur oleh alat *inclinometer* pada layar aplikasi *inclinometer* yang dirancang, sedangkan Gambar 5.11 menampilkan nilai derajat yang diukur alat *inclinometer* pada layar serial monitor laptop. Para program pengiriman data dari alat menuju aplikasi, kami memberikan delay selama 1 detik. Hal tersebut dikarenakan ketika diberikan delay di bawah 1 detik maka data yang terkirim menjadi tidak beraturan atau tidak sesuai pada posisi data sebenarnya pada aplikasi. Dari kedua gambar tersebut dapat dilihat bahwa data yang terkirim dari alat dan diterima oleh aplikasi melalui komunikasi bluetooth sama, sehingga dari pengukuran ini disimpulkan bahwa jenis komunikasi yang digunakan antara sistem hardware dan *software* berjalan dengan baik dan tidak terdapat delay selama pengiriman. Penggunaan komunikasi bluetooth untuk sistem bisa dikatakan merupakan komunikasi yang paling cocok karena terkadang pada penggunaan alat sesuai dengan kegunaannya di lapangan berada di daerah yang sulit terdapat jaringan sehingga untuk penggunaan komunikasi WiFi sangat tidak cocok untuk digunakan pada alat *inclinometer* ini.

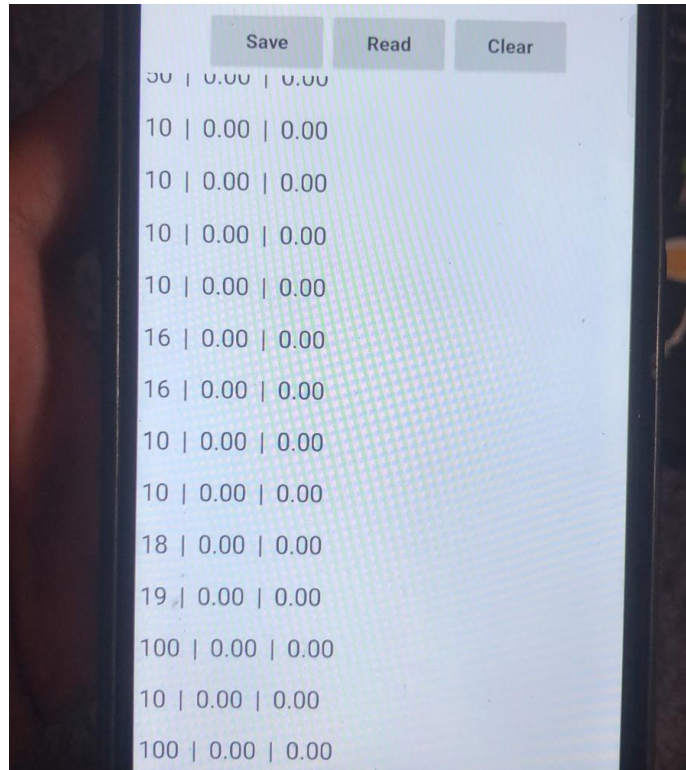
5.1.1.5 Penyimpanan dan Pemanggilan Data dari Aplikasi Handphone dan Database pada Laptop

Pada parameter ini merupakan pengujian untuk menentukan keberhasilan antara aplikasi dan database pada laptop. Untuk komunikasi yang digunakan antara aplikasi dan laptop yaitu komunikasi WiFi. Komunikasi ini dipilih karena data dapat langsung dikirim ke laptop dan dapat langsung di analisa. Pengukuran dilakukan dengan cara membuka aplikasi di handphone dan database di laptop. Untuk mengetahui apakah data tersimpan pada database di laptop dapat dilakukan dengan cara menginputkan nilai kedalaman pada kotak teks kedalaman ataupun bisa dikosongkan, setelah itu tekan tombol simpan kemudian amati database yang ada pada laptop. Sedangkan untuk memanggil data yang telah tersimpan pada database cukup dengan menekan tombol baca, nantinya data yang telah tersimpan di database akan tampil pada layar bagian bawah aplikasi.



A	B	C	
Timestamp	Kedalaman	Roll	Pitch
		34	34
05/06/2024 11:13:38		50 0.00	0.00
05/06/2024 11:15:17		10 0.00	0.00
05/06/2024 11:15:17		10 0.00	0.00
05/06/2024 11:15:37		10 0.00	0.00
05/06/2024 11:15:37		10 0.00	0.00
05/06/2024 11:17:35		16 0.00	0.00
05/06/2024 11:17:36		16 0.00	0.00
05/06/2024 11:18:12		10 0.00	0.00
05/06/2024 11:18:13		10 0.00	0.00
05/06/2024 11:18:38		18 0.00	0.00
05/06/2024 11:18:47		19 0.00	0.00
05/06/2024 11:26:02		100 0.00	0.00
05/06/2024 11:29:09		10 0.00	0.00
07/06/2024 5.43.35		100 0.00	0.00

Gambar 5. 12 Penyimpanan data dari aplikasi ke database di laptop



Gambar 5. 13 Pemanggilan data dari database pada aplikasi *inclinometer*

Gambar 5.12 dan Gambar 5.13 diatas menunjukkan bagian dari database pada laptop dan aplikasi *inclinometer*. Dapat dilihat pada kedua gambar memiliki data yang sama yang berarti bahwa proses penyimpanan dan pemanggilan data dari database berhasil. Pada data tersebut memang untuk nilai derajat bernilai 0.0 karena pada pengujian parameter ini tidak dilakukan bersamaan dengan alat *inclinometer*, karena dalam pengujian ini yang dibutuhkan hanya aplikasi dan database.

5.1.1.6 Pengujian Alat Berdasarkan Kegunaannya di Lapangan

Parameter ini merupakan parameter terakhir dalam pengujian alat *inclinometer* yang dirancang ini. Parameter ini bertujuan pada pengujian alat *inclinometer* berdasarkan kegunaannya di lapangan. Pada dasarnya *inclinometer* digunakan sebagai alat untuk memantau kemiringan atau stabilitas lereng, bendungan, jembatan atau struktur bawah tanah lainnya. *Inclinometer* biasanya juga digunakan pada kebutuhan konstruksi, dimana *inclinometer* maupun setelah dilakukan pembangunan-pembangunan besar, sehingga diperlukan peran *inclinometer* dalam proyek-proyek tersebut, terlebih lagi pada daerah yang memiliki struktur tanah yang miring, lunak, dan lain-lain. Peran *inclinometer* pada proyek pembangunan besar yaitu untuk mengetahui apakah ada

pergerakan yang terjadi dari sebelum hingga setelah pembangunan selesai. Namun pada pengujian kali ini, kami hanya melakukan pengujian menggunakan pipa air dengan panjang 4 meter, dimana yang pada rencana awal ingin melakukan pengujian pada pipa saluran air di kampus FTI UII atau menggunakan pipa air dengan panjang 15-20 meter. Perubahan rencana pengujian tersebut dikarenakan saluran air pada kampus FTI UII memiliki pipa dengan diameter 5 inch atau ukuran tersebut sangat besar yang dimana *probe inclinometer* yang dirancang harus menggunakan pipa dengan diameter 2.5 inch. Alasan lainnya tidak menggunakan pipa 15-20 meter dikarenakan keterbatasan biaya dan tenaga dalam melakukan pengujian tersebut yang mengharuskan pengujian pada bangunan yang sangat tinggi dan pengerjaannya yang rumit. Pengujian dilakukan menggunakan pipa sepanjang 4 meter dengan interval pengukuran 0.5 meter. Pengujian parameter ini kami lakukan sebanyak 4 kali, dengan kemiringan pipa yang berbeda-beda, setelah pengujian dilakukan maka data-data tersebut akan dianalisa sehingga didapatkan kesimpulan dari posisi pipa tersebut.

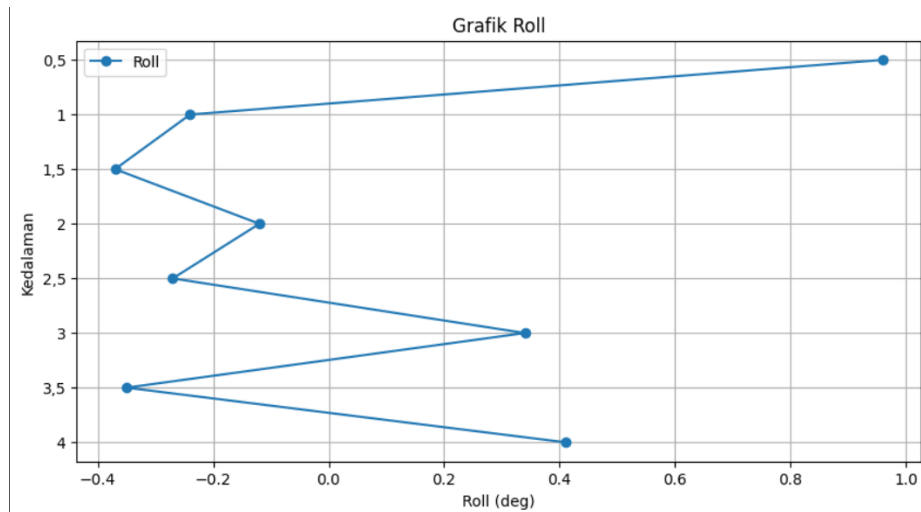


Gambar 5. 14 Lokasi pengujian alat *inclinometer*

Tabel 5. 4 Hasil pengambilan data pengujian dengan acuan sumbu X 0⁰ & sumbu Y 0⁰

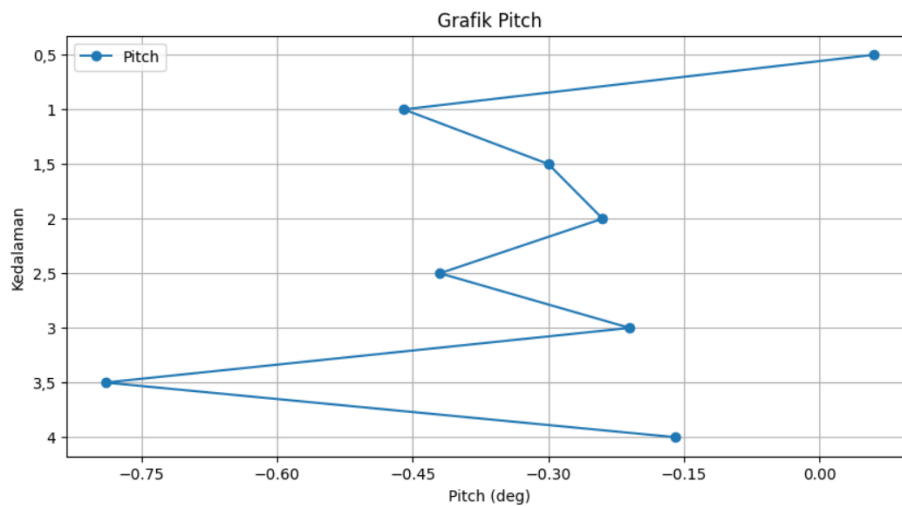
Kedalaman (m)	Roll (°)	Pitch (°)	Yaw (°)
4	-0.16	0.41	34.62
3.5	-0.79	-0.35	37.06

3	-0.21	0.34	20.12
2.5	-0.42	-0.27	0.26
2	-0.24	-0.12	-6.95
1.5	-0.3	-0.37	-11.45
1	-0.46	-0.24	5.62
0.5	0.06	0.96	115.96



Struktur miring ke kanan dengan kemiringan roll sebesar 0.04 derajat

Gambar 5. 15 Grafik dan hasil analisa pengujian pertama terhadap sumbu X⁰⁰ (Roll)



Struktur miring ke belakang dengan kemiringan pitch sebesar 0.32 derajat

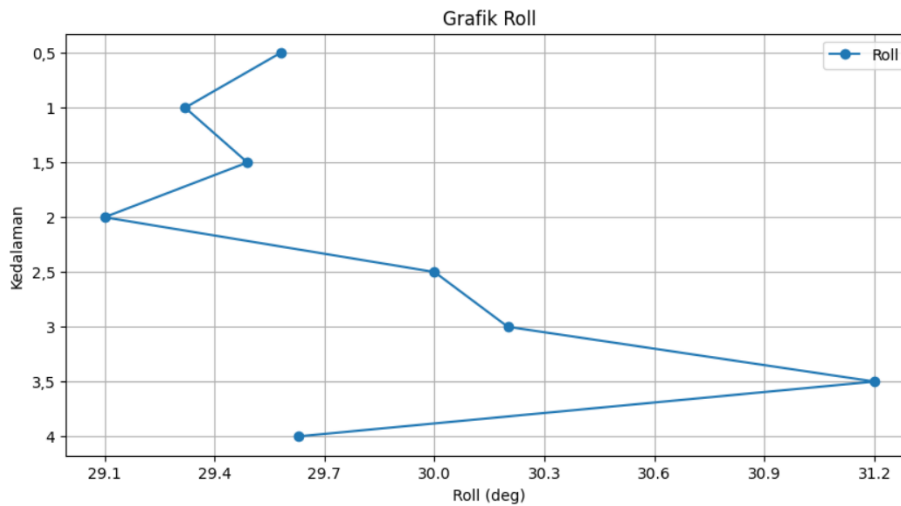
Gambar 5. 16 Grafik dan hasil analisa pengujian pertama terhadap sumbu Y⁰⁰ (Pitch)

Pengujian dilakukan dari loteng rumah yang memiliki ketinggian 3.5 meter seperti yang terlihat pada Gambar 5.14. Untuk hasil pengujian pertama ini, hasil pengukuran dapat dilihat pada Gambar 5.15 untuk Sumbu X dan Gambar 5.16 untuk Sumbu Y. Pada pengujian pertama ini, kami

menggunakan nilai acuan kemiringan untuk Sumbu X 0^0 dan Sumbu Y 0^0 , sedangkan hasil analisa dari pengukuran didapatkan untuk Sumbu X 0.04^0 dan Sumbu Y -0.32^0 berdasarkan data yang terdapat di Tabel 5.4, hal tersebut berarti bahwa perbedaan antara hasil pengukuran dan nilai acuan tidak melebihi batas nilai error yang ditentukan yaitu $\pm 2^0$ dan hasil analisa arah kemiringan yang didapatkan juga sama dengan arah acuan kemiringan yang digunakan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengujian pertama berhasil.

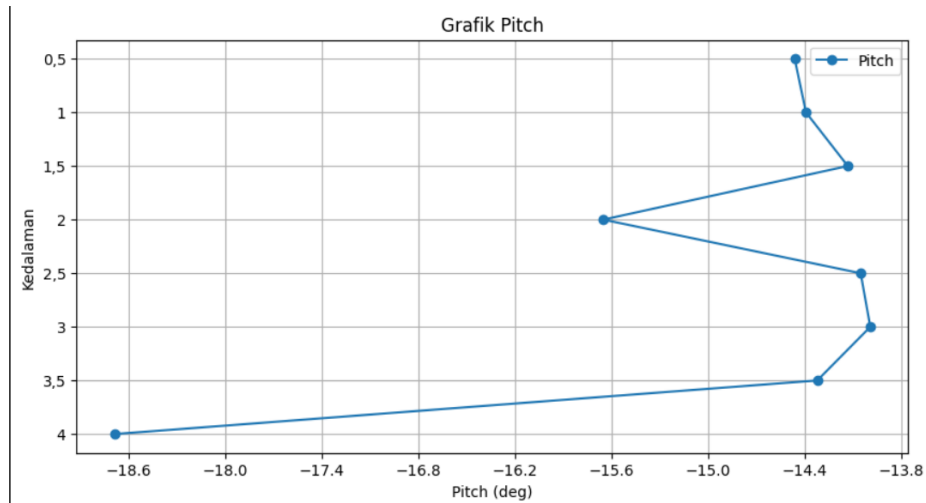
Tabel 5. 5 Hasil pengambilan data pengujian dengan acuan sumbu X 30^0 & sumbu Y -15^0

Kedalaman (m)	Roll (0)	Pitch (0)	Yaw (0)
4	29.63	-18.69	103.84
3.5	31.2	-14.32	74.47
3	30.2	-13.99	-158.13
2.5	30	-14.05	-13.03
2	29.1	-15.65	139.55
1.5	29.49	-14.13	-27.79
1	29.32	-14.39	-6.32
0.5	29.58	-14.46	-54.3



Struktur miring ke kanan dengan kemiringan roll sebesar 29.82 derajat

Gambar 5. 17 Grafik dan hasil analisa pengujian kedua terhadap sumbu X 30^0 (Roll)



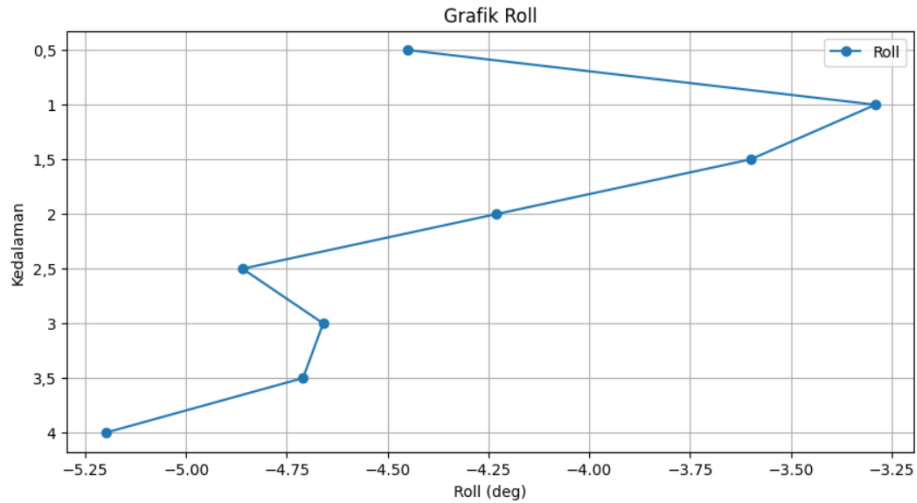
Struktur miring ke belakang dengan kemiringan pitch sebesar 14.96 derajat

Gambar 5. 18 Grafik dan hasil analisa pengujian kedua terhadap sumbu Y -15° (Pitch)

Hasil grafik dan analisa dari pengujian kedua yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 5.17 untuk Sumbu X dan Gambar 5.18 untuk Sumbu Y. Pada pengujian kedua ini, dilakukan dengan acuan nilai kemiringan untuk Sumbu X yaitu 30° dan Sumbu Y -15° , sedangkan dari hasil analisa didapatkan untuk Sumbu X 29.82° dan Sumbu Y -14.96° berdasarkan data yang terdapat pada Tabel 5.5. Dari hasil tersebut disimpulkan bahwa pengujian berhasil karena telah memuhi kriteria pengujian yang dimana selisih antara nilai acuan dan hasil pengukuran tidak melebihi $\pm 2^{\circ}$ dan hasil analisa memiliki arah yang sama dengan arah acuan pengujian.

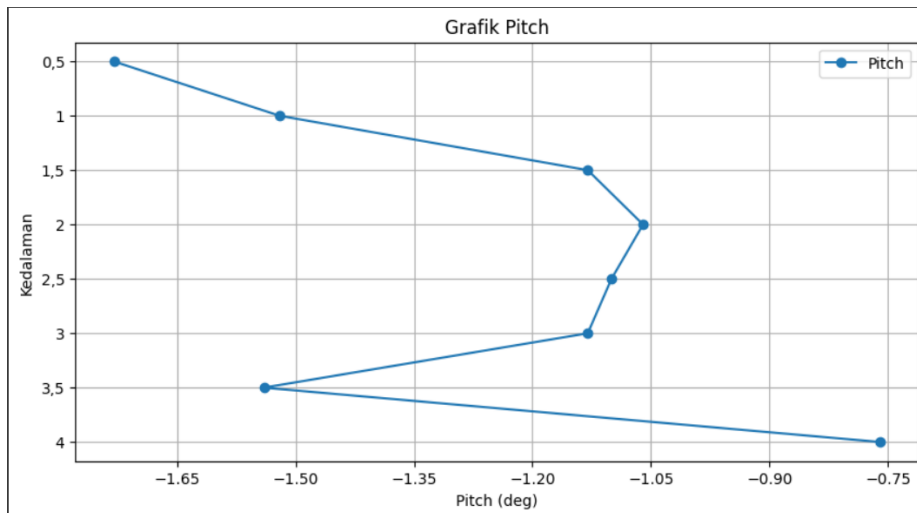
Tabel 5. 6 Hasil pengambilan data pengujian dengan acuan sumbu X -5° & sumbu Y -2°

Kedalaman (m)	Roll ($^{\circ}$)	Pitch ($^{\circ}$)	Yaw ($^{\circ}$)
4	-5.2	-0.76	-47.55
3.5	-4.71	-1.54	-95.29
3	-4.66	-1.13	-131.72
2.5	-4.86	-1.1	-109.31
2	-4.23	-1.06	-68.57
1.5	-3.6	-1.13	-67.52
1	-3.29	-1.52	-93.58
0.5	-4.45	-1.73	-117.89



Struktur miring ke kiri dengan kemiringan roll sebesar 4.38 derajat

Gambar 5. 19 Grafik dan hasil analisa pengujian ketiga terhadap sumbu X -5^0 (Roll)



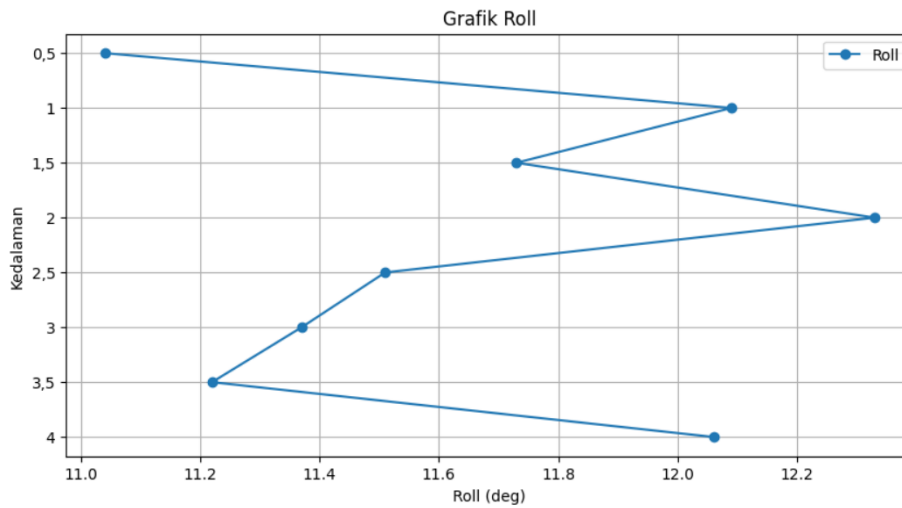
Struktur miring ke belakang dengan kemiringan pitch sebesar 1.25 derajat

Gambar 5. 20 Grafik dan hasil analisa pengujian ketiga terhadap sumbu Y -2^0 (Pitch)

Gambar 5.19 dan Gambar 5.20 menunjukkan grafik dan analisa hasil pengujian ketiga dengan acuan kemiringan Sumbu X 5^0 dan Sumbu Y -2^0 . Hasil yang didapatkan untuk Sumbu X 4.38^0 dan Sumbu Y -1.25^0 berdasarkan data yang ada pada Tabel 5.6. Hasil yang didapatkan tersebut telah memenuhi kriteria pengujian parameter yang dimana nilai error yang digunakan yaitu $\pm 0-2^0$. Dari hasil analisa arah kemiringan struktur yang diukur juga memiliki arah yang sama dengan arah pipa kemiringan pipa yang diukur. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengujian ketiga ini berhasil karena memenuhi kriteria pengujian yang telah ditetapkan diawal.

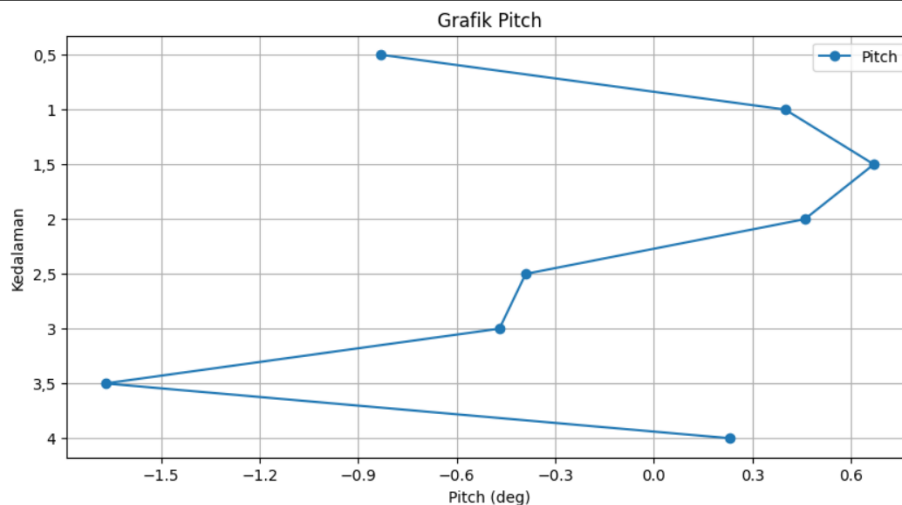
Tabel 5. 7 Hasil pengambilan data pengujian dengan acuan sumbu X 12^0 & sumbu Y -1^0

Kedalaman (m)	Roll ($^{\circ}$)	Pitch ($^{\circ}$)	Yaw ($^{\circ}$)
4	12.06	-0.23	-79.6
3.5	11.22	-1.67	-94.04
3	11.37	-0.47	-98.79
2.5	11.51	-0.39	126.92
2	12.33	-0.46	125.92
1.5	11.73	-0.67	124.72
1	12.09	-0.4	121.33
0.5	11.04	-0.83	98.40



Struktur miring ke kanan dengan kemiringan roll sebesar 11.67 derajat

Gambar 5. 21 Grafik dan hasil analisa pengujian keempat terhadap sumbu X 12° (Roll)



Struktur miring ke belakang dengan kemiringan pitch sebesar 0.20 derajat

Gambar 5. 22 Grafik dan hasil analisa pengujian keempat terhadap sumbu Y -1° (Pitch)

Gambar 5.21 dan Gambar 5.22 merupakan grafik dan hasil analisa yang didapatkan dari

pengujian keempat dengan acuan kemiringan Sumbu X 12^0 dan Sumbu Y -1^0 . Dapat dilihat bahwa antara tiap interval pengukuran memiliki nilai error $\pm 1^0$. Sedangkan untuk hasil analisa pada Sumbu X didapatkan 11.67^0 dan Sumbu Y -0.2^0 yang berdasar kepada data pengukuran pada Tabel 5.7, hasil analisa tersebut dapat disimpulkan bahwa pengujian alat tersebut memenuhi kriteria pengujian yang dimana nilai error yang dapat ditolerir yaitu sekitar $\pm 0-2^0$ dan hasil tersebut sesuai dengan nilai nyata kemiringan pipa yaitu 12^0 untuk sumbu X dan -1^0 untuk Sumbu Y.

5.1.2 Pemenuhan Spesifikasi Sistem

Pemenuhan spesifikasi sistem antara perancangan dan merealisasikan sistem hampir terpenuhi seluruhnya. Terdapat beberapa spesifikasi sistem yang berbeda antara usulan dan realisasinya, serta juga terdapat penambahan spesifikasi sistem yang awalnya tidak diusulkan yang terdapat pada Tabel 5.9. Beberapa spesifikasi yang sesuai dengan usulan yaitu berat *probe*, tegangan kerja sensor, dan material terminal.

Tabel 5. 8 Perbandingan usulan dan hasil perancangan lain

No	Spesifikasi	Usulan	Realisasi
1	Dimensi <i>Probe</i> (panjang x lebar)	2 x 90 cm	2 x 83 cm
2	Berat <i>Probe</i> (gram)	± 2 kg	± 2 kg
3	Tegangan Kerja Sensor	3.3 V	3.3 V
4	Kabel Penghubung <i>Probe</i> & Terminal	10-15 m	20 m
5	Material Terminal	Besi dan Plastik	Besi dan Plastik
6	Protokol <i>Interface</i> Komunikasi	Bluetooth	Bluetooth
7	Jenis <i>Interface</i> Komunikasi	Android	Android
8	Kapasitas <i>Interface</i> Komunikasi	8GB ROM	128 ROM
9	Komunikasi <i>Probe</i> & Terminal	-	Moodbus RS485

Spesifikasi yang tidak sesuai antara usulan dan realisasi terletak pada dimensi *probe*, kabel penghubung *probe* dan terminal, kapasitas *interface* komunikasi, dan komunikasi antara *probe* dan terminal. Untuk ketidaksesuaian dimensi *probe* dikarenakan panjang stainless yang terdapat di online shop rata-rata memiliki ukuran 70 cm dan 1 meter, sehingga tim memilih untuk menggunakan stainless dengan ukuran 70 cm yang nantinya ditambah dengan besi lainnya untuk penempatan mikrokontroler dan sensor pada *probe* sekitar 10 cm. Untuk kabel penghubung *probe* dan terminal, alasan tidak sesuai juga dikarenakan produk yang dijual pada online shop

kebanyakan memiliki panjang 20 meter sehingga tim memutuskan untuk membeli kabel dengan panjang 20 meter tersebut. Untuk kapasitas *interface* komunikasi atau kapasitas android yang digunakan, ketidaksesuaian ini dikarenakan pada awalnya tim memperkirakan untuk android dengan penyimpanan 8GB ROM sudah cukup untuk *interface* sistem ini, namun dikarenakan tim memiliki android dengan penyimpanan 128GB ROM, maka tim memutuskan untuk menggunakan kapasitas tersebut. Dan terakhir komunikasi antara *probe* dan terminal, usulan awal tidak terdapat komunikasi tambahan yang digunakan antara *probe* dan terminal, namun setelah direalisasikan, tanpa komunikasi tambahan data dari *probe* tidak dapat terkirim ke terminal karena komunikasi I2C antara sensor dan terminal tidak dapat berjalan sempurna dengan jarak lebih dari 1 meter, sehingga dibutuhkan komunikasi tambahan agar data dari *probe* dapat terkirim dan diterima dengan sempurna oleh terminal.

5.1.3 Pengalaman Pengguna (Anggota Tim Tugas Akhir Y1)

Pengguna dalam implementasi sistem dilakukan oleh tim, karena untuk implementasi sistem yang dirancang diperlukan melakukan pengujian pada wilayah proyek pembangunan, sehingga untuk mempermudah implementasi sistem, maka pengujian alat dilakukan oleh tim sendiri namun tetap mengikuti tata cara implementasi yang sesuai dengan ketentuan yang ada. Dari implementasi sistem yang telah dilakukan, terdapat beberapa fitur maupun komponen yang menjadi perhatian penting. Fitur maupun komponen tersebut memiliki peluang untuk mengalami perbaikan dan terdapat beberapa fitur maupun komponen yang dipertahankan yang sudah dituliskan pada Tabel 5.10.

Tabel 5. 9 Pengalaman pengguna

No	Fitur/Komponen	Capaian	Aksi/Perbaikan
1	Sensitivitas Sensor	Dapat mendeteksi perubahan kemiringan yang sangat kecil	Dipertahankan
2	Aplikasi	Aplikasi sudah lengkap dengan beberapa fitur yang ada di dalamnya	Dipertahankan
3	Komunikasi	Pengiriman data dari sistem, <i>interface</i> , dan database berjalan dengan baik	Dipertahankan
4	Fleksibilitas <i>Probe</i>	<i>Probe</i> tidak bisa dilepas dari kabel, tidak terdapat port untuk melepaskan <i>probe</i> dari rangkaian kabel	Penambahan port di dalam <i>probe</i> agar <i>probe</i> dapat dilepas dari rangkaian kabel
5	Casing	Penggunaan pipa PVC sudah	Penggunaan casing khusus

No	Fitur/Komponen	Capaian	Aksi/Perbaikan
	<i>Inclinometer</i>	cukup cocok digunakan dalam penggunaan alat	<i>inclinometer</i> dalam penggunaan alat
6	Kapasitas Baterai	Baterai dengan kapasitas 3000mAh sudah cukup untuk penggunaan alat untuk jangka waktu pendek	Perbesar kapasitas baterai agar tidak harus melakukan pengisian baterai terlalu sering karena harus melepaskan baterai terlebih dahulu dari dalam terminal
7	Pengisian Ulang Baterai	Pengisian dilakukan secara manual dengan cara melepaskan baterai terlebih dahulu dari dalam terminal	Menambahkan modul <i>charger</i> untuk mempermudah pengisian baterai

Fitur yang menjadi perhatian penting yaitu *probe* yang tidak bisa dilepas dari rangkaian kabel, sehingga ketika ingin dibawa harus bersamaan dengan terminal atau gulungan kabelnya. Sehingga diperlukan sebuah port pada *probe* agar *probe* bisa dilepas dari kabel agar *probe* tidak harus dibawa ketika ingin membawa gulungan kabelnya, begitupun sebaliknya. Fitur lainnya yaitu pipa casing *inclinometer*. Pada umumnya casing *inclinometer* merupakan casing yang dirancang khusus untuk penggunaan *inclinometer*, namun untuk saat ini penggunaan *inclinometer* masih dilakukan menggunakan pipa PVC. Sehingga untuk kedepannya diharapkan untuk menggunakan casing *inclinometer* khusus untuk penggunaannya.

5.1.4 Kesesuaian Perencanaan dalam Manajemen Tim dan Realisasinya

Pada pengerjaan Tugas Akhir 2 ini, kesesuaian dalam perencanaan dan realisasi menjadi salah satu hal yang penting seperti yang terdapat pada Tabel 5.11. Kesesuaian antara perencanaan dan realisasi juga mengalami kemunduran yang diakibatkan oleh pelaksanaan KKN yang menjadi kewajiban untuk diikuti. Dengan adanya kemunduran waktu tersebut, mengakibatkan untuk proses selanjutnya juga mengalami perubahan waktu pengerjaan.

Tabel 5. 10 Kesesuaian antara usulan dan realisasi *timeline* pengerjaan tugas akhir 2

No	Kegiatan	Usulan waktu	Realisasi Pelaksanaan
1	Pembelian alat dan bahan	Januari - Februari	Februari - Mei
2	Perancangan sistem sesuai dengan usulan	Februari - Mei	April - Juni
3	Testing dan Validasi	Mei	Juni
4	Expo dan pengumpulan laporan akhir	Juni	Juli

Kesesuaian RAB Tugas Akhir 2 antara usulan dan realisasi juga menjadi aspek penting. RAB realisasi memiliki perbedaan yang cukup banyak dengan usulan yang terdapat pada Tabel

5.12, hal itu dikarenakan adanya penambahan beberapa komponen yang tidak diusulkan pada awalnya untuk digunakan. Perbedaan lainnya terletak pada harga komponen pada saat realisasi.

Tabel 5. 11 Kesesuaian RAB Tugas Akhir antara usulan dan realisasi

No	Jenis Pengeluaran	Usulan Biaya		Realisasi Biaya		Keterangan
		Kuantitas	Total Harga	Kuantitas	Total Harga	
1	Stainless SS 316	1 Meter	Rp 300.000,00	0,7 Meter	Rp 160.000,00	Beli sendiri
2	Modul Sensor MPU-6050	1 pc	Rp 100.000,00	1 pc	Rp 78.000,00	Beli sendiri
3	Arduino Uno	1 pc	-	1 pc	-	Sudah Punya
4	Baterai	1 pc	Rp 250.000,00	2 pc	Rp 50.000,00	Beli sendiri
5	Cable Roll	1 pc	Rp 160.000,00	1 pc	Rp 50.000,00	Beli sendiri
6	Kabel	1 set	Rp 50.000,00	20 meter	Rp 95.000,00	Beli sendiri
7	Arduino Nano	-	-	1 pc	Rp 70.000,00	Beli sendiri
8	MAX485	-	-	2 pc	Rp 12.000,00	Beli sendiri
9	Akrilik	-	-	6 keping	Rp 29.500,00	Beli sendiri
10	Cetak PCB	-	-	2 desain	Rp 160.000,00	Beli sendiri
11	Pembuatan <i>Probe</i>	-	-	1 pc	Rp 350.000,00	Bengkel Bubut
12	Pembelian Button & Baterai Level Indikator	-	-	2 pc	Rp	Beli sendiri
	Total	-	Rp 860.000,00	-	Rp 1.054.500,00	-

Tabel 5.13 dibawah ini dapat menjelaskan terkait realisasi aktivitas pelaksanaan Tugas Akhir. Aktivitas yang dilakukan dalam pelaksanaan Tugas Akhir 2 ini dimulai dari perancangan hingga penulisan laporan Tugas Akhir.

Tabel 5. 12 Realisasi aktivitas pelaksanaan tugas akhir 2

No	Hari, Tanggal, Durasi (jam atau hari)	Aktivitas	Pelaksana
1	27 April 2024, 3,5 jam	Perancangan sistem sesuai usulan	Rafiq & Yuda
2	29 – 30 April 2024, 2 hari	Membuat program kalibrasi & utama	Rafiq
3	5 – 20 Mei 2024, 14 hari	Pembuatan <i>Probe</i>	Rafiq & Yuda
4	5 – 15 Mei 2024, 10 hari	Desain & perancangan ulang sistem	Rafiq & Yuda
5	12 Mei – 5 Juni, 7 hari	Perancangan <i>software</i>	Rafiq & Yuda
6	15 – 27 Mei 2024, 6 hari	Pengkoneksian <i>software</i> dan hardware	Rafiq & Yuda
7	25 Mei – 5 Juni 2024, 10 hari	Pembuatan casing komponen terminal	Yuda
8	25 Mei – 3 Juni 2024, 7 hari	Desain & cetak PCB	Rafiq
9	8 Juni 2024, 5-6 jam	Perakitan keseluruhan sistem	Rafiq & Yuda
10	15 – 20 Juni 2024, 5 hari	Kalibrasi ulang & testing	Rafiq & Yuda
11	27 – 28 Juni 2024, 3 hari	Pengujian alat (validasi)	Rafiq & Yuda
12	30 Juni – 5 Juli 2024, 5 hari	Penyusunan laporan akhir	Rafiq & Yuda

5.2 Dampak Implementasi Sistem

Dari perancangan sistem *inclinometer* ini, terdapat beberapa dampak implementasi sistem yang terdiri dari aspek ekonomi, teknologi, lingkungan, sosial, keamanan, *manufacturability*, *sustainability*, dan *inspectability*.

Aspek pertama yaitu aspek ekonomi, memiliki dampak pada penggunaan *inclinometer* sederhana dengan biaya yang rendah yang membantu dalam menghemat biaya anggaran, serta memungkinkan alokasi dana untuk keperluan lain.

Aspek kedua yaitu teknologi, dalam aspek ini menjadi sebuah pembelajaran teknologi seperti penggunaan sensor MPU-6050 dan komunikasi I2C yang berfungsi sebagai usaha dalam peningkatan keterampilan teknis dan pemahaman teknologi serta dapat mendorong inovasi dalam penggunaan komponen elektronik sederhana untuk aplikasi praktis.

Aspek berikutnya yaitu terhadap lingkungan. Dalam aspek ini memiliki dampak terhadap pengurangan limbah elektronik. Penggunaan komponen yang terjangkau dan mudah didapat, dapat memanfaatkan daur ulang karena alat dirancang untuk penggunaan jangka waktu panjang sehingga mengurangi peluang komponen rusak guna mengurangi limbah elektronik.

Aspek selanjutnya yaitu dalam bidang sosial. Aspek ini berfokus pada aksesibilitas, yang bermakna bahwa dengan adanya *inclinometer* dengan biaya rendah menghasilkan teknologi pengukuran kemiringan lebih terjangkau bagi masyarakat luas, termasuk bagi pendidikan dan

penelitian.

Aspek selanjutnya yaitu keamanan. Aspek ini berfokus pada keselamatan dalam bekerja. Dengan adanya alat ini yang bisa dijadikan untuk memonitor kemiringan suatu struktur, yang dapat mencegah terjadinya kecelakaan akibat struktur yang tidak stabil.

Aspek selanjutnya yaitu *manufacturability*. Maksud dari aspek ini adalah jika ingin melakukan produksi massal, sangat mudah. Karena komponen yang digunakan tersedia luas dan dapat dirakit dengan metode sederhana sehingga memudahkan jika ingin dilakukan produksi massal.

Aspek selanjutnya adalah *sustainability*. Aspek ini berfokus pada daya tahan sistem. Dikarenakan sistem dirancang menggunakan komponen elektronik yang standar dan tahan lama yang bisa meningkatkan keberlanjutan dari alat ini.

Aspek yang terakhir yaitu *inspectability*. Pada aspek ini berfokus pada inspeksi yang mudah. Hal itu diartikan sebagai desain yang sederhana sehingga memudahkan proses inspeksi dan perawatan alat. Hal lainnya yaitu dengan penggunaan komunikasi bluetooth sehingga untuk melakukan pemantauan tidak harus berada di sekitar alat.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Low Cost Smart Inclinometer Geotechnical yang dibuat memiliki beberapa perbedaan spesifikasi dari yang diusulkan, termasuk dimensi probe, panjang kabel komunikasi, kapasitas android, dan komunikasi serial tambahan antara probe dan terminal. Perbedaan ini disebabkan oleh keterbatasan alat dan bahan yang tersedia di toko online, serta batasan jarak komunikasi I2C yang hanya efektif hingga 1 meter. Oleh karena itu, diperlukan komunikasi serial tambahan dan penambahan mikrokontroler Arduino Nano pada probe untuk mendukung komunikasi serial.

Meskipun terdapat perbedaan ini, tujuan proyek telah terpenuhi. *Inclinometer* yang dirancang memiliki biaya sekitar 1.054.500, lebih murah dari yang ada di pasaran, dan memenuhi standar industri konstruksi dengan akurasi tinggi, daya tahan, serta kemudahan penggunaan. Alat ini juga kompatibel dengan perangkat lunak. Prototipe berhasil direalisasikan meskipun ada beberapa perbedaan dari desain awal, namun perbedaan tersebut tidak mempengaruhi fungsi dan kegunaan alat.

Pengujian prototipe dilakukan dengan membandingkannya dengan aplikasi waterpass "Laser Level" dan *inclinometer digital* sebagai alat ukur pembanding. Hasil pengujian memiliki rata-rata nilai eror 1.28% untuk sumbu X dan 1.55% untuk sumbu Y . Prototipe ini memiliki akurasi tinggi dengan deviasi minimal dan responsif terhadap perubahan sudut kecil. Dengan hasil pengujian yang tidak melewati batas nilai error yang ditentukan, prototipe telah memenuhi standar akurasi yang diharapkan dalam industri konstruksi.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil dari pelaksanaan Tugas Akhir 2 yang dilakukan, terdapat beberapa saran dan faktor yang bisa menjadi acuan sebagai pertimbangan yang dapat memperbaiki kinerja sistem:

1. Pengiriman Hasil Analisa Langsung ke Aplikasi

Salah satu kekurangan utama dari alat yang dibuat ini yaitu hasil analisa yang belum bisa dikirim langsung ke aplikasi, sehingga analisa harus dilakukan di waktu yang berbeda dengan waktu pengukuran. Saran dari faktor ini yaitu meningkatkan integrasi langsung dengan aplikasi mobile yang dapat memungkinkan analisa real time dan memudahkan pengguna ketika memantau hasil pengukuran secara langsung.

2. Desain *Probe* yang Dapat Dilepas Pasang

Desain *probe* yang diimplementasikan saat ini tidak bisa dilepas pasang dari kabel sehingga harus selalu tersambung dengan terminal. Untuk meningkatkan fleksibilitas penggunaan maka diharapkan desain *probe* yang bisa dilepas pasang guna mempermudah perawatan dan penyimpanan alat. Untuk saran tersebut bisa diterapkan penggunaan konektor yang kuat dan tahan air untuk menghubungkan *probe* dan terminal.

3. *Probe* yang Tahan Air

Desain *probe* saat ini masih memiliki rongga sehingga memungkinkan komponen di dalam *probe* bisa rusak ketika digunakan pada tanah yang terdapat air di kedalamannya. Pengembangan selanjutnya bisa mendesain *probe* yang kedap air yang tidak bisa merusak komponen di dalam *probe*. Untuk saran tersebut bisa mendesain *probe* yang benar-benar tertutup 100% untuk menutup kemungkinan air bisa masuk.

4. Penambahan Modul Charger

Saat ini untuk pengisian ulang baterai masih dengan cara membuka terminal dan mengeluarkan baterai secara manual sehingga sedikit membuat rumit ketika ingin melakukan pengisian ulang. Dengan penambahan modul charger pada terminal, dapat membuat pengisian ulang baterai lebih mudah dan praktis.

5. Pengembangan Algoritma Pengolahan Data

Dengan adanya usaha pengembangan algoritma pengolahan data berkelanjutan yang lebih canggih diharapkan dapat meningkatkan akurasi dan kecepatan analisa data.

6. Peningkatan Daya Tahan Baterai

Upaya penambahan kapasitas baterai dan mengoptimalkan penggunaan energi berguna untuk memperpanjang masa pakai baterai sehingga nantinya alat bisa digunakan untuk jangka waktu yang panjang tanpa perlu sering mengganti atau mengisi ulang baterai.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Biro Komunikasi Publik Kementerian PUPR, “Kompetisi Ketat Warnai Era Baru Sektor Jasa Konstruksi”, November. 30, 2012, *accessed on* : Sep. 22, 2023. [Online]. Available : <https://pu.go.id/berita/kompetisi-ketat-warnai-era-baru-sektor-jasa-konstruksi>
- [2] Proxis The Corporation of Knowledge and Ideas, “Mengenal Perkembangan Industri Konstruksi di Indonesia : Tren, Tantangan, dan Peluang, Juli. 12,2023, *accessed on* : Sep. 22, 2023. [Online]. Available: <https://proxisgroup.com/konstruksi/mengenal-perkembangan-industri-konstruksi-di-indonesia-tren-tantangan-dan-peluang/>
- [3] Institut Teknologi Sepuluh Nopember, “ITS Luncurkan Inclinometer, Alat Pengukur Kemiringan Tanah untuk Industri”, Nov. 15, 2021, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi *accessed on* : Sep. 23, 2023. [Online]. Available : <https://dikti.kemdikbud.go.id/uncategorized/its-luncurkan-inclinometer-alat-pengukur-kemiringan-tanah-untuk-industri/#:~:text=Inclinometer%20merupakan%20teknologi%20yang%20digunakan%20untuk%20menganalisa%20dan%20menghitung%20kemiringan%20tanah.>
- [4] L. A. P. Franz, “A Low-Cost Inclinometer with Data Acquisition Library Developed in Python, for In-Situ Displacement Measurement”, Universidad Privada del Valle, Cochabamba, Bolivia, 2022. [Online]. Available : https://www.researchgate.net/publication/365692758_A_Low-Cost_Inclinometer_with_Data_Acquisition_Library_Developed_in_Phyton_for_In-Situ_Displacement_Measurements
- [5] A. Paolo, G. Danilo, G. Daniele, G. Diego, L. Giorgio, “Advances on Measuring Deep-Seated Ground Deformations Using Robotized Inclinometer Systems”, *Sensors*, vol.20(13), pp. 18-19, Jul. 5 2020, Italian National Research Council, Research Institute for Hydrogeological Prevention and Protection, Geohazard Monitoring Group Strada delle Cacce, Torino, Italy. *accessed on* : Oct. 11 2023, doi : <https://doi.org/10.3390/s20133769>

[6] G. Moritz, S. John, T. Kurosch, “Internet of Things Geosensor Network for Cost-Effective Landslide Early Warning Systems”, *Sensors*, vol.21(18) pp. 18-19, Apr. 08 2021, Technical University of Munich, Germany. *accessed on* : Oct. 11 2023, doi : <https://doi.org/10.3390/s21082609>

LAMPIRAN – LAMPIRAN

TABEL PERBAIKAN LAPORAN AKHIR CAPSTONE

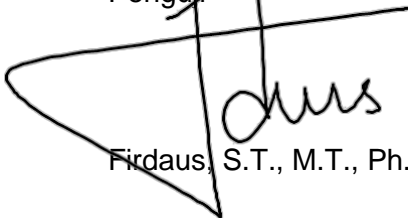
MAHASISWA #1 : 20524082 Aryuda Dicky Pratama
MAHASISWA #2 : 20524210 Rafiq Aziz Isnaw
JUDUL/TOPIK : Low Cost Smart Inclinometer

:

No	Saran penguji	Perbaikan oleh mahasiswa	Halaman	Status
1	Perlu dilakukan perbandingan dengan alat ukur yang standar	Menggunakan alat pembanding yaitu inclinometer digital yang sudah terstandarisasi dan menambahkan data dari inclinometer digital yang digunakan sebagai alat pembanding tersebut	38 – 40 50 – 51	Not started
2	Tidak ada ulasan terkait penggunaan energi	Penghapusan kalimat “hemat energi” dan pengukuran performa terkait penggunaan energi dan efisiensi energi	4, 21, 28	Not started
3	Perlu dicari regulasi atau dokumen panduan tentang pengukuran	Penambahan aspek standar keteknikan yaitu SNI dan ISO terkait pengukuran inclinometer geotechnical pada batasan realistis aspek keteknikan	5 dan 39 – 40	Not started
4	Tulis dengan lebih spesifik : inclinometer	Penambahan “Geotechnical” di setiap kalimat “Low Cost Smart Inclinometer”	1, 2, dst	Not started
5				Not started
6				Not started
7				Not started
8				Not started
9				Not started
10				Not started

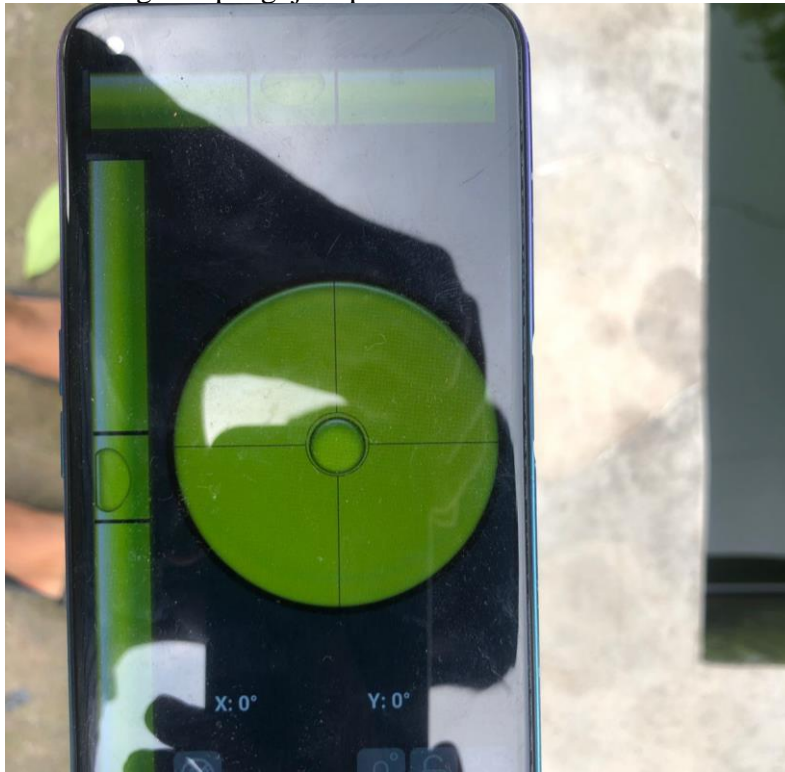
Yogyakarta, 01 Agustus 2024

Menyetujui
Penguji

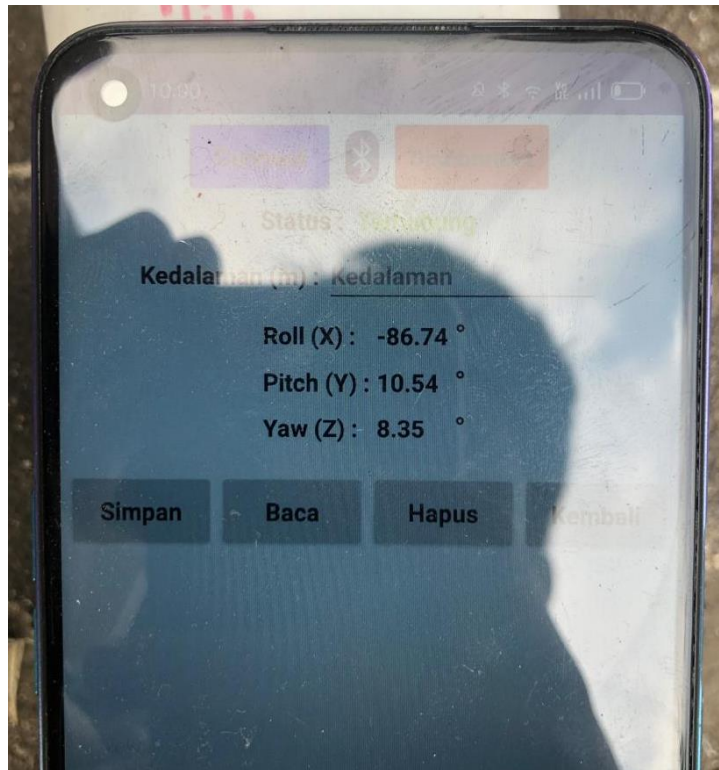


Firdaus, S.T., M.T., Ph.D.

2. Proses kalibrasi ulang dan pengujian parameter kedua

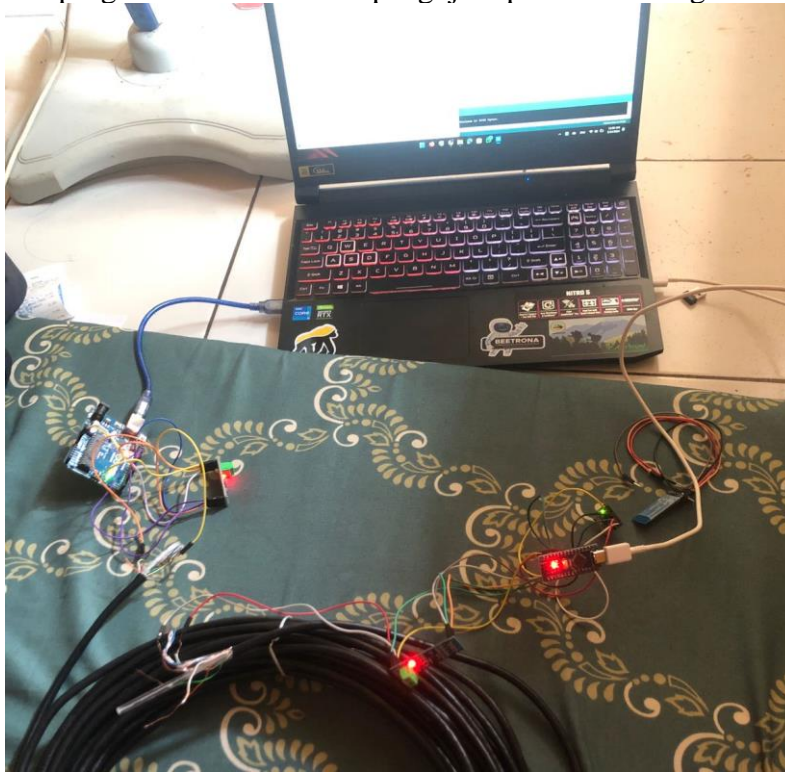




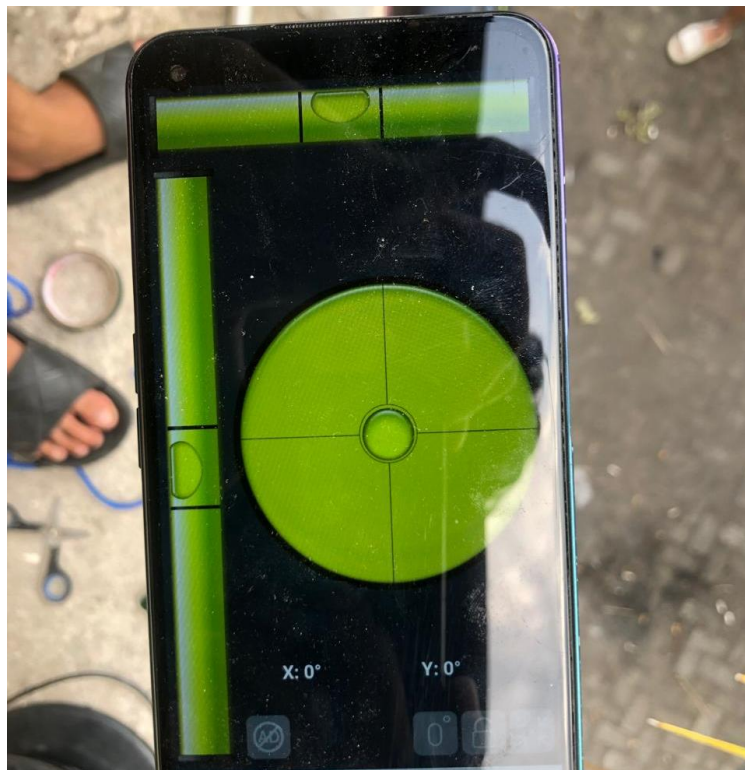


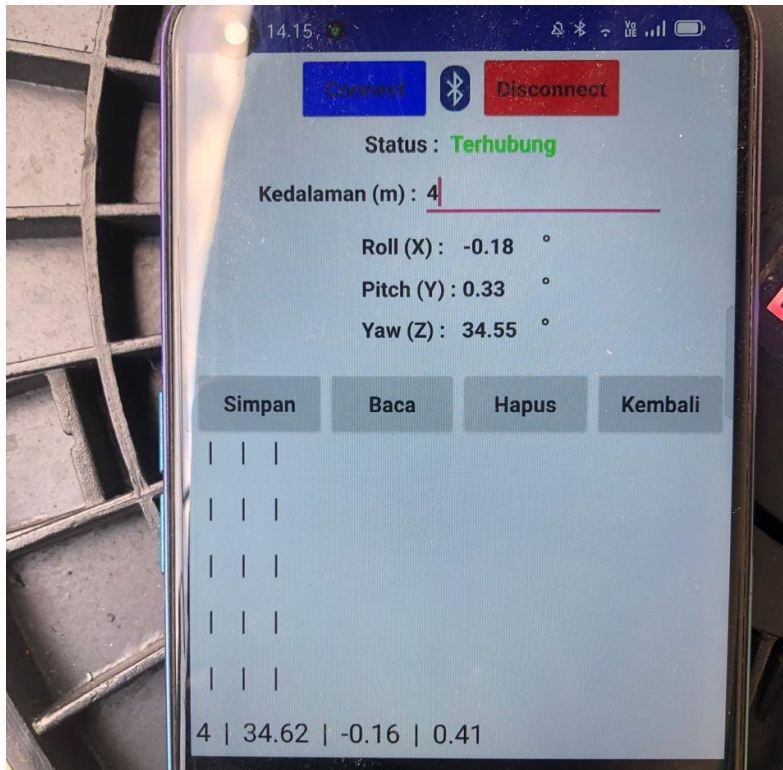


3. Proses upload program checksum atau pengujian parameter ketiga



4. Proses pengujian parameter keenam





Kegiatan	Waktu	PIC
Perancangan Sistem Elektronis	27-Apr-24	Rafiq, Yuda
Pembuatan program sistem(kalibrasi sensor)	29-30 April 2024	Rafiq
Pembuatan Probe	5-20 Mei 2024	Rafiq, Yuda
Desain Ulang Elektronis probe dan terminal	5-15 Mei 2024	Rafiq, Yuda
Perancangan Software	12 Mei – 5 Juni 2024	Rafiq, Yuda
Pengkoneksian antara hardware dan software	15-27 Mei 2024	Rafiq, Yuda
Pembuatan Casing Komponen Terminal	25 Mei – 5 Juni 2024	Yuda
Desain dan cetak PCB	25 Mei – 3 Juni 2024	Rafiq
Pengujian Alat	Juni 2024	Rafiq, Yuda
Penyusunan Laporan	Juni 2024	Rafiq, Yuda