



**Inovasi Perancangan Alat Klinometer Digital Pengukur Sudut Papi
(Precision Approach Path Indicator)
di Bandara Internasional Adisutjipto Yogyakarta**

***Innovation Design of Digital Clinometer Papi
(Precision Approach Path Indicator)
Angle Measurer Instrument at Yogyakarta Adisutjipto International Airport***

Bambang Driyono¹, Muh Nafkar Jaya²
benk.dri@gmail.com¹, muhnafkarjaya@gmail.com²

Politeknik Penerbangan Makassar

ABSTRAK

Bandara Internasional Adisucipto (JOG) memiliki wilayah airside azimuth Runway (R/W) 09 kategori PALS (Precision Approach Lighting System) (CAT) I terdapat alat navigasi penerbangan PAPI yang perlu dijaga fungsinya agar sudut kemiringan (glideslope) tetap 3°. PAPI (Precision Approach Path Indicator) adalah alat bantu visual menyediakan informasi panduan pilot dalam mempertahankan posisi pesawat dengan pendekatan yang benar di titik pendaratan (touch down point). Hasil inspeksi darat (ground inspection) menggunakan klinometer analog dilakukan oleh teknisi pada tanggal 12 November 2019 ditemukan pergeseran sudut PAPI. Keterbatasan alat ukur merupakan kendala dalam pengecekan sudut PAPI. Perancangan alat ukur sudut kemiringan PAPI sangat dibutuhkan untuk membantu pengecekan sebelum dilakukan kalibrasi (flight inspection) setiap 6 bulan. Inovasi perancangan klinometer digital menggabungkan teknologi digital sensor gyroscope dan mengadopsi dari fungsi alat ukur klinometer analog. Tujuan penelitian ini merancang alat ukur sudut kemiringan PAPI dengan tampilan digital satuan derajat. Prinsip kerja alat ini menggunakan sensor laser yang dapat mengukur titik sudut kemiringan pada jarak tertentu. Tahapan perancangan alat meliputi, pembuatan model perancangan, simulasi model, perancangan hardware dan software, uji alat, pembahasan dan kesimpulan. Metode yang digunakan desain fungsional dan struktural. Dari hasil ukur klinometer digital dan kalibrasi penerbangan (flight inspection) keempat box (A, B, C dan D) menghasilkan deviasi sudut masih dalam batas toleransi simpangan, artinya alat masih akurat. Kesimpulan bahwa alat klinometer digital lebih praktis, efisien dan akurat, sehingga alat ini dapat mendukung kegiatan pengujian inspeksi darat (groundcheck) pada PAPI di bandara Jogjakarta (JOG).

Kata kunci: klinometer digital; sensor gyroscope; laser; PAPI

ABSTRACT

Adisucipto International Airport (JOG) has an airside area azimuth Runway (R/W) 09 category PALS (Precision Approach Lighting System) (CAT) I that occurred to be a PAPI flight navigation tool that needs to be maintained so that the slope angle (glideslope) remains at 3°. PAPI (Precision Approach Path Indicator) is a visual aid device that provides pilot guidance information in maintaining the aircraft's position with the correct approach at the landing point (touch down point). The results of ground inspection using an analog clinometer conducted by technicians on November 12, 2019, found a shift in the PAPI angle. The limitations of measuring instruments are an obstacle in checking the PAPI

angle. The design of the PAPI angle measuring instrument is necessary to help to check before the calibration (flight inspection) every 6 months. The innovation of a digital clinometer design that combines with digital gyroscope sensor technology and adopts the purposes of an analog clinometer measuring device. The purpose of this research is to design a PAPI angle slope measurement tool with a digital display in degrees. The working principle of this tool uses a laser sensor that can measure the angle slope at a certain distance. Stages of tool design include model design, model simulation, hardware and software design, tool testing, analysis, and outcomes. The method uses functional and structural design. From the results of digital clinometer measurements and flight calibration (flight inspection) of the four boxes (A, B, C, and D), the angular deviation is still within the deviation tolerance limit, meaning that the instrument is still accurate. The conclusion is that a digital clinometer is more practical, efficient, and accurate so that this tool can support ground check testing activities at PAPI at Jogjakarta airport (JOG).

Keywords: digital clinometer; gyroscope sensor; laser; PAPI

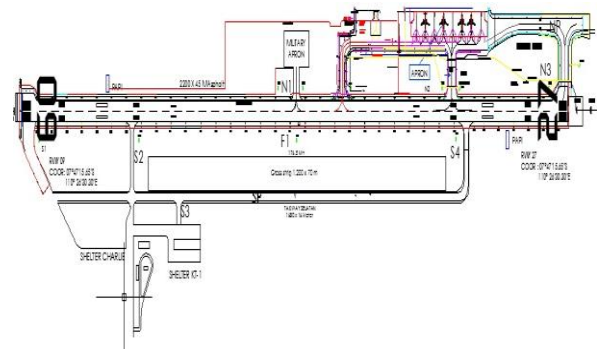
1. PENDAHULUAN

Bandara Adisutjipto adalah bandara yang terletak di kabupaten Sleman Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Bandara Adisutjipto awalnya di bangun sebagai pangkalan udara TNI Angkatan Udara. Bandara ini dulu dinamakan Maguwo, sesuai dengan nama desa tempatnya berada Maguwoharjo.

Pangkalan udara Maguwo dibangun sejak tahun 1940 lalu dipergunakan oleh Militaire Luchtvaart pada tahun 1942. PM 39 tahun 2019 pasal 1 butir (1), kebandarudaraan adalah segala sesuatu yang berkaitan dengan penyelenggaraan Bandar Udara dan kegiatan lainnya dalam melaksanakan fungsi keselamatan, keamanan, kelancaran, dan ketertiban arus lalu lintas pesawat udara, penumpang, kargo dan/atau pos, tempat perpindahan intra dan/atau antarmoda serta meningkatkan pertumbuhan ekonomi nasional dan daerah.

Bandara Adisutjipto Yogyakarta (JOG) merupakan bandara kelas I yang dikelola oleh Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak dibidang kebandarudaraan yang di kelolah oleh PT. Angkasa Pura I (Persero). Di bandara JOG memiliki fasilitas sisi udara (*Airside*) dan sisi darat (*Landside*) serta fasilitas menunjang lainnya guna menunjang kegiatan dalam memberi pelayanan dan kenyamanan bagi pengguna jasa penerbangan.

Di wilayah sisi udara bandara JOG memiliki azimuth R/W 09/27, untuk landasan pacu (*Runway*) 09 dengan kategori *PALS* (*Precision Approach Lighting System*) kategori (*CAT*) I. Sedangkan pada *runway* 27 merupakan kategori *MALS* (*Medium Approach Lighting System*), seperti dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Runway Bandara Adisutjipto
Sumber: Data Teknik Bandara Adisutjipto Yogyakarta
Tahun 2017

Pada gambar 1 diatas, *runway* terpasang sistem alat bantu pendaratan (*visual aids*) untuk PAPI (*Precision Approach Path Indicator*) ditempatkan pada setiap ujung *runway* 09 dan 27. Sistem PAPI yang dipasang pada setiap ujung *runway* memiliki masing-masing 2 (dua) buah sirkuit instalasi kelistrikan. PAPI adalah alat bantu visual yang menyediakan informasi panduan untuk membantu pilot dalam mempertahankan posisi pesawat dengan pendekatan yang benar (dalam dimensi vertikal) di titik pendaratan (*touch down point*) pada *runway*. Peraturan yang mengatur melalui KP nomor 2 tahun 2013 tentang kriteria penempatan peralatan dan dan fasilitas bandar udara dan KP nomor 608 tahun 2015 tentang pedoman teknis operasional peraturan keselamatan penerbangan sipil bagian 139-27 prosedur pemeliharaan alat bantu pendaratan visual.

PAPI sebagai rambu penerangan yang memancarkan cahaya untuk memberi informasi pememanduan pilot menuju titik pendaratan daerah *touch down*. Jumlah yang lebih besar dari lampu

merah terlihat dibandingkan dengan jumlah lampu putih terlihat oleh pilot berarti bahwa pesawat sedang terbang di bawah sudut kemiringan (*glideslope*) PAPI. Untuk menggunakan informasi panduan yang disediakan oleh bantuan untuk mengikuti *glideslope* yang benar pilot akan manuver pesawat untuk mendapatkan jumlah yang sama dari lampu merah dan putih. Menurut KP 85 TAHUN 2014, tentang petunjuk dan tata cara penyelenggaraan kalibrasi fasilitas dan prosedur penerbangan (AC 171-5), bahwa dalam upaya menjamin fasilitas navigasi penerbangan tetap layak beroperasi dilakukan pengkalibrasian secara berkala, sehingga perlu dilakukan penyesuaian masa periode kalibrasi fasilitas penerbangan.

Pada lampiran bagian 105.4 *Chek point* penerima Rho-Theta (*Rho-Theta Receiver*), pada huruf b diubah sehingga keseluruhannya dititik beratkan pada poin 1 berbunyi “Menjadwalkan inspeksi kondisi khusus untuk menyelesaikan cek poin yang belum di inspeksi pada fasilitas yang sudah siap untuk di inspeksi” atau disebut *ground inspection* adalah merupakan pengujian darat yaitu pengujian dan peneraan yang dilakukan didarat terhadap peralatan fasilitas elektronika dan listrik penerbangan yang digunakan untuk pelayanan lalu lintas penerbangan.

Pada inspeksi darat (*ground inspection*) yang dilakukan oleh teknisi pada tanggal 12 November 2019 telah ditemukan hasil ukur pergeseran sudut dengan menggunakan alat clinometer dalam pengecekan kemiringan pada masing-masing box PAPI di *runway* 09 dengan hasil seperti pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Clinometer Digital

Box PAPI R/W 09	Clinometer	Deviasi
Box A	2.44 ⁰	0.56°
Box B	2.77 ⁰	0.23°
Box C	3.25 ⁰	-0.25°
Box D	3.60 ⁰	-0.60°

Sesuai KP nomor 2 tahun 2013 pasal 3 point A.2.2.7-2.2.9, perhitungan sudut kemiringan (*approach slope angle*) sebesar 3° dari landasan datar. Mengacu pada dasar aturan tersebut, maka kondisi ke 3 box terdapat selisih sudut kemiringan. Hasil ukur ini jika tidak segera diperbaiki, maka akan dapat mempengaruhi panduan visual pilot saat pesawat akan mendekat pada *runway* untuk mendarat terjadi tidak tepat pada daerah *touch down*.

Perubahan sudut PAPI bisa terjadi lagi sebelum jadwal inspeksi yang telah ditentukan, yaitu 6 bulan sesuai ketentuan pada peraturan Direktur Jenderal Perhubungan Udara nomor SKEP/116/VII/2010 tentang petunjuk dan tata cara penyelenggara kalibrasi fasilitas dan prosedur navigasi penerbangan yang dilakukan oleh tim fasilitas uji peralatan Direktorat Bandar Udara (DBU). Beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya pergeseran pada sudut kemiringan box PAPI antara lain seperti cuaca dan getaran ban pesawat pada *runway* saat melakukan *take off landing*. Cuaca panas dan hujan dapat mengikis tanah, apalagi jika drainase di tepi *runway* kurang bagus pembuangan airnya, kondisi ini mempercepat terjadi penurunan tanah, sehingga kedudukan PAPI tidak rata dari titik referensi sesuai garis tengah (*centerline*) pada ambang batas landasan pacu (*runway threshold*). Teknisi bandara JOG harus senantiasa melakukan perawatan berkala untuk pencegahan (*preventif maintenance*) minimal dalam 1 bulan sekali untuk mencegah terjadinya perawatan akibat kerusakan (*breakdown maintenance*) pada PAPI, sehingga sudut kemiringan tetap terjaga 3° sesuai ketentuan.

Perawatan di bandara dapat dibagi menjadi 2 skala prioritas, fasilitas kelistrikan umum (*non essential*) dan fasilitas kelistrikan utama atau penting (*essential*) yang meliputi alat bantu pendaratan (*visual aids*) dan lampu-lampu *Airport Lighting*. Fungsi peralatan ini harus selalu dirawat dan dijaga kontinuitas fungsinya agar tetap pada kondisi presisi.

Keterbatasan alat ukur yang dapat digunakan untuk merawat dan pengecekan sudut PAPI merupakan salah satu kendala yang dihadapi teknisi listrik Bandar JOG sekarang. Alternatif terbaik adalah perlu melakukan inovasi perancangan alat ukur yang dapat digunakan untuk mengukur sudut kemiringan pada PAPI. Produk alat ukur ini menggabungkan teknologi digital arduino dan mengadopsi dari fungsi alat ukur sudut *clinometer analog*.

Elul (dalam Miarso, 2007) mengatakan bahwa teknologi adalah keseluruhan dari metode yang secara rasional mengarah dan memiliki ciri-ciri efisiensi dalam setiap bidang kegiatan manusia. Sardar (1987), teknologi merupakan sebuah sarana dalam memecahkan masalah yang mendasar dari setiap peradaban manusia. Tanpa adanya penggunaan teknologi, maka hal ini akan

menyebabkan banyak masalah tidak bisa terpecahkan dengan baik dan sempurna.

Seperti apa fungsi dari alat clinometer? Kemiringan adalah sudut vertikal yang menggambarkan besarnya lereng. Besarnya kemiringan ini penting untuk diukur sehubungan dengan penentuan jarak datar. Kata “*clin*” pada clinometer berasal dari kata “*incline*” (lereng, tanjakan).

Di dalam alat ini ada roda yang berputar bebas dan mempunyai dua skala yang berbeda. Skala pada sebelah kanan menunjukkan satuan pengukuran sudut vertikal dalam persen (%), sedang sebelah kiri mencantumkan satuan sudut dalam derajat. Sudut di atas bidang horisontal diberi tanda plus (+), sedang sudut dibawah bidang tersebut diberi tanda min (-).

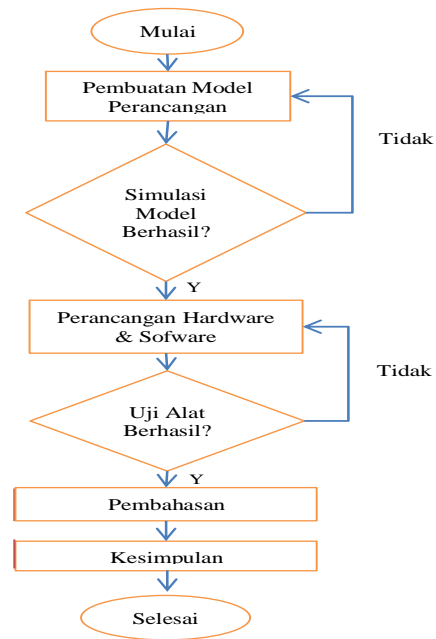
Tujuan penelitian ini adalah merancang alat ukur sudut kemiringan PAPI tampilan digital dengan hasil satuan derajat. Produk baru alat ini diharapkan dapat digunakan dalam membantu inspeksi *groundcheck* peralatan PAPI di bandara JOG.

Tahapan perancangan alat meliputi : (1) Pembuatan model perancangan, (2) Simulasi model, (3) Perancangan hardware dan pemrograman, (4) Uji alat, (5) Pembahasan dan (6) Kesimpulan. Metode yang digunakan dengan pendekatan desain fungsional dan struktural. Sedangkan teori yang mendasari perancangan alat antara lain : (1) Clinometer analog, (2) Arduino, (3) Sensor dan (4) Power supply. Prinsip kerja alat ini menggunakan sensor *Gyroscope* yaitu sebuah sensor yang dapat mengukur titik sudut kemiringan (*measure slope angle*) menggunakan teknologi digital dan hasil pengukuran terbaca pada layar LCD dalam satuan derajat.

Perbedaan dengan alat clinometer analog adalah dapat dilihat pada hasil pembacaan sudut, dimana clinometer masih menggunakan prinsip pengukuran analog dan hasil pengukuran yang di tampilkan masih berupa derajat dan menit, sehingga masih perlu dikonversi lagi dalam satuan derajat.

2. METODE

Diagram alir pada gambar 2 di bawah ini merupakan konsep dalam penyusunan rancangan pada sistem.



Gambar 2. Diagram Alir Perancangan

Sedangkan konsep perancangan alat ukur ini menggunakan metode desain fungsional dan structural yang meliputi, Arduino, sensor *gyroscope* MPU 6050 type g-51 9250, I2C LCD, Laser KY-008, LCD display 20x4inch dan power supply/catu daya. Aksesoris pelengkap rancangan seperti, tripod untuk dudukan alat saat digunakan untuk mengukur sudut, frame, baut spicer, *header single male* (tulang ikan), solder, timah, solder dan kabel jumper. Kemudian setelah itu dilanjutkan dengan proses perakitan antara lain : (1) Merakit sensor *gyroscope* dengan cara menyambungkan *header single male* (tulang ikan), (2) Merakit I2C dengan LCD display 20x4 dengan cara menyambungkan *header single male* (tulang ikan) ke port, (3) Merangkai arduino sesuai dengan wiring diagram, (4) Pembuatan bahasa pemrograman arduino untuk aktivasi alat.

- Rancangan Fungsional

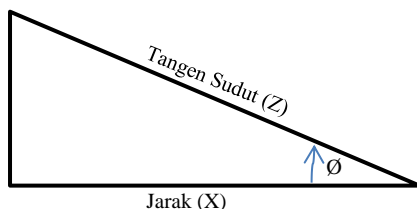
Pendekatan perancangan fungsional digunakan untuk melaksanakan fungsi sesuai dengan tugasnya seperti, Sensor GY-521 MPU-6050 module adalah sebuah modul berinti MPU-6050 yang merupakan 6 axis Motion Processing Unit dengan penambahan regulator tegangan dan beberapa komponen pelengkap lainnya. Sensor MPU-6050 berisi sebuah MEMS Accelerometer dan sebuah MEMS Gyro yang saling terintegrasi. Sensor ini sangat akurat dengan fasilitas hardware internal 16 bit ADC untuk setiap kanalnya. Sensor ini akan menangkap nilai kanal axis X, Y dan Z

bersamaan dalam satu waktu. Bentuk fisik modul gyroscope seperti gambar 3.



Gambar 3. Modul Sensor MPU 6050

Modul ini berfungsi untuk menentukan orientasi gerak bertumpu pada roda yang berotasi pada sumbu alat akan menentukan momentum sudut pancaran sinar. *Gyroscope* memiliki keluaran berupa kecepatan sudut dari arah 3 sumbu atau garis yaitu, sumbu X garis horizontal, sumbu Y garis vertikal dan sumbu Z adalah hasil perkalian kuadrat dua sisi sesuai rumus trigonometri, seperti dapat dilihat pada gambar 4 di bawah. Pancaran sinar dari lampu PAPI yang diterima oleh objek yang diletakan di depan PAPI merupakan sinar analog, kemudian akan diolah menjadi data digital oleh IC program arduino yang akan mengontrol semua aktifitas pada pembacaan sensor.



Gambar 4. Pancaran Sinar dalam Segitiga

- Rancangan Struktural

Perancangan digital meliputi minimum sistem mikrokontroler Arduino ATMEGA8 adalah pengendali mikro single-board yang bersifat open-source, diturunkan dari Wiring platform, dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang. Hardwarenya memiliki prosesor Atmel AVR dan softwarenya memiliki bahasa pemrograman sendiri. Modul ini sebagai mikrokontroler open source, dimana arduino dipergunakan untuk mengolah data dari sensor. *Gyroscope*. Simulasi arduino dapat dimanfaatkan untuk mengendalikan dan pengolahan data. Struktur arduino terdapat prosesor, memori dan saluran input-output yang dapat di program dan sebagai pengolah data digital dari sensor yang dibentuk

pada rancangan. Mikrokontroler dirancang untuk digunakan pada sistem tertanam, yaitu sistem yang sudah memiliki tujuan tertentu dalam pembuatannya (Andrejasic, 2008) seperti pada gambar 5.



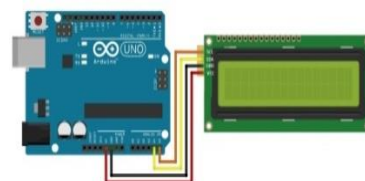
Gambar 5. Modul Arduino Uno

LCD merupakan singkatan dari Liquid Crystal Display yang dapat digunakan untuk menampilkan berbagai hal berkaitan dengan aktivitas mikrokontroler, salah satunya adalah menampilkan teks yang terdiri dari berbagai karakter. LCD dapat digunakan setelah diaktivasi dengan bahasa program. Untuk dapat menghubungkan LCD dengan mikrokontroler, port pada LCD perlu dihubungkan dengan port yang sesuai pada mikrokontroler. Di bawah ini adalah bentuk bahasa program untuk aktivasi display LCD seperti gambar 6.

```
File Edit Sketch Tools Help
Measure_Angle $
//
// Include Wire Library for I2C
#include <Wire.h>
// Include NewLiquidCrystal Library for I2C
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
// Define LCD pinout
const int en = 2, rw = 1, rs = 0, d4 = 4, d5 = 5, d6 = 6, d7 = 7, bl = 3;
// Define I2C Address - change if required
const int i2c_addr = 0x3F;
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 20, 4);
// Level LEDs
```

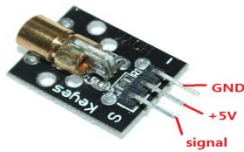
Gambar 6. Aktivasi Tampilan LCD

I2C LCD merupakan sebuah modul komunikasi serial dua arah yang berfungsi untuk mengirim dan menerima data. Keduanya adalah SCL (*Serial Clock*) dan SDA (*Serial Data*), kedua pin ini tentu sangat menghemat penggunaan pin pada Arduino jika dibandingkan dengan pemakaian LCD tanpa I2C, seperti pada gambar 7.



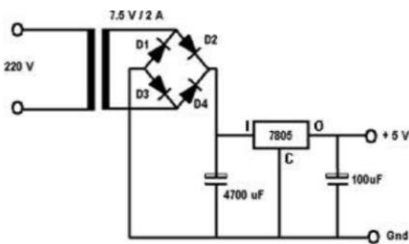
Gambar 7. Modul I2C LCD

Laser KY-008 module adalah modul pemancar laser 650 nm warna merah. memberikan sinar intensitas kecil dengan konsumsi daya 30 mA pada 5 V. Kata Laser merupakan akronim dari “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiations”, yang berarti penguatan cahaya dalam radiasi gelombang elektromagnetik oleh emisi radiasi terangsang. Biasanya dalam bentuk cahaya yang tidak dapat dilihat secara langsung oleh mata melalui proses pancaran terstimulasi. Laser ini digunakan untuk menembak hasil perpotongan sinar warna merah dan putih tepat di tengah papan objek. Bentuk fisik modul laser dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Modul Laser

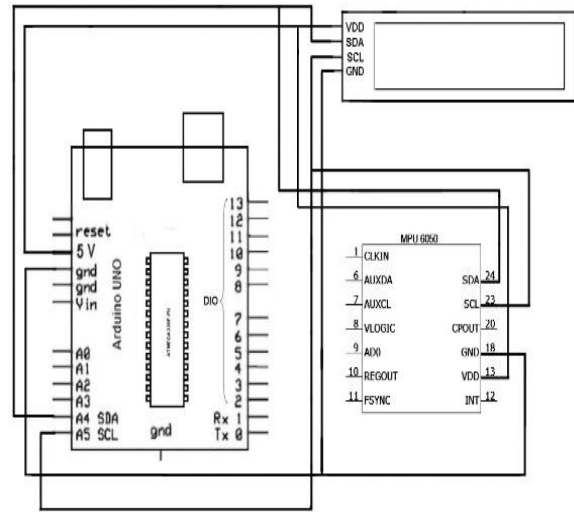
Catu daya rancangan menggunakan sistem switching, sinyal AC dari tegangan jala-jala listrik 220V disearahkan menjadi tegangan DC. Mikroprosesor akan dapat bekerja dengan sempurna apabila diberikan tegangan listrik dari catu daya yang stabil pada tegangan kerjanya sebesar +5 volt. Rangkaian digital pendukung berupa komponen TTL, dan untuk rangkaian tertentu dengan tegangan +/- 12 volt seperti konversi digital ke analog serta untuk memori (RAM) dinamik dengan tegangan -5 volt. Pada gambar 9 adalah bentuk rangkaian catu daya.



Gambar 9. Rangkaian Catu Daya

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Alat ukur klinometer digital akan dirancang dan dikonstruksikan dalam perancangan ini mempunyai beberapa bagian yang terintegrasi antar modul dengan tiap bagian saling mendukung operasional kerjanya. Dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Wiring Diagram Rangkaian Klinometer

Untuk mengaktifkan sensor *gyroscope* MPU 6050 perlu dibuatkan bahasa program sesuai tujuan fungsi alat tersebut, seperti pada gambar 11.

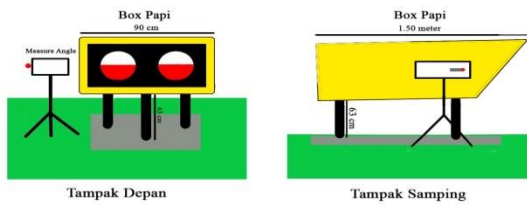
```

File Edit Sketch Tools Help
Measure_Angle$
void read_mpu_6050_data()
//Start communicating with the MPU-6050
Wire.beginTransmission(0x68);
//Send the requested starting register
Wire.write(0x3B);
//End the transmission
Wire.endTransmission();
//Request 14 bytes from the MPU-6050
Wire.requestFrom(0x68,14);
//Wait until all the bytes are received
while(Wire.available() < 14);
//Following statements left shift 8 bits, then bitwise OR.
//Turns two 8-bit values into one 16-bit value
acc_x = Wire.read() << 8 | Wire.read();
acc_y = Wire.read() << 8 | Wire.read();
acc_z = Wire.read() << 8 | Wire.read();
temp = Wire.read() << 8 | Wire.read();
gyro_x = Wire.read() << 8 | Wire.read();
gyro_y = Wire.read() << 8 | Wire.read();
gyro_z = Wire.read() << 8 | Wire.read();
}
    
```

Gambar 11. Aktivasi akhir *gyroscope* MPU-6050

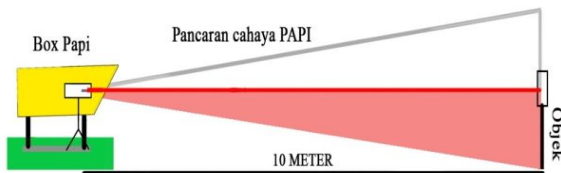
Setelah rancangan antar modul dan aktivasi program sensor dan LCD sudah selesai dikerjakan, maka langkah berikutnya adalah pengujian alat. Pengujian ini dilaksanakan dilapangan dimana letak posisi PAPI terpasang yang dilakukan pada malam hari setelah dilakukan penerbangan kalibrasi pada alat-alat navigasi di bandara JOG:

- 1) Menempatkan alat klinometer digital tepat disamping box PAPI dengan menggunakan tripod sebagai kaki alat segaris dengan lensa pemancar lampu PAPI dan diletakkan sejajar antara lensa perpotongan cahaya merah dengan putih yang dipancarkan oleh PAPI. Untuk memastikan posisi alat tidak miring, alat ini dilengkapi dengan water pass untuk mengecek level kerataan. Gambar posisi alat seperti pada gambar 12.



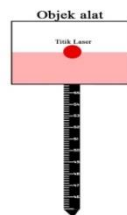
Gambar12. Letak Alat Klinometer digital

- Meletakkan objek yang akan menerima pancaran cahaya merah dan putih berjarak 10 meter didepan PAPI. Kemudian Sinar laser pada alat akan menembak tepat pada titik tengah objek untuk membaca ketinggian perpotongan tepat pada titik tengah objek seperti pada gambar 11.



Gambar 13. Letak Alat Klinometer

- Pada gambar 14 dibawah ini adalah objek dengan dudukan kaki yang diberikan ukuran panjang untuk mengetahui ketinggian sinar pancaran yang diterima objek. Seting sensor *frame* klinometer digital sampai titik pancaran laser berada pada titik tengah perpotongan pancaran sinar merah dan putih pada objek.



Gambar 14. Objek Penerima Cahaya PAPI

- Tampilan displai LCD adalah bentuk layar digital untuk mengetahui hasil ukur pada papan objek. Hasil yang terbaca pada layar LCD merupakan hasil ukur sudut sinar pancaran PAPI. Contoh tampilan hasil ukur seperti pada gambar 15.



Gambar 15. Tampilan Displai LCD

Dibawah ini adalah hasil ukur perbandingan sudut kemiringan pada box PAPI pada runway 09 menggunakan alat ukur klinometer digital dengan hasil alat kalibrasi inspeksi udara (*flight inspection*) dengan menggunakan pesawat terbang, seperti dilihat pada table 2.

Tabel 2. Perbandingan Hasil ukur

Box PAPI R/W 09	Alat Ukur Sinar Laser	Flight Inspection	Deviasi
Box A	2.43 ⁰	2.40 ⁰	0.03
Box B	2.80 ⁰	2.76 ⁰	0.04
Box C	3.25 ⁰	3.25 ⁰	0
Box D	2.54 ⁰	3.50 ⁰	0.04

Berdasarkan hasil perhitungan diatas dengan hasil kalibrasi penerbangan (*flight inspection*) sebagai patokan atau dasar dari kemiringan box PAPI sesuai dari hasil pengukuran pada tabel 2, dari ke 4 box (A, B, C dan D) masing-masing sudut deviasi masih dalam batas toleransi simpangan, karena nilai masih dibawah 1°, maka selisih angka tersebut dapat dihilangkan.

Setelah melalui proses produksi, hasil yang diharapkan adalah suatu produk yang memiliki ukuran atau sifat-sifat lain sesuai spesifikasi dan toleransi yang telah ditetapkan. Karena itu dilakukan pengujian mutu terhadap produk tersebut, dengan cara melakukan pengukuran. Jika hasil pengukuran menunjukkan bahwa produk tersebut mempunyai ukuran sesuai dengan spesifikasi, maka produk tersebut dinyatakan sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan.

Di dalam proses pengukuran, terdapat sumber-sumber ketidakpastian pengukuran, sehingga hasil pengukuran pun mempunyai nilai ketidakpastian pengukuran. Maka dalam paradigma terbaru, penilaian kesesuaian (*Conformity Assessment*) adalah harus memperhitungkan nilai ketidakpastian dan nilai pengukuran. Suatu produk baru dapat dikatakan "sesuai dengan spesifikasi" jika memenuhi ketentuan: $E + U \leq T$, dengan:

- E = Penyimpangan dari spesifikasi (absolut)

- U = Nilai ketidakpastian pengukuran (tingkat kepercayaan 95 persen)
- T = Toleransi untuk produk tersebut (absolut)

Dengan kata lain, nilai ketidakpastian pengukuran harus lebih kecil daripada toleransi yang diberikan untuk produk yang diukur. Idealnya nilai ketidakpastian pengukuran besarnya sepersepuluh dari toleransi, atau dalam kondisi terburuk, nilai ketidakpastian pengukuran diharapkan tidak lebih dari sepertiga toleransi. Uraian di atas menunjukkan bahwa "toleransi" berkaitan dengan produk yang diukur, bukan dengan alat ukurnya. Untuk alat ukur, VIM (kosakata metrologi internasional) 2008 memberikan istilah *maximum permissible error (MPE)*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan uraian dalam pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan bahwa alat klinometer digital lebih praktis, efisien dan akurat serta dapat digunakan untuk mendukung kegiatan pengujian inspeksi darat (*groundcheck*) pada box PAPI di bandara Jogjakarta (JOG).

Ucapan Terima Kasih

Puji syukur kami panjatkan kepada Allah yang Maha Esa yang telah memberikan petunjukNya selama pengerjaan karya ini. Ucapan terima kasih kepada keluarga yang telah memberikan doa dan motivasi hingga selesai riset ini. Terima kasih disampaikan kepada Politeknik Penerbangan Makassar yang telah memfasilitasi dan mendanai penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardi Winoto. (2008). *Mikrokontroler AVR ATmega8/32/16/8535 dan emrogramannya dengan Bahasa C pada WinAVR*, Penerbit Informatika, Bandung.
- Endra Pitowarno. (2005). *Mikroprosesor & Interfacing*, Penerbit Andi, Yogyakarta.
- Hafizhan Abidin Setyowiyoto, Riko Susetia Yuda, Ahmad Faizal Amin, Agung Setianto, Ghafar Ramadhan Faqih, Ahmad Shalahuddin Abdullah. (2015). *Integrasi Sensor Elektronik dan Automatic Data Backup pada Kompas Geologi untuk*

Mempermudah Akuisisi Data Lapangan dan Olah Data Geologi Berbasis Sistem Informasi Geografis, Prodi Elektronika dan Instrumentasi, Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Gadjah Mada, Jogjakarta.

Hastono Wijaya. (2018). *Metrologi Industri*, Universitas Brawijaya Press, 136 halaman.

Mazidi, Muhammad Ali. (2011). *The Microcontroller and Embedded System: Using Assembly and C*. Pearson Education, inc: New Jersey.

Menurut KP 85 TAHUN 2014, tentang petunjuk dan tata cara penyelenggaraan kalibrasi fasilitas dan prosedur penerbangan (AC 171-5).

Muis, Salahudin. (2013). *Prinsip Pembangkitan Sinar Laser*. Yogyakarta. Penerbit Graha Ilmu.

Peraturan Direktorat Jenderal Perhubungan Udara. (2013). *Kriteria Penempatan Peralatan dan Utilitas Bandar Udara*, KP Nomer 2, Jakarta.

Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia. (2019). *Tatanan Kebandarudaraan Nasional*, PM Nomer 39, Jakarta

Ruslan Gani, Wahyudi, Iwan Setiawan, (2013), *Perancangan Sensor Gyroscope dan Accelerometer Untuk Menentukan Sudut dan Jarak*, Makalah Seminar Tugas Akhir, UNDIP Semarang.

Samiaji Sarosa, (2012). *Penelitian Kualitatif Dasar-dasar*, Jakarta: PT Indeks.