

# Rancang Bangun Deteksi Jalur Pipa Terpendam Menggunakan *Mobile Robot* dengan *Metal Detector*

Dwi Indah Pratiwi, Muhammad Rivai dan Fajar Budiman

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim Sukolilo, Surabaya 60111

*e-mail*: muhammad\_rivai@ee.its.ac.id, fajarbudiman@ee.its.ac.id

**Abstrak**— Ketika melaksanakan pembangunan atau perbaikan sesuatu di dalam tanah diperlukan secara akurat mengetahui lokasi utilitas bawah tanah, seperti instalasi pipa logam dan kabel listrik. Sedangkan selama ini masih cenderung kurang adanya pemetaan jaringan utilitas bawah tanah yang jelas. Telah banyak kasus dan pihak yang dirugikan karena masalah ini, seperti kebocoran atau bahkan ledakan. Utilitas bawah tanah yang mengandung logam seperti pipa logam, dapat dideteksi dengan metal detector. Dalam penelitian ini, metal detector yang dibuat menggunakan prinsip beat frequency oscillator (BFO) dimana prinsipnya memanfaatkan perubahan frekuensi untuk mendeteksi keberadaan logam. Mikrokontroler Arduino Uno digunakan dalam rangkaian metal detector sebagai frequency counter. Metal detector ini kemudian diaplikasikan sebagai sensor ke sebuah mobile robot. Dengan membaca data metal detector dari Arduino Uno, robot kemudian dapat bergerak mengikuti jalur pipa logam. Robot juga dilengkapi dengan sistem navigasi berdasarkan posisi GPS, sehingga posisi dan gerakan robot dapat diketahui. Pengujian dilakukan pada 3 jenis bahan logam, yaitu besi (ferromagnetik), aluminium (paramagnetik), dan seng (diamagnetik). Hasil pendeteksian paling kuat didapatkan pada bahan besi. Jarak deteksi sensor bervariasi tergantung konstruksi kumparan dan jenis benda logam yang diuji. Pada pengujian dengan pipa besi berdiameter 3 cm, sensor dapat mendeteksi maksimal pada jarak 10 cm tanpa halangan. Dalam aplikasi mobile robot, digunakan 3 sensor untuk mempermudah pendeteksian ketika ada jalur yang berkelok tajam.

**Kata Kunci**—Arduino uno; metal detector; mobile robot; pipa bawah tanah

## I. PENDAHULUAN

PEMBANGUNAN suatu daerah tidak bisa terlepas dari instalasi listrik, telepon, dan air. Hal-hal tersebut sudah menjadi kebutuhan semua masyarakat di berbagai tempat. Oleh karena itu dilakukan pendistribusian ke semua area untuk memenuhi keperluan masyarakat. Pendistribusian tersebut pada umumnya dilaksanakan melalui saluran kabel baik dipasang di tiang-tiang listrik, kabel bawah tanah, atau pipa bawah tanah. Selain pipa pendistribusian air dan listrik, banyak juga dijumpai pipa-pipa pendistribusian gas. Gas banyak digunakan untuk keperluan sehari-hari terutama untuk daerah industri. Pendistribusian pipa gas ini menjadi proyek pemerintah di masa depan sehingga perolehan gas menjadi lebih mudah. Namun permasalahan yang sering terjadi adalah gas ini sangat sensitif sehingga sangat berbahaya apabila terjadi kebocoran sekecil apapun karena dapat menyebabkan kebakaran atau keracunan.

Seiring dengan pembangunan yang terus berlanjut, sayangnya jarang ada perusahaan yang memetakan saluran-saluran bawah tanah tersebut. Hal ini perlu dilakukan untuk menghindari adanya utilitas yang rusak dari pelaksanaan

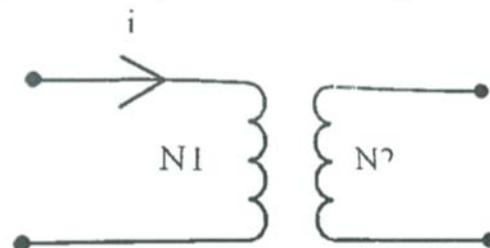
galian, selain itu juga untuk memenuhi standar keselamatan (K3) sehingga menghindari kerugian akibat kecerobohan dalam proses galian. Telah banyak kasus-kasus kerugian akibat kurang tertatanya utilitas bawah tanah. Sebagai contoh di Jakarta telah terjadi beberapa kecelakaan akibat masalah kurang tertatanya utilitas bawah tanah ini. Menurut Kepala Seksi Dinas Pekerjaan Umum DKI Jakarta mengakui Jakarta tidak memiliki peta jaringan utilitas secara keseluruhan. Peta yang ada hanya sepotong-potong sesuai dengan permintaan perusahaan dan itupun tidak terdokumentasi dengan baik [1]. Kasus-kasus yang paling sering terjadi adalah kebakaran karena sambungan singkat kabel listrik di bawah tanah dan ledakan dari pipa gas bawah tanah.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Metal Detector

*Metal detector* adalah sebuah alat yang dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan logam yang ada di atas atau di bawah permukaan tanah dalam jarak tertentu. Logam yang dapat di deteksi dengan rangkaian detektor logam ini adalah benda logam yang mengandung unsur besi atau dapat mempengaruhi medan magnet. Ada beberapa teknologi dalam mendeteksi logam, diantaranya *Beat Frequency Oscillator* (BFO), *Pulse Induction* (PI), *Very Low Frequency* (VLF), *Beat Frequency Oscillator* (BFO) beroperasi di rentang frekuensi antara 100 KHz. *Pulse Induction* (PI) beroperasi di rentang frekuensi antara 100 Hz. *Very Low Frequency* (VLF) beroperasi di rentang frekuensi antara 3-30 KHz [2].

Pada penelitian ini digunakan jenis BFO untuk detektor logam. Cara kerja dari prinsip BFO adalah ketika kumparan pencarian didekatkan pada benda logam, hal ini akan menyebabkan perbedaan frekuensi di dalam rangkaian osilator, dimana terdapat kumparan referensi yang menentukan frekuensi output rangkaian. Frekuensi yang dideteksi kemudian dibandingkan dengan frekuensi referensi di *mixer*, sehingga didapatkan selisih perbedaan frekuensi yang diartikan sebagai keberadaan benda logam [3].



Gambar 1. Induktansi bersama [4]

**B. Induktansi Bersama (Mutual Inductance)**

Bila dua buah kumparan atau lebih berdekatan satu sama lain dan kedudukan kumparan tersebut cukup baik, maka perubahan arus listrik di dalam salah satu kumparan akan dapat memberikan pengaruh pada kumparan yang lain. Pengaruh ini disebabkan oleh perubahan flux magnet yang timbul sebagai akibat adanya perubahan arus listrik.

Bila arus I mengalir melalui kumparan yang pertama, maka timbullah flux magnet di sekitar kumparan yang kedua, ditunjukkan pada Gambar 1. Menurut hukum Maxwell II, perubahan flux magnet (sebagai akibat perubahan arus listrik) akan menimbulkan arus induksi dalam kumparan kedua [4].

Kerapatan flux magnet (*magnetic flux density*) adalah flux magnet per satuan luas pada bidang yang tegak lurus dengan fluks magnet tersebut. Kerapatan fluks magnet sering disebut juga dengan induksi magnet (*magnetic induction*) yang dapat dinyatakan dengan:

$$B = \frac{\phi}{A} \tag{1}$$

Dimana B Kerapatan fluks magnet (Weber/m<sup>2</sup> atau Tesla(T)),  $\phi$  Fluks magnet (Wb), A Luas penampang (m<sup>2</sup>)

**C. Interaksi Flux Magnet dengan Benda Ferromagnetik**

Benda Ferromagnetik yaitu bahan yang ditarik oleh magnet dengan gaya yang kuat. Benda ferromagnetik memiliki permeabilitas jauh lebih besar dari pada 1. Permeabilitas (*permeability*) adalah kemampuan suatu benda untuk dilewati garis gaya magnet. Permeabilitas dinyatakan dengan simbol  $\mu$ . Permeabilitas udara dan ruang hampa dianggap sama dengan satu. Untuk benda-benda yang lain, besarnya permeabilitas ditentukan dengan perbandingan terhadap udara atau ruang hampa, didapatkan permeabilitas relatif. Nilai permeabilitas untuk udara adalah  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$  atau  $1,26 \times 10^{-6}$ . Untuk menghitung  $\mu$ , nilai permeabilitas relatif  $\mu_r$  harus dikalikan dengan permeabilitas udara  $\mu_0$ , sebagaimana rumus di bawah ini:

$$\mu = \mu_r \mu_0 \tag{2}$$

dimana  $\mu$  permeabilitas suatu benda,  $\mu_r$  permeabilitas relatif,  $\mu_0$  permeabilitas udara

Permeabilitas  $\mu$  dari benda-benda magnetik adalah perbandingan antara B dengan medan magnet H. Kuat medan magnet nilainya berbanding lurus dengan jumlah lilitan dan besar arus pada kawat kumparan dan berbanding terbalik dengan panjang kumparan.

$$H = \frac{NI}{l} \tag{3}$$

dimana H kuat medan magnet (At/m), N jumlah lilitan, I arus (A), l panjang (m).

Hubungan antara B dengan H dapat diturunkan dari persamaan berikut:

$$B = \mu_0(H + M) \tag{4}$$

dimana M *magnetic dipole moment* tiap unit volume. Hubungan antara B, H, dan M dalam linear isotropic media (material magnetik) dimana *magnetic susceptibility*  $\chi_m$  adalah:

$$M = \chi_m H \tag{5}$$

$$B = \mu_0(H + \chi_m H) \tag{6}$$

$$B = \mu_0 \mu_r H$$

dimana  $\mu_r = 1 + \chi_m$  dan  $\mu = \mu_0 \mu_r$  sehingga persamaan dapat ditulis dengan [5]:

$$B = \mu H \tag{7}$$

**D. Teori Induktansi**

Jika suatu kumparan dialiri arus maka sesuai dengan prinsip dasar elektromagnetik maka akan timbul medan magnet di sekitar kumparan. Medan magnet biasanya diwakili oleh garis-garis fluks magnetic, medan magnet untuk solenoidal induktor ditunjukkan pada Gambar 2.

Kumparan yang digunakan adalah berbentuk silinder dengan inti udara. Kumparan seperti ini biasa digunakan dalam transformator instrument dan perangkat elektronik lainnya [7].

Induktansi pada kumparan dapat ditulis secara matematik:

$$L = N \frac{\phi}{i} \tag{8}$$

di mana L adalah induktansi (Henry), N banyaknya lilitan,  $\Phi$  fluks medan magnet (Weber), I kuat arus listrik (A).

Fluks medan magnet adalah kerapatan medan magnet yang dapat dinyatakan :

$$\Phi = B.A \tag{9}$$

di mana  $\Phi$  fluks medan magnet (Weber), B kuat medan magnet (Tesla), A luas penampang (m<sup>2</sup>).

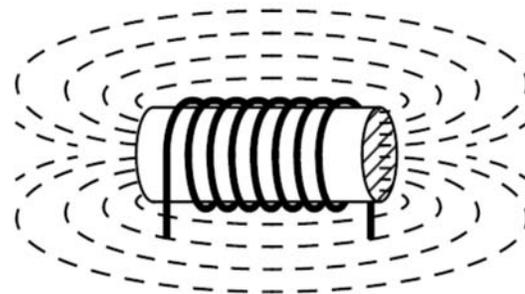
Sehingga induktansi sebuah induktor dapat ditulis ulang menjadi :

$$L = N \frac{B.A}{i} \tag{10}$$

Kuat medan magnet induktor dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$B = \mu \frac{NI}{l} \tag{11}$$

dimana N banyaknya lilitan, I arus listrik yang mengalir, l panjang lilitan,  $\mu$  permeabilitas bahan .



Gambar 2. Medan magnet pada kumparan [6]

Maka persamaan induktansi induktor secara umum dapat ditulis menjadi:

$$L = N \frac{\mu . N . i}{l . i} A$$

$$L = \mu \frac{N^2 . A}{l} \tag{12}$$

dimana L induktansi induktor (Henry),  $\mu$  permeabilitas bahan , N banyaknya lilitan, A luas penampang induktor (m<sup>2</sup>), l panjang lilitan (m).

E. Mobile Robot

Mobile robot adalah sebuah robot dengan konstruksi yang ciri khasnya adalah mempunyai aktuator berupa roda (*wheel*) atau kaki (*leg*) untuk menggerakkan keseluruhan badan robot tersebut, sehingga robot tersebut dapat melakukan perpindahan posisi dari satu titik ke titik yang lain. Mobile robot digunakan secara luas sebagai aktuator dalam berbagai bidang aplikasi dengan dilengkapi sensor untuk mengendalikan arah gerakan robot tersebut.

Penggunaan *autonomous mobile robot* tergolong hal yang baru dalam bidang penelitian pendeteksian logam [8].

F. Rangkaian Osilator

Osilator adalah suatu rangkaian elektronika yang menghasilkan getaran atau sinyal listrik secara periodik terhadap waktu dengan amplitudo yang konstan. Rangkaian osilator biasa digunakan untuk mengubah daya DC menjadi AC. Rangkaian osilator menghasilkan frekuensi agar dapat beresilasi. Osilasi adalah variasi periodik terhadap waktu dari suatu pengukuran.

Dalam penelitian ini, jenis osilator yang akan digunakan adalah osilator colpitts. Syarat sebuah osilator agar dapat terjadi osilasi adalah mempunyai rangkaian penguat, rangkaian feedback, dan *tank circuit*. *Tank circuit* atau rangkaian tangki adalah rangkaian yang akan menentukan frekuensi kerja dari osilator, dengan menggunakan komponen L dan C. Rangkaian tangki dari osilator colpitts terdiri dari 2 kapasitor yang dihubungkan dengan induktor seperti pada Gambar 3.

Frekuensi tegangan AC yang dibangkitkan oleh rangkaian tangki akan tergantung dari nilai L dan C yang digunakan. Frekuensi output inilah yang disebut sebagai frekuensi resonansi ( $f_r$ ). Resonansi terjadi saat reaktansi kapasitif ( $X_c$ ) besarnya sama dengan reaktansi induktif ( $X_l$ ). Rangkaian tangki akan beresilasi pada frekuensi ini.

Kapasitansi total dari rangkaian tangki tersebut dapat dihitung dengan:

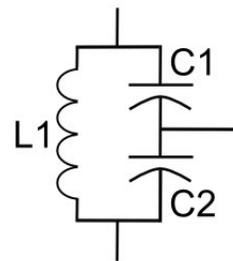
$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \text{ atau } C_T = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}$$

Frekuensi osilasi dapat dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned} X_L &= X_C \\ \omega L &= \frac{1}{\omega C_T} \\ \omega &= \frac{1}{\sqrt{L C_T}} \end{aligned}$$

Dimana  $\omega = 2\pi f$ , sehingga:

$$f_r = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{(2\pi\sqrt{L C_T})} \tag{13}$$



Gambar 3. Rangkaian tangki osilator Colpitts

G. Arduino Uno

Arduino Uno adalah papan sirkuit berbasis mikrokontroler Atmega328. IC (*Integrated Circuit*) ini memiliki 14 pin input/output digital berupa 6 output untuk PWM, 6 analog input, resonator Kristal keramik 16 MHz, koneksi USB, soket adaptor, pin header ICSP, dan tombol reset. Hal inilah yang dibutuhkan untuk mensupport mikrokontroler secara mudah terhubung dengan kabel power USB atau kabel power supply adaptor AC ke DC atau juga baterai.

H. Driver Motor L298N

Driver motor L298N biasa digunakan untuk mengendalikan motor agar motor dapat dikendalikan melalui mikrokontroler, sehingga motor dapat berputar dan kecepatan motor bisa diatur termasuk arah putar. Driver Motor L298N berfungsi sebagai penguat arus dan tegangan, sehingga motor mendapatkan supply arus yang sesuai. Driver L298N adalah driver motor DC, H-Bridge yang paling sederhana dan mudah untuk dipergunakan, untuk rangkaian pun menjadi lebih *simple* dan sederhana.

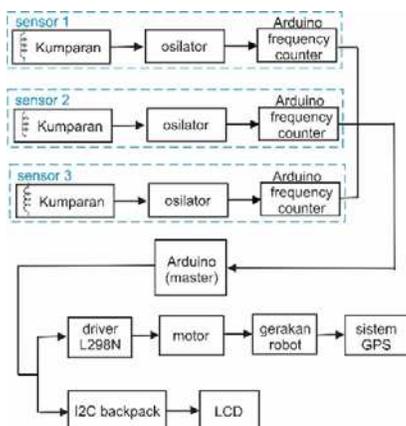
I. Sistem Pemetaan

Sistem pemetaan dalam tugas akhir ini menggunakan Ardupilot Mega, GPS Module Ublox M8N, dan Modul Telemetry 433 MHz. Ardupilot Mega merupakan *embedded system* yang terintegrasi dengan IMU (*Inertia Measurement Unit*) dan GPS dengan menggunakan platform Arduino Mega (ATmega1280/2560) dan telah terintegrasi dengan software *Mission Planner* yang memudahkan untuk misi pelacakan posisi robot.

GPS Module Ublox M8N adalah modul GPS yang telah terintegrasi dengan kompas digital HMC5883L. GPS adalah navigasi berbasis sistem satelit yang menyediakan informasi lokasi dan waktu. GPS receiver membandingkan waktu sinyal dikirim dengan waktu sinyal tersebut diterima. Dari informasi itu didapat diketahui berapa jarak satelit. GPS receiver dapat melakukan perhitungan dan menentukan posisi user dan menampilkan dalam peta elektronik [7].

Sistem telemetri untuk dilakukan dengan menggunakan modul TLP 433 sebagai pengirim data dan RLP 433 sebagai penerima data. Modul ini menggunakan protocol komunikasi mikrokontroler yang bernama UART (*Universal Asynchronous Serial Receiver/Transmitter*) dengan modulasi ASK (*Amplitude Shift Keying*).

III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM



Gambar 4. Blok diagram sistem

Secara garis besar, sistem terbagi menjadi tiga sub sistem, yaitu pendeteksian benda logam, gerakan *mobile* robot, dan sistem GPS, ditunjukkan pada Gambar 4. Pendeteksian benda logam dilakukan dengan menghubungkan kumparan ke osilator yang kemudain frekuensinya dihitung oleh program *frequency counter* di mikrokontroler Arduino Uno. Disini digunakan 3 sensor yang nantinya akan diletakkan di bagian depan, kanan, dan kiri robot untuk mendapatkan hasil pendeteksian yang akurat dan mempermudah pendeteksian ketika ada jalur yang berkelok tajam. Data tersebut kemudian dikirim ke satu Arduino Uno yang bertindak sebagai master yang kemudian diolah dan diimplementasikan ke driver L298N yang akan menggerakkan motor. Selain itu ditambahkan LCD sebagai *interface* untuk mempermudah pembacaan hasil deteksi sensor. Selanjutnya ditambahkan sistem GPS yang menggunakan Ardupilot Mega (APM) dan *software* Mission Planner untuk mengakses lokasi robot.

A. Perancangan Metal Detector

BFO *metal detector* menggunakan kumparan sebagai bagian dari rangkaian osilator yang apabila ada bahan metal di dekat osilator maka frekuensi akan berubah. Kumparan yang digunakan adalah kawat dengan bahan tembaga yang mempunyai lapisan email dengan diameter 0,3 mm, ditunjukkan pada Gambar 5.

Karena kumparan yang digunakan adalah kumparan dengan inti udara, maka digunakan permeabilitas ruang hampa  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ . Dengan menggunakan persamaan (12) maka besar induktansi dapat dihitung:

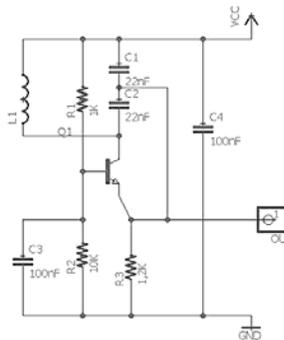
$$L = \mu_0 \frac{N^2 \cdot A}{l}$$

$$L = 4\pi \times 10^{-7} \frac{(75)^2 (\pi (2,5 \times 10^{-2})^2)}{2 \times 10^{-2}}$$

$$L = 693,253125 \mu H$$



Gambar 5. Kumparan yang telah dibuat



Gambar 6. Rangkaian osilator

Transistor yang digunakan sebagai rangkaian osilator pada Gambar 6 adalah transistor 2N2222 jenis NPN. Transistor pada rangkaian ini digunakan sebagai penguat. R1 dan R2 digunakan untuk mengeset tegangan bias transistor pada DC *operating current*. Pada rangkaian ditambahkan kapasitor C4 sebagai *buffer* agar tegangan stabil.

Rangkaian tangki pada osilator di atas yaitu hubungan antara C1 dan C2 dengan induktor L1. Kapasitansi total dari rangkaian tersebut dapat dihitung:

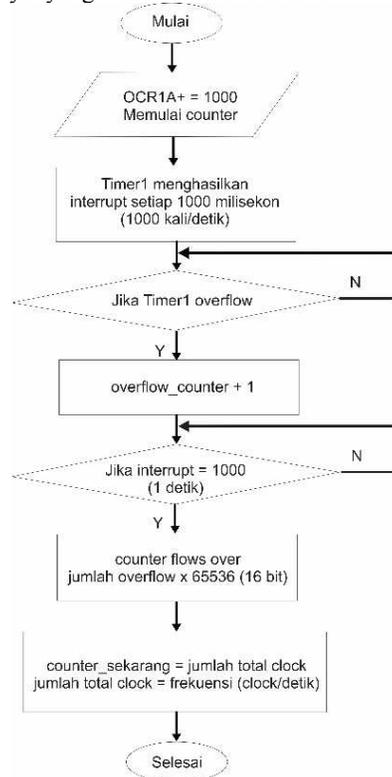
$$C_T = \frac{C1 \times C2}{C1 + C2}$$

$$C_T = \frac{22nF \times 22nF}{22nF + 22nF}$$

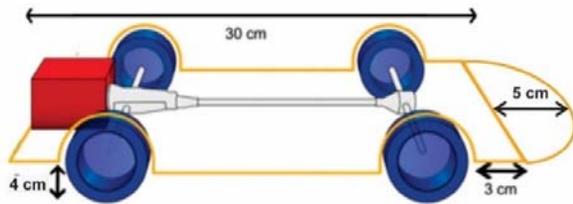
$$C_T = 11 nF$$

B. Rancangan Perangkat Lunak Metal Detector

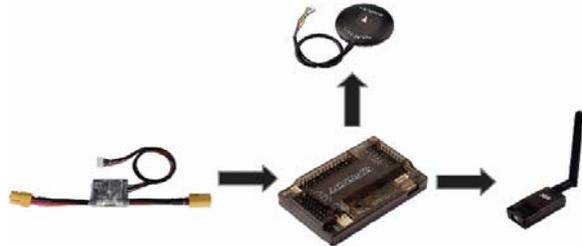
Sinyal dari osilator akan digunakan sebagai input yang dimasukkan ke Arduino. Arduino bertugas menghitung jumlah sinyal yang masuk secara *real time*.



Gambar 7. Flow chart program sensor



Gambar 8. Gambaran desain Mobile Robot



Gambar 9. Sistem pemetaan

C. Perancangan Mobile Robot

Metal detector yang digunakan pada mobile robot memungkinkan pemberitahuan lokasi benda logam di meskipun terhalang benda-benda non-logam, seperti tanah, dinding, salju, air, kayu, dan lain-lain [10]. Robot yang digunakan adalah jenis robot wheeled mobile robot, ditunjukkan pada Gambar 8. Nilai output dari metal detector akan diakuisisi dan digunakan sebagai patokan atau nilai input bagi pergerakan robot.

D. Sistem Telemetri dan Pemetaan

Sistem telemetri dapat memberikan informasi seperti posisi ketinggian arah dan status wahananya sendiri secara realtime pada saat wahana udara dioperasikan. Sistem ini terdiri dari hardware dan software. Hardware berupa perangkat IMU Ardupilot Mega, modul GPS, dan telemetry 433 MHz.. Untuk software terdiri dari sistem ground station yang menerima dan mengolah data dari IMU. Sistem pemetaan ditunjukkan pada Gambar 9.

V. PENGUJIAN DAN ANALISA

A. Pengujian dan Analisa Kumpanan

Pengujian dilakukan dengan memberikan arus listrik pada kumparan sehingga sesuai dengan prinsip dasar elektromagnetik maka akan timbul medan magnet di sekitar kumparan. Medan magnet ini menyebabkan timbulnya induktansi yang dapat diukur dalam satuan Henry (H). Hasil pengujian induktansi pada beberapa kumparan menggunakan LCR meter ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1.  
Tabel pengujian Kumparan

Diameter Kumparan	Banyak Lilitan	Induktansi (L)
8 cm	30	101 μH
8 cm	35	135 μH
5 cm	40	94 μH
5 cm	75	161 μH
2,5 cm	75	98 μH

B. Pengujian dan Analisa Osilator

Pengujian rangkaian osilator yang telah dihubungkan dengan kumparan dilakukan menggunakan osiloskop. Kumparan yang digunakan dalam pengujian adalah kumparan dengan diameter 5 cm dan lilitan sebanyak 75 kali. Frekuensi osilasi dapat dihitung dengan persamaan (13):

$$f_r = \frac{1}{(2\pi\sqrt{LC})}$$

Dengan memasukkan nilai dari L dari hasil deteksi menggunakan LCR meter yaitu L = 161 μH dan nilai C =  $\frac{22 nF \times 22 nF}{22 nF + 22 nF} = 11 nF$  sehingga didapatkan:

$$f_r = \frac{1}{(2 \times 3,14) \sqrt{(161 \times 10^{-6})(11 \times 10^{-9})}}$$

$$f_r = 115962,0044 Hz$$

C. Pengujian dan Analisa Hasil Deteksi Metal Detector

Dari Tabel 2,3, dan 4 dapat diketahui bahwa semakin dekat jarak deteksi metal maka frekuensi akan semakin besar dan Vpp akan semakin kecil.

Tabel 2.  
Tabel pengujian metal detector pada plat besi

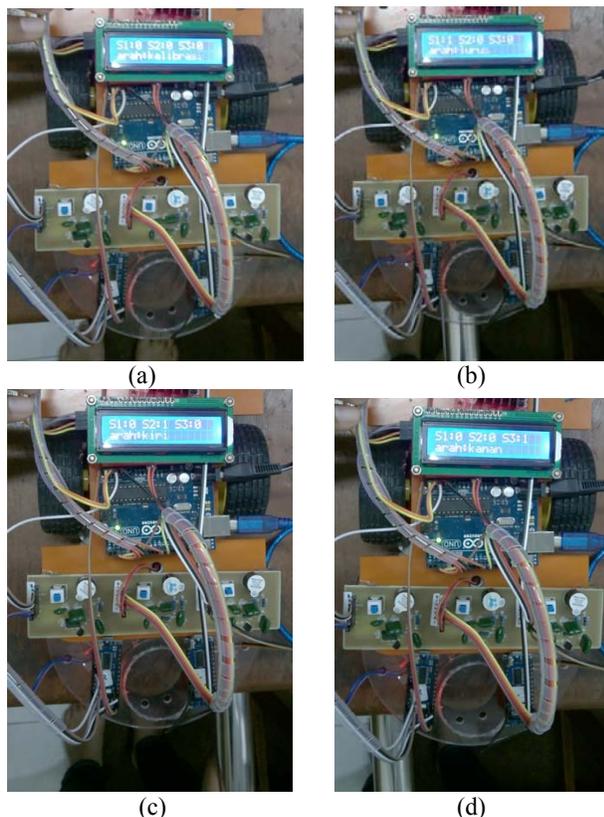
Jarak (cm)	Frekuensi (KHz)	Vpp
15	117,6	3,48
12	117,6	3,48
10	118,0	3,46
8	118,0	3,44
5	118,2	3,43
3	118,8	3,40
2	119,8	3,34
1	123,5	2,98
0	135,4	2,1

Tabel 3.  
Tabel pengujian metal detector pada plat aluminium

Jarak (cm)	Frekuensi (KHz)	Vpp
15	117,6	3,48
12	117,6	3,48
10	117,6	3,46
8	117,9	3,46
5	118,0	3,48
3	118,3	3,44
2	119,1	3,38
1	120,8	3,34
0	129,3	3,16

Tabel 4.  
Tabel pengujian metal detector pada plat seng

Jarak (cm)	Frekuensi (KHz)	Vpp
15	117,6	3,48
12	117,6	3,48
10	117,8	3,48
8	117,6	3,48
5	118,0	3,44
3	118,0	3,42
2	122,1	2,74
1	115,6	2,20
0	121,5	2,00



Gambar 10. Robot tampak atas dengan (a) respon saat semua sensor tidak aktif, (b) respon saat sensor depan aktif, (c) respon saat sensor kiri aktif, (d) respon saat sensor kanan aktif

**D. Pengujian dan Analisa Hasil Deteksi Metal Detector**

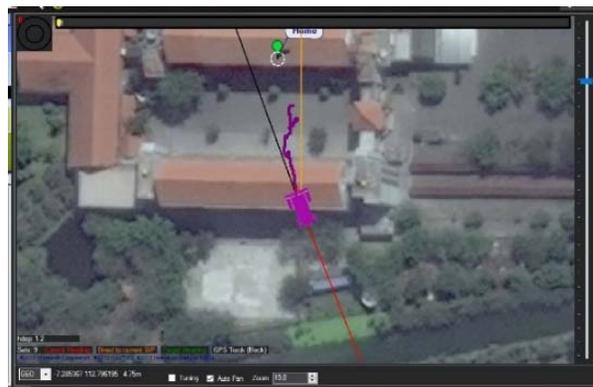
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon gerakan pada *mobile robot* saat sensor mendeteksi bahan logam. Arah gerakan ini ditunjukkan oleh *LCD display*, ditunjukkan pada Gambar 10.

**E. Pengujian dan Analisa Hasil Deteksi Metal Detector**

Pengujian dilakukan di lapangan parkir dosen jurusan Teknik Elektro ITS. Error yang didapatkan pada pengujian ini bervariasi antara 100-300 cm dari posisi awal (*home*). Hasil pengujian pada Gambar 11 dimana posisi awal robot diam, sedangkan pada Gambar 12 terlihat robot bergerak.



Gambar 11. Pengujian sistem pemetaan saat robot diam.



Gambar 12. Pengujian sistem pemetaan perpindahan robot

**VI. KESIMPULAN**

Konstruksi kumparan akan menentukan nilai induktansi yang kemudian akan menentukan frekuensi output dari osilator. Pengujian pada rancangan osilator Colpitts yang dibuat menghasilkan sinyal output sinusoidal dengan frekuensi sekitar 117,7 KHz. Kemudian pada pengujian *metal detector* pada bahan besi, aluminium, dan seng didapatkan hasil pendeteksian paling kuat yaitu pada besi yang merupakan bahan ferromagnetik dengan sensitivitas maksimal 10 cm. Error posisi GPS bervariasi antara 100-300 cm dari titik *home*.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Hermawan, Erwan. "Jakarta Tidak Memiliki Peta Jaringan Utilitas". <URL: <https://m.tempo.co/read/news/2014/07/19/214594173/jakarta-tidak-memiliki-peta-jaringan-utilitas>>. 2014
- [2] Theint, Yin Ming, Myo Maung Maung, Hla Myo Tun. 2015. *Metal Detector by Using PIC Microcontroller Interfacing with PC*. International Journal of Scientific & Technology Research
- [3] Jawad, Aqeel Mahmood, Haider Mahmood Jawad, dan Goh Chin Hock. 2014. *Design of a Beat Frequency Oscillator Metal Detector*. IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering
- [4] Pujiono. 2011. *Rangkaian Listrik: The First Step to Electrical World*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [5] Hayt, William Hart, John A. Buck. 2012. *Engineering Electromagnetics: Eighth Edition*. New York: The McGraw-Hill Companies, Inc
- [6] Moreland, Carl W. "Solenoidal Magnetic Field". <URL: <http://www.geotech1.com/pages/metdet/info/bfotheory/bfo.pdf>>. 1999
- [7] Cividjian, G. A., A. Dolan, N. Paduraru. 2004. *Inductance of Cylindrical Coil*. Serbian Journal of Electrical Engineering
- [8] Abdulmajeed, Wael R., Mehdi A. Hussein. 2015. *Factors Effect on Metal Detecting System using Mobile Robot*. International Journal of Computer Application
- [9] Priyanta, Irfan Fachruddin. 2016. *Pemetaan Gas Polutan Menggunakan Quadcopter Berbasis Autonomous Waypoint Navigation*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [10] Patic, Paul Ciprian, Mihaela Ardeleanu, Lucia Pascale. *Mobile Robot Design for Metal Objects Detection*. Romania: Valahia University of Targoviste