Perancangan Alat Pemilah Sampah Logam dan *Non*-Logam Menggunakan Penggerak Konveyor

1st M. Zahwa Fata Allamsyah
Direktorat Kampus Purwokerto
Universitas Telkom
Purwokerto, Indonesia
mzahwafataallamsyah@student.telkom university.ac.id

2nd Yulian Zetta Maulana
Direktorat Kampus Purwokerto
Universitas Telkom
Purwokerto, Indonesia
yulianm@telkomuniversity.ac.id

3rd Gunawan Wibisono
line 2: *Direktorat Kampus Purwokerto*
Universitas Telkom
Purwokerto, Indonesia
@telkomuniversity.ac.id

Abstrak--Ketidakefisienan dalam proses pemilahan sampah logam dan *non*-logam berdampak pada rendahnya efektivitas pengelolaan lingkungan. Kurangnya kesadaran masyarakat dalam memilah sampah sejak dari sumbernya menyebabkan limbah logam yang memiliki nilai ekonomis tinggi belum termanfaatkan secara optimal. Untuk menjawab permasalahan tersebut, diperlukan suatu alat otomatis yang mampu melakukan pemilahan berdasarkan jenis material secara lebih efisien. Sistem ini dirancang menggunakan mikrokontroler Arduino UNO, sensor *proximity* induktif, motor DC untuk menggerakkan konveyor, dan motor servo untuk mekanisme pemilah. Pengujian dilakukan terhadap berbagai jenis logam dengan variasi jarak deteksi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memilah logam dan *non*-logam secara tepat dengan tingkat akurasi mencapai 100%. Sensor memberikan kinerja terbaik pada logam feromagnetik hingga jarak 5 mm dan logam diamagnetik hingga 3 mm. Perangkat ini dinilai sesuai untuk diaplikasikan pada fasilitas daur ulang karena mampu meningkatkan efisiensi operasional serta mengurangi ketergantungan terhadap tenaga manusia.

Kata kunci Pemilah sampah, sensor *proximity* induktif, logam, konveyor, Arduino UNO, otomatisasi.

I. PENDAHULUAN

Masalah pengelolaan sampah menjadi isu lingkungan yang semakin penting, terutama akibat rendahnya kesadaran masyarakat dalam memilah sampah dari sumbernya [1]. Sampah logam memiliki nilai ekonomi tinggi apabila didaur ulang, namun saat ini masih sering tercampur dengan sampah *non*-logam yang menyebabkan proses daur ulang menjadi tidak efektif [2]. Data dari KLHK tahun 2024 menunjukkan masih banyak sampah logam belum terkelola dengan baik [3]. Untuk mengatasi hal ini, dibutuhkan teknologi alat pemilah sampah otomatis yang didukung oleh sensor, khususnya sensor *proximity* induktif, mampu mengenali material logam dengan tingkat ketepatan yang tinggi [4].

Penelitian ini mengembangkan perangkat pemilah sampah berbasis otomatis ini memanfaatkan sensor *proximity* induktif, mikrokontroler Arduino UNO, motor DC, dan motor servo. Sistem bekerja dengan menggerakkan konveyor untuk membawa sampah menuju sensor, kemudian motor servo mengarahkan sampah ke tempat sesuai jenis materialnya. Fokus penelitian ini adalah menguji akurasi sensor dan efektivitas sistem secara keseluruhan dalam memilah logam dan *non*-logam.

II. KAJIAN TEORI

A. Sampah Logam

Logam bekas merupakan jenis limbah yang berasal dari material seperti aluminium, besi, tembaga, dan baja, yang banyak dijumpai pada peralatan rumah tangga, kendaraan, maupun bangunan. Daur ulang logam memiliki manfaat besar karena dapat mengurangi kebutuhan penambangan, menekan pengurangan pelepasan gas pencemar atmosfer serta efisiensi penggunaan energi. Selain itu, logam bersifat dapat didaur ulang tanpa mengurangi kualitasnya, sehingga dapat digunakan berulang kali dan berkontribusi terhadap pengurangan volume sampah serta mendukung ekonomi sirkular yang berkelanjutan [5].

GAMBAR 1
(SAMPAH LOGAM)

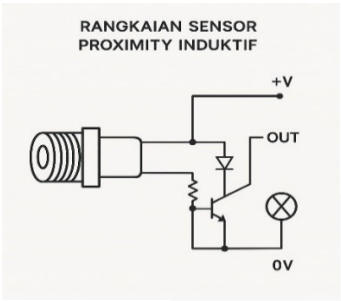
B. Sampah *Non*-Logam

Sampah *non*-logam merupakan limbah yang tidak mengandung unsur logam dalam komposisinya., contohnya plastik, kertas, kaca, kayu, dan kain, yang umum dijumpai dalam kehidupan sehari-hari. Jika tidak dikelola dengan baik, khususnya plastik yang sulit terurai, sampah ini dapat memberi pengaruh buruk terhadap kondisi lingkungan. Proses pengelolaan limbah dapat dilakukan dengan pendekatan daur ulang, pembakaran, maupun penimbunan. Di antara ketiganya, daur ulang dianggap paling ramah lingkungan karena dapat menekan jumlah limbah dan mencegah pencemaran secara terus-menerus. [6].

GAMBAR 2
(SAMPAH *NON*-LOGAM)

C. Sensor *Proximity* Induktif

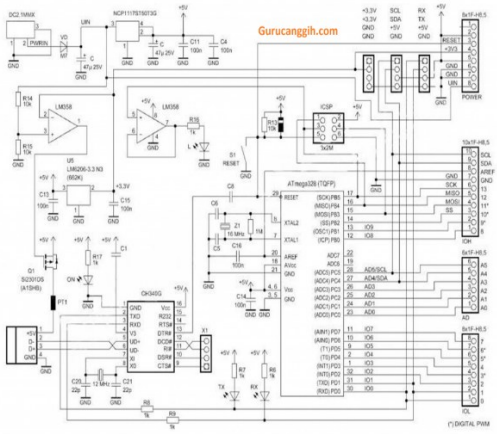
Sensor ini mengenali adanya material logam melalui perubahan medan elektromagnetik yang terjadi akibat arus *eddy* pada permukaan logam. Kinerja sensor mencapai tingkat optimal saat digunakan untuk mendeteksi logam yang memiliki sifat konduktif, seperti besi dan tembaga. Sensor *proximity* induktif tidak mendeteksi material *non*-logam karena tidak menimbulkan gangguan medan elektromagnetik [7].



GAMBAR 3
(RANGKAIAN SKEMATIK SENSOR *PROXIMITY* INDUKTIF)

D. Mikrokontroler Arduino UNO

Arduino UNO digunakan sebagai unit pemroses utama yang mengatur respon sensor dan mengendalikan motor penggerak dan pemilah [8].



GAMBAR 4
(GAMBAR RANGKAIAN SKEMATIK MIKROKONTROLER ARDUINO UNO)

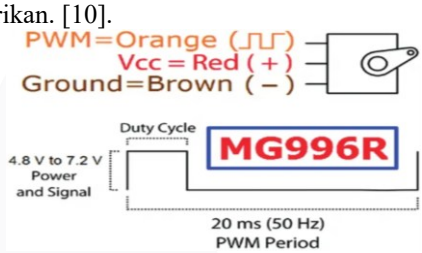
E. Motor DC

Motor DC merupakan salah satu tipe motor listrik yang berfungsi mengubah energi listrik arus searah menjadi energi gerak mekanis dengan menghasilkan putaran rotor sesuai tegangan yang diterima. Motor DC pada alat pemilah sampah logam dan *non*-logam berperan sebagai penggerak konveyor untuk mengarahkan sampah menuju tempat pemilahan berdasarkan jenis materialnya. Komponen utama motor ini meliputi rotor, stator, komutator, serta sikat karbon, dan memiliki dua terminal utama yang perlu disesuaikan dengan sumber tegangan serta sistem pengendali. Sifatnya yang sederhana dan mudah dalam pengaturan kecepatan menjadikan motor ini pilihan yang tepat untuk diaplikasikan sebagai penggerak konveyor pada alat pemilah otomatis. [9].

GAMBAR 5
(MOTOR DC)

F. Motor Servo

Motor servo merupakan jenis aktuator yang bergerak secara rotasi dan mampu mengatur posisi sudut secara presisi. Tersedia berbagai varian motor servo yang dapat dikendalikan melalui komunikasi serial maupun menggunakan teknik modulasi lebar pulsa (PWM). Penyesuaian sinyal PWM dengan standar input motor servo diperlukan agar pergerakan motor sesuai dengan perintah yang diberikan. [10].

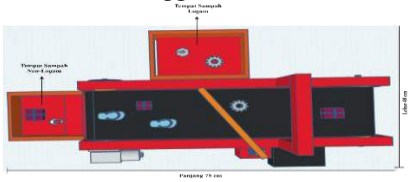


GAMBAR 6
(MOTOR SERVO)

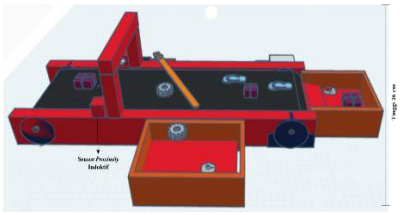
III. METODE

A. Perancangan *Hardware*

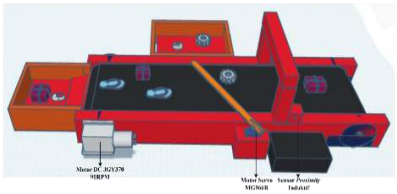
Perancangan perangkat keras dilakukan untuk menentukan wujud fisik pada sistem pemilah material logam dan *non*-logam berbasis konveyor, sekaligus mengatur letak komponen elektronik di dalamnya. Tahapan perancangan ini meliputi penyusunan rancangan fisik serta penempatan elemen elektronik pendukung. Bentuk fisik dirancang berdasarkan preferensi peneliti, dengan material utama berupa PVC berketebalan 8 mm. Ukuran keseluruhan prototipe alat terdiri atas tinggi 26 cm, panjang 75 cm, dan lebar 40 cm. Tampilan rancangan prototipe tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 hingga Gambar 3.



GAMBAR 7
(DESAIN ALAT PEMILAH SAMPAH TAMPAK ATAS)



GAMBAR 8
(DESAIN ALAT PEMILAH SAMPAH TAMPAK SAMPING KANAN)

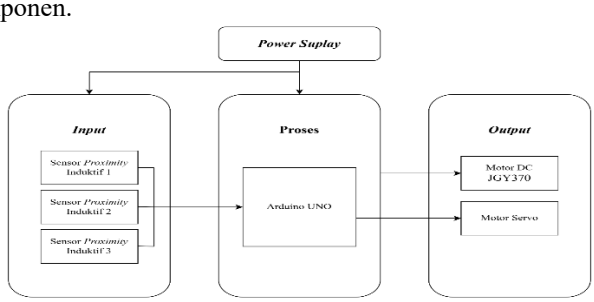


GAMBAR 9
(DESAIN ALAT PEMILAH SAMPAH TAMPAK SAMPING KIRI)

TABEL 1
(KETERANGAN NAMA KOMPONEN)

No.	Nama Alat dan Bahan	Jumlah
1	Arduino UNO	1
2	Sensor *Proximity* Induktif	3
3	Motor Servo	1
4	Motor DC JGY370 12V 90 RPM	1
5	*Power Suplay* 5 *Volt* 5 *Ampere*	1
6	Adaptor 12 *Volt*	1
7	Resistor 20K Ohm	1

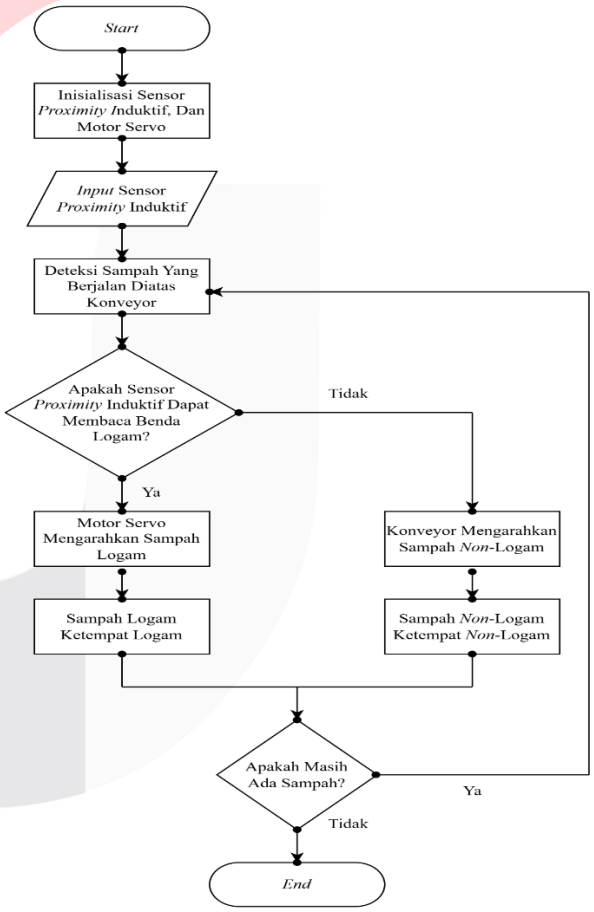
Susunan komponen elektrik pada sistem pemilah sampah logam dan *non*-logam berbasis konveyor terdiri atas tiga bagian utama, yaitu masukan (*input*), pemrosesan (proses), dan keluaran (*output*). Pada bagian masukan, digunakan sensor *proximity* induktif yang berperan dalam mendeteksi keberadaan material logam. Setelah terdeteksi, sensor mengirimkan sinyal ke bagian pemrosesan yang dikendalikan oleh mikrokontroler Arduino UNO. Unit ini bertugas untuk menerima sinyal dari sensor, mengolah informasi, serta mengatur pengoperasian aktuator pada bagian keluaran. Bagian keluaran mencakup motor DC sebagai penggerak konveyor dan motor servo yang berfungsi sebagai mekanisme pemilah. Motor servo ini menggerakkan lengan pemilah untuk mengarahkan sampah sesuai perintah yang dikirimkan oleh mikrokontroler Arduino UNO. Seluruh rangkaian sistem memperoleh pasokan energi dari catu daya (*power supply*) yang menyuplai arus listrik ke masing-masing komponen.



GAMBAR 10
BLOK DIAGRAM SISTEM

B. Perancangan *Software*

Tahap perancangan perangkat lunak mencakup penyusunan program untuk mikrokontroler. Proses dimulai dengan melakukan inisialisasi terhadap sensor *proximity* induktif dan motor servo. Setelah sistem aktif, sensor *proximity* induktif berfungsi mendeteksi objek sampah yang bergerak di atas konveyor. Apabila sensor mendeteksi bahwa objek merupakan logam, maka motor servo akan diaktifkan untuk mengarahkan sampah logam ke wadah yang telah ditentukan. Sebaliknya, jika material logam tidak teridentifikasi, konveyor akan tetap berjalan guna mengantarkan sampah non-logam ke area pemilahan. Proses ini berlangsung secara berulang hingga seluruh sampah selesai diproses. Sebelum sistem berhenti, dilakukan pengecekan akhir untuk memastikan masih adanya sampah yang harus dipilah. Jika ditemukan, sistem akan kembali menjalankan proses pendeteksian. Namun, apabila tidak terdapat sampah tersisa, maka sistem akan berhenti secara otomatis. Alur kerja sistem ditunjukkan pada Gambar 5, dalam bentuk diagram alir.



GAMBAR 11
(*FLOWCHART* SISTEM)

C. Pengujian Mikrokontroler Arduino UNO

Uji fungsi mikrokontroler Arduino UNO dilakukan guna memastikan bahwa perangkat kendali mampu menerima, memproses, dan mendistribusikan sinyal ke seluruh komponen secara tepat. Pengujian ini mencakup proses pengiriman sinyal ke sensor serta tanggapan sistem terhadap masukan yang diterima.

D. Pengujian Sensor *Proximity* Induktif

Pengujian kinerja sensor *proximity* induktif dilakukan guna memastikan kemampuannya dalam mengenali objek berbahan logam secara tepat. Pengujian melibatkan berbagai jenis material untuk menegaskan bahwa benda logam dapat terdeteksi dan memicu pengiriman sinyal menuju mikrokontroler.

E. Pengujian Motor Servo

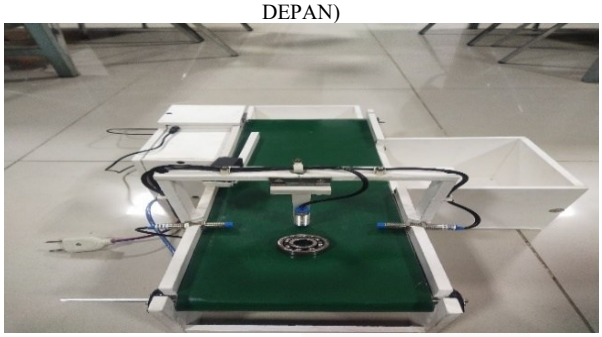
Motor servo diuji guna menilai performa kecepatan, ketepatan, dan kestabilan gerak dalam berbagai kondisi operasi serta mengetahui batas beban maksimum yang dapat diakomodasi.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

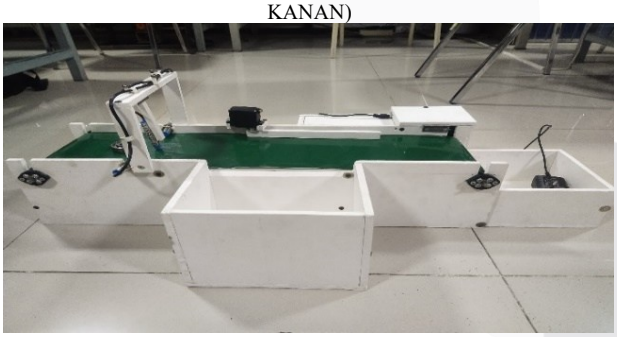
A. Implementasi Rancangan

Setelah rancangan dibuat, kemudian diimplementasikan ke dalam bentuk nyata menjadi hasil akhir dari alat yang dibuat. Hasil akhirnya sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 12 hingga 14.

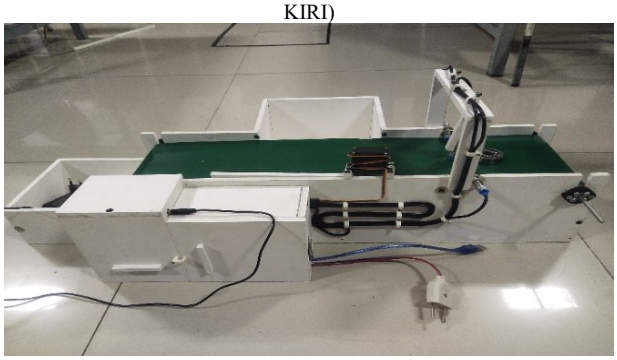
GAMBAR 12
(ALAT PEMILAH SAMPAH LOGAM DAN *NON*-LOGAM TAMPAK DEPAN)



GAMBAR 13
(ALAT PEMILAH SAMPAH LOGAM DAN *NON*-LOGAM SAMPING KANAN)



GAMBAR 14
(ALAT PEMILAH SAMPAH LOGAM DAN *NON*-LOGAM SAMPING KIRI)



B. Pengujian Sensor *Proximity* Induktif Terhadap Benda Logam

TABEL 2
PENGUJIAN SENSOR *PROXIMITY* INDUKTIF DENGAN MATERIAL BESI.

No	Material Objek	Jarak Deteksi (mm)	Terdeteksi		Tegangan (v)	
			Ya	Tidak	Sebelum	Sesudah
1	Besi (Pipa)	1 mm	Ya		1,26 (V)	5,09 (V)
		2 mm	Ya			
		3 mm	Ya			
		4 mm	Ya			
		5 mm	Ya			
		6 mm		Tidak	1,26 (V)	1,26 (V)
		7 mm		Tidak		
		8 mm		Tidak		

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor *proximity* induktif dapat mengenali material besi pada jarak antara 1 hingga 5 mm, tetapi tidak mampu melakukan deteksi apabila jaraknya melebihi 5 mm. Hal ini disebabkan oleh melemahnya medan elektromagnetik sensor yang tidak lagi mampu menginduksi arus *eddy* secara efektif pada jarak jauh. Material besi yang memiliki konduktivitas tinggi sebesar 1,0 × 10^7 S/m menghasilkan arus *eddy* yang cukup kuat saat berada dekat dengan sensor, sehingga memungkinkan deteksi. Tegangan keluaran sensor meningkat dari 1,26 *volt* menjadi 5,09 *volt* saat logam terdeteksi, dan tetap di angka 1,26 *volt* saat tidak terdeteksi, menunjukkan adanya interaksi medan magnet dan logam. Dengan demikian, jarak deteksi sensor sangat dipengaruhi oleh konduktivitas logam, sifat feromagnetik, serta kekuatan medan magnet sensor.

TABEL 3
PENGUJIAN SENSOR *PROXIMITY* INDUKTIF DENGAN MATERIAL BAJA.

No	Material Objek	Jarak Deteksi (mm)	Terdeteksi		Tegangan (v)	
			Ya	Tidak	Sebelum	Sesudah
1	Baja (Bering Motor)	1 mm	Ya		1,26 (V)	5,09 (V)
		2 mm	Ya			
		3 mm	Ya			
		4 mm	Ya			
		5 mm	Ya			
		6 mm		Tidak	1,26 (V)	1,26 (V)
		7 mm		Tidak		
		8 mm		Tidak		

Berdasarkan hasil pengujian, sensor *proximity* induktif terbukti dapat mengenali material baja (bearing motor) pada rentang jarak 1 sampai 5 mm, namun tidak lagi mampu mendeteksi keberadaan logam baja jika melebihi jarak 5 mm. Hal ini disebabkan oleh melemahnya medan elektromagnetik sensor sehingga tidak mampu lagi menginduksi arus *eddy* yang cukup pada permukaan baja. Dengan konduktivitas listrik sebesar 6,9 × 10^6 S/m, baja menghasilkan arus *eddy* yang signifikan pada jarak dekat, menyebabkan perubahan tegangan keluaran dari 1,26 *volt* menjadi 5,09 *volt*. Sifat feromagnetik baja turut memperkuat medan magnet di sekitarnya, namun deteksi tetap terbatas oleh kekuatan medan yang dihasilkan sensor. Oleh karena itu, konduktivitas dan sifat magnetik logam sangat memengaruhi efektivitas

deteksi, namun jarak tetap menjadi faktor pembatas utama kinerja sensor.

TABEL 4
(PENGUJIAN SENSOR *PROXIMITY* INDUKTIF DENGAN MATERIAL ALUMINIUM.)

No	Material Objek	Jarak Deteksi (mm)	Terdeteksi		Tegangan (v)	
			Ya	Tidak	Sebelum	Sesudah
1	Aluminium (Kaleng Minuman)	1 mm	Ya		1,26 (V)	5,09 (V)
		2 mm	Ya			
		3 mm	Ya			
		4 mm	Ya			
		5 mm		Tidak		
		6 mm		Tidak	1,26 (V)	1,26 (V)
		7 mm		Tidak		
		8 mm		Tidak		

Hasil pengujian sensor *proximity* induktif terhadap aluminium menunjukkan bahwa sensor dapat mengenali material aluminium pada rentang jarak 1 hingga 4 mm, tetapi tidak lagi mendeteksi apabila jarak melebihi 4 mm. Hal ini disebabkan oleh melemahnya medan elektromagnetik sensor yang tidak lagi mampu membangkitkan arus *eddy* secara signifikan pada jarak jauh. Aluminium, dengan konduktivitas listrik tinggi sebesar $2,7 \times 10^7$ S/m, memungkinkan pembentukan arus *eddy* yang kuat pada jarak dekat, namun sifat diamagnetiknya menyebabkan interaksi dengan medan magnet sensor menjadi lemah. Tegangan sensor meningkat dari 1,26 *volt* menjadi 5,09 *volt* saat mendeteksi logam, lalu kembali turun ketika jarak melebihi ambang deteksi. Dengan demikian, Kemampuan deteksi sensor *proximity* induktif sangat bergantung pada tingkat konduktivitas listrik dan karakteristik kemagnetan dari material yang diuji, serta kekuatan medan elektromagnetik sensor.

TABEL 5
(PENGUJIAN SENSOR *PROXIMITY* INDUKTIF DENGAN MATERIAL STAINLESS STEEL.)

No	Material Objek	Jarak Deteksi (mm)	Terdeteksi		Tegangan (v)	
			Ya	Tidak	Sebelum	Sesudah
1	Stainless Steel (Sendok Makan)	1 mm	Ya		1,26 (V)	5,09 (V)
		2 mm	Ya			
		3 mm	Ya			
		4 mm	Ya			
		5 mm		Tidak	1,26 (V)	1,26 (V)
		6 mm		Tidak		
		7 mm		Tidak		
		8 mm		Tidak		

Pengujian sensor *proximity* induktif pada material logam jenis stainless steel, seperti sendok makan, menunjukkan bahwa respons deteksi hanya muncul pada jarak antara 1 hingga 4 mm, yang ditandai dengan tegangan mengalami kenaikan dari 1,26 *volt* hingga mencapai 5,09 *volt*. Kegagalan deteksi mulai terjadi ketika jarak melebihi 4 mm karena lemahnya arus *eddy* yang terbentuk akibat rendahnya konduktivitas listrik stainless steel sebesar $1,4 \times 10^6$ S/m dan sifat magnetiknya yang paramagnetik (SS 304), sehingga tidak mampu memperkuat medan elektromagnetik sensor. Oleh karena itu, kemampuan sensor *proximity* induktif dalam mengenali material stainless steel hanya optimal pada jarak yang pendek, disebabkan oleh tingkat konduktivitas listrik dan sifat kemagnetan yang dimiliki oleh stainless steel.

TABEL 6
(PENGUJIAN SENSOR *PROXIMITY* INDUKTIF DENGAN MATERIAL KUNINGAN.)

No	Material Objek	Jarak Deteksi (mm)	Terdeteksi		Tegangan (v)	
			Ya	Tidak	Sebelum	Sesudah
1	Kuningan (Uang Koin)	1 mm	Ya		1,26 (V)	5,09 (V)
		2 mm	Ya			
		3 mm	Ya			
		4 mm		Tidak	1,26 (V)	1,26 (V)
		5 mm		Tidak		
		6 mm		Tidak		
		7 mm		Tidak		
		8 mm		Tidak		

Hasil pengujian terhadap material kuningan menunjukkan bahwa sensor *proximity* induktif hanya dapat mengenali logam tersebut pada jarak maksimal 3 mm. Hal ini disebabkan oleh melemahnya medan elektromagnetik sensor pada jarak lebih dari 3 mm, sehingga tidak dapat menginduksi arus *eddy* yang cukup kuat pada material kuningan. Meskipun kuningan memiliki konduktivitas listrik sebesar $1,5 \times 10^7$ S/m, sifat diamagnetiknya menyebabkan interaksi dengan medan magnet sensor menjadi terbatas, terutama pada jarak yang lebih jauh. Ketika berada pada jarak dekat, arus *eddy* yang terbentuk menyebabkan tegangan sensor meningkat dari 1,26 *volt* menjadi 5,09 *volt*. Namun, saat jarak melebihi 3 mm, tegangan kembali menurun ke nilai semula. Oleh karena itu, keberhasilan deteksi ditentukan oleh kuatnya medan elektromagnetik yang dihasilkan sensor serta kemampuan material dalam menghasilkan arus *eddy* yang memadai untuk dapat dikenali.

TABEL 7
(PENGUJIAN SENSOR *PROXIMITY* INDUKTIF DENGAN MATERIAL TEMBAGA.)

No	Material Objek	Jarak Deteksi (mm)	Terdeteksi		Tegangan (v)	
			Ya	Tidak	Sebelum	Sesudah
1	Tembaga (Lilitan kabel Tembaga)	1 mm	Ya		1,26 (V)	5,09 (V)
		2 mm	Ya			
		3 mm		Tidak	1,26 (V)	1,26 (V)
		4 mm		Tidak		
		5 mm		Tidak		
		6 mm		Tidak		
		7 mm		Tidak		
		8 mm		Tidak		

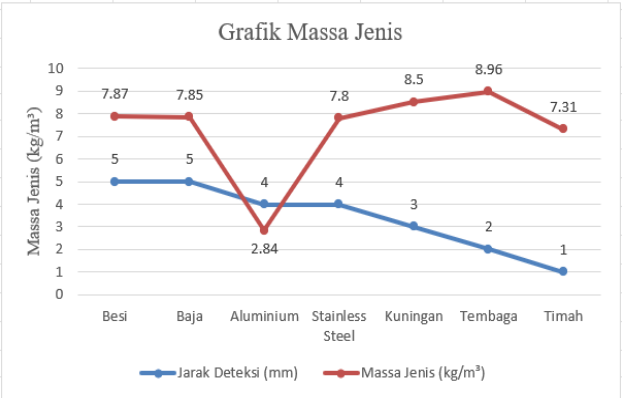
Hasil pengujian sensor *proximity* induktif terhadap kawat tembaga yang dilapisi isolator menunjukkan bahwa deteksi hanya efektif dilakukan pada jarak antara 1 hingga 2 mm. Hal ini ditandai oleh kenaikan tegangan dari 1,26 *volt* menjadi 5,09 *volt* sebagai akibat adanya gangguan pada medan elektromagnetik yang ditimbulkan oleh arus *eddy*. Meskipun tembaga memiliki konduktivitas listrik sangat tinggi ($5,8 \times 10^7$ S/m), sensor kehilangan kemampuan deteksi pada jarak di atas 2 mm karena sifat diamagnetiknya tidak memperkuat medan magnet, sehingga pantulan medan yang diterima sensor menjadi sangat lemah. Hal ini menandakan bahwa kinerja sensor *proximity* induktif dalam mendeteksi tembaga bergantung pada sifat kelistrikan dan kemagnetan yang dimiliki oleh logam tembaga.

TABEL 8
(PENGUJIAN SENSOR *PROXIMITY* INDUKTIF DENGAN MATERIAL TIMAH.)

No	Material Objek	Jarak Deteksi (mm)	Terdeteksi		Tegangan (v)	
			Ya	Tidak	Sebelum	Sesudah
1	Timah (Timah Solder)	1 mm	Ya		1,26 (V)	5,09 (V)
		2 mm		Tidak	1,26 (V)	1,26 (V)
		3 mm		Tidak		
		4 mm		Tidak		
		5 mm		Tidak		
		6 mm		Tidak		
		7 mm		Tidak		
		8 mm		Tidak		

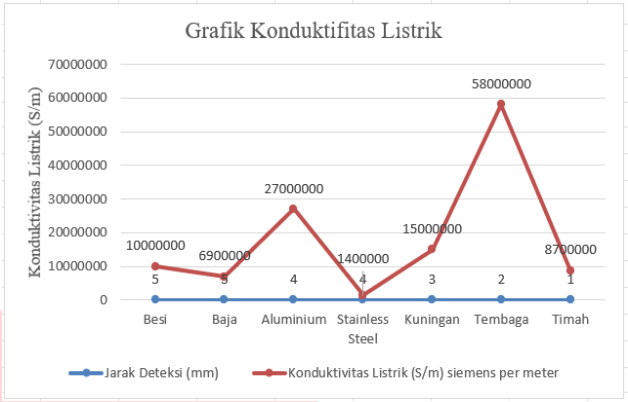
Hasil pengujian sensor *proximity* induktif menunjukkan respon terhadap material berupa timah. pada Tabel 8 dan karakteristik konduktivitasnya pada Lampiran 21, diketahui bahwa jarak maksimum deteksi sensor terhadap material timah adalah sejauh 1 mm. Hal ini disebabkan oleh konduktivitas listrik timah yang tergolong sedang, yaitu 8,7 × 10^6 S/m, jauh lebih rendah dibandingkan tembaga maupun aluminium, serta konduktivitas panasnya yang juga rendah. Rendahnya konduktivitas menyebabkan arus *eddy* yang dihasilkan sangat lemah, sehingga tidak mampu memengaruhi medan elektromagnetik sensor pada jarak lebih dari 1 mm. Oleh karena itu, logam dengan tingkat konduktivitas yang lebih rendah akan terdeteksi pada jarak yang lebih pendek oleh sensor *proximity* induktif; dalam hal ini, timah hanya dapat dikenali pada jarak yang sangat dekat.

GAMBAR 15
(GRAFIK HUBUNGAN BENDA LOGAM TERHADAP SENSOR *PROXIMITY* INDUKTIF BERDASARKAN MASSA JENIS.)



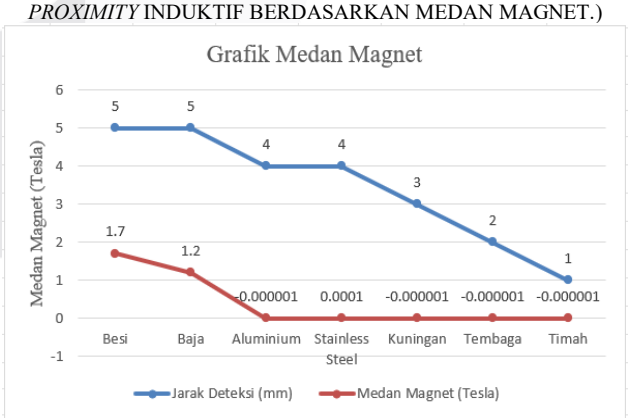
Hasil grafik antara massa jenis logam dan jarak deteksi sensor *proximity* induktif menunjukkan bahwa kemampuan deteksi lebih ditentukan oleh karakteristik elektromagnetik material dibandingkan massa jenisnya. Logam feromagnetik seperti besi dan baja mampu terdeteksi hingga 5 mm karena kemampuannya memperkuat medan magnet dan menghasilkan arus *eddy* yang kuat. Sebaliknya, logam diamagnetik seperti kuningan dan tembaga, meskipun memiliki massa jenis tinggi, hanya terdeteksi pada jarak yang lebih pendek, yakni 2–3 mm. Contoh lainnya, aluminium dengan massa jenis rendah tetap terdeteksi pada jarak 4 mm, sementara timah dengan massa jenis lebih tinggi hanya terdeteksi pada 1 mm. Temuan ini menunjukkan bahwa massa jenis tidak memiliki hubungan linear dengan jarak deteksi sensor, sehingga karakteristik elektromagnetik material perlu dijadikan faktor utama dalam merancang sistem pemilah logam yang menggunakan sensor *proximity* induktif.

GAMBAR 16
(GRAFIK HUBUNGAN BENDA LOGAM TERHADAP SENSOR *PROXIMITY* INDUKTIF BERDASARKAN KONDUKTIVITAS LISTRIK.)



Berdasarkan analisis grafik hubungan antara konduktivitas listrik dan respons sensor *proximity* induktif, dapat diketahui bahwa efektivitas sensor dalam mendeteksi logam tidak sepenuhnya ditentukan oleh besarnya nilai konduktivitas, melainkan juga dipengaruhi secara signifikan oleh sifat kemagnetan dari material. Meskipun memiliki konduktivitas yang lebih rendah, Material feromagnetik seperti besi dan baja masih dapat dikenali oleh sensor hingga jarak 5 mm, sementara logam tembaga hanya terdeteksi pada jarak maksimum 2 mm. Hal ini menunjukkan bahwa sifat feromagnetik memperkuat medan magnet sensor dan meningkatkan respon deteksi. Aluminium dan stainless steel yang bersifat paramagnetik terdeteksi hingga 4 mm, sementara logam diamagnetik seperti kuningan dan timah hanya terdeteksi pada jarak 3 mm dan 1 mm. Dengan demikian, logam dengan kombinasi konduktivitas tinggi dan sifat feromagnetik memberikan kinerja deteksi terbaik pada sensor *proximity* induktif.

GAMBAR 17
(GRAFIK HUBUNGAN BENDA LOGAM TERHADAP SENSOR *PROXIMITY* INDUKTIF BERDASARKAN MEDAN MAGNET.)



Grafik memperlihatkan bahwa sensor *proximity* induktif memiliki efektivitas tertinggi dalam mendeteksi logam feromagnetik, seperti besi dan baja, yang memiliki intensitas medan magnet cukup besar (masing-masing 1,7 dan 1,2 Tesla) serta dapat terdeteksi hingga jarak 5 mm. Hal ini disebabkan kemampuan logam feromagnetik dalam memperkuat medan elektromagnetik sensor dan membangkitkan arus *eddy* yang signifikan. Sebaliknya,

logam *non*-feromagnetik seperti aluminium, stainless steel, kuningan, tembaga, dan timah memiliki medan magnet sangat lemah (0 hingga -0,0001 Tesla), sehingga hanya terdeteksi pada jarak lebih pendek (1–4 mm). Meskipun beberapa logam memiliki konduktivitas tinggi, sifat *non*-magnetiknya menghambat pembentukan arus *eddy*, sehingga tidak berpengaruh signifikan terhadap jarak deteksi. Oleh karena itu, kinerja sensor tidak semata-mata bergantung pada konduktivitas listrik suatu material, melainkan juga dipengaruhi oleh sifat kemagnetannya, di mana sensor *proximity* induktif bekerja lebih efektif pada logam yang bersifat feromagnetik.

C. Pengujian Sensor *Proximity* Induktif Terhadap Benda *Non*-Logam

TABEL 9
(PENGUJIAN SENSOR *PROXIMITY* INDUKTIF DENGAN MATERIAL PLASTIK.)

No	Material Objek	Jarak Deteksi (mm)	Terdeteksi		Tegangan (V)	
			Ya	Tidak	Sebelum	Sesudah
1	Plastik (Botol Minuman)	1 mm		Tidak	1,26 (V)	1,26 (V)
		2 mm		Tidak		
		3 mm		Tidak		
		4 mm		Tidak		
		5 mm		Tidak		
		6 mm		Tidak		
		7 mm		Tidak		
		8 mm		Tidak		

Data pada Tabel 9 menunjukkan bahwa sensor *proximity* induktif tidak merespons material botol plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dalam jarak pengujian antara 1 mm hingga 8 mm. Seluruh percobaan menghasilkan status 'Tidak Terdeteksi' dengan tegangan tetap sebesar 1,26 *Volt*, yang menandakan tidak terjadinya interaksi antara sensor dan material plastik. Hal ini disebabkan karena PET merupakan bahan isolator yang tidak konduktif dan tidak memengaruhi medan elektromagnetik sensor, sehingga variasi jarak deteksi tidak memberikan pengaruh. Oleh karena itu, sensor *proximity* induktif tidak mampu mengenali keberadaan material *non*-logam, termasuk plastik jenis PET.

TABEL 10
(PENGUJIAN SENSOR *PROXIMITY* INDUKTIF DENGAN MATERIAL KAYU.)

No	Material Objek	Jarak Deteksi (mm)	Terdeteksi		Tegangan (V)	
			Ya	Tidak	Sebelum	Sesudah
1	Kayu (Albasia)	1 mm		Tidak	1,26 (V)	1,26 (V)
		2 mm		Tidak		
		3 mm		Tidak		
		4 mm		Tidak		
		5 mm		Tidak		
		6 mm		Tidak		
		7 mm		Tidak		
		8 mm		Tidak		

Mengacu pada hasil pengujian yang tercantum dalam Tabel 10, sensor *proximity* induktif tidak dapat mengenali material kayu jenis albasia pada seluruh rentang jarak 1 hingga 8 mm. Nilai tegangan keluaran tetap berada pada posisi stabil sebesar 1,26 *Volt*, yang menunjukkan bahwa tidak terjadi perubahan sinyal. Keadaan ini terjadi karena sensor *proximity* induktif hanya merespons gangguan pada medan elektromagnetik, yang umumnya disebabkan oleh keberadaan material konduktif seperti logam. Kayu albasia bersifat isolator sehingga tidak memengaruhi medan magnet, menyebabkan sensor tidak dapat mengenali material *non*-logam ini meskipun jarak deteksi divariasikan.

TABEL 11
(PENGUJIAN SENSOR *PROXIMITY* INDUKTIF DENGAN MATERIAL KERTAS.)

No	Material Objek	Jarak Deteksi (mm)	Terdeteksi		Tegangan (V)	
			Ya	Tidak	Sebelum	Sesudah
1	Kertas	1 mm		Tidak	1,26 (V)	1,26 (V)
		2 mm		Tidak		
		3 mm		Tidak		
		4 mm		Tidak		
		5 mm		Tidak		
		6 mm		Tidak		
		7 mm		Tidak		
		8 mm		Tidak		

Berdasarkan data pada Tabel 11, sensor *proximity* induktif tidak berhasil mengenali material kertas dalam rentang jarak 1 mm hingga 8 mm, yang ditunjukkan dengan keluaran tegangan yang tetap stabil sebesar 1,26 *Volt*. Kondisi ini terjadi karena kertas tergolong bahan *non*-logam, bersifat tidak konduktif, dan tidak memiliki sifat magnetik. Mengingat prinsip kerja sensor *proximity* induktif bergantung pada gangguan medan elektromagnetik akibat keberadaan logam, maka bahan seperti kertas tidak memberikan respon meskipun jarak pengujian divariasikan.

TABEL 12
(PENGUJIAN SENSOR *PROXIMITY* INDUKTIF DENGAN MATERIAL KAIN.)

No	Material Objek	Jarak Deteksi (mm)	Terdeteksi		Tegangan (V)	
			Ya	Tidak	Sebelum	Sesudah
1	Kain Perca	1 mm		Tidak	1,26 (V)	1,26 (V)
		2 mm		Tidak		
		3 mm		Tidak		
		4 mm		Tidak		
		5 mm		Tidak		
		6 mm		Tidak		
		7 mm		Tidak		
		8 mm		Tidak		

Berdasarkan hasil pengujian terhadap sensor *proximity* induktif pada material kain perca dengan variasi jarak antara 1 mm hingga 8 mm, diperoleh bahwa sensor tidak memberikan respon pada seluruh rentang jarak yang diuji. Tegangan keluaran tercatat stabil pada nilai 1,26 *Volt*, tanpa adanya perubahan yang mengindikasikan deteksi. Sensor *proximity* induktif bekerja dengan prinsip induksi elektromagnetik yang merespon keberadaan logam melalui pembentukan arus *eddy*. Karena kain perca tidak memiliki sifat konduktif dan tidak mampu membangkitkan arus *eddy*, maka material kain perca tidak terdeteksi oleh sensor. Oleh sebab itu, sensor jenis ini tidak dapat digunakan untuk mendeteksi material *non*-logam seperti kain perca secara efektif.

TABEL 13
(PENGUJIAN SENSOR *PROXIMITY* INDUKTIF DENGAN MATERIAL KARET.)

No	Material Objek	Jarak Deteksi (mm)	Terdeteksi		Tegangan (V)	
			Ya	Tidak	Sebelum	Sesudah
1	Karet Gelang	1 mm		Tidak	1,26 (V)	1,26 (V)
		2 mm		Tidak		
		3 mm		Tidak		
		4 mm		Tidak		
		5 mm		Tidak		
		6 mm		Tidak		
		7 mm		Tidak		
		8 mm		Tidak		

Berdasarkan hasil pengujian terhadap material karet gelang sebagaimana tercantum pada Tabel 13, sensor *proximity* induktif tidak memberikan respon pada seluruh variasi jarak antara 1 mm hingga 8 mm. Tegangan yang dihasilkan tetap stabil pada 1,26 *Volt*, menandakan bahwa sensor tidak mengalami perubahan sinyal. Kondisi ini disebabkan oleh sifat isolatif dari karet yang tidak memungkinkan aliran arus listrik, sehingga tidak terbentuk arus *eddy* yang diperlukan untuk memengaruhi medan elektromagnetik sensor. Dengan demikian, sensor *proximity* induktif tidak mampu mendeteksi material *non*-logam seperti karet gelang, meskipun jarak pengujian telah divariasikan.

TABEL 14
(PENGUJIAN DATA SENSOR *PROXIMITY* INDUKTIF.)

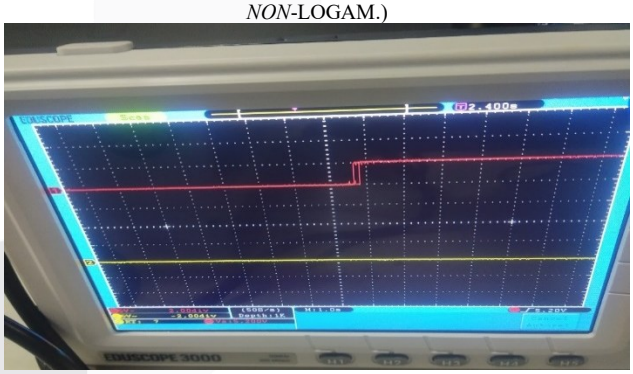
No	Jenis Material	Kategori	Jarak Deteksi (mm)	Status Deteksi	Tegangan Keluar
1	Besi	Logam	5	Terdeteksi	5,09 (V)
2	Baja	Logam	5	Terdeteksi	5,09 (V)
3	Aluminium	Logam	4	Terdeteksi	5,09 (V)
4	Stainless Steel	Logam	4	Terdeteksi	5,09 (V)
5	Kuningan	Logam	3	Terdeteksi	5,09 (V)
6	Tembaga	Logam	2	Terdeteksi	5,09 (V)
7	Timah	Logam	1	Terdeteksi	5,09 (V)
8	Plastik	*Non*-Logam	0	Tidak Terdeteksi	1,26 (V)
9	Kayu	*Non*-Logam	0	Tidak Terdeteksi	1,26 (V)
10	Kertas	*Non*-Logam	0	Tidak Terdeteksi	1,26 (V)
11	Kain	*Non*-Logam	0	Tidak Terdeteksi	1,26 (V)
12	Karet	*Non*-Logam	0	Tidak Terdeteksi	1,26 (V)

Berdasarkan data pada Tabel 14, sensor *proximity* induktif mampu mendeteksi seluruh jenis logam seperti besi, baja, aluminium, stainless steel, kuningan, tembaga, dan timah dalam rentang jarak 1 hingga 5 mm, dengan tegangan keluaran mencapai 5,09 *volt* dan status "Terdeteksi". Sementara itu, material *non*-logam seperti plastik, kayu, kertas, kain, dan karet tidak memberikan respons, ditunjukkan oleh nilai jarak 0 mm dan tegangan sebesar 1,26 *volt*. Temuan ini mempertegas bahwa sensor hanya merespons material logam, sesuai dengan prinsip kerja induksi elektromagnetik yang tidak dipengaruhi oleh bahan *non*-logam.

GAMBAR 18
(GELOMBANG KETIKA SENSOR MENDETEKSI MATERIAL LOGAM.)

Pada gambar 12 menunjukkan hasil tangkapan sensor *proximity* induktif pada layar osiloskop saat mendeteksi logam. Gelombang berwarna merah menunjukkan tegangan dari sumber sebesar 5 *volt*, sedangkan gelombang kuning merepresentasikan sinyal keluaran sensor. Ketika material logam berada di area deteksi, arus *eddy* yang dihasilkan menyebabkan gangguan pada medan elektromagnetik, sehingga tegangan keluaran turun tajam hingga mencapai nilai -5 *volt*. Sebaliknya, jika tidak terdapat logam di sekitar sensor, medan tetap stabil dan sinyal naik hingga +5 *volt*. Pola perubahan ini mencerminkan kemampuan sensor dalam membedakan keberadaan logam secara elektromagnetik.

GAMBAR 19
(GELOMBANG KETIKA SENSOR TIDAK MENDETEKSI MATERIAL *NON*-LOGAM.)



Gambar 13 menampilkan bentuk sinyal yang terpantau pada osiloskop dan merefleksikan kinerja sensor *proximity* induktif yang bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Warna merah pada sinyal menunjukkan tegangan *input* sebesar 5 *volt*, sedangkan warna kuning menggambarkan *output* dari sensor. Pada saat sensor tidak mendeteksi logam melainkan material *non*-logam, medan elektromagnetik tetap stabil karena tidak terbentuk arus *eddy*. Kondisi ini menyebabkan keluaran sensor tetap berada pada tingkat tegangan yang stabil tanpa fluktuasi berarti. Temuan ini mengindikasikan bahwa sensor memberikan respon hanya terhadap logam, serta mampu membedakan jenis material dengan ketelitian yang tinggi.

TABEL 15
(PENGUJIAN MOTOR SERVO SEBAGAI LENGAN PEMILAH.)

No	Pengujian	Parameter				
		Kecepatan Gerak Dari posisi 0^0 Ke 90^0	Akurasi Posisi dari Posisi 0^0 Ke 90^0	Waktu Sensor Mendeteksi Logam Hingga Servo Merespon	Beban Maksimum Saat Pengujian	Konsistensi
1	1	0,40 detik	100%	6,89	500 Gram	Stabil
2	2	0,40 detik	100%	6,89	500 Gram	Stabil
3	3	0,40 detik	100%	6,89	500 Gram	Stabil
4	4	0,40 detik	100%	6,89	500 Gram	Stabil
5	5	0,40 detik	100%	6,89	500 Gram	Stabil
6	6	0,40 detik	100%	6,89	500 Gram	Stabil
7	7	0,40 detik	100%	6,89	500 Gram	Stabil
8	8	0,40 detik	100%	6,89	500 Gram	Stabil
9	9	0,40 detik	100%	6,89	500 Gram	Stabil
10	10	0,40 detik	100%	6,89	500 Gram	Stabil

Pengujian terhadap motor servo memperlihatkan kinerja yang stabil dan tetap konsisten selama sepuluh kali uji coba. Pergerakan dari sudut 0° menuju 90° berlangsung selama 0,40 detik secara berulang dengan tingkat akurasi mencapai 100% pada seluruh percobaan. Waktu respon sistem dari deteksi sensor hingga pergerakan penuh servo tercatat konsisten sebesar 6,89 detik, meskipun bekerja di bawah beban tetap sebesar 500 gram. Seluruh parameter menunjukkan kestabilan, baik dari segi kecepatan, akurasi, maupun respon, sehingga motor servo dinilai andal untuk diterapkan dalam sistem otomatis yang membutuhkan presisi tinggi dan ketahanan terhadap beban tetap.

TABEL 16
(PENGUJIAN ALAT DENGAN MATERIAL BENDA LOGAM.)

No	Kategori	Jenis Benda	Pengujian Dapat Memilah/Tidak				
			1	2	3	4	5
1	Logam	Pipa besi	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
2		Bering Motor	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
3		Kaleng Minuman	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
4		Sendok Makan	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
5		Uang Koin	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
6		Lilitan Kabel	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
7		Timah Solder	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
8		Busi Motor	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
9		Kaleng Cat	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
10		Mur	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
11		Baut	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
12		Ring Baut	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
13		Kawat Seling	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
14		Rantai Jam Tangan	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
15		Paku	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
16		Engsel Buku	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
17		Pengikat Selang	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
18		Gembok	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
19		Baut Klep Motor	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
20		Penjepit Pompa	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya

Berdasarkan data yang ditampilkan pada Tabel 16, sistem pemilah sampah otomatis berbasis sensor *proximity* induktif menunjukkan kemampuan mendeteksi dan memilah 20 jenis logam secara tepat dalam 100 kali pengujian tanpa terjadi kesalahan, sehingga menghasilkan tingkat akurasi yang maksimal. Sensor mampu mengenali berbagai bentuk, ukuran, dan jenis logam seperti besi, baja, tembaga, timah solder, dan logam magnetik dengan konsisten. Deteksi dilakukan berdasarkan sifat konduktivitas dan kemagnetan material. Kinerja sistem didukung oleh sinkronisasi motor servo dan konveyor yang responsif terhadap sinyal sensor, menghasilkan pemilahan yang presisi dan stabil. Hasil ini membuktikan bahwa alat bekerja efektif dan andal untuk aplikasi pemilahan sampah logam secara otomatis.

TABEL 17
(PENGUJIAN ALAT DENGAN MATERIAL BENDA *NON*-LOGAM.)

No	Kategori	Jenis Benda	Pengujian Dapat Memilah/Tidak				
			1	2	3	4	5
1	*Non*-Logam	Minuman Gelas	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
2		Kayu Albasia	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
3		Kertas	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
4		Kain Perca	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
5		Karet Gelang	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
6		Buah Pinus	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
7		Plastik	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
8		Paralon	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
9		Shuttlecock	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
10		Botol Minuman 300 ML	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
11		Botol Lem Cair	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
12		Botol Kaca 50 ML	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
13		Botol Handsanitizer 60 ML	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
14		Botol Parfum 100 ML	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
15		Botol Plastik 50 ML	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
16		Botol Yakul 65 ML	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
17		Korek Api Gas	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
18		Pensil	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
19		Bolpoin	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
20		PVC	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak

Merujuk pada data Tabel 17, telah dilakukan pengujian terhadap 20 objek *non*-logam seperti plastik, kertas, kayu, paralon, karet, dan kain. Seluruh objek tidak terdeteksi dalam lima kali pengujian berturut-turut karena sifat isolatif yang tidak memberikan pengaruh terhadap medan elektromagnetik dari sensor *proximity* induktif. Sensor ini hanya merespon material logam konduktif melalui prinsip induksi elektromagnetik. Dengan demikian, alat terbukti akurat dan konsisten dalam mengidentifikasi ketiadaan logam, serta efektif digunakan untuk pemisahan material logam dari sampah lainnya.

TABEL 18
(PENGUJIAN DENGAN MENGACAK JENIS MATERIAL)

No	Kategori	Jenis Benda	Pengujian Dapat Memilah/Tidak				
			1	2	3	4	5
1	Logam	Pipa besi	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
2	*Non*-Logam	Minuman Gelas	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
3	Logam	Bering Motor	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
4	*Non*-Logam	Kertas	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
5	Logam	Kaleng Minuman	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
6	*Non*-Logam	Kain Perca	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
7	Logam	Sendok Makan	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
8	*Non*-Logam	Karet Gelang	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
9	Logam	Uang Koin	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
10	*Non*-Logam	Buah Pinus	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
11	Logam	Lilitan Kabel	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
12	*Non*-Logam	Plastik	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
13	Logam	Timah Solder	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
14	*Non*-Logam	Paralon	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
15	Logam	Busi Motor	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
16	*Non*-Logam	Shuttlecock	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
17	Logam	Kaleng Cat	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
18	*Non*-Logam	Botol Minuman 300 ML	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
19	Logam	Mur	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
20	*Non*-Logam	Botol Lem Cair	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
21	Logam	Baut	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
22	*Non*-Logam	Botol Kaca 50 ML	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
23	Logam	Ring Baut	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
24	*Non*-Logam	Botol Handsamitizer 60 ML	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
25	Logam	Kawat Seling	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
26	*Non*-Logam	Botol Parfum 100 ML	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
27	Logam	Rantai Jam Tangatn	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
28	*Non*-Logam	Botol Plastik 50 ML	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
29	Logam	Paku	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
30	*Non*-Logam	Botol Yakul 65 ML	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
31	Logam	Engsel Buku	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
32	*Non*-Logam	Korek Api Gas	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
33	Logam	Pengikat Selang	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
34	*Non*-Logam	Pensil	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
35	Logam	Gembok	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
36	*Non*-Logam	Bolpoin	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
37	Logam	Baut Klep Motor	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
38	*Non*-Logam	PVC	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak
39	Logam	Penjepit Pompa	Ya	Ya	Ya	Ya	Ya
40	*Non*-Logam	Kayu Albasia	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak	Tidak

Berdasarkan pengujian pada Tabel 18, sistem diuji terhadap 40 material acak yang terdiri dari 20 logam dan 20 *non*-logam, masing-masing lima kali untuk mengevaluasi akurasi dan konsistensi sensor *proximity* induktif. Pengujian membuktikan bahwa seluruh material logam, seperti pipa besi, bearing, kaleng, sendok, uang logam, baut, mur, kawat, dan timah solder berhasil terdeteksi dengan *output* "Ya", sedangkan semua jenis material *non*-logam tidak terdeteksi dan menghasilkan *output* "Tidak". Temuan ini menunjukkan bahwa sensor berfungsi konsisten sesuai prinsip kerjanya, yakni hanya merespon keberadaan logam. Dengan tingkat akurasi klasifikasi mencapai 100%, sistem ini terbukti bekerja secara andal dan stabil dalam melakukan pemilahan otomatis antara material logam dan *non*-logam.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan evaluasi terhadap kinerja alat pemilah otomatis berbasis konveyor untuk sampah logam dan *non*-logam, diperoleh kesimpulan bahwa sensor *proximity* induktif yang digunakan mampu mengidentifikasi seluruh jenis material logam secara tepat, dengan tingkat akurasi mencapai 100%, dibuktikan melalui 100 kali pengujian terhadap 20 variasi logam tanpa kesalahan deteksi. Sensor tersebut juga tidak memberikan respons terhadap material *non*-logam seperti kayu, plastik, karet, kertas, dan kain, meskipun diuji dalam rentang jarak antara 1 hingga 8 mm. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas sensor terbatas pada material yang memiliki sifat konduktif dan feromagnetik. Komponen motor servo yang berfungsi sebagai aktuator pemilah memperlihatkan performa yang stabil dan akurat, dengan waktu respon sebesar 6,89 detik dan kecepatan gerak 0,40 detik. Motor tersebut juga mampu menangani beban hingga 500 gram secara berulang tanpa mengalami penurunan fungsi. Hasil pengujian turut mengonfirmasi bahwa jarak deteksi menjadi parameter penting dalam mendukung kinerja sensor; logam feromagnetik terdeteksi secara optimal hingga jarak 5 mm, sedangkan logam diamagnetik terdeteksi dalam kisaran 1 hingga 3 mm. Kendati sifat fisik logam seperti konduktivitas listrik, massa jenis, dan intensitas medan magnet turut memengaruhi sensitivitas sensor, pengaruh tersebut tidak berdampak signifikan terhadap keseluruhan efektivitas sistem. Secara umum, sistem yang dirancang mampu memisahkan logam dan *non*-logam secara otomatis dengan presisi tinggi serta menunjukkan kinerja yang andal dan konsisten dalam proses pemilahan berbasis sensor.

REFERENSI

[1] Iwan Purnama, Syaiful Zuhri Harahap, and Ali Akbar Ritonga, "Rancang Bangun Tempat Sampah Otomatis Pada Universitas Labuhanbatu," *Informatika : Fakultas Sains dan Teknologi*, vol. 8, no. 2, pp. 81–84, May 2020.

[2] Nurohim, Isak Naa, Ayub Calfin Saba, Emanuel Renaldo M. Resi Luon, and Vina N. Van Harling, "Rancang Bangun Alat Pemisah Sampah Logam dan Non Logam Berbasis Arduino UNO," vol. 7, no. 1, Jul. 2024.

[3] Ega Azhari and M. Rinto Suppa, "Rancang Bangun Pemilah Sampah Logam dan Non Logam Otomatis," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3, pp. 2248–2257, Aug. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4721.

[4] Subahtiyar Indra S, M Jasa Afroni, and Sugiono, "Rancang Bangun Tempat Sampah Pintar Pemilah Logam, Non Logam Dan Organik Otomatis Berbasis IOT (Internet Of Things)," *JEECOM*, vol. 4, no. 2, pp. 69–73, Oct. 2022.

[5] Muhammad Hafizd Ibnu Hajar and Syarifudin Jupri, "Sistem Perancangan Tempat Sampah Logam dan Non Logam Dengan Menggunakan Aplikasi M.I.T Inventor," *Jurnal Teknologi Elektro*, vol. 12, no. 1, pp. 35–39, Jan. 2021, doi: 10.22441/jte.2021.v12i1.007.

[6] Uzlifatul Azmiyati, Gendewa Tunas Rancak, and Wardatul Jannah, "Upaya Peningkatan Pengelolaan Sampah Berdasarkan Komposisi Sampah di Kota Mataram," *Jurnal Pendidikan MIPA dan Aplikasinya Lembaga "Bale Literasi"*, vol. 2, no. 2, pp. 36–42, Aug. 2022.

[7] Muhammad Anas, Nuzul Hikmah, and Ira Aprilia, "Smart Trash Klasifikasi Sampah Otomatis Dengan Sensor Proximity Berbasis Arduino," *Jurnal FORTECH*, vol. 3, no. 2, pp. 64–72, Jan. 2023, doi: 10.56795/fortech.v3i2.103.

[8] Stevania Hildegardis Bere, Ali Mahmudi, and Agung Panji Sasmito, "Rancang Bangun Alat Pembuka dan Penutup Tong Sampah Otomatis Menggunakan Sensor Jarak Berbasis Arduino," *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, vol. 5, no. 1, pp. 357–363, Mar. 2021.

[9] Sri Hartanto, "Tegangan Motor DC Terhadap Berat Barang Pada Ban Berjalan," *Jurnal Elektro*, vol. 10, pp. 174–181, Jul. 2022.

[10] Muhammad Diza Al Hafizh, Herwandi, and Sungkono, "Implementasi Kontrol PI Pada Motor DC Sebagai Penggerak Belt Konveyor Dalam Proses Pemilahan Benda Logam Dan Non Logam," *Jurnal Multidisiplin Saintek*, vol. 4, no. 5, 2024.