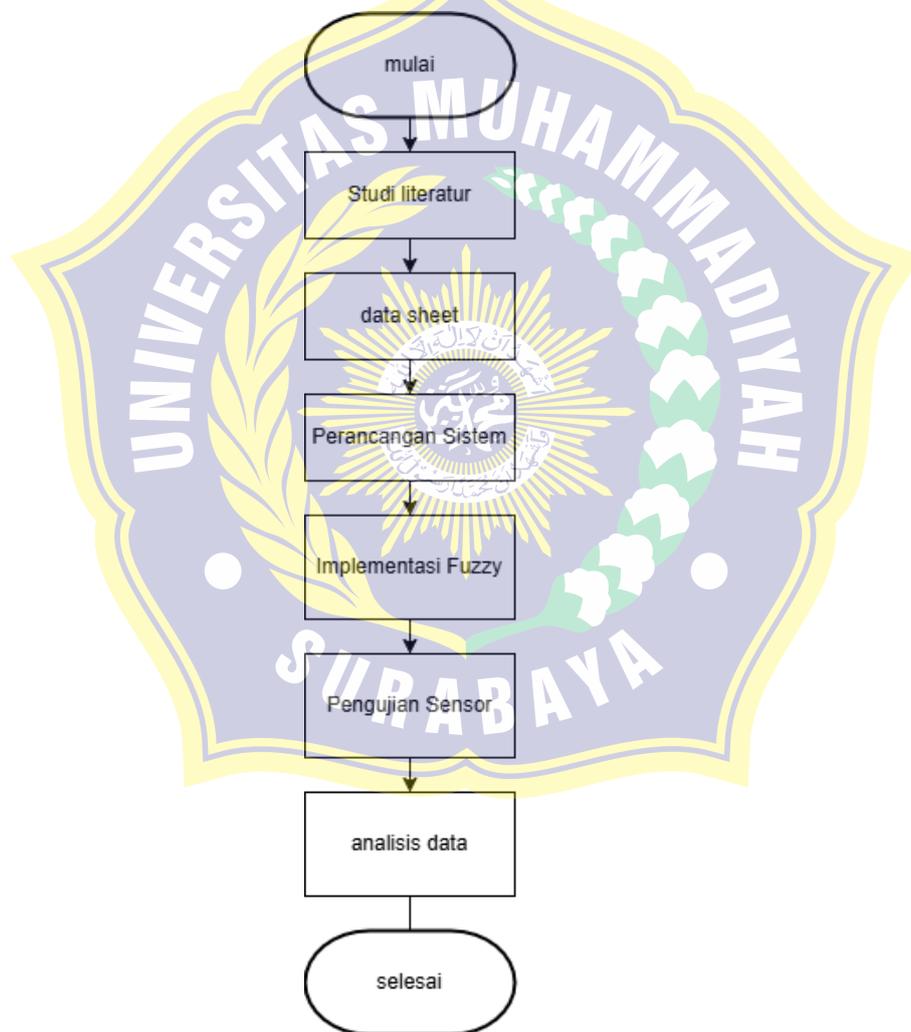


BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahap penelitian

Penelitian ini akan melibatkan tahapan krusial dalam klasifikasi sampah. Untuk mendeteksi jenis sampah organik dan anorganik, dalam penelitian ini saya akan menggunakan tiga sensor yang berbeda. Data yang dihasilkan oleh ketiga sensor ini kemudian akan diproses dan dianalisis menggunakan metode logika Fuzzy untuk menghasilkan keputusan klasifikasi akhir.



Gambar 3. 1 Alur penelitian

1. Studi literatur

Pada tahap awal penelitian ini, dilakukan studi literatur ekstensif untuk memperoleh landasan teori yang kuat. Proses ini melibatkan membaca, mengutip, dan membuat catatan dari berbagai sumber pustaka yang relevan, seperti buku, skripsi, jurnal ilmiah, dan referensi lainnya, khususnya yang berfokus pada pemilah sampah otomatis menggunakan metode Fuzzy. Dari studi literatur ini, kami mendapatkan pemahaman mendalam mengenai beberapa konsep kunci, termasuk prinsip kerja sensor proximity, sensor suhu DHT11, dasar-dasar metode Fuzzy, dan penggunaan Arduino Uno. Penjelasan detail mengenai teori-teori ini disajikan pada Bab 2.

2. Dataset

Pada penelitian ini, pengumpulan data dilakukan menggunakan sampel sampah real (nyata) yang bervariasi, meliputi jenis organik dan anorganik. Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui eksperimen langsung terhadap sistem pemilah sampah otomatis yang telah dibangun dan diuji. Sistem ini memanfaatkan tiga jenis sensor, yaitu sensor proximity induktif, proximity kapasitif, serta sensor DHT11, yang masing-masing digunakan untuk mendeteksi ciri fisik dari objek sampah, seperti keberadaan logam, material non-logam, serta tingkat kelembaban dan suhu di sekitar objek.

Selain itu penelitian ini juga membutuhkan data dari sensor yang akan di digunakan contohnya sensor proximity induktif, proximity kapasitif dan sensor DHT11.

- Sensor proximity kapasitif (LJC18A3-B)

Model number	LJC18A3-B series
External dimensions	M18x1x60
Installation type	Non-shielded
Detection distance	10mm±10%

Setting distance	0-8 mm
Supply voltage	12-24Vdc (6-36Vdc); 110-220Vac (90-250Vac), 50/60Hz
Rated output current	N.P Type: 300mA max; D type: 200mA max; AC Type: 400mA
Standard detected object	Iron SPCC (50x50x1mm)
Sensing object	Metals/Non-metals
Response frequency	50Hz

- Sensor proximity induktif (LJ12A3-4)

Model number	LJ12A3-4 series
External dimensions	M12x1x60
Installation type	Non-shielded
Detection distance	4mm
Setting distance	0-3.2 mm
Supply voltage	6-36Vdc, 5Vdc; 90-250Vac, 36Vac, 380Vac, 50/60Hz
Output current	DC type: 300mA max; AC Type: 400mA
Standard detected object	Mild steel (12x12x1mm)
Sensing object	● Magnetic metals (if it is not magnetic metals, the sensing distance would decrease)
Response frequency	500Hz
Material	Case: Brass-nickel plated; Sensing surface: ABS
Alias name	LJ12A3-4 series cylinder inductive proximity switches

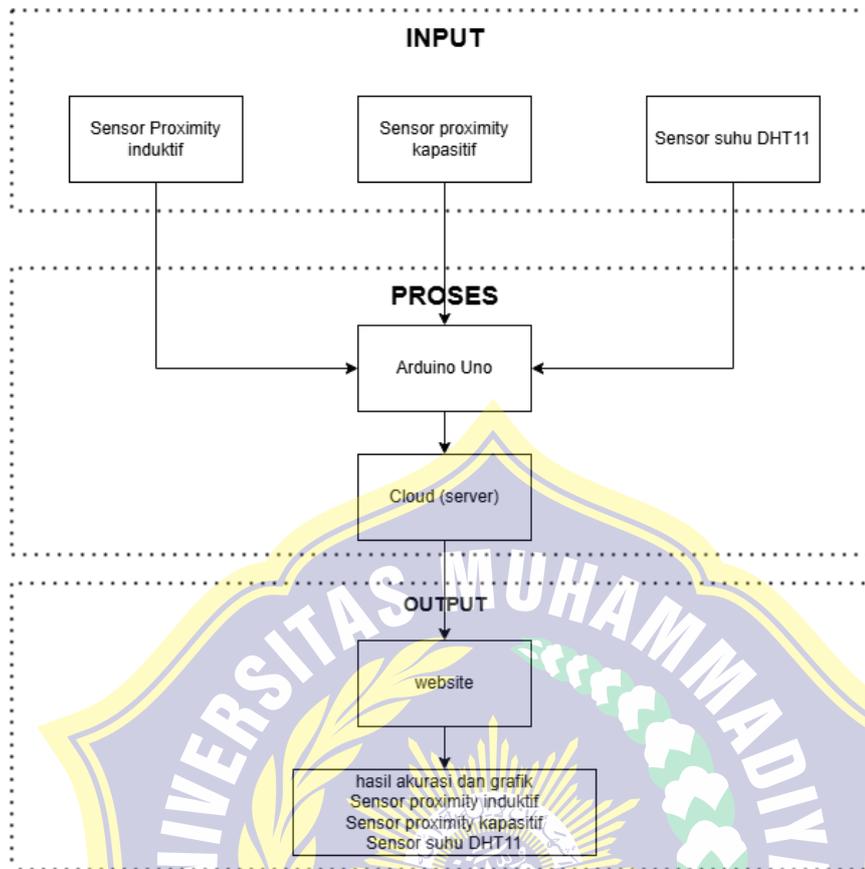
- Sensor DHT11

Parameter	Nilai/Keterangan
Tegangan Operasi	3.3 – 5.5 V DC
Arus Operasi	0.5 mA (measuring), 100 μ A (standby)

Rentang Pengukuran Suhu	0 – 50 °C
Akurasi Suhu	±2 °C
Resolusi Suhu	1 °C
Rentang Pengukuran Kelembaban	20 – 90% RH
Akurasi Kelembaban	±5% RH
Resolusi Kelembaban	1% RH
Output	Digital signal via 1-wire bus
Waktu Respons	<5 detik untuk kelembaban
Frekuensi Sampling	1 Hz (1 pembacaan per detik)
Dimensi	±15.5 x 12 x 5.5 mm
Jumlah Pin	4 pin (VCC, Data, NC, GND)
Sensing Element	Polymer humidity resistor & NTC thermistor

3. Perancangan Sistem

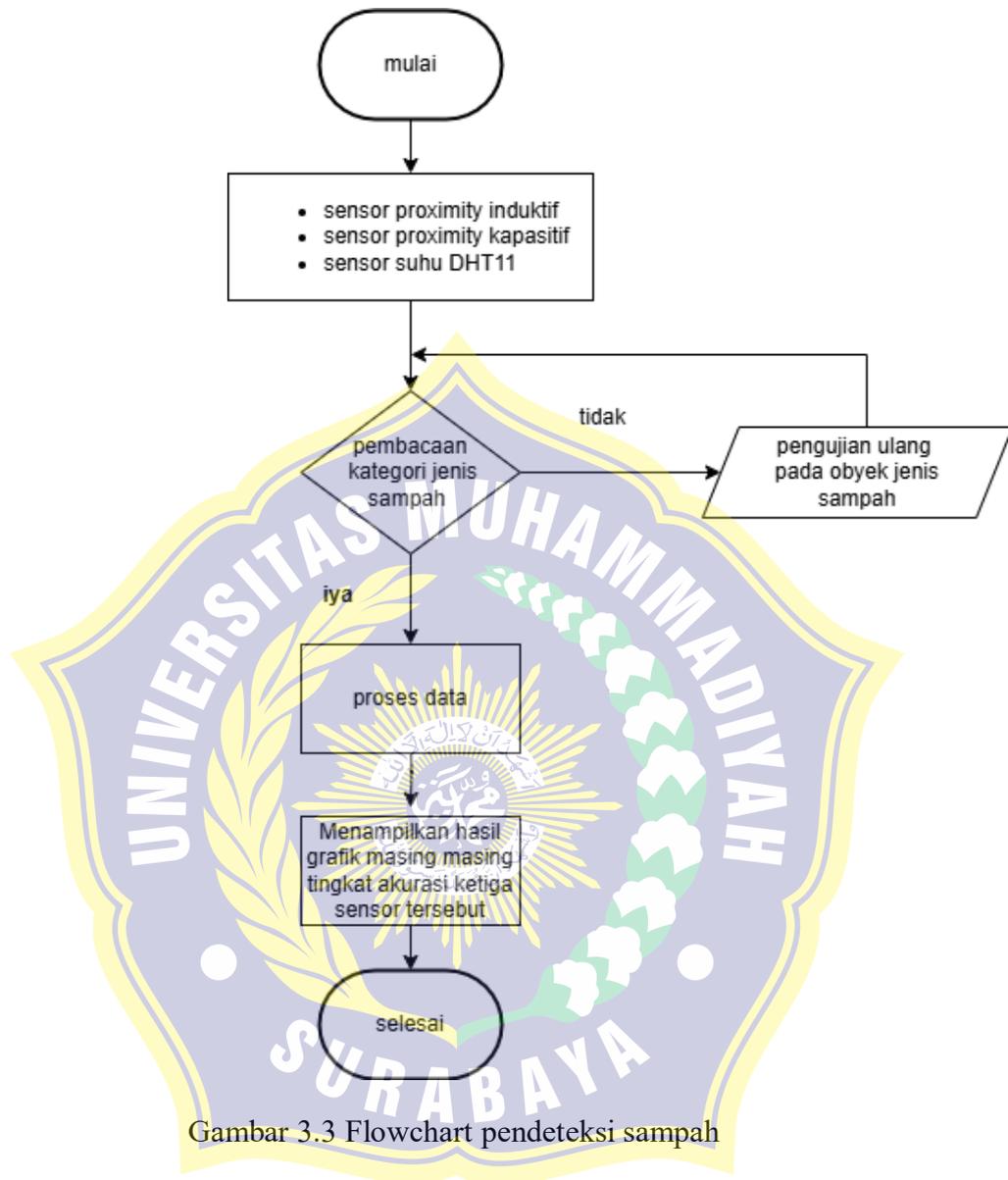
Setelah memahami teori dan teknologi yang relevan, dilakukan perancangan sistem secara menyeluruh. Perancangan meliputi desain perangkat keras seperti pemilihan sensor proximity kapasitif, induktif, sensor kelembaban DHT11, mikrokontroler Arduino Uno. Selain itu perancangan perangkat lunak berupa algoritma logika fuzzy untuk klasifikasi sampah juga dilakukan. Desain sistem ini bertujuan agar alat dapat mendeteksi sampah sesuai jenisnya organik dan anorganik (Gessel et al., 2023).



Gambar 3. 2 Alur proses

Data yang terkumpul dari ketiga sensor ini kemudian akan dianalisis melalui metode logika Fuzzy. Pendekatan Fuzzy ini sangat efektif dalam mengolah data yang mungkin tidak pasti atau memiliki nilai yang tumpang tindih, sehingga memungkinkan sistem membuat keputusan klasifikasi yang lebih tepat dan cerdas. Setelah proses analisis Fuzzy selesai, hasil klasifikasi akan dikirimkan ke mikrokontroler. Mikrokontroler ini berperan sebagai unit pemroses utama yang akan menginterpretasikan data hasil Fuzzy untuk secara pasti menentukan jenis sampah. Selanjutnya, mikrokontroler akan menyampaikan informasi klasifikasi sampah ini kepada pengguna melalui sebuah platform website, memungkinkan pengguna untuk memantau status pemilahan sampah secara real-time.

Dengan demikian, sistem ini menawarkan solusi untuk pengelolaan sampah, menggabungkan kemampuan deteksi sensor yang canggih, kecerdasan buatan melalui logika Fuzzy, dan akses informasi yang mudah bagi pengguna.



Gambar 3.3 Flowchart pendeteksi sampah

Sistem ini dimulai dengan tiga sensor utama yang berfungsi sebagai masukan yaitu sensor proximity induktif, sensor proximity kapasitif, dan sensor suhu DHT11. Tugas utama sensor-sensor ini adalah mendeteksi keberadaan serta karakteristik objek yang ditempatkan di atasnya. Dalam alur sistem (flowchart), terdapat kondisi spesifik yang dirancang untuk membedakan antara sampah organik dan anorganik. Kondisi ini menjadi penentu dalam mengambil keputusan klasifikasi berdasarkan jenis sampah yang berhasil terdeteksi.

Skenario pengujian awal deteksi sampah anorganik untuk mengevaluasi kinerja masing-masing sensor, serangkaian pengujian awal dilakukan dengan menggunakan sampah anorganik sebagai objek uji.

a) Pengujian dengan Sensor Proximity Induktif:

Awalnya, sampah anorganik ditempatkan pada sensor proximity induktif. Sistem kemudian akan mencoba membaca dan mengategorikan jenis sampah tersebut. Jika objek berhasil terdeteksi, data yang diperoleh akan diproses untuk menentukan tingkat akurasi pembacaan sensor. Setelah pemrosesan selesai, sebuah grafik akan ditampilkan, menunjukkan persentase akurasi sensor proximity induktif dalam mendeteksi objek sampah anorganik. Namun, jika pada tahap pembacaan sensor objek tidak terdeteksi, maka akan dilakukan pengujian ulang terhadap objek sampah yang sama.

b) Pengujian dengan Sensor Proximity Kapasitif:

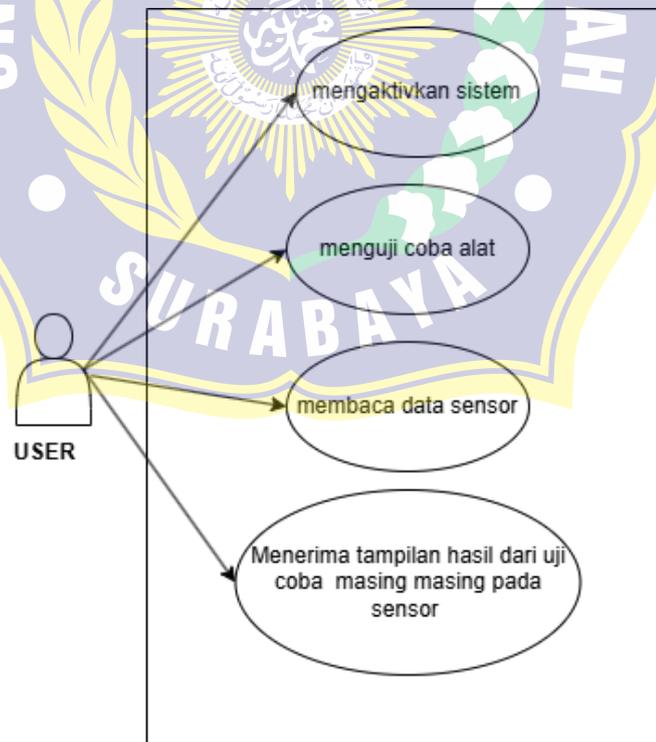
Selanjutnya, dengan menggunakan jenis sampah anorganik yang sama, pengujian dialihkan ke sensor proximity kapasitif. Pada tahap ini, sistem akan membaca respons sensor proximity kapasitif terhadap objek sampah anorganik. Jika sensor berhasil mendeteksi objek, data yang diterima akan diproses untuk menentukan seberapa akurat sensor proximity kapasitif dapat mengidentifikasi sampah tersebut sebagai anorganik. Mirip dengan pengujian sebelumnya, grafik akan muncul yang menunjukkan persentase keberhasilan sensor dalam membaca objek sampah anorganik. Apabila pada tahap pembacaan sensor objek tidak terbaca, pengujian ulang akan dilakukan pada objek sampah tersebut.

c) Pengujian dengan Sensor Suhu DHT11:

Percobaan ketiga juga menggunakan jenis sampah anorganik yang sama, namun kali ini melibatkan sensor suhu DHT11. Langkah selanjutnya adalah menguji kemampuan sensor suhu DHT11 dalam mendeteksi objek sampah anorganik. Jika sensor berhasil mendeteksi objek dan data pemrosesan menunjukkan bahwa sensor suhu DHT11 memiliki persentase tertentu dalam mengonfirmasi bahwa sampah tersebut anorganik, maka grafik akurasi akan ditampilkan. Grafik ini akan menggambarkan seberapa tepat sensor DHT11 dapat mendeteksi objek sampah tersebut.

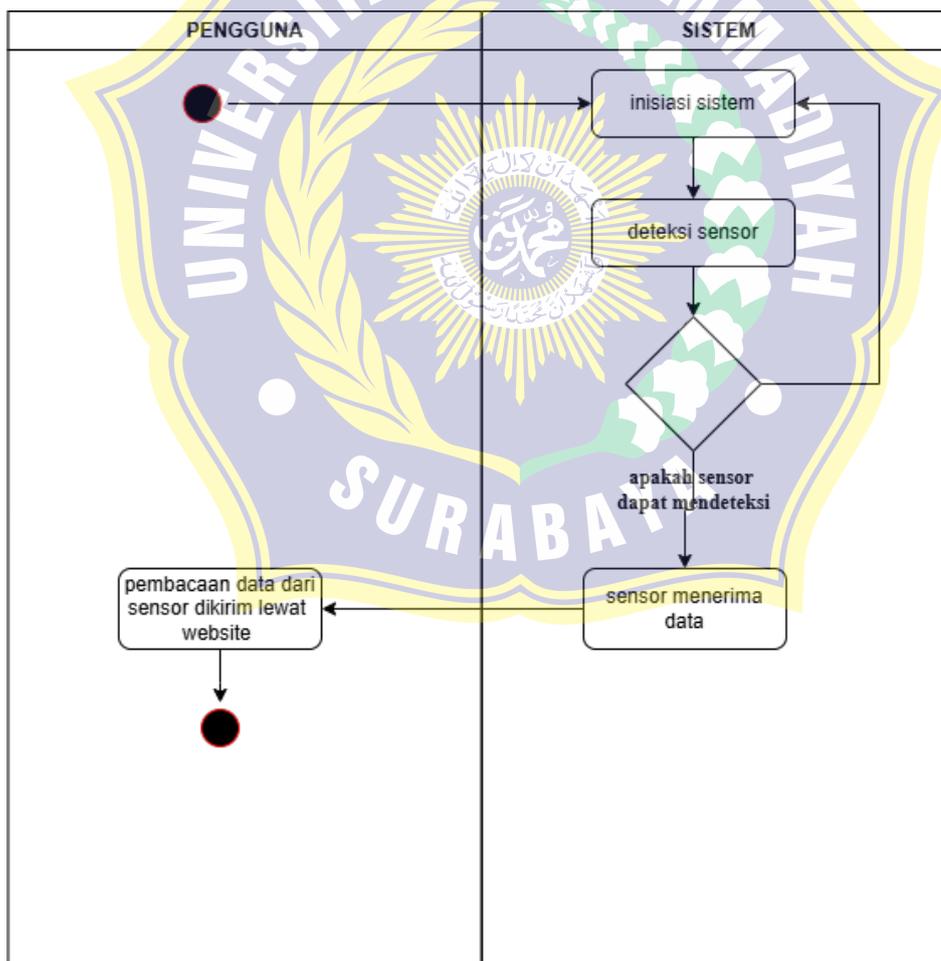
d) Hasil pengujian

Melalui ketiga pengujian yang dilakukan pada masing-masing sensor dengan objek sampah anorganik yang sama, akan diperoleh data akurasi yang berbeda. Data ini akan memungkinkan peneliti untuk menentukan sensor mana yang paling efektif dan andal dalam mendeteksi objek sampah anorganik sesuai kriteria yang telah ditetapkan. Hasil perbandingan ini dapat diamati dengan jelas dari grafik akurasi masing-masing sensor yang telah ditampilkan.



Gambar 3.4 Use case diagram pengguna

Pada skenario penggunaan pertama ini, pengguna dapat secara langsung menguji kinerja sensor dengan menempatkan objek sampah di atasnya. Sistem yang sudah dilengkapi dengan berbagai sensor akan secara otomatis memproses dan mendeteksi karakteristik dari objek sampah yang diletakkan. Ini memungkinkan pengguna untuk mengamati respons awal dari sensor terhadap berbagai jenis sampah. Skenario penggunaan kedua berpusat pada pemberian umpan balik kepada pengguna. Setelah pengujian deteksi sampah dilakukan pada use case pertama, sistem akan menganalisis data yang terkumpul. Pengguna kemudian akan menerima informasi terperinci mengenai tingkat akurasi dari masing-masing sensor dalam mendeteksi dan mengidentifikasi jenis sampah. Informasi ini membantu pengguna memahami seberapa baik setiap sensor dapat mengkonfirmasi dan memastikan kategori spesifik dari sampah yang diuji.



Gambar 3.5 Activity sampah organik & anorganik

Diagram aktivitas ini menjelaskan alur interaksi ketika pengguna ingin mendapatkan informasi mengenai klasifikasi sampah yang telah diuji.

- Mulai interaksi pengujian proses diawali ketika pengguna memulai pengujian dengan menempatkan objek sampah pada area deteksi sensor.
- Deteksi objek oleh sensor setelah objek diletakkan, sensor segera mulai bekerja untuk mendeteksi keberadaan objek tersebut.
- Verifikasi deteksi objek sistem kemudian melakukan verifikasi untuk memastikan apakah objek berhasil terdeteksi oleh sensor.
- Uji ulang (Jika Tidak Terdeteksi) apabila sistem menemukan bahwa objek tidak terdeteksi, maka alur akan kembali ke tahap awal pengujian sensor, memungkinkan pengguna untuk mencoba lagi atau menyesuaikan posisi objek.
- Penerimaan data sensor (Jika Terdeteksi) namun, jika objek berhasil terdeteksi, sensor akan menerima dan mengumpulkan data terkait karakteristik objek tersebut.
- Pembacaan akurasi deteksi sensor selanjutnya, sistem akan menganalisis data yang diterima untuk menghitung tingkat akurasi sensor dalam mendeteksi dan mengidentifikasi objek sampah yang diuji.
- Tampilan hasil pada website hasil akurasi deteksi ini kemudian ditampilkan secara visual melalui website yang dapat diakses oleh pengguna. Ini memungkinkan pengguna untuk melihat seberapa tepat sensor bekerja.
- Akhir aktivitas setelah informasi akurasi ditampilkan dan dapat diakses pengguna, seluruh rangkaian aktivitas selesai.

4. Implementasi fuzzy

Tahap krusial ini berpusat pada penerapan algoritma logika Fuzzy ke dalam sistem. Melalui ini, data yang diterima dari sensor proximity dan kelembaban akan diolah secara progresif. Prosesnya dimulai dengan fuzzifikasi (konversi nilai numerik ke linguistik), diikuti oleh inferensi berdasarkan aturan Fuzzy yang telah ditetapkan, dan diakhiri dengan defuzzifikasi untuk menghasilkan klasifikasi

sampah akhir. Penerapan ini menjamin kemampuan sistem dalam mengklasifikasikan sampah secara akurat, meskipun terdapat variasi atau ketidakpastian dalam pembacaan sensor (Anas et al., 2023).

5. Pengujian sensor

Setelah sistem terpasang dan algoritma berjalan, dilakukan pengujian sensor secara langsung menggunakan sampel sampah organik dan anorganik. Pengujian meliputi pengukuran akurasi sensor dalam mendeteksi jenis sampah pada berbagai kondisi seperti jenis sampah, dan kelembaban. Data hasil pengujian dicatat untuk dianalisis lebih lanjut. Pengujian ini penting untuk mengetahui performa sensor dan efektivitas algoritma dalam sistem pemilah sampah otomatis

6. Analisis data

Data yang diperoleh dari pengujian sensor kemudian dianalisis menggunakan metode statistik untuk mengukur parameter seperti akurasi, presisi, dan recall. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem secara keseluruhan dan membandingkan efektivitas masing-masing sensor. Hasil analisis akan menjadi dasar untuk menentukan apakah sistem sudah memenuhi target yang diharapkan dan untuk memberikan rekomendasi pengembangan lebih lanjut.

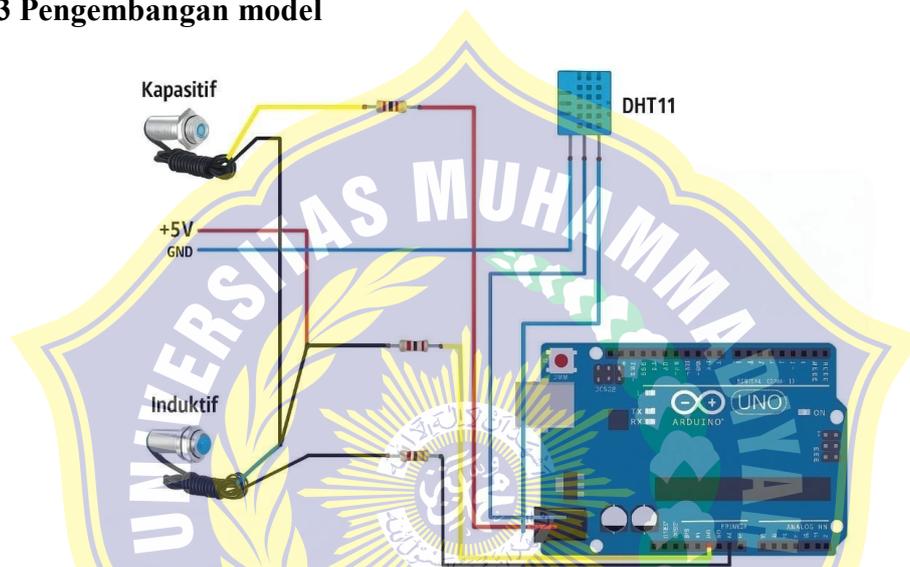
3.2 Pengolahan data

Pengolahan data dalam penelitian ini dimulai setelah setiap sampel sampah selesai diuji menggunakan tiga sensor yang berbeda. Sensor-sensor yang terlibat dalam fase pengujian dan pengumpulan data ini meliputi sensor proximity induktif (untuk mendeteksi anorganik), sensor proximity kapasitif (untuk mendeteksi organik/non-logam), serta sensor suhu dan kelembapan DHT11 (bisa untuk mendeteksi organik). Tahap pengolahan data ini menjadi langkah krusial untuk menganalisis informasi yang terkumpul dari ketiga sensor tersebut, mempersiapkannya untuk digunakan dalam pemodelan dan penentuan akurasi klasifikasi sampah. Proses logika fuzzy dalam sistem pemilah sampah otomatis ini dimulai dengan pengambilan data dari sensor. Sistem memanfaatkan tiga jenis sensor, yaitu sensor proximity induktif untuk mengetahui keberadaan unsur logam,

sensor proximity kapasitif untuk mengenali material non-logam seperti plastik atau sisa makanan, serta sensor DHT11 yang digunakan untuk membaca suhu dan kelembaban udara di sekitar objek. Data yang dikumpulkan berupa angka numerik dan digital, seperti status "terdeteksi atau tidak", kelembaban dalam satuan persen, dan suhu dalam derajat Celsius.

Proses implementasi logika fuzzy meliputi tahapan-tahapan yang secara sistematis menguraikan cara pengolahan data sensor oleh sistem hingga menghasilkan keputusan klasifikasi yang sesuai dengan aturan fuzzy.

3.3 Pengembangan model



Gambar 3.6 Desain perancangan

Dalam penelitian yang akan saya lakukan, sistem deteksi sampah dikembangkan berdasarkan penerapan aturan Logika Fuzzy Mamdani. Alur pengembangan yang paling sesuai digunakan adalah Model Pengembangan Sistem Cerdas Berbasis Proyek (Intelligent System Project Development Model). Model ini dipilih karena mampu mengintegrasikan secara menyeluruh antara komponen perangkat keras (hardware) dan elemen kecerdasan buatan (Artificial Intelligence) melalui penerapan logika fuzzy dalam proses pengambilan keputusan (Tjut Adek et al., 2024). Berikut merupakan rangkaian tahapan pengembangan model yang digunakan dalam penelitian ini. Alur tersebut menjelaskan proses yang tersusun secara sistematis dalam perancangan, pengembangan, serta penerapan sistem

cerdas berbasis Logika Fuzzy Mamdani yang berfungsi untuk mendeteksi jenis sampah secara otomatis.

1. Pengambilan Data Sensor (Input Crisp)

Pengambilan data dari sensor merupakan tahapan untuk memperoleh nilai-nilai mentah yang dihasilkan oleh sensor dalam mengukur besaran fisik tertentu. Nilai-nilai tersebut disebut sebagai crisp input atau nilai nyata, karena berupa data numerik yang memiliki nilai pasti dan terukur. Data numerik ini bisa bersifat analog atau kontinu, yaitu data yang memiliki rentang nilai yang berkesinambungan. Umumnya, data semacam ini diperoleh dari sensor yang mendeteksi besaran fisik seperti suhu ($^{\circ}\text{C}$), jarak (meter), kelembapan (%), tekanan, maupun tingkat keasaman (pH).

Contoh tahapan awal pada penelitian saya merupakan proses ketika sistem melakukan pembacaan terhadap nilai crisp atau nilai numerik yang diperoleh langsung dari sensor. Contohnya, pada sensor DHT22 didapatkan data kelembapan sebesar 72%, sedangkan pada sensor proximity nilai yang terbaca adalah sensor induktif = 1 (aktif) dan sensor kapasitif = 0 (tidak aktif).

2. Tahap fuzzyfikasi (konversi ke nilai linguistik)

Tahap ini berfungsi untuk mengubah nilai crisp atau data numerik yang pasti menjadi nilai keanggotaan pada himpunan fuzzy. Proses ini menunjukkan sejauh mana suatu nilai termasuk dalam kategori tertentu, sehingga sistem dapat melakukan analisis dan pengambilan keputusan secara lebih fleksibel dengan logika fuzzy. Fuzzifikasi merupakan tahap di mana nilai masukan yang bersifat tegas (crisp input) dari dunia nyata biasanya berupa data numerik hasil pembacaan sensor dikonversi menjadi nilai linguistik atau nilai samar (fuzzy value). Nilai tersebut direpresentasikan dalam bentuk derajat keanggotaan (x) dengan kisaran antara 0 hingga 1. Proses ini berperan sebagai penghubung yang memungkinkan sistem logika fuzzy menafsirkan dan mengolah data sensor yang bersifat presisi menggunakan bentuk bahasa linguistik yang lebih mendekati cara berpikir manusia. Seperti menerjemahkan contohnya ke bahasa manusia dengan fuzzifikasi nilai (x) (0,65,67) ke bahasa linguistiknya (sangat kering) sedangkan (x) (66,68,70) (kering).



3. Inferensi fuzzy (analisis dengan aturan IF - THEN)

Tahap inferensi fuzzy, yang juga dikenal sebagai mesin inferensi (inference engine), merupakan proses perhitungan yang meniru cara berpikir manusia. Pada tahap ini, sistem mengevaluasi seluruh aturan berbentuk “IF–THEN” yang terdapat dalam basis pengetahuan (rule base) dengan memanfaatkan nilai derajat keanggotaan hasil dari proses fuzzifikasi pada input sensor. Yang contohnya seperti berikut:

- IF Kapasitif aktif AND Kelembaban = Extremely Dry THEN Output = Anorganik
- IF Kapasitif aktif AND Kelembaban = Slightly Moist THEN Output = Organik

4. Defuzzifikasi

Proses ini berfungsi untuk mengubah nilai keluaran yang masih berbentuk fuzzy menjadi nilai crisp yang dapat digunakan dalam penerapan nyata. Tujuan utama dari tahap defuzzifikasi adalah mengonversi hasil analisis fuzzy menjadi nilai numerik yang jelas dan terukur. Dengan demikian, hasil perhitungan dari sistem fuzzy dapat diterapkan secara tepat dan pasti dalam kondisi atau situasi praktis.

5. Tahap pengujian (testing)

Tahap Pengujian, Validasi, dan Optimasi adalah fase kritis dalam pengembangan sistem cerdas penelitian yang akan saya buat. Tujuannya adalah memastikan bahwa model Fuzzy Mamdani yang telah diimplementasikan bekerja secara akurat dalam mendeteksi jenis sampah. Tahap ini dilakukan untuk mengukur kinerja sistem pemilah sampah dengan menggunakan contoh sampah nyata, seperti sisa makanan, botol plastik, dan kaleng aluminium.

Selama proses pengujian, sistem akan menghasilkan keluaran berupa klasifikasi jenis sampah (Organik atau Anorganik). Hasil tersebut kemudian dibandingkan dengan kategori yang sebenarnya untuk menilai tingkat ketepatan dan keakuratan sistem dalam melakukan proses pemilahan (Aryo Seno Suwandi et al., 2025).

3.4 Rencana Evaluasi

Setiap sensor yang digunakan (proximity kapasitif, proximity induktif, dan DHT11) akan diuji menggunakan 10 jenis sampah nyata. Masing-masing sampah akan diuji sebanyak n kali (misal 10 kali) untuk mendapatkan hasil pembacaan sensor yang konsisten. Evaluasi terhadap sistem fuzzy dilakukan dengan membandingkan output klasifikasi fuzzy dengan label sebenarnya dari sampah (ground truth). Pengujian akan dilakukan pada data uji (data sampah yang belum pernah digunakan dalam proses desain fuzzy). Parameter yang digunakan yaitu Precision (ketepatan), Recall (kelengkapan), dan Accuracy (akurasi keseluruhan).

- TP = True Positive
- FP = False Positive
- TN = True Negative
- FN = False Negative

a. Accuracy

Accuracy adalah rasio prediksi benar (baik positif maupun negatif) terhadap keseluruhan data.

$$\text{Accuracy} = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100$$

b. Precision

Precision adalah rasio prediksi benar positif dibandingkan dengan seluruh hasil yang diprediksi positif.

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP+FP} \times 100$$

c. Recall

Recall (sensitivitas) adalah rasio prediksi benar positif dibandingkan dengan seluruh data yang sebenarnya positif.

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \times 100$$