



# Otomasi Alat Pemilah Sampah Menggunakan Algoritma Yolo dengan Pendekatan *Quality Function Deployment* (QFD) Guna Mengurangi Residu Sampah di TPS 3R Tenggilis

**Taufiq Labdo Ganiyu Awang<sup>1✉</sup>, Hilyatun Nuha<sup>1</sup>, Hery Murnawan<sup>1</sup>**

<sup>(1)</sup>Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia

DOI: 10.31004/jutin.v8i3.46898

✉ Corresponding author:  
[taufik84854@gmail.com]

| Article Info  | Abstrak  |
|---|--|
| <p><i>Kata kunci:</i><br/><i>Algoritma YOLO;</i><br/><i>Pemilahan sampah otomatis;</i><br/><i>Surabaya;</i><br/><i>TPS 3R;</i><br/><i>QualityFunction Deployment;</i></p> | <p>TPS Reduce, Reuse dan Recycle Tenggilis Mejoyo menghadapi masalah tingkat residu sampah 58,61%, jauh di atas target ideal 30%. Penelitian ini mengembangkan alat pemilah sampah otomatis menggunakan pendekatan <i>Quality Function Deployment</i> (QFD) untuk mengoptimalkan proses pemilahan. Metodologi penelitian menggunakan empat fase QFD mulai dari <i>Voice of Customer</i> hingga perencanaan produksi. Prototype berukuran 40x10 cm dengan kecepatan conveyor 10 cm/s dikembangkan berdasarkan respon teknis prioritas tinggi. Pengujian dilakukan dengan 5 ulangan menggunakan 150 sampel campuran plastik dan kertas. Hasil menunjukkan akurasi keseluruhan 83,95% dengan rincian plastik 85,3% dan kertas/kardus 82,6%. Kapasitas aktual mencapai 13 pemilahan/menit untuk plastik dan 21 pemilahan/menit untuk kertas. Implementasi alat meningkatkan akurasi dari 65% menjadi 84% (peningkatan 19%). Sistem otomasi dengan algoritma YOLO terbukti efektif meningkatkan efektivitas pemilahan dan berkontribusi pada pengurangan residu sampah di TPS 3R.</p>             |
| <p><i>Keywords:</i><br/><i>Automatic wasting sorting;</i><br/><i>Quality Function Deployment;</i><br/><i>Surabaya;</i><br/><i>TPS3R;</i><br/><i>Yolo Algorithm;</i></p>   | <p><b>Abstract</b></p> <p><i>The TPS Reduce, Reuse and Recycle Tenggilis Mejoyo faces a problem with waste residue levels of 58.61%, far above the ideal target of 30%. This research develops an automated waste sorting device using the Quality Function Deployment (QFD) approach to optimize the sorting process. The research methodology employs four QFD phases from Voice of Customer to production planning. A prototype measuring 40x10 cm with a conveyor speed of 10 cm/s was developed based on high-priority technical responses. Testing was conducted with 5 repetitions using 150 mixed samples of plastic and paper. Results showed an overall accuracy of 83.95% with details of 85.3% for plastic and 82.6% for paper/cardboard. Actual capacity reached 13 sorts/minute for plastic and 21 sorts/minute for paper. Implementation of the device increased accuracy from 65% to 84% (19% improvement). The automation system with YOLO algorithm proved effective in improving sorting effectiveness and contributing to waste residue reduction at the 3R TPS.</i></p> |

## 1. PENDAHULUAN

Sampah merupakan permasalahan lingkungan yang terus berkembang seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk dan aktivitas manusia. Sampah dapat berasal dari berbagai sumber, seperti rumah tangga, industri, pertanian, dan aktivitas komersial lainnya. Permasalahan sampah di perkotaan merupakan tantangan yang semakin kompleks seiring dengan pertumbuhan penduduk dan aktivitas ekonomi. Kota Surabaya sebagai kota metropolitan terbesar kedua di Indonesia menghadapi tantangan signifikan dalam pengelolaan sampah perkotaan. Berdasarkan data SIPSN (2024) volume sampah yang dihasilkan mencapai 1.810 ton per hari atau total 660.946 ton per tahun menuju TPA Benowo. Sampah sampah tersebut kebanyakan bersumber dari rumah tangga dengan andil sebesar 85.35%.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka didirikan lah TPS 3R, sesuai dengan Permen PU No. 03 tahun 2013, Tempat Pengolahan Sampah Dengan Prinsip 3R (reduce, reuse dan recycle), yang selanjutnya disingkat TPS 3R, adalah tempat dilaksanakannya kegiatan pengumpulan, pemilahan, penggunaan ulang, dan pendauran ulang skala kawasan. Konsep TPS3R bertujuan untuk mengurangi jumlah sampah yang dibuang ke TPA dengan cara mengolah dan memanfaatkan sampah tersebut menjadi sesuatu yang berguna. Di wilayah Surabaya sendiri per tahun 2024 nya terdapat 11 TPS 3R yang telah beroperasi yang dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 1. 1 TPS 3R di kota Surabaya**

| NO | Nama Fasilitas            | Sampah masuk (ton/thn) | Sampah terkelola (ton/thn) | Bahan Kompos | Bahan Daur Ulang | Bahan Up-cycle | Alamat                   | Pengel ola |
|----|---------------------------|------------------------|----------------------------|--------------|------------------|----------------|--------------------------|------------|
| 1  | TPS 3R Banjar Sugihan     | 1.448,93               | 686,25                     | 354,63       | 331,62           | 0,00           | Jl. Banjar Sugihan       | Pemda      |
| 2  | TPS 3R Kedung Cowek       | 1.345,90               | 695,30                     | 454,78       | 240,52           | 0,00           | Kedung Cowek             | Pemda      |
| 3  | TPS 3R Tambak Wedi        | 2.893,08               | 323,32                     | 152,89       | 170,43           | 0,00           | Jl. Tambak Wedi Baru     | Pemda      |
| 4  | TPS 3R Karang Pilang      | 939,58                 | 589,98                     | 497,21       | 92,77            | 0,00           | Karang Pilang            | Pemda      |
| 5  | TPS3R Warugunung          | 875,64                 | 529,88                     | 457,21       | 0,00             | 72,67          | Warugunung               | Pemda      |
| 6  | Superdepo Sutorejo        | 4.325,45               | 2.163,80                   | 1.569,29     | 594,51           | 0,00           | Jl. Kalisari             | Pemda      |
| 7  | TPS 3R Gunung Anyar       | 1.194,03               | 628,63                     | 494,32       | 134,31           | 0,00           | Gunung Anyar Tambak      | Pemda      |
| 8  | TPS 3R Tenggilis          | 1.911,92               | 791,32                     | 541,20       | 250,12           | 0,00           | Jl. Tenggilis Tengah     | Pemda      |
| 9  | PDU Jambangan             | 2.308,02               | 1.101,11                   | 799,90       | 301,21           | 0,00           | Jl. Jambangan Kebonagung | Pemda      |
| 10 | TPS 3R Bratang            | 595,48                 | 304,43                     | 293,00       | 11,44            | 0,00           | Jl. Manyar               | Pemda      |
| 11 | TPS 3R Tambak Osowilangon | 2.781,32               | 1.938,00                   | 1.212,16     | 725,85           | 0,00           | Jl. Tambak Osowilangon   | Pemda      |

TPS 3R yang ada tersebut melayani persampahan dengan skala kawasan disekitar-an TPS 3R tersebut dibangun. Dalam implementasinya, TPS 3R di wilayah Kota Surabaya menghadapi tantangan signifikan terkait tingginya persentase residu sampah yang tidak dapat dimanfaatkan kembali. Khususnya bagi TPS 3R Tenggilis Mejoyo dengan tingkat persentase residu tertinggi sebesar 58,61%, lebih tinggi dari rata-rata persentase residu di seluruh TPS 3R di seluruh Kota Surabaya yang hanya sekitar 50,86%. Observasi awal yang dilakukan pada maret 2025 di TPS 3R Tenggilis Mejoyo mengidentifikasi bahwa adanya ketidakefektifan pada proses pemilahan sampah, ditandai dengan masih banyaknya sampah yang masih memiliki potensi untuk dimanfaatkan dimasukkan kedalam residu.

**Tabel 1. 2 Timbulan residu di TPS 3R Tenggilis**

| Tahun | Nama Fasilitas  | Sampah masuk (ton/thn) | Timbulan (ton/thn) | Residu (ton/thn) | Timbulan residu (ton/hari) | Persentase Residu | Alamat               | Penge lola |
|-------|-----------------|------------------------|--------------------|------------------|----------------------------|-------------------|----------------------|------------|
| 2021  | TPS3R Tenggilis | 1.865,94               | 5,11               | 961,08           | 2,63                       | 52%               | Jl. Tenggilis Tengah | Pemda      |
| 2022  | TPS3R Tenggilis | 2.201,00               | 6,03               | 1.259,79         | 3,45                       | 57%               | Jl. Tenggilis Tengah | Pemda      |
| 2023  | TPS3R Tenggilis | 1.900,05               | 5,21               | 1.068,79         | 2,93                       | 56%               | Jl. Tenggilis Tengah | Pemda      |
| 2024  | TPS3R Tenggilis | 1.911,92               | 5,24               | 1.120,60         | 3,07                       | 59%               | Jl. Tenggilis Tengah | Pemda      |

Volume sampah yang masuk ke TPS3R Tenggilis mengalami pola yang cukup bervariasi selama periode observasi. Produksi residu atau sisa sampah yang tidak dapat diolah menunjukkan tren yang mengkhawatirkan dari perspektif efisiensi pengolahan. Pada tahun 2021, residu yang dihasilkan sebesar 961,08 ton per tahun (2,63 ton per hari) dengan persentase 52% dari total sampah masuk. Situasi memburuk pada tahun 2022 ketika residu meningkat drastis menjadi 1.259,79 ton per tahun (3,45 ton per hari) dengan persentase residu mencapai 57%. Meskipun terjadi penurunan volume residu pada tahun 2023 menjadi 1.068,79 ton per tahun (2,93 ton per hari), persentase residu masih tinggi di angka 56%. Kondisi terburuk terjadi pada tahun 2024 dengan persentase residu mencapai 59%, meskipun volume absolutnya sebesar 1.120,60 ton per tahun (3,07 ton per hari). Dari analisis persentase residu, terlihat bahwa efisiensi pengolahan sampah di TPS3R Tenggilis mengalami penurunan yang konsisten. Dimulai dari tingkat efisiensi pengolahan sebesar 48% pada tahun 2021, turun menjadi 43% pada tahun 2022, kemudian 44% pada tahun 2023, dan mencapai titik terendah pada tahun 2024 dengan hanya 41% sampah yang berhasil diolah. Hal ini menunjukkan bahwa lebih dari setengah sampah yang masuk ke fasilitas ini berakhir menjadi residu yang kemungkinan besar akan dikirim ke tempat pembuangan akhir.

(Sihananto et al., 2023) dengan judul Pemilahan Jenis Sampah Menggunakan Algoritma Cnn merupakan penelitian yang mendukung penerapan alat pemilah sampah dengan pendekatan Quality Function Deployment untuk mengoptimalkan pemilahan sampah. Integrasi teknologi pemilahan sampah dirasa dibutuhkan untuk mengatasi permasalahan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat pemilahan sampah dengan menggunakan pendekatan *Quality Function Deployment*, dan menganalisis dampak dari alat tersebut terhadap pemilahan sampah di TPS 3R Tenggilis Mejoyo.

## 2. METODE

QFD adalah metode untuk mengembangkan kualitas desain yang bertujuan untuk memuaskan konsumen dan kemudian menerjemahkan permintaan konsumen menjadi target desain dan poin utama kualitas jaminan untuk digunakan di seluruh tahap produksi Maritan (2015).

Fase 1 merupakan fase yang digunakan untuk menerjemahkan kebutuhan pelanggan dalam hal ini ialah para responden yang bergerak dibidang persampahan kota surabaya yang kemudian hasil dari wawancara dan pengisian kuesioner tersebut diterjemahkan ke dalam persyaratan teknis produk untuk memenuhi kebutuhan dari para responden tersebut. Pada fase ini akan dilakukan pembuatan House of Quality (HOQ) dan fase inilah voice of customer dilakukan.

Voice of customer atau identifikasi kebutuhan pelanggan merupakan salah satu tahap yang dilakukan dalam QFD. Identifikasi kebutuhan pelanggan merupakan bagian kesatuan dalam proses pengembangan produk dan merupakan tahap yang memiliki hubungan paling erat dengan proses penurunan konsep, seleksi konsep, benchmarking dengan kompetitor, dan seleksi konsep Maritan, (2015). house of quality merupakan suatu kerangka kerja atas pendekatan dalam mendesain manajemen yang dikenal sebagai quality function deployment (QFD). HOQ berfungsi untuk menjelaskan proses dasar yang mendasari QFD Natee et al., (2016).

Pada fase 2 ini akan dibuat konsep dari produk dan spesifikasi dari bagian-bagian produk yang memenuhi keinginan dari pelanggan. Setelah melalui proses Voice of Customer dan pembuatan House of Quality pada fase ini lah penerjemahan dari suara konsumen dilakukan untuk kemudian dibuat respon teknisnya.

Pada fase 3 atau perencanaan produk ini akan ditentukan parameter atau nilai target dan proses manufaktur yang akan digunakan. Jadi dari respon teknis yang sebelumnya telah didapat kemudian ditimbang untuk selanjutnya dilakukan pengambilan keputusan untuk selanjutnya dilakukan perencanaan produksi.

Pada fase perencanaan produksi akan ditentukan indikator performansi untuk memantau proses produksi. Pada fase ini segala hal dipertimbangkan baik dari aspek kualitas maupun material yang digunakan untuk terwujudnya suatu alat atau barang hasil produksi.

YOLO (You Only Look Once) adalah algoritma deteksi objek berbasis deep learning Berbeda dengan algoritma deteksi objek tradisional yang menerapkan pendekatan sliding window atau region proposal, Morena et al., (2019) YOLO menerapkan pendekatan regresi tunggal (single regression) yang memproses seluruh gambar dalam satu langkah inference. Pendekatan ini menjadikan YOLO salah satu algoritma deteksi objek tercepat dengan akurasi yang kompetitif. Inilah yang mendasari dipilihnya algoritma YOLO dalam rancang alat ini.

Untuk tahapannya sendiri yaitu Fase Pengumpulan dan Persiapan Data, Pengumpulan dataset merupakan fondasi crucial untuk pelatihan model YOLO. Dataset harus mencakup ratusan atau ribuan gambar sampah dari berbagai kategori dengan variasi pencahayaan, sudut pandang, kondisi sampah (bersih, kotor, rusak), dan latar belakang yang berbeda untuk sampahnya sendiri disini saya hanya menggunakan sampah plastik dan sampah kertas. Setiap gambar harus diambil dalam kondisi yang menyerupai lingkungan operasional aktual dengan resolusi yang konsisten.

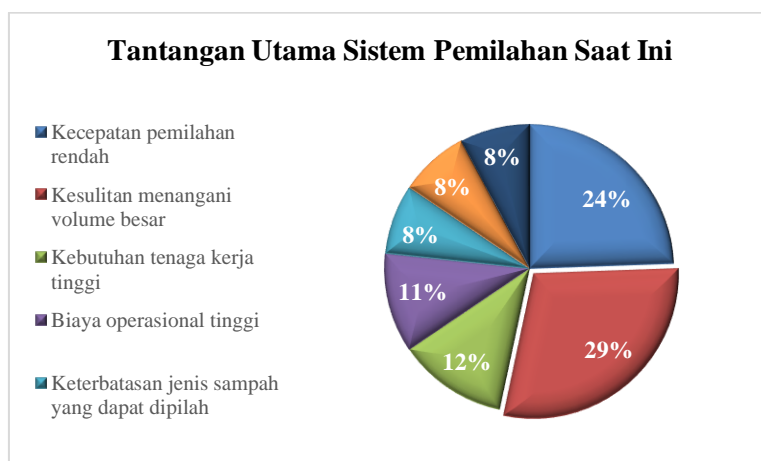
Kemudian dilanjutkan dengan Proses anotasi melibatkan pemberian label pada setiap objek sampah dalam gambar menggunakan bounding box dan class label. Tools seperti Labellmg atau Roboflow digunakan untuk membuat anotasi dalam format yang kompatibel dengan YOLO (YOLO format, COCO format, atau Pascal VOC). Konsistensi dalam anotasi sangat penting untuk akurasi model.

setelah itu dilakukan lah Data preprocessing meliputi normalisasi ukuran gambar, penyesuaian kontras dan brightness, serta noise reduction. Data augmentation diterapkan untuk meningkatkan variasi dataset melalui rotasi, flipping, scaling, cropping, dan perubahan pencahayaan. Teknik ini membantu model menjadi lebih robust terhadap variasi kondisi real-world. Stelah semua itu dilakukan maka dipilihlah versi Yolo yang diinginkan yang kemudian dilanjutkan dengan trining data set tersebut.

Setelah dataset ditraining dihasilkan lah program yang mana nantinya dilakukan Sinkronisasi antara deteksi program deteksi tersebut dan aksi mekanik berupa gerakan aktuator.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

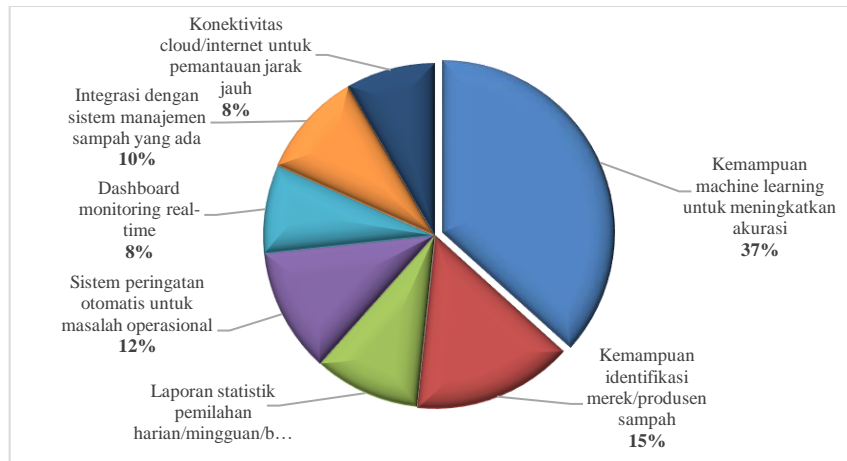
Identifikasi kebutuhan pengguna dilakukan dengan wawancara secara langsung maupun dengan pengisian kuisisioner kepada petugas sampah. Wawancara ini dilakukan untuk mendapatkan kebutuhan dari petugas sampah terhadap alat pemilah sampah. Dalam wawancara dan pengisian kuesioner tersebut didapatkan pernyataan-pernyataan dari petugas sampah yang ditampilkan pada diagram dibawah ini.



**Gambar 1. Tantangan Utama Sistem Pemilahan Saat Ini**

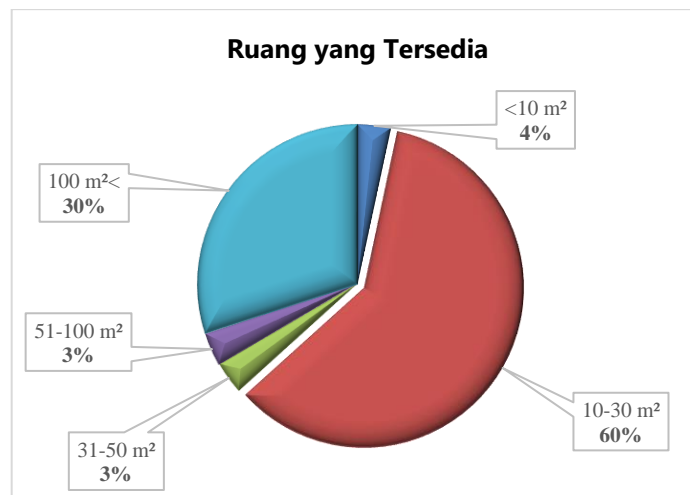
Pada kuesioner ini responden memilih 3 tantangan yang mereka hadapi yang menjadi permasalahan dalam pemilahan sampah dengan sistem yang mereka gunakan didapati hasil dengan tantangan paling besar yang dihadapi oleh para responden tersebut berupa volume sampah yang besar (29%), diikuti dengan kecepatan

pemilahan rendah (24%), kebutuhan tenaga kerja tinggi (12%), biaya operasional tinggi (11%), dan berturut turut keterbatasan jenis sampah yang dapat dipilah, masalah kesehatan pekerja, Tingkat kesalahan pemilahan tinggi sebanyak (8%).



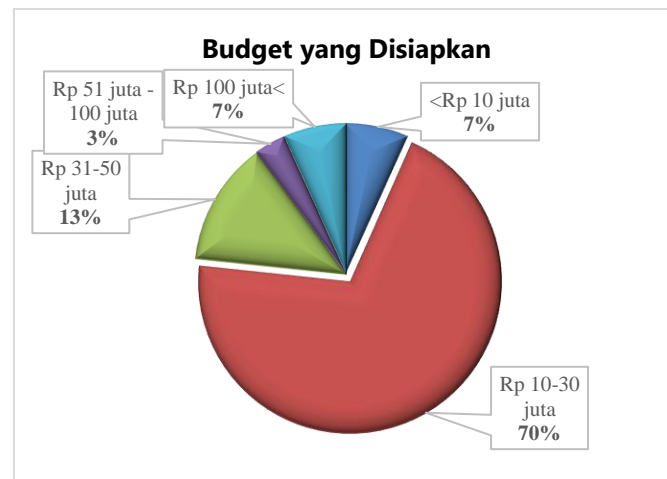
**Gambar 2. Fitur yang diinginkan**

Kemudian untuk fitur yang diinginkan para petugas sampah tersebut memilih beberapa fitur dari hasil pengisian dengan fitur yang paling banyak dipilih yaitu kemampuan Machine Learning untuk Akurasi (37%) dilanjutkan dengan Kemampuan Identifikasi Merek/Produk Sampah (15%), selanjutnya Sistem Peringatan Otomatis untuk masalah operasional (12%), laporan Statistik dan Integrasi dengan Sistem Manajemen Sampah (10%) yang terakhir yaitu dashboard Monitoring Real-time dan Konektivitas Cloud masing-masing 8%.



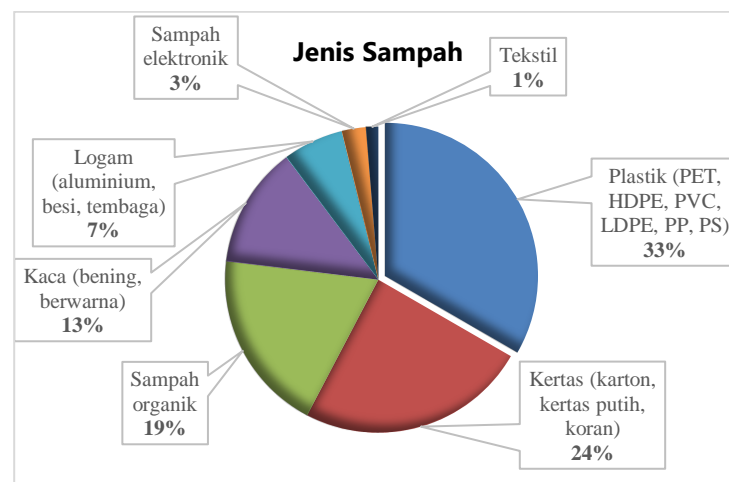
**Gambar 1 3 Ruang yang tersedia untuk ditempati alat**

Survei mengenai ketersediaan ruang untuk implementasi alat pemilah sampah menunjukkan distribusi yang sangat beragam dari fasilitas yang berpartisipasi. Kategori ruang 10-30 m<sup>2</sup> mendominasi dengan 60% dari total responden, menunjukkan calon pengguna memiliki keterbatasan ruang yang signifikan. Segmen terdiri dari TPS (Tempat Penampungan Sementara) tingkat RT/RW, Sebanyak 30% responden memiliki ruang lebih dari 100 m<sup>2</sup>, yang merepresentasikan fasilitas industri, dan waste management facilities, kategori ruang menengah ini hanya mencakup 3% masing-masing dari total responden. Segmen ini kemungkinan merepresentasikan fasilitas komersial menengah, TPS tingkat kelurahan, dan yang terakhir untuk Ruang Sangat Kecil (<10 m<sup>2</sup>) dengan responden sebanyak 4%.



**Gambar 4. Budget yang disiapkan untuk penerapan alat**

Survey budget yang disiapkan untuk implementasi alat pemilah sampah menunjukkan distribusi yang sangat terkonsentrasi pada segmen budget menengah-rendah. Data ini memberikan insight kritis mengenai price sensitivity pasar dan menentukan strategi pricing yang tepat untuk penetrasi pasar yang optimal. Segmen budget Rp 10-30 juta mendominasi dengan overwhelming 70% dari total responden, menunjukkan bahwa mayoritas calon pengguna memiliki budget constraint yang signifikan. Segmen ini terdiri dari TPS tingkat RT/RW. selanjutnya budget menengah-tinggi (Rp 31-50 juta) Sebanyak 18% responden memiliki budget dalam range Rp 31-50 juta, yang merepresentasikan fasilitas komersial menengah, TPS tingkat kelurahan. Budget Rendah (<Rp 10 juta) kategori budget sangat terbatas ini mencakup 7% responden. Dan yang terakhir Budget Tinggi (>Rp 51 juta) Hanya 5% responden yang memiliki budget di atas Rp 51 juta, yang merepresentasikan *waste management systems*.



**Gambar 5. Jenis sampah paling banyak**

Data distribusi jenis sampah menunjukkan komposisi waste stream yang heterogen dengan dominasi material recyclable. Informasi ini critical untuk menentukan prioritas pengembangan algoritma AI, desain sistem mekanik pemilahan, dan strategi training dataset untuk mencapai akurasi optimal dalam klasifikasi multi-kategori. Plastik mendominasi komposisi sampah dengan 33%, mencakup berbagai jenis polimer (PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS). Dominasi ini mencerminkan konsumsi packaging yang tinggi dalam masyarakat modern. Kertas menempati posisi kedua dengan 24%, mencakup karton, kertas putih, dan koran, Sampah organik sebesar 19%, Kaca bening dan berwarna mencakup 13%, Logam (aluminium, besi, tembaga) sebesar 7%, Sampah Elektronik sebanyak 3%, dan tekstil sebanyak 1%.

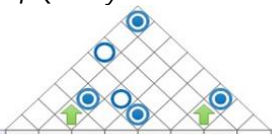
Hasil dari pernyataan tersebut diinterpretasikan menjadi kebutuhan pengguna. Didapati kebutuhan teknis dari produk setelah menjabarkan masing-masing atribut ke dalam respon teknis.



**Tabel 3. Respon Teknis Atribut**

| Atribut   | Respon Teknis      |
|-----------|--------------------|
| Kapasitas | Dimensi produk     |
|           | Kecepatan pemilah  |
| Akurasi   | Resolusi kamera    |
|           | Model software     |
|           | Klasifikasi sampah |
| Kemudahan | Mekanisme alat     |
|           | Tombol On/Off      |
| Biaya     | Material alat      |
|           | Dimensi produk     |
|           | Mekanisme alat     |
| Ukuran    | Mekanisme Alat     |
|           | Material alat      |

Setelah itu maka akan dilakukan proses penentuan relationship. relationship merupakan hubungan antara respon teknis dengan atribut. yang kemudian akan dilakukan proses technical correlation, yaitu merupakan hubungan dari masing-masing respon teknis. Pembuatan technical correlation ditentukan hubungan antara satu respon teknis dengan respon teknis yang lain. Yang kemudian dilanjutkan dengan penentuan prioritas dan target yang mana prioritas adalah bagian dari persentase total nilai untuk setiap respon teknis. Nilai tersebut berasal dari hasil matriks hubungan. Target adalah tujuan yang ingin dicapai dari setiap respon teknis. Dan setelah langkah langkah tersebut dilakukan maka didapatkan lah *House of Quality*.

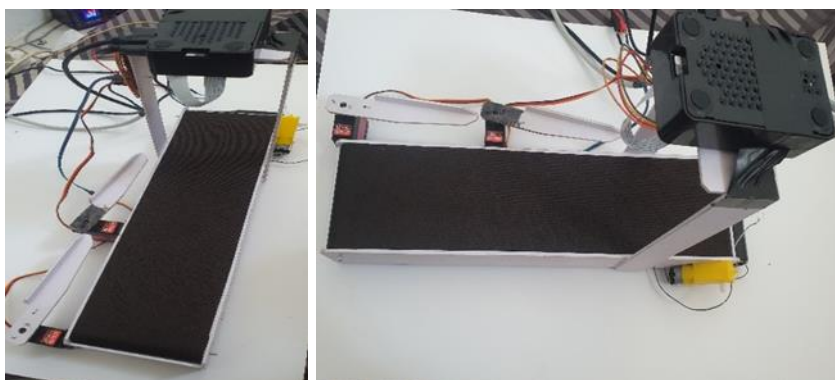


|              |                         | Skala Kepentingan | Dimensi produk | Kecepatan pemilah     | Resolusi kamera | Model software | Klasifikasi sampah                  | Mekanisme alat | Tombol On/Off | Material alat | Weight % |
|--------------|-------------------------|-------------------|----------------|-----------------------|-----------------|----------------|-------------------------------------|----------------|---------------|---------------|----------|
| Kebutuhan    | Kapasitas alat          | 3                 | 0,5217         | 1,5651                |                 |                |                                     | 0,5217         |               |               | 17,39%   |
|              | Akurasi alat            | 4                 |                | 0,5217                | 1,5651          | 1,5651         | 0,5217                              | 1,5651         |               |               | 17,39%   |
|              | Kemudahan pengoperasian | 4                 |                |                       |                 |                |                                     | 0,6957         | 0,6957        |               | 23,19%   |
|              | Biaya                   | 5                 | 0,5697         |                       | 0,2849          |                |                                     | 2,6092         |               | 1,6091        | 28,99%   |
|              | Ukuran alat             | 3                 | 1,1736         |                       |                 |                |                                     | 0,3912         |               | 1,1736        | 13,04%   |
|              | SUM Score               |                   | 2,565          | 2,0868                | 1,8509          | 1,5651         | 0,5217                              | 5,7828         | 0,6957        | 3,7827        | 18,8507  |
| Priority     |                         |                   | 13,65%         | 11,07%                | 9,81%           | 8,29%          | 2,76%                               | 30,07%         | 3,66%         | 20,06%        | 100%     |
| Target Value |                         |                   | 150x95cm       | 1.500 gerakan per jam | 8 mega pixel    | yolo v11       | 2 jenis sampah menggunakan conveyor | ya             |               | Besi          |          |

**Gambar 6. House of Quality**

Tahap analisa merupakan tahap penjabaran fungsi-fungsi kritis dari alat pemilah sampah. Tahap ini mempertimbangkan respon teknis dengan weight lebih dari 10% yaitu dimensi produk, kecepatan pemilahan, mekanisme alat, dan material alat. Selain itu juga mempertimbangkan dari atribut produk yaitu kapasitas, akurasi, kemudahan penggunaan, biaya, dan ukuran produk dan tidak lupa pula mempertimbangkan data wawancara dan pengisian quesioner yang telah dilakukan kepada para responden sebelumnya.

Setelah semuanya dilakukan dilakukan pengembangan untuk produk berupa prototype Pembuatan prototype ini didasarkan pada hasil QFD dan penjabaran fungsi kritis dari data wawancara dan pengisian kuesioner oleh para responden sebelumnya. Pengembangan produk ini berdasarkan pada pilihan untuk rancangan awal secara fisik tiap komponen dan juga material penyusun komponen alat.



**Gambar 7. Prototype Alat**

Prototype alat mempunyai spesifikasi Panjang 40 cm dan lebar 10 cm untuk kecepatan conveyor di kisaran 10 cm/s dari spesifikasi ini alat pemilah dapat memilah sampah plastic sebanyak 15 kali/menit dan untuk sampah kertas dapat memilah sebanyak 25 kali/menit.

Pengujian Pengambilan data prototype alat pemilah sampah dalam pengujian alat dilakukan 5 kali ulangan dengan menggunakan 30 sampel, dengan setiap kali ulangan menggunakan macam macam sampah yang berbeda. Pengujian tersebut dilakukan dengan mencatat banyaknya sampah yang terpilah, dalam hal ini hanya sampah plastik dan sampah kertas saja yang dilakukan pemilahan yang kemudian nantinya akan didapat Tingkat accuracy dari pengujian alat. Data proses pengujian alat pemilah sampah ulangan dapat dilihat pada Tabel

**Tabel 4. Hasil Pengujian Alat Pemilahan Sampah Otomatis**

| Pengujian ke- | Total Sampel | Plastik PET |       | Plastik Non-PET |       | Kertas |       | Kardus |       | Akurasi (%) |
|---------------|--------------|-------------|-------|-----------------|-------|--------|-------|--------|-------|-------------|
|               |              | Benar       | Salah | Benar           | Salah | Benar  | Salah | Benar  | Salah |             |
| 1             | 30           | 8           | 0     | 7               | 2     | 4      | 1     | 6      | 2     | 80          |
| 2             | 30           | 6           | 1     | 6               | 2     | 7      | 2     | 6      | 0     | 80          |
| 3             | 30           | 5           | 1     | 6               | 0     | 6      | 1     | 8      | 3     | 80          |
| 4             | 30           | 6           | 1     | 7               | 1     | 5      | 0     | 8      | 2     | 84.6        |
| 5             | 30           | 6           | 2     | 7               | 1     | 6      | 2     | 6      | 0     | 80          |
| <b>Total</b>  | 150          | 31          | 5     | 33              | 6     | 28     | 6     | 34     | 7     | 80.92       |

**Tabel 5. Hasil pengujian alat setelah di klasifikasikan**

| Kategori Sampah | Jumlah | Terklasifikasi Benar | Akurasi (%) |
|-----------------|--------|----------------------|-------------|
| Plastik         | 75     | 64                   | 85.3        |
| Kertas/Kardus   | 75     | 62                   | 82.6        |
| <b>Total</b>    | 150    | 126                  | 83.95       |

Jika dihitung antara kapasitas prototype dan akurasi maka kapasitas sesungguhnya dari prototype tersebut ialah 13 kali pemilahan/menit untuk sampah kertas dan 21 kali pemilahan/menit untuk sampah plastik dari hasil pengujian prototype menunjukkan bahwa implementasi sistem otomasi pemilah sampah dengan algoritma YOLO dapat mencapai target akurasi yang signifikan lebih tinggi dari sistem manual existing. Diasumsikan untuk berat 1 plastik sama dengan 20 gram dan berat 1 kertas atau kardus sama dengan 10 gram maka kapasitas alat tersebut sebesar 201,6 kg plastik dan 62,4 kg untuk sampah kertas. Berdasarkan tabel berikut, ini menunjukkan perbandingan kinerja sistem pemilahan sebelum dan sesudah implementasi suatu perubahan atau perbaikan:



**Tabel 6. Hasil penerapan Alat**

| Metrik            | Sebelum | Sesudah | Peningkatan |
|-------------------|---------|---------|-------------|
| Akurasi Pemilahan | 65%     | 84%     | 19%         |

Dari hasil penerapan alat menunjukkan bahwa tingkat akurasi dalam proses pemilahan meningkat secara signifikan. Peningkatan dari 65% ke 84% berarti kini sistem dapat memilah dengan lebih tepat dan mengurangi kesalahan. Kemudian untuk perhitungan pengurangan residu adalah sebagai berikut:

Nilai rata-rata material terolah:

Sampah plastik:  $0,2016 \text{ ton/hari} \times \text{Rp } 2.500.000/\text{ton} = \text{Rp } 504.000/\text{hari}$

Sampah kertas:  $0,0624 \text{ ton/hari} \times \text{Rp } 1.300.000/\text{ton} = \text{Rp } 81.120/\text{hari}$

Total nilai material tambahan: Rp 585.120/hari

Total potensi recovery = Rp.168.514.560

Dari total residu untuk sampah plastik dan kertas yang tidak terpilah dengan baik yang berjumlah 0,4578 ton/hari dengan rincian 0,2616 ton/hari untuk plastik dan 0,1962 ton/hari untuk kertas maka hasil pemilahan berdasarkan akurasi pemilahan untuk pengurangan residu adalah 77% untuk sampah plastik dan 32% untuk sampah kertas.

#### 4. KESIMPULAN

Merancang Alat Pemilahan Sampah dengan Pendekatan QFD, Quality Function Deployment adalah metodologi yang menerjemahkan kebutuhan pelanggan (Voice of Customer) menjadi spesifikasi teknis produk. Untuk alat pemilahan sampah, langkah-langkahnya meliputi Identifikasi Voice of Customer (VOC) yang berisi Kebutuhan Pengguna, Kebutuhan Petugas, Kebutuhan Lingkungan. Kemudian Penyusunan House of Quality (HOQ) yang meliputi pembuatan Customer Requirements, Technical Requirements, Relationship Matrix, dan Correlation Matrix. Selanjutnya Prioritisasi dan Target Setting memberikan bobot pada setiap kebutuhan berdasarkan tingkat kepentingan menetapkan target teknis yang terukur (akurasi pemilahan >80%), dan Benchmarking dengan alat sejenis yang sudah ada. Dan tahap terakhir nya yaitu Pengembangan Konsep Desain.

Dampak Alat Pemilahan Sampah terhadap TPS 3R Tenggilis Mejoyo Hasil yang didapat dari penerapan alat tersebut nantinya berupa pengurangan residu sampah sebanyak 77% untuk sampah plastik dan 32% untuk sampah kertas dari residu sampah yang sebelumnya sebesar berjumlah 0,4578 ton/hari dengan rincian 0,2616 ton/hari untuk plastik dan 0,1962 ton/hari untuk kertas. Dengan Nilai rata-rata material terolah: Plastik:  $0,2016 \text{ ton/hari} \times \text{Rp } 2.500.000/\text{ton} = \text{Rp } 504.000/\text{hari}$ , Kertas:  $0,0624 \text{ ton/hari} \times \text{Rp } 1.300.000/\text{ton} = \text{Rp } 81.120/\text{hari}$ , total nilai material tambahan: Rp 585.120/hari, dan total potensi recovery = Rp.168.514.560.

#### 5. REFERENSI

- Maritan, D. (2015). Practical Manual of Quality Function Deployment. In *Practical Manual of Quality Function Deployment*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-08521-0>
- Morena, A., Molina, G., & Garay, U. (2019). Artificial Visión and Language Processing for Robotics. In *Packt*.
- Natee, S., Low, S. P., & Teo, E. A. L. (2016). Quality Function Deployment for Buildable and Sustainable Construction. In *Quality Function Deployment for Buildable and Sustainable Construction*. <https://doi.org/10.1007/978-981-287-849-6>
- Sihananto, A. N., Al Haromainy, M. M., & Sari, A. P. (2023). Pemilahan Jenis Sampah Menggunakan Algoritma Cnn. *Scan: Jurnal Teknologi Informasi Dan Komunikasi*, 17(3). <https://doi.org/10.33005/scan.v17i3.3523>
- SIPSN. (2024). <https://sipsn.kemenvh.go.id/sipsn/public/data/timbulan>