

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi memberikan dampak besar terhadap kehidupan di masyarakat, termasuk dalam upaya untuk mengatasi berbagai permasalahan lingkungan. Namun, seiring dengan kemajuan tersebut, kesadaran masyarakat terhadap pentingnya menjaga kebersihan lingkungan yang masih tergolong rendah [1]. Salah satu permasalahan krusial yang sering dihadapi adalah kebiasaan mencampur berbagai jenis sampah tanpa memperhatikan perbedaan karakteristik dan cara pengolahannya.

Tetapi masih banyak masyarakat yang tidak peduli akan hal ini, dapat dilihat seperti banyaknya sampah yang berceceran. Sampah merupakan ancaman serius bagi manusia, karena membuang sampah sembarangan dapat menyebabkan pencemaran lingkungan. Selama ini masih banyak masyarakat yang enggan membuang sampah pada tempatnya, bahkan kerap mencampurkan berbagai jenis sampah tanpa memahami karakteristiknya. Padahal, setiap jenis sampah memerlukan metode pengolahan yang berbeda sesuai kategorinya, khususnya sampah logam yang mengandung bahan berbahaya dan memerlukan penanganan khusus.

Masih sedikitnya masyarakat yang sadar tentang sampah yang berisi Bahan Berbahaya Beracun (B3) dan menganggap bahwa menyatukan sampah tidak akan berdampak. Maka, dengan adanya pengelompokan sampah ini, diharapkan dapat memaksimalkan pengolahan sampah yang ada agar sampah - sampah dapat dikelola dengan maksimal[2]. Di zaman sekarang kemajuan teknologi berkembang dengan sangat pesat, aktivitas manusia pada saat ini tidak lepas dari peralatan logam, sehingga sampah dari barang logam pun mengalami peningkatan[3]. Permasalahan dalam pengelolaan sampah, khususnya pada tahap pemilahan, masih menjadi isu lingkungan yang krusial. Salah satu

konsekuensi dari tidak optimalnya proses pemilahan adalah tercampurnya limbah logam (*e-waste*) dengan limbah non-logam dalam satu tempat pembuangan [4]. Limbah logam mencakup berbagai perangkat yang sudah tidak digunakan, seperti komputer, ponsel, televisi dan baterai, yang umumnya mengandung bahan kimia berbahaya seperti merkuri, timbal dan kadmium.

Apabila tidak ditangani secara tepat, bahan-bahan ini dapat mencemari tanah, air dan udara serta menimbulkan masalah serius bagi kesehatan manusia[5]. Sebaliknya, limbah non- logam terdiri atas sampah rumah tangga seperti plastik, kertas dan sisa makanan. Ketika kedua jenis limbah ini tercampur tanpa proses pemilahan dan pengolahan yang memadai, risiko pencemaran lingkungan akan meningkat secara signifikan. Kondisi tidak hanya menyulitkan upaya daur ulang, tetapi juga memperbesar dampak negatif terhadap ekosistem dan kualitas hidup manusia secara umum.

1.1.1 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan sebelumnya, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Bagaimana merancang alat pemisah sampah otomatis berbasis IoT yang mampu mengidentifikasi dan memisahkan sampah secara mandiri?
- b) Sensor apa saja yang tepat dan efektif digunakan untuk mendeteksi perbedaan jenis material sampah?
- c) Bagaimana sistem dapat diintegrasikan dengan teknologi IoT untuk memungkinkan pemantauan kinerja alat secara real-time?
- d) Sejauh mana efektivitas dan akurasi alat dalam memisahkan sampah berdasarkan perbedaan karakteristik fisik material?

1.1.2 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terfokus pada ruang lingkup yang direncanakan,

maka batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a) Penelitian difokuskan pada perancangan dan pengujian alat pemisah sampah otomatis berbasis IoT.
- b) Sampah yang diuji dibatasi pada dua jenis yaitu logam dan non-logam.
- c) Fitur IoT hanya mencakup pemantauan data secara real-time.
- d) Penggunaan alat dibatasi pada skala kecil, seperti rumah tangga atau lingkungan terbatas.

1.1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk merancang alat pemilah sampah otomatis berbasis IoT agar proses pemisahan sampah lebih efisien dan akurat. Adapun tujuan dan manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a) Merancang dan membangun alat pemisah sampah otomatis berbasis IoT yang mampu membedakan sampah logam dan non-logam secara mandiri.
- b) Mengimplementasikan sensor yang sesuai untuk mendeteksi perbedaan sifat fisik material sampah.
- c) Mengintegrasikan alat dengan fitur IoT guna memungkinkan pemantauan data pemisahan secara real-time.

Memberikan solusi praktis dalam pemilahan sampah otomatis untuk mendukung efisiensi pengelolaan sampah skala kecil.

1.2 Informasi pendukung masalah

Berdasarkan data dari Global E-Waste Monitor, pada tahun 2022 total produksi limbah logam global mencapai 62 miliar kilogram, atau sekitar 7,8 kilogram per kapita. Namun, hanya 22,3% dari jumlah tersebut, sekitar 13,8 miliar kilogram, yang berhasil dikumpulkan dan didaur ulang secara formal [6]. Fakta ini menunjukkan adanya kesenjangan signifikan antara tingkat produksi e-waste dan kapasitas pengelolaan yang tersedia, yang terus meningkat rata-rata

sebesar 2,3 miliar kilogram per tahun sejak tahun 2010.

Peningkatan ini didorong oleh tingginya tingkat konsumsi, siklus hidup produk yang pendek, serta keterbatasan akses terhadap layanan perbaikan. Adapun untuk tabel mengenai statistik limbah logam global pada tahun 2022 dan proyeksi tahun 2030, dapat dilihat pada *Tabel 1.1* di bawah ini.

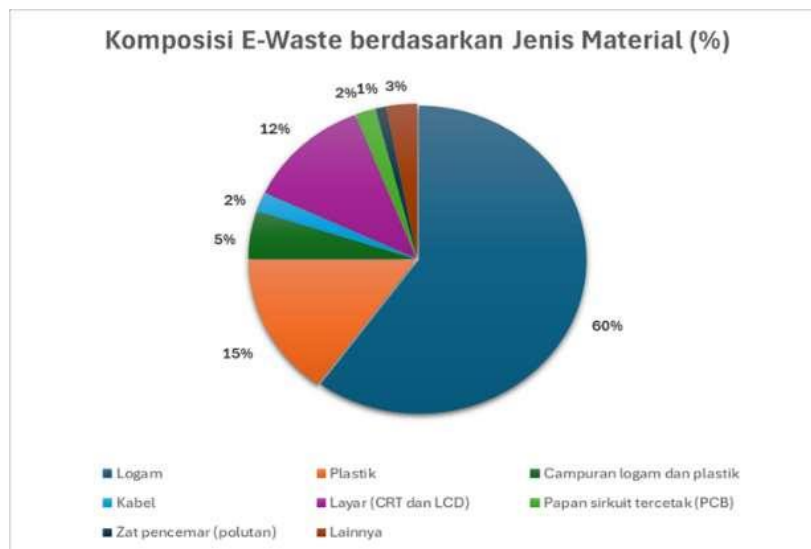
Tabel 1.1 Statistik Limbah Logam Global

Parameter	Tahun 2022	Tahun 2030 (Proyeksi)
Produksi <i>E-Waste</i> (miliar/kg)	62	82
<i>E-Waste</i> per Kapita (kg)	7,8	-
Jumlah Daur Ulang (miliar / kg)	13,8	49,2
Tingkat Daur Ulang (%)	22,3	60%
Rata-rata Kenaikan Tahunan Produksi (miliar kg/tahun)	2,3	2,3
Komposisi Logam (miliar/kg)	31	-
Komposisi Plastik (miliar/kg)	17	-
Komposisi Bahan Lainnya (kaca, mineral,dll)(miliar kg)	14	-
Potensi Nilai Ekonomi dari <i>E-Waste</i> (miliar USD)	91	-
Kerugian Ekonomi akibat <i>e- waste</i> (miliar USD)	37	-

Dari perspektif ekonomi, potensi nilai limbah logam global pada tahun 2022 diperkirakan mencapai USD 91 miliar, yang berasal dari logam mulia dan logam industri yang terkandung di dalamnya. Namun, pengelolaan yang tidak optimal menyebabkan kerugian ekonomi sebesar USD 37 miliar, termasuk biaya eksternal akibat emisi zat berbahaya dan pencemaran plastik. Selain itu, pergerakan lintas batas *e-waste* tercatat sebesar 5,1 miliar kilogram, di mana 65% pengiriman tidak terkendali berasal dari negara maju ke negara

berkembang [7].

Limbah logam terdiri atas berbagai jenis material, dengan komposisi pada tahun 2022 sekitar 31 miliar kilogram logam , 17 miliar kilogram plastik, serta 14 miliar kilogram bahan lainnya seperti kaca dan mineral. Namun, hanya sebagian kecil dari komponen berharga tersebut, terutama elemen tanah jarang, yang dapat didaur ulang secara ekonomis, disebabkan oleh keterbatasan teknologi dan tingginya biaya proses daur ulang [8] Adapun untuk komposisi limbah logam , dapat dilihat pada *gambar 1.1* berikut.



Gambar 1-1 Grafik komposisi E-waste berdasarkan Jenis Material

Salah satu dampak utama dari pencampuran sampah logam dan sampah non logam adalah pencemaran tanah dan air. Ketika sampah logam yang mengandung logam berat terurai di tempat pembuangan akhir (TPA), zat beracun tersebut dapat meresap ke dalam tanah. Racun ini tidak hanya merusak struktur dan kualitas tanah, tetapi juga dapat mengontaminasi air tanah yang digunakan oleh masyarakat sekitar untuk keperluan sehari-hari, seperti minum, memasak, atau irigasi, selain itu, aliran air hujan juga membawa partikel berbahaya dari tumpukan sampah logam yang dapat mencemari sungai, dan berdampak pada makhluk hidup di sekitarnya. Jika air yang tercemar ini dikonsumsi atau digunakan oleh manusia, maka risiko kesehatan seperti

keracunan logam berat dan gangguan organ vital pun meningkat. Salah satu contoh penyakit di Jepang yang bernama penyakit minamata dan penyakit itai-itai. Penyakit Minamata atau Sindrom Minamata adalah kondisi kelainan fungsi saraf yang disebabkan oleh keracunan merkuri, khususnya metil merkuri.

Penyakit Minamata merupakan gangguan serius pada sistem saraf yang disebabkan oleh keracunan merkuri, terutama metil merkuri, yang umumnya masuk ke dalam tubuh melalui konsumsi makanan laut yang tercemar. Gejala umum dari penyakit ini meliputi ataksia atau hilangnya koordinasi otot, kesulitan mendengar dan melihat seperti penyempitan sudut pandang hingga kebutaan, kesulitan berjalan, serta mati rasa pada tangan dan kaki. Sementara itu, penyakit itai-itai disebabkan oleh paparan logam berat kadmium yang mencemari air minum dan makanan, terutama beras. Gejala utama dari penyakit ini adalah nyeri hebat pada tulang dan sendi yang menjadi alasan penamaan "itai-itai" yang berarti sakit-sakit dalam bahasa Jepang. Selain itu, penderita juga mengalami pelunakan dan kerapuhan tulang yang dapat menyebabkan patah tulang hanya karena batuk atau gerakan ringan. Gangguan fungsi ginjal hingga gagal ginjal serta anemia juga merupakan gejala yang sering ditemukan pada penderita penyakit ini.

Selain dampak lingkungan, pencampuran sampah logam dan sampah non-logam juga menimbulkan masalah dalam manajemen sampah. Karena sebagian TPA tidak dilengkapi dengan fasilitas khusus untuk pengolahan logam, limbah logam yang mengandung komponen berharga seperti tembaga dan emas tidak dapat didaur ulang dengan baik [9]. Akibatnya, sumber daya yang seharusnya bisa dimanfaatkan kembali justru hilang begitu saja. Sementara itu penumpukan sampah yang tercampur di TPA mempercepat krisis ruang pembuangan di wilayah perkotaan, mengingat banyak sampah logam dan plastik membutuhkan waktu puluhan hingga ratusan tahun untuk terurai. Ini membuat pengelolaan sampah menjadi semakin sulit dan mahal.

Masalah ini juga diperparah oleh rendahnya kesadaran masyarakat tentang pentingnya pemilahan sampah, terutama sampah logam . Banyak orang yang masih membuang perangkat logam mereka dengan sampah rumah tangga tanpa menyadari dampak buruknya terhadap lingkungan [10]. Padahal, di beberapa negara sudah memiliki sistem daur ulang khusus untuk sampah logam , tetapi infrastruktur tersebut sering kali kurang dimanfaatkan karena minimnya edukasi dan fasilitas yang kurang memadai. Selain itu, pekerja informal seperti pemulung yang sering mengumpulkan sampah logam untuk dijual kembali sering kali tidak dilengkapi dengan alat pelindung diri. Mereka berisiko terpapar bahan kimia berbahaya dari perangkat logam rusak, yang dapat menyebabkan gangguan kesehatan serius seperti kerusakan saraf dan gangguan ginjal.

Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang komprehensif untuk mengatasi pencemaran lingkungan akibat pencampuran sampah logam dan non-logam . Pemerintah, industri dan masyarakat perlu bekerja sama dalam menciptakan sistem pengelolaan sampah yang terintegrasi dan berkelanjutan. Salah satu langkah yang bisa diambil adalah meningkatkan edukasi tentang pentingnya pemilahan sampah serta mempromosikan daur ulang sampah logam melalui program pengumpulan perangkat logam bekas.

Selain itu, regulasi yang lebih tegas tentang pengolahan sampah logam dan pengurangan sampah plastik juga harus diterapkan agar limbah ini tidak mencemari lingkungan. Dengan adanya upaya bersama dari berbagai pihak, diharapkan dampak buruk dari pencemaran lingkungan dapat diminimalkan dan tercipta lingkungan yang sehat bagi generasi mendatang.

1.3 Permasalahan sampah dari berbagai aspek

Permasalahan bercampurnya sampah merupakan isu kompleks yang dapat dianalisis dari berbagai aspek yang saling berkaitan, mencakup aspek teknis, ekonomi, lingkungan, sosial, dan kesehatan masyarakat. Dari sisi teknis, pencampuran sampah menyulitkan proses pemilahan dan daur ulang, karena jenis sampah seperti logam dan non-logam memiliki karakteristik yang berbeda dalam penanganannya. Tanpa sistem pemilahan yang efektif, teknologi pengolahan sampah menjadi kurang efisien dan berpotensi meningkatkan beban operasional.

1.3.1 Aspek Manufakturabilitas

Permasalahan utama dalam pengelolaan sampah secara teknis adalah keterbatasan infrastruktur yang mendukung proses pemilahan dan pengolahan sampah yang efektif. Di tingkat rumah tangga dan komunitas, pemisahan sampah sering kali tidak berjalan dengan baik karena kurangnya teknologi pengolahan sampah yang memadai. Selain itu, masalah lain muncul akibat kurangnya edukasi dan pelatihan teknis kepada masyarakat tentang cara yang tepat untuk memilah dan mendaur ulang sampah. Sistem pengelolaan sampah yang terdesentralisasi juga masih menghadapi banyak hambatan dalam hal pengumpulan, pemrosesan, dan distribusi hasil daur ulang yang tidak efisien [11].

1.3.2 Aspek Ekonomi

Dari aspek ekonomi, sampah memiliki potensi ekonomi yang signifikan apabila dikelola dengan pendekatan yang tepat. Berbagai jenis, seperti sampah, seperti plastik, kertas dan logam, dapat didaur ulang menjadi produk bernilai ekonomi tinggi. Namun, pemanfaatan potensi ini sering kali terhambat oleh kurangnya mekanisme pasar yang efektif untuk menyalurkan sampah daur ulang ke sektor industri. Ketiadaan infrastruktur yang memadai dan sistem distribusi yang efisien menyebabkan nilai ekonomi dari sampah tidak dapat dioptimalkan secara maksimal [12]. Hal ini menunjukkan perlunya pengembangan sistem pasar yang mendukung daur ulang, termasuk

peningkatan fasilitas pengolahan.

1.3.3 Aspek Lingkungan

Dari aspek lingkungan, pengelolaan sampah yang tidak optimal dapat menimbulkan dampak negatif yang cukup serius. Sampah yang tidak dipisahkan dan tidak dikelola dengan benar menjadi penyebab utama pencemaran tanah, air dan udara. Kondisi ini memperparah berbagai permasalahan lingkungan yang berkelanjutan. Oleh karena itu, setiap orang memiliki tanggung jawab untuk menjaga kelestarian alam serta mewujudkan lingkungan yang sehat dan layak huni [13].

1.3.4 Aspek Sosial

Dari aspek sosial, efektivitas program pemilahan sampah sangat dipengaruhi oleh partisipasi masyarakat. Rendahnya kesadaran dan motivasi untuk memilah sampah masih menjadi kendala utama dalam implementasi kebijakan ini. Berhasilnya pencegahan bercampurnya sampah sangat tergantung pada partisipasi masyarakat. Kurangnya kesadaran dan motivasi untuk memilah sampah sering menjadi kendala.

Masyarakat sering kali tidak melihat manfaat langsung dari manfaat pemisahan sampah, yang menyebabkan rendahnya tingkat partisipasi dan komitmen. Program edukasi yang tidak merata juga memperparah masalah ini, proses pendidikan di Indonesia pada umumnya selalu berhubungan atau tidak terlepas dari lingkungan, seharusnya bertujuan baik bagi lingkungan namun sekarang ini banyak terjadi permasalahan lingkungan yang ditandai dengan meningkatnya kerusakan lingkungan [1].

1.3.5 Aspek Kesehatan

Dari aspek kesehatan, limbah logam sebenarnya mengandung bahan kimia berbahaya seperti Kadmium (Cd), Timbal (Pb), dan Arsen (As) yang dapat mengontaminasi pekerja dan lingkungan seperti ke badan air juga ke sumber makanan [9]. Sisa pembakaran penyebab polusi udara juga menjadi masalah ketika sampah dibakar secara terbuka. Proses ini menghasilkan zat beracun yang menyebabkan gangguan pernapasan, terutama bagi kelompok

rentan seperti anak- anak dan lansia. Secara keseluruhan, kompleksitas pencemaran lingkungan akibat sampah yang bercampur melibatkan banyak aspek yang saling terkait, mulai dari aspek teknis, ekonomi, lingkungan, hingga sosial. Analisis menyeluruh terhadap semua aspek ini sangat penting untuk memahami akar permasalahan yang ada sebelum merancang solusi yang efektif. Secara keseluruhan, kompleksitas pencemaran lingkungan akibat sampah yang bercampur melibatkan banyak aspek yang saling terkait, mulai dari aspek teknis, ekonomi, lingkungan, hingga sosial. Analisis menyeluruh terhadap semua aspek ini sangat penting untuk memahami akar permasalahan yang ada sebelum merancang solusi yang efektif.

1.4 Solusi Sistem yang Diusulkan

Untuk menjawab permasalahan dalam pengelolaan sampah, diperlukan solusi sistem yang mampu memberikan efisiensi, akurasi, dan kemudahan dalam proses pemilahan sampah. Sebelum merancang sistem yang tepat, penting untuk memahami kelebihan dan kekurangan dari berbagai metode pemisahan yang telah ada serta tantangan umum yang dihadapi oleh solusi-solusi sebelumnya.

1.4.1 Perbandingan Metode Pemisahan Sampah

Dalam upaya meningkatkan efektivitas pengelolaan sampah, berbagai pendekatan pemisahan telah dikembangkan seiring kemajuan teknologi. Salah satu cara yang masih banyak digunakan hingga kini adalah sistem konvensional, yaitu pemisahan berdasarkan jenis sampah melalui label pada tempat sampah seperti organik, anorganik, atau B3. Cara ini memiliki keunggulan dari sisi kemudahan dan biaya rendah, namun sangat bergantung pada kesadaran masyarakat dan sering kali tidak efektif jika tidak disertai edukasi dan pengawasan yang baik. Di sisi lain, penggunaan teknologi *conveyor* sebagai alat bantu pemilahan otomatis mulai banyak dikembangkan di fasilitas pengolahan sampah skala besar. Dengan sensor atau sistem penyortiran otomatis, *conveyor* mampu mempercepat proses pemisahan dan mengurangi ketergantungan pada tenaga manusia.

Selain itu, solusi berbasis tempat sampah pintar juga mulai bermunculan, terutama di lingkungan perkotaan. Tempat sampah ini dilengkapi sensor untuk mendeteksi jenis sampah secara otomatis dan mengarahkannya ke bagian yang sesuai. Beberapa di antaranya bahkan terhubung dengan sistem digital yang memantau kapasitas dan waktu pengosongan. Meskipun implementasinya masih terbatas karena biaya dan kebutuhan infrastruktur, pendekatan ini memiliki potensi besar dalam mendorong kesadaran memilah sampah sejak dari sumber.

Kombinasi pendekatan konvensional, semi-otomatis (conveyor), dan otomatis (smart bin) dapat menjadi strategi yang saling melengkapi dalam menciptakan sistem pengelolaan sampah yang lebih efisien dan berkelanjutan.

1.4.2 Tantangan Umum dari Solusi yang Ada

Meskipun berbagai pendekatan dan solusi telah diterapkan dalam pengelolaan sampah, masih terdapat sejumlah tantangan umum yang perlu dicermati secara lebih mendalam. Beberapa masalah yang kerap muncul di antaranya adalah keterbatasan infrastruktur penunjang, ketergantungan tinggi pada teknologi maupun pihak eksternal, serta inkonsistensi dalam partisipasi masyarakat. Ketiga aspek tersebut menjadi hambatan utama dalam menciptakan sistem pengelolaan sampah yang berkelanjutan dan efektif. Oleh karena itu, diperlukan analisis yang mendalam terhadap berbagai pendekatan yang telah ada, sebagai dasar untuk merumuskan inovasi sistem pengelolaan sampah yang lebih adaptif, efisien, dan relevan dengan kebutuhan masyarakat di berbagai konteks.

1.5 Kesimpulan dan Ringkasan CD-1

Permasalahan terkait sampah logam mencakup berbagai aspek yang saling terkait, seperti aspek teknis, ekonomi, lingkungan, sosial, dan kesehatan. Dari segi teknis, kendala utama dalam pengelolaan sampah logam adalah terbatasnya infrastruktur, teknologi, dan rendahnya tingkat edukasi di masyarakat. Sampah logam termasuk dalam kategori limbah Bahan

Berbahaya dan Beracun (B3) [12], yang mengandung bahan berbahaya. Oleh karena itu, pembuangan sampah logam secara sembarangan dapat menimbulkan dampak yang sangat berbahaya.

Selain itu, ada sanksi hukum bagi individu yang dengan sengaja membuang sampah logam secara tidak benar. Sampah logam memiliki kandungan logam mulia dan logam tanah yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut jika dikelola dengan baik. Sebelum membuangnya, sampah logam sebaiknya dipilah terlebih dahulu untuk mengurangi pencampuran dengan sampah lainnya. Penggunaan barang bekas yang masih dapat digunakan dan perbaikan barang logam yang rusak juga dapat menjadi solusi yang lebih ramah lingkungan. Pengelolaan sampah logam yang tidak tepat akan menimbulkan dampak negatif bagi kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan, serta dapat mencemari tanah, air dan udara. Sampah logam terdiri dari berbagai jenis, termasuk kabel listrik, 10 baterai, ponsel televisi, perangkat komputer, kipas angin dan sebagainya.

Sayangnya, hanya sekitar 20% dari sampah logam yang berhasil didaur ulang [9], sementara sisanya sering kali dibakar, ditimbun atau dibuang sembarangan, yang menyebabkan pencemaran lingkungan. Proses pembakaran sampah logam dapat menghasilkan emisi gas berbahaya, seperti timbal dan gas hidrokarbon, yang jika terhirup dapat merusak sistem saraf dan berpotensi menyebabkan kematian. Jika pengelolaan sampah logam tidak dilakukan dengan tepat, Maka dampaknya akan menjadi ancaman yang serius bagi lingkungan dan kesehatan manusia.