

BAB II

TINJUAN PUSTAKA

2.1 Studi Literatur (Penelitian Terdahulu)

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Judul dan Penulis	Tahun	Metode/Hasil	Potensi dalam Penelitian
1.	<i>Design and Build an Automatic Trash Rake Tool in River Using a Chain Conveyor</i> – Aa Santosa, Wahyu Tri Prayogo[6]	2024	Menggunakan metode <i>research and development</i> dengan sistem <i>chain conveyor</i> . Hasilnya alat mampu mengangkut sampah hingga 1020 kg/jam dengan efektivitas 99%.[6]	Dapat menjadi referensi desain <i>chain conveyor</i> dan perhitungan kapasitas alat, namun belum terintegrasi IoT dan energi terbarukan.
2	<i>Automatic River Cleaning Machine</i> – Abhijith N Benny, dkk[7]	2020	Menggunakan metode perancangan alat dengan sistem <i>conveyor dan kontrol</i> RF. Hasilnya alat mampu membersihkan sampah permukaan secara otomatis.[7]	Menjadi referensi desain <i>conveyor</i> , namun belum berbasis IoT dan energi terbarukan sehingga masih dapat dikembangkan.
3	Rancang Bangun Alat Pembersih Sampah Otomatis pada Permukaan Air Berbasis	2024	Menggunakan mikrokontroler untuk mengendalikan sistem pengangkut sampah otomatis di permukaan air. Sistem bekerja dengan mekanisme	Menjadi referensi dalam perancangan sistem otomatis pembersih sampah air. Penelitian dapat dikembangkan dengan integrasi IoT,

	Mikrokontroler – Endi, dkk[8]		pengambilan sampah dan penampungan secara otomatis. Hasil menunjukkan alat mampu membantu proses pembersihan sampah secara efektif pada skala prototipe.[8]	monitoring real-time, penggunaan energi terbarukan, serta penambahan kamera dan sensor kualitas air.
4	Prototipe Konveyor Pembersih Sampah Air Sungai Dengan Notifikasi SMS Berbasis Arduino Uno – Zaenurrohman, Novita Asma Ilahi, Mohamad Iqbal Husain[9]	2023	Menggunakan Arduino Uno, sensor ultrasonik, motor DC dan stepper, serta modul GSM (SMS). Sistem menggunakan dua konveyor untuk mengangkat sampah. Hasil menunjukkan keberhasilan pengangkatan 66% (karton) dan 76% (kayu), dengan waktu rata-rata 17,4 detik dan error sensor $\pm 1,9\%$. [9]	Dapat menjadi referensi dalam perancangan sistem konveyor pembersih sampah. Penelitian ini dapat dikembangkan dengan menambahkan energi terbarukan (panel surya), sistem IoT real-time, kamera (ESP32-CAM), serta sensor kualitas air untuk meningkatkan efisiensi dan monitoring.
5	<i>River Cleaning Robot Using Solar Power</i> – Kshitija A. Ingle, dkk[10]	2020	Menggunakan sistem robot berbasis Arduino dengan conveyor dan tenaga surya. Hasilnya robot mampu mengangkat	Menjadi referensi integrasi energi surya dan sistem otomatis, namun masih sederhana dan belum

			sampah permukaan air berbasis IoT secara otomatis. monitoring.
6	Desain dan 2024 Implementasi Prototipe Robot Pembersih Sampah di Sungai Berbasis Raspberry Pi 4 Model B – Hartanto Dwi Cahyadi, dkk[11]	Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan Raspberry Pi 4 dan algoritma YOLO untuk deteksi sampah real-time, mencapai akurasi 87% pada jarak 30–90 cm, dengan kendala pada sinkronisasi motor dan kestabilan gerak.[11]	Menjadi referensi dalam pengembangan sistem robot pembersih sampah berbasis otomasi dan AI. Dapat dikembangkan lebih lanjut dengan penambahan sensor, sistem IoT, serta penggunaan energi terbarukan seperti PLTS untuk meningkatkan efisiensi dan kemandirian sistem.
7	Prototype 2023 Conveyor Penjaring Sampah Pada Sungai Berbasis ATmega 328 – Najmudin Rauf Al Aufa, dkk[12]	Penelitian ini menggunakan ATmega328 dengan sistem conveyor, sensor ultrasonik, dan notifikasi IoT Telegram, mampu mengangkat sampah ringan secara otomatis dengan monitoring real-time[12]	Menjadi referensi dalam perancangan sistem konveyor otomatis berbasis mikrokontroler. Dapat dikembangkan dengan peningkatan kapasitas beban, integrasi energi terbarukan, serta penambahan sistem deteksi kualitas air

				dan monitoring berbasis IoT.
8	Rancang Bangun Sistem Penangkap Sampah DAS Berbasis Integrasi Screw Conveyor dan IoT – Putu Brahmanda Sudarsana, dkk[13]	2021	Penelitian ini menggunakan virtual prototyping, analisis CFD dan tegangan (ANSYS), serta monitoring berbasis NodeMCU dan Firebase, dengan hasil kapasitas penangkapan 0,368 m ³ /s tanpa menghambat aliran dan data real-time.[13]	Sangat relevan sebagai referensi desain mekanik screw conveyor dan sistem IoT. Dapat dikembangkan dengan implementasi langsung (prototipe nyata), integrasi energi terbarukan, serta penambahan sistem sensor lingkungan seperti pH dan TDS.
9	Alat Pengambil Sampah di Sungai Menggunakan Sistem Pemantauan Berbasis Internet of Things (IoT) – Sri Hartanto, dkk[14]	2022	Penelitian ini menggunakan metode perancangan dan eksperimen dengan konveyor dan baling-baling berbasis mikrokontroler serta sensor ultrasonik, dilengkapi monitoring IoT (Blynk), mampu mengangkut sampah dengan respon 4–8 detik dan deteksi ± 5 cm.[14]	Dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem konveyor otomatis berbasis IoT. Penelitian ini berpotensi dikembangkan dengan peningkatan kapasitas angkut, penambahan sensor kualitas air (pH dan TDS), serta integrasi energi terbarukan untuk meningkatkan

			efisiensi dan kemandirian sistem.
10	Analisa Mesin 2025 Pengambil Sampah Sistem Konveyor Rantai (Chain Conveyor) Dari Permukaan Sungai – Febrian Tri Setiawan, dkk[15]	Metode eksperimen kuantitatif dengan variasi RPM (30, 55, 78, 115). Hasil menunjukkan semakin tinggi RPM, waktu angkat semakin cepat (103 detik → 30 detik) dan kapasitas meningkat (27,3 → 93,6 kg/jam).[15]	Menjadi referensi dalam menentukan pengaruh RPM terhadap efisiensi mesin pengangkut sampah serta dasar optimasi kinerja konveyor rantai.

Berdasarkan kajian terhadap penelitian terdahulu, diketahui bahwa sistem pembersih sampah sungai umumnya masih berfokus pada aspek mekanik seperti penggunaan *conveyor* (*belt*, *chain*, maupun *screw*) tanpa integrasi sistem yang menyeluruh. Beberapa penelitian telah mengadopsi teknologi IoT dan energi terbarukan, namun penerapannya masih terbatas dan belum optimal sebagai sistem yang mandiri dan berkelanjutan.

Penelitian terdahulu juga belum banyak mengintegrasikan pemantauan kualitas air, seperti parameter pH dan TDS, sebagai bagian dari sistem. Di sisi lain, tingkat otomatisasi yang diterapkan masih relatif rendah karena sebagian sistem masih bergantung pada kontrol manual atau semi-otomatis. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem yang lebih terintegrasi, cerdas, dan mandiri dengan menggabungkan teknologi otomatisasi, IoT, energi terbarukan, serta pemantauan kualitas air untuk meningkatkan efektivitas dan keberlanjutan dalam pengelolaan sampah sungai.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Energi baru terbarukan (EBT)

Energi Baru Terbarukan (EBT) merupakan sumber energi yang berasal dari proses alam yang dapat diperbarui secara berkelanjutan sehingga ketersediaannya relatif tidak akan habis apabila dimanfaatkan secara bijaksana. Pengembangan EBT menjadi salah satu solusi untuk mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil yang persediaannya semakin terbatas serta menghasilkan emisi gas rumah kaca yang berdampak terhadap perubahan iklim.

Di Indonesia, pengembangan Energi Baru Terbarukan menjadi salah satu prioritas dalam kebijakan energi nasional. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN), pemerintah menargetkan kontribusi energi terbarukan mencapai 23% dalam bauran energi primer pada tahun 2025 sebagai upaya mewujudkan kemandirian dan ketahanan energi nasional. Kebijakan tersebut juga mencakup diversifikasi energi, konservasi energi, serta peningkatan pemanfaatan sumber energi yang ramah lingkungan.

Salah satu bentuk Energi Baru Terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dikembangkan di Indonesia adalah energi surya. Hal ini didukung oleh letak geografis Indonesia yang berada di wilayah khatulistiwa sehingga menerima intensitas penyinaran matahari yang relatif tinggi sepanjang tahun, dengan rata-rata potensi radiasi matahari sekitar 4,8 kWh/m²/hari. Potensi tersebut menjadikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai salah satu alternatif penyedia energi listrik, terutama pada daerah yang belum terjangkau jaringan listrik nasional. Selain memiliki sumber energi yang melimpah, perkembangan teknologi panel surya juga menyebabkan biaya implementasi PLTS semakin ekonomis dibandingkan beberapa tahun sebelumnya. [16]

Pemanfaatan energi surya melalui PLTS memberikan berbagai keuntungan, di antaranya tidak menghasilkan emisi selama proses pembangkitan, biaya operasional yang relatif rendah, mudah dalam pemeliharaan, serta mampu mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Oleh karena itu, PLTS banyak diterapkan baik pada sistem on-grid maupun off-grid, khususnya di daerah terpencil atau wilayah yang belum memperoleh akses listrik secara memadai.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Samsurizal dkk. (2020), studi kelayakan pembangunan PLTS di Dusun Toalang, Kalimantan Barat menunjukkan bahwa kondisi geografis dan iklim wilayah tersebut sangat mendukung pemanfaatan energi surya. Hasil analisis menggunakan perangkat lunak PVsyst menunjukkan bahwa wilayah tersebut layak dibangun PLTS dengan sistem off-grid berkapasitas 21,84 kWp, didukung oleh potensi radiasi matahari yang memadai serta kondisi lingkungan yang sesuai untuk pengoperasian sistem PLTS. Temuan tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan energi baru terbarukan, khususnya energi surya, merupakan solusi yang efektif dalam meningkatkan penyediaan energi listrik sekaligus mendukung pembangunan berkelanjutan.[16]

2.2.2 Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS)

Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) merupakan sistem pembangkit listrik yang mengubah energi radiasi matahari menjadi energi listrik melalui efek fotovoltaik pada modul surya. PLTS termasuk salah satu sumber energi baru terbarukan (EBT) yang ramah lingkungan karena memanfaatkan energi matahari sebagai sumber energi utama tanpa menghasilkan emisi selama proses pembangkitan. Selain itu, Indonesia memiliki potensi energi surya yang besar sehingga pemanfaatan PLTS terus berkembang pada berbagai sektor, seperti rumah tangga, industri, maupun fasilitas umum [17]

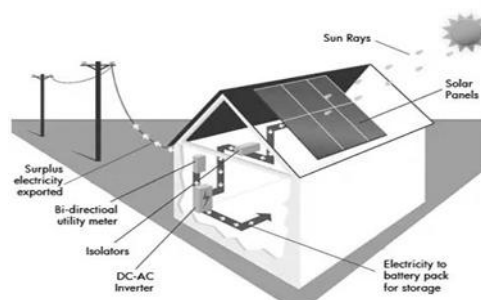
Berdasarkan sistem operasinya, PLTS dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu *on-grid*, *off-grid*, dan *hybrid*. Sistem *on-grid* bekerja dengan terhubung ke jaringan listrik PLN, sedangkan sistem *off-grid* beroperasi secara mandiri menggunakan baterai sebagai media penyimpanan energi. Adapun sistem *hybrid* mengombinasikan PLTS dengan sumber energi lain, seperti jaringan PLN, sehingga kontinuitas suplai listrik tetap terjaga ketika energi matahari tidak mencukupi . [18]

Komponen utama penyusun sistem PLTS terdiri atas panel surya (*photovoltaic*), *solar charge controller* (SCC), baterai, dan inverter. Panel surya berfungsi mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik arus searah (DC). Solar charge controller berfungsi mengatur proses pengisian dan pelepasan energi baterai agar terhindar dari kondisi *overcharging* dan *overdischarging*. Baterai digunakan sebagai media penyimpanan energi, sedangkan inverter mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) sehingga dapat digunakan oleh beban listrik .[17]

Prinsip kerja PLTS dimulai ketika panel surya menerima radiasi matahari dan menghasilkan energi listrik arus searah. Energi tersebut digunakan untuk menyuplai beban sekaligus mengisi baterai melalui solar charge controller. Ketika intensitas cahaya matahari menurun, baterai akan menjadi sumber energi utama untuk menyuplai beban melalui inverter. Agar umur baterai lebih panjang, sistem menerapkan pengaturan *Depth of Discharge* (DoD) dan *Low Voltage Disconnect* (LVD) yang berfungsi memutuskan hubungan baterai dengan beban ketika tegangan baterai mencapai batas minimum dan menghubungkannya kembali setelah tegangan baterai kembali normal .[18]

Kinerja PLTS dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya intensitas radiasi matahari, temperatur lingkungan, bayangan (*shading*), orientasi panel, dan sudut kemiringan panel surya. Penentuan sudut kemiringan yang tepat sangat penting karena berpengaruh terhadap besarnya radiasi matahari yang diterima oleh permukaan panel. Semakin optimal sudut kemiringan panel, maka semakin besar energi matahari yang dapat dikonversi menjadi energi listrik sehingga daya dan arus keluaran panel surya akan meningkat.

Menurut penelitian Samsurizal, Makkulau, dan Christiono (2018), perubahan sudut kemiringan panel surya memberikan pengaruh yang signifikan terhadap arus keluaran *photovoltaic*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sudut kemiringan optimum panel surya diperoleh pada $36,7^\circ$, yang mampu menghasilkan arus keluaran sebesar 1,99 A. Temuan tersebut menunjukkan bahwa pemilihan sudut kemiringan panel merupakan salah satu aspek penting dalam perancangan sistem PLTS agar energi listrik yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara maksimal.[19]



Gambar 2. 1 Pembangkit Listrik Tenaga Surya

2.2.3 Pencemaran air dan sampah Sungai

Pencemaran air merupakan kondisi masuknya makhluk hidup, zat, energi, atau komponen lain ke dalam badan air yang menyebabkan penurunan kualitas air sehingga tidak memenuhi baku mutu yang telah ditetapkan. Permasalahan ini umumnya disebabkan oleh aktivitas manusia seperti pembuangan limbah domestik, industri, dan pertanian ke badan sungai tanpa pengolahan yang memadai. Sungai memiliki peran penting sebagai sumber air bagi kebutuhan rumah tangga, irigasi, perikanan, serta ekosistem lingkungan, sehingga penurunan kualitas air akan berdampak langsung terhadap kehidupan manusia dan makhluk hidup lainnya. Berdasarkan hasil kajian, pencemaran air sungai banyak dipicu oleh limbah domestik, industri, serta aktivitas pertanian yang menyebabkan meningkatnya kandungan bahan pencemar seperti BOD, COD, dan zat berbahaya lainnya yang melebihi ambang batas[20]

Selain itu, kebiasaan masyarakat membuang sampah langsung ke sungai, terutama sampah plastik dan organik, memperparah kondisi lingkungan karena dapat menyumbat aliran air, menurunkan kadar oksigen terlarut, serta merusak ekosistem perairan. Dampak pencemaran ini tidak hanya menyebabkan kerusakan lingkungan, tetapi juga menimbulkan gangguan kesehatan bagi manusia serta menurunkan kualitas hidup masyarakat di sekitar Sungai.[21] Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan limbah yang baik, peningkatan kesadaran masyarakat, serta penerapan teknologi ramah lingkungan untuk menjaga kualitas air sungai.

2.2.4 Sistem Pembersih Sampah Sungai Otomatis

Sistem pembersih sampah sungai otomatis merupakan teknologi yang dirancang untuk mengatasi pencemaran sungai akibat akumulasi sampah padat dengan memanfaatkan prinsip otomasi. Sistem ini mampu bekerja secara mandiri sehingga lebih efisien dibandingkan metode manual, serta menjadi solusi inovatif terutama di daerah perkotaan dengan tingkat pencemaran yang tinggi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan mekanisme konveyor pada sistem pembersih sampah sungai mampu meningkatkan efektivitas pengangkatan sampah secara kontinu dibandingkan metode konvensional[6]

Sebagai sumber energi utama, sistem ini memanfaatkan panel surya (PLTS) yang memungkinkan alat beroperasi tanpa ketergantungan pada sumber listrik eksternal. Pemanfaatan energi terbarukan seperti tenaga surya dinilai efektif untuk sistem berbasis lingkungan karena dapat meningkatkan efisiensi energi serta mendukung keberlanjutan operasional alat di lapangan [14]. Mekanisme kerja sistem didukung oleh pelampung pengarah yang berfungsi mengarahkan sampah di permukaan air menuju jalur konveyor untuk selanjutnya dikumpulkan ke dalam wadah penampungan. Pada saat yang sama, sensor pH melakukan pengukuran kualitas air secara kontinu dan mengirimkan data ke platform monitoring secara real-time.

Selain itu, sistem dilengkapi dengan modul kamera berbasis ESP32-CAM yang berfungsi menampilkan kondisi sungai secara visual dalam waktu nyata sebagai sarana verifikasi lapangan dan dokumentasi historis. Secara umum, sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu konveyor atau rantai sebagai mekanisme pengangkut sampah, motor listrik (umumnya motor DC) sebagai penggerak, mikrokontroler sebagai pusat kendali, serta sensor sebagai pendukung operasi. Mikrokontroler mengatur seluruh proses kerja alat berdasarkan input dari sensor, seperti sensor ultrasonik untuk mendeteksi volume sampah serta sensor pH dan *Total Dissolved Solids* (TDS) untuk memantau kualitas air. Dengan integrasi ini, sistem dapat bekerja secara otomatis sesuai kondisi di lapangan, serta dapat dimonitor secara *real-time* melalui teknologi *Internet of Things* (IoT) [14]

Sistem otomatisasi pada penelitian ini diterapkan untuk mengintegrasikan proses pengangkutan sampah sungai secara otomatis menggunakan konveyor yang dikendalikan oleh mikrokontroler. Sistem dirancang agar proses pengangkutan sampah dapat berjalan dengan intervensi operator yang minimal melalui pengaturan dan kendali komponen secara terintegrasi. Konsep ini sejalan dengan penelitian Fitriani dkk. (2022) yang menerapkan sistem otomasi untuk mengintegrasikan proses dan mengurangi pekerjaan manual, sehingga sistem dapat bekerja lebih efektif dan efisien.

Secara operasional, ketika sampah terdeteksi, sistem akan mengaktifkan motor penggerak untuk menjalankan konveyor yang mengangkat sampah ke dalam wadah

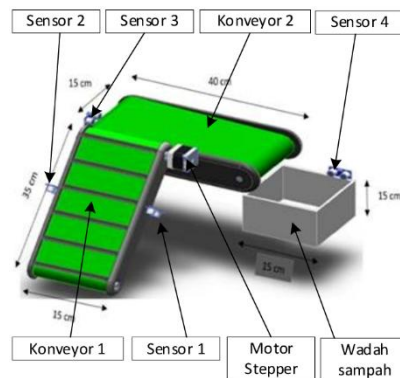
penampungan secara kontinu. Proses ini mampu mencegah penumpukan sampah yang berpotensi menghambat aliran sungai dan menyebabkan banjir.[22]

2.2.5 Mekanisme Konveyor dalam Sistem Pembersih Sungai

Mekanisme konveyor merupakan komponen utama dalam sistem pembersih sampah sungai otomatis yang berfungsi memindahkan sampah dari permukaan air ke tempat penampungan secara kontinu. Konveyor bekerja berdasarkan prinsip *material handling* dengan menggunakan media pengangkut berupa sabuk (*belt*), rantai (*chain*), atau kombinasi keduanya yang digerakkan oleh motor listrik, serta dirancang khusus untuk kondisi lingkungan perairan dengan karakteristik sampah yang beragam. Berdasarkan penelitian, penggunaan *chain conveyor* pada sistem pembersih sungai terbukti mampu meningkatkan efektivitas pengangkutan sampah, terutama untuk sampah berukuran besar dan berat, karena memiliki daya cengkram yang lebih kuat dibandingkan metode konvensional [6].

Jenis konveyor yang umum digunakan adalah *chain conveyor* yang dilengkapi sirip atau jaring untuk mengangkat sampah berukuran besar, serta *belt conveyor* yang lebih efektif untuk sampah berukuran kecil hingga sedang. Pemilihan jenis konveyor sangat bergantung pada karakteristik sampah serta kondisi aliran sungai. Selain itu, sudut kemiringan (*inclination angle*) konveyor menjadi parameter penting dalam perancangan sistem, di mana sudut optimal berkisar antara 30° hingga 45° untuk menjaga keseimbangan antara efisiensi pengangkutan dan stabilitas material yang diangkut. Konveyor juga dilengkapi dengan komponen pendukung seperti rangka, roller, serta sistem transmisi berupa *gear* dan *sprocket*, serta menggunakan material tahan korosi seperti baja tahan karat untuk meningkatkan ketahanan terhadap lingkungan air[23] .

Prinsip kerja konveyor dimulai dari proses penangkapan sampah di permukaan air, kemudian konveyor bergerak secara kontinu untuk mengangkat sampah menuju titik penampungan. Mekanisme ini memungkinkan proses pembersihan berlangsung secara terus-menerus dan lebih efisien dibandingkan metode manual. Dengan demikian, mekanisme konveyor menjadi elemen kunci dalam meningkatkan efektivitas, efisiensi, dan keandalan sistem pembersih sampah sungai otomatis secara berkelanjutan (Santosa & Prayogo, 2020).



Gambar 2. 2 Mekanisme Konveyor Sistem Pembersih Sungai

bing.com/newtabredir?url=https%3A%2F%2Fai2-s2-public.s3.amazonaws.com%2Ffigures%2F2017-08-08%2F0b1687ee0d98ef629b99f17bc55a21a787269f7f%2F3-TableII-1.png

2.2.6 Sistem Kendali Otomatis dan Integrasi Teknologi

Sistem kendali otomatis merupakan komponen penting dalam sistem pembersih sampah sungai karena berfungsi mengatur dan mengoptimalkan kinerja alat tanpa memerlukan intervensi manusia secara terus-menerus. Sistem ini bekerja berdasarkan prinsip *closed-loop control* (umpan balik), di mana data yang diperoleh dari sensor digunakan untuk mengevaluasi kondisi sistem secara real-time, kemudian menghasilkan keputusan untuk mengaktifkan atau menonaktifkan aktuator. Pendekatan ini memungkinkan sistem beradaptasi terhadap perubahan lingkungan seperti variasi volume sampah dan kondisi aliran air, sehingga meningkatkan efisiensi dan kestabilan kinerja system[24]

Dalam implementasinya, sistem kendali otomatis terdiri dari tiga bagian utama, yaitu sensor sebagai input, mikrokontroler sebagai unit pemroses, dan aktuator sebagai output. Sensor seperti ultrasonik digunakan untuk mendeteksi ketinggian atau volume sampah, sedangkan sensor pH dan Total Dissolved Solids (TDS) digunakan untuk memantau kualitas air. Data dari sensor kemudian diproses oleh mikrokontroler seperti ESP32 atau Arduino menggunakan algoritma logika kendali sederhana seperti *on/off control* atau berbasis ambang batas (*threshold*). Penggunaan mikrokontroler berbasis IoT terbukti mampu meningkatkan efisiensi sistem serta memungkinkan pengendalian perangkat secara fleksibel dan akurat [25].

Pada penelitian yang dilakukan oleh Sugeng Purwanto *et al.*, sistem kendali otomatis diterapkan pada Automatic Transfer Switch (ATS) berbasis mikrokontroler NodeMCU ESP8266. Mikrokontroler berfungsi memantau kondisi tegangan dari PLTS, baterai, dan jaringan PLN, kemudian mengendalikan perpindahan sumber daya secara otomatis menggunakan relay dan kontaktor sesuai kondisi operasi sistem. Selain itu, data hasil pemantauan disimpan dan dapat dimonitor secara *real-time* melalui sistem berbasis Internet of Things (IoT).[18]

Integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT) semakin meningkatkan kemampuan sistem kendali otomatis dengan memungkinkan pemantauan dan pengendalian secara *real-time* melalui jaringan internet. Data dari mikrokontroler dapat dikirim ke platform berbasis web atau mobile sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem dari jarak jauh, termasuk status operasional alat dan kualitas air. Selain itu, sistem juga dapat memberikan notifikasi otomatis apabila terjadi gangguan atau kondisi abnormal, sehingga meningkatkan keandalan dan responsivitas sistem secara keseluruhan[26]

2.2.7 Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan suatu konsep yang memungkinkan berbagai perangkat fisik saling terhubung melalui jaringan internet sehingga mampu melakukan pertukaran data, komunikasi, serta pengendalian secara otomatis tanpa memerlukan interaksi manusia secara langsung. Teknologi IoT memungkinkan perangkat elektronik mengirimkan informasi hasil pembacaan sensor ke server atau *cloud* sehingga data dapat diakses secara *real-time* melalui komputer maupun *smartphone*

Pada sistem berbasis IoT, data yang diperoleh dari sensor akan diproses oleh mikrokontroler, kemudian dikirimkan melalui jaringan internet menuju *database* atau *cloud server*. Selanjutnya, data tersebut ditampilkan pada aplikasi monitoring sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem secara langsung. Selain berfungsi sebagai media monitoring, teknologi IoT juga memungkinkan pengguna melakukan pengendalian (*controlling*) terhadap perangkat dari jarak jauh melalui aplikasi berbasis web maupun *mobile*

Implementasi IoT umumnya terdiri atas beberapa komponen utama, yaitu sensor sebagai perangkat akuisisi data, mikrokontroler sebagai pusat pengolahan

data, modul komunikasi seperti Wi-Fi, *cloud database* sebagai media penyimpanan data, serta aplikasi monitoring yang berfungsi menampilkan informasi kepada pengguna. Pada penelitian yang dilakukan oleh Budi Prayitno dkk., sistem IoT dibangun menggunakan sensor PZEM-004T untuk mengukur arus, tegangan, dan daya listrik, NodeMCU ESP8266 sebagai mikrokontroler, *Firebase* dan *MySQL* sebagai basis data, serta aplikasi Android sebagai media monitoring dan pengendalian [27]

Dalam konteks sistem pembersih sampah sungai otomatis, IoT berperan sebagai kerangka integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan platform monitoring. Sensor digunakan untuk memperoleh data lingkungan, seperti ketinggian sampah, kapasitas penampungan, serta kualitas air yang diukur melalui parameter pH dan *Total Dissolved Solids* (TDS). Data tersebut kemudian diproses oleh mikrokontroler, seperti ESP32, yang berfungsi sebagai pusat kendali sekaligus modul komunikasi untuk mengirimkan data ke platform berbasis *cloud*, seperti Blynk atau ThingSpeak. Penggunaan ESP32 dalam sistem IoT dinilai efektif karena memiliki kemampuan komunikasi nirkabel (WiFi) yang terintegrasi serta konsumsi daya yang relatif rendah[28]

Keunggulan utama penerapan *Internet of Things* (IoT) adalah kemampuannya dalam melakukan *remote monitoring and control*, di mana sistem dapat dipantau dan dikendalikan dari jarak jauh secara *real-time*. Data dari sensor dapat divisualisasikan dalam bentuk grafik atau *dashboard*, sehingga memudahkan pengguna dalam menganalisis kondisi operasional alat. Selain itu, sistem juga dapat dirancang untuk memberikan notifikasi otomatis apabila terjadi kondisi abnormal, seperti penumpukan sampah yang melebihi kapasitas atau perubahan kualitas air yang signifikan. Hal ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih cepat dan akurat dalam pengelolaan sistem.

Lebih lanjut, penerapan IoT pada sistem pembersih sampah sungai juga meningkatkan fleksibilitas operasional, terutama pada lokasi yang sulit dijangkau secara langsung. Sistem dapat bekerja secara mandiri dengan dukungan jaringan internet, serta memungkinkan integrasi dengan teknologi lain seperti *data logging* dan analisis berbasis *cloud*. Dengan demikian, IoT tidak hanya berfungsi sebagai

sistem monitoring, tetapi juga sebagai bagian dari konsep *smart environment* yang mendukung pengelolaan sumber daya air secara berkelanjutan[26]

Dengan integrasi IoT, sistem pembersih sampah sungai tidak hanya berfungsi sebagai alat mekanis, tetapi berkembang menjadi sistem cerdas yang mampu mengoptimalkan kinerja operasional, memperluas jangkauan pengawasan, dan meningkatkan keberlanjutan pengelolaan lingkungan.

2.2.8 Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian telah dilakukan terkait pengembangan alat pembersih sampah sungai atau sistem otomasi dengan pemantauan berbasis teknologi. Salah satunya adalah penelitian oleh Elvina & Harmadi (2022) yang merancang prototipe sistem pemantau dan pengangkat sampah di sungai secara otomatis berbasis mikrokontroler. Sistem ini menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur ketinggian sampah dan *motor servo* untuk mekanisme pengangkatan sampah, serta menampilkan data pada LCD dan notifikasi menggunakan modul SIM800L V2.0. Hasil pengujian menunjukkan alat dapat mengangkat sampah serta memantau ketinggian secara efektif.[29]

Penelitian lain oleh Hartanto et al. (2025) mengembangkan *alat pengambil sampah di sungai berbasis Internet of Things (IoT)* yang terkoneksi melalui Wi-Fi. Prototype ini memanfaatkan konveyor untuk mengantar sampah ke bak penampung, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk deteksi sampah, serta aplikasi Blynk sebagai sistem pemantauan *real-time*. Alat ini dirancang untuk mengangkat berbagai jenis sampah seperti plastik, botol, dan kaleng secara otomatis.[14]

Selanjutnya, studi analisis oleh Setiawan et al. (2025) membahas mesin pengambil sampah dengan sistem konveyor rantai dari permukaan sungai, memberikan tinjauan mekanis dalam penggunaan konveyor sebagai media pengangkut sampah yang relevan dengan aspek desain mekanik sistem yang dikembangkan.[30]

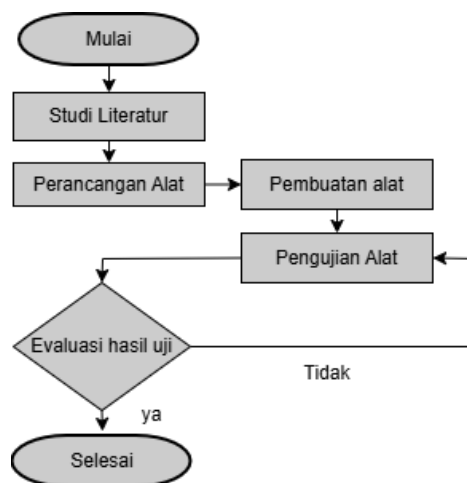
Berbeda dengan penelitian sebelumnya, alat yang dikembangkan dalam penelitian ini menggunakan motor BLDC 12V 80 RPM *high torque* untuk efisiensi pengangkutan sampah, PLTS sebagai sumber energi mandiri, serta ESP32-CAM dan sensor pH/TDS yang terintegrasi dengan IoT untuk pemantauan visual dan pengendalian sistem secara real-time, sehingga sistem bekerja lebih otomatis, efisien, dan berkelanjutan.

2.2.9 Kerangka Pemikiran

Kerangka pemikiran dalam penelitian ini berawal dari permasalahan pencemaran sungai akibat akumulasi sampah padat yang berdampak pada penurunan kualitas lingkungan, gangguan ekosistem, serta potensi banjir. Metode pembersihan secara manual dinilai kurang efektif karena keterbatasan tenaga, waktu, dan jangkauan. Sebagai solusi, penelitian ini merancang sistem pembersih sampah sungai otomatis berbasis mekanisme konveyor yang berfungsi mengangkat sampah secara kontinu. Sistem dikendalikan menggunakan mikrokontroler yang terintegrasi dengan sensor untuk mendukung operasi otomatis.

Untuk meningkatkan efisiensi, sistem dilengkapi teknologi *Internet of Things* (IoT) yang memungkinkan pemantauan real-time terhadap kondisi alat dan kualitas air, dengan parameter pH dan *Total Dissolved Solids* (TDS). Selain itu, sistem menggunakan sumber energi terbarukan berupa Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dengan baterai sebagai penyimpan energi.

Dengan demikian, melalui integrasi mekanisme konveyor, sistem kendali otomatis, teknologi IoT, serta energi terbarukan, diharapkan sistem yang dirancang mampu menjadi solusi inovatif dalam mengatasi permasalahan sampah sungai secara efektif, efisien, dan berkelanjutan.



Gambar 2. 3 *flowchart* Kerangka Pemikiran