

BAB I

PENDAHULUAN

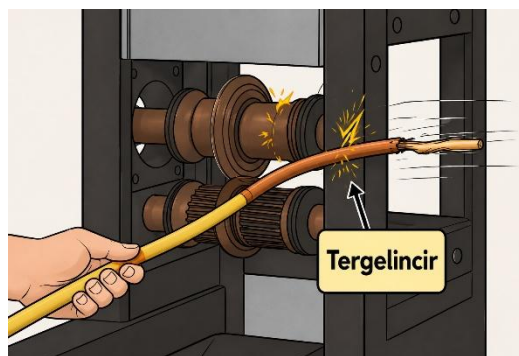
Pengolahan limbah kabel tembaga merupakan salah satu kegiatan daur ulang yang umum dilakukan oleh pelaku usaha kecil, seperti pengumpul barang bekas. Tetapi metode yang digunakan masih didominasi oleh pembelahan secara manual atau pembakaran terbuka, yang kurang efisien dan berpotensi mencemari lingkungan. Oleh karena itu penelitian ini berfokus pada perancangan mesin pembelah kabel yang lebih aman, produktif dalam menghasilkan kualitas tembaga yang baik, dan mudah untuk diproduksi. Untuk menjelaskan latar belakang dan tujuan penelitian ini, disusun beberapa subbab berikut.

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi elektronik yang pesat telah menyebabkan orang semakin sering mengganti perangkat elektronik dengan model yang lebih baru. Kondisi ini menyebabkan barang elektronik memiliki masa pakai yang jauh lebih singkat. Peralatan seperti komputer, laptop, televisi, dan telepon seluler dengan cepat menjadi usang meskipun masih berfungsi dengan baik. Tingkat penggantian perangkat yang tinggi telah mengakibatkan peningkatan produksi limbah elektronik (*e-waste*) global, yang diperkirakan mencapai 20–50 juta ton per tahun (Nindyapuspa, 2018). Angka ini terus meningkat seiring dengan meningkatnya konsumsi perangkat elektronik di berbagai negara, terutama negara-negara maju di mana tingkat penggunaannya lebih tinggi daripada negara-negara berkembang. Banyak negara telah memiliki peraturan mengenai pengelolaan *e-waste*. Negara-negara maju seperti Amerika Serikat dan Swiss telah menerapkan kebijakan yang melibatkan produsen, pemerintah, dan konsumen melalui sistem Tanggung Jawab Produsen yang Diperluas *Extended Producer Responsibility* (EPR) dan mekanisme pengembalian produk. Namun praktik-praktik ini belum sepenuhnya efektif limbah elektronik masih dikirim ke negara lain, dan daur ulang ilegal masih terus berlangsung. India dan Tiongkok telah membuat peraturan untuk mengelola limbah elektronik, tetapi peraturan tersebut tidak dipatuhi dengan baik, sehingga daur ulang sering dilakukan tanpa standar keselamatan dan teknologi yang tepat. Akibatnya pencemaran lingkungan dari kegiatan daur ulang limbah elektronik masih sering terjadi di kedua negara tersebut (Nindyapuspa, 2018).

Kebutuhan akan daur ulang tembaga dari limbah kabel terus meningkat karena semakin banyaknya penggunaan perangkat listrik dan elektronik. Secara teknis pemisahan tembaga dari selubung kabel secara efisien sangat penting untuk nilai ekonomi bahan daur ulang dan keselamatan kerja. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa penggunaan mesin ini dalam proses pembelahan kabel dapat mengurangi beberapa kekurangan yang terkait dengan pembelahan manual, termasuk durasi yang lebih lama, hasil pembelahan yang kurang optimal, dan potensi cedera pekerja. Mesin pembelah kabel modern biasanya dirancang dengan sistem penahan, pengumpanan, dan pembelahan kabel terintegrasi, yang menghasilkan proses pembelahan yang lebih cepat dan akurasi yang lebih tinggi (Zhong, 2023).

Dalam hal daur ulang di tingkat pengumpul, perbedaan diameter kabel masih menjadi masalah karena dapat membuat proses pembelahan menjadi kurang stabil. Ketika sistem pengumpanan tidak mampu beradaptasi dengan perubahan ukuran kabel, *efisiensi* dan tekanan yang tidak merata sering terjadi, mengakibatkan pembelahan isolasi yang tidak sempurna atau bahkan kerusakan pada inti konduktor. Pentingnya menjaga stabilitas mekanik saat menangani kabel dengan karakteristik yang berbeda sejalan dengan temuan Porowski dkk. (2023), Perubahan diameter kabel merupakan masalah besar selama proses pengumpanan bagi usaha kecil hingga menengah yang melakukan pembelahan kabel. Sistem pengumpanan manual tanpa tambahan pengumpanan yang stabil seringkali tidak mampu menangani perubahan diameter kabel dan karakteristik permukaannya. Hal ini menyebabkan pisau pembelah tidak lurus dengan kabel, laju pengarahannya menjadi tidak stabil, dan kerusakan pada isolasi dan konduktor akibat pembelahan yang tidak stabil, yang menunjukkan bahwa perilaku kabel sangat dipengaruhi oleh kondisi mekanik dan termalnya, terutama ketika kabel dikenai beban eksternal seperti panas, tekanan, atau deformasi.



Gambar 1.1 Proses terjadinya *cable misalignment*. Sumber: ilustrasi oleh penulis (2026).

Studi tersebut menegaskan bahwa perubahan sifat fisik kabel akibat suhu atau tekanan dapat membuat proses pemisahan lebih sulit dan membutuhkan kontrol mekanik yang lebih presisi. Oleh karena itu penerapan sistem pengumpanan yang dapat disesuaikan pada mesin pembelah kabel sangat penting agar mesin dapat menyesuaikan tekanan dan penjepitan sesuai dengan diameter kabel, menjaga stabilitas proses, dan menghindari kerusakan pada konduktor selama pembelahan (Porowski et al., 2023).

Meningkatnya volume limbah kabel yang dihasilkan dari penggunaan perangkat listrik dan elektronik menuntut proses daur ulang yang lebih efisien dan aman bagi lingkungan. Sebuah makalah terbaru menunjukkan bahwa limbah kabel merupakan salah satu sumber limbah elektronik terbesar secara global dan dapat menimbulkan bahaya polusi jika tidak ditangani dengan benar. Situasi ini menanggapi pentingnya pemisahan tembaga secara mekanis dari selubung kabel sebagai alternatif metode pembakaran yang masih digunakan oleh beberapa pendaur ulang skala kecil hingga menengah. Pada penelitian tersebut menegaskan bahwa efisiensi proses sangat dipengaruhi oleh kemampuan sistem pemisahan untuk mempertahankan kualitas tembaga, memastikan tembaga tetap konduktif dan bebas dari oksidasi. Oleh karena itu penelitian tentang pengembangan mesin pembelah kabel yang mampu meningkatkan efisiensi pemisahan tanpa proses termal yang intensif sangat relevan, terutama untuk bisnis daur ulang kabel yang membutuhkan teknologi yang aman, ekonomis, dan ramah lingkungan (Zhong, 2023).

Pada mesin pembelah kabel yang terdapat pada pasaran banyak mesin yang belum dilengkapi dengan *adjustable jig system*, yang mengakibatkan ketidakstabilan proses pembelahan kabel dan berpengaruh pada kualitas

pembelahan. Ketidakstabilan yang terjadi menyebabkan perbedaan antara kecepatan putaran pisau dan kecepatan laju kabel saat proses pembelahan. Pada kondisi tertentu kabel dapat tertarik tidak lurus, tersendat dan bahkan berhenti ditengah proses pembelahan. Selain menurunkan kualitas hasil pembelahan, kondisi ini juga meningkatkan beban kerja operator, memperlambat proses, serta mengakibatkan kegagalan operasi pada mesin. Oleh karena itu diperlukan suatu sistem pengumpanan yang dapat menyesuaikan laju proses pembelahan agar kabel tidak terjadi *cable misalignment*, dan proses pengarahan yang dapat menyesuaikan diameter kabel yang akan dibelah.

Mesin ini dikembangkan agar memiliki sistem pengarahan yang dapat disesuaikan sehingga proses pembelahan menjadi lebih stabil, mencegah kabel terlepas, dan melindungi konduktor tembaga di dalamnya. Tujuan dari desain ini adalah untuk membuat proses daur ulang kabel bagi usaha kecil menjadi lebih efisien, lebih cepat, dan menghasilkan potongan kabel yang lebih bersih dan lebih mudah dijual. Berikut merupakan data jumlah timbunan limbah elektronik di beberapa negara yang dikutip dari data penelitian (Nindyapuspa, 2018).

Tabel 1.1 Jumlah Timbunan Limbah Elektronik di Sejumlah Negara (Nindyapuspa, 2018).

Negara	Jumlah Timbunan Limbah Elektronik (ton)
Amerika Serikat ¹⁾	2.370.000
Jepang ²⁾	100.000
Australia ³⁾	106.000
Swiss ⁴⁾	113.000
Malaysia ⁵⁾	102.808
Cina ⁶⁾	1.583.000
India ⁷⁾	146.000
Indonesia ⁸⁾	9.125

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi kebutuhan dan celah penelitian pada teknologi mesin pembelah kabel, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang dan membangun *adjustable jig system* pada mesin pembelah kabel yang mampu menyesuaikan variasi diameter kabel sehingga dapat menjaga kestabilan posisi kabel selama proses pembelahan?
2. Bagaimana menganalisis kekuatan struktur *adjustable jig system* berdasarkan beban kerja yang diterima selama proses pembelahan kabel?
3. Bagaimana perbandingan hasil pengujian sebelum dan sesudah penggunaan *Adjustable Jig System* dalam menjaga kestabilan posisi kabel pada berbagai variasi diameter kabel?

1.3 Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun *adjustable jig system* pada mesin pembelah kabel, untuk meningkatkan penyesuaian terhadap variasi diameter kabel serta menjaga kestabilan posisi kabel selama proses pembelahan. Berikut tujuan penelitian yang ada pada penelitian ini:

1. Merancang dan membangun *Adjustable Jig System* pada mesin pembelah kabel yang mampu menyesuaikan variasi diameter kabel sehingga dapat menjaga kestabilan posisi kabel selama proses pembelahan.
2. Menganalisis kekuatan struktur *Adjustable Jig System* berdasarkan beban kerja yang diterima selama proses pembelahan kabel.
3. Mengevaluasi kinerja *Adjustable Jig System* melalui perbandingan hasil pengujian sebelum dan sesudah penggunaan *adjustable jig system* pada berbagai variasi diameter kabel.

1.4 Batasan Masalah

Agar penelitian ini terarah dan sesuai dengan tujuan yang telah ditetapkan, maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Analisis struktur *adjustable jig system* ini dibatasi dengan menggunakan pengujian simulasi FEA mengingat alat tersebut merupakan prototipe tunggal hasil fabrikasi yang belum melalui proses produksi berulang, sehingga kerusakan yang terjadi berpotensi menghambat keberlanjutan tahap pengujian kinerja sistem pada penelitian ini.

2. Pengujian dibatasi pada skala laboratorium menggunakan mesin prototipe, tidak pada skala industri, guna mengendalikan variabel pengujian dan menghindari risiko kerusakan alat produksi. Pengujian langsung pada skala industri tanpa validasi awal berisiko menimbulkan kegagalan sistem, kerugian material, dan membahayakan keselamatan operator.
3. Variasi jenis dan diameter kabel yang diuji dibatasi hanya pada kabel tembaga berisolasi PVC dengan tiga variasi diameter (8,5 mm, 12 mm, dan 28 mm), karena ketiga ukuran tersebut merupakan diameter kabel yang paling umum ditemui pada pengepul limbah kabel, sedangkan kabel dengan diameter di atas 28 mm pada umumnya sudah tidak dapat diperjualbelikan secara bebas sehingga jarang menjadi objek pembelahan pada usaha daur ulang skala kecil-menengah.

1.5 Manfaat Penelitian

Sebagai penelitian terapan dalam bidang perancangan mesin daur ulang logam, penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat sebagai berikut:

1. Menghasilkan rancangan dan konsep sistem pengumpanan yang dapat disesuaikan *Adjustable Jig System* pada mesin pembelah kabel multi-diameter sebagai dasar pengembangan lebih lanjut dalam teknologi pembelahan kabel.
2. Memberikan kontribusi dalam penerapan metode *Teoriya Resheniya Izobretatelskikh Zadatch* (TRIZ) sebagai pendekatan pengembangan konsep desain *Adjustable Jig System* pada mesin pembelah kabel.
3. Menyediakan data awal mengenai pengaruh *Adjustable Jig System* terhadap kestabilan pergerakan kabel pada berbagai variasi diameter kabel.
4. Memberikan informasi mengenai karakteristik dan kekuatan struktur *Adjustable jig system* berdasarkan hasil analisis struktur yang dilakukan, dan memberikan alternatif solusi untuk meningkatkan kestabilan posisi kabel.

1.6 Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan perancangan ini disusun secara sistematis agar memberikan gambaran yang jelas dan terarah mengenai tahapan perancangan, pembuatan, serta pengujian mesin pembelah kabel multi-diameter dengan

Adjustable Jig System. Laporan ini terdiri atas lima bab utama yang saling berkesinambungan yaitu:

Bab pertama pendahuluan memberikan gambaran umum, tentang latar belakang masalah penelitian. Isu utama yang dibahas adalah efisiensi dan keamanan daur ulang kabel tembaga yang rendah karena penggunaan metode manual atau pembakaran. Bab ini juga membahas pentingnya pengembangan mesin pembelah kabel yang dapat secara fleksibel menyesuaikan ukuran kabel multi diameter dengan sistem pengumpanan yang dapat disesuaikan. Lebih lanjut, bab ini menguraikan perumusan masalah, tujuan penelitian, keterbatasan penelitian, manfaat yang diharapkan, dan struktur penulisan laporan secara keseluruhan. Oleh karena itu, bab ini berfungsi sebagai dasar pemikiran dan memberikan arahan untuk penelitian secara keseluruhan.

Bab kedua Tinjauan Pustaka, berisi deskripsi teori dasar, prinsip mekanik, dan tinjauan pustaka yang mendukung implementasi penelitian ini. Bab ini membahas konsep dasar mesin pembelah kabel, mekanisme pembelahan isolasi, sistem pengumpanan, dan teori mengenai material dan gesekan yang memengaruhi proses pembelahan. Selain itu, tinjauan hasil penelitian sebelumnya dan teknologi yang telah dikembangkan sebelumnya juga disertakan untuk memberikan perbandingan dan dasar ilmiah untuk merancang mesin yang lebih efisien. Bab ini bertujuan untuk membangun kerangka teoritis dan mengidentifikasi kesenjangan penelitian yang menjadi dasar pengembangan sistem pembelahan adaptif dalam perancangan ini.

Bab ketiga Metode Perancangan menjelaskan tahapan perancan, pembuatan, serta prosedur pengujian *adjustable jig system* yang dikembangkan pada penelitian ini. Bab ini memuat uraian mengenai metode rancang bangun sistem pengumpanan, metode pengambilan data. Selain itu juga bab ini menjelaskan susunan alat uji untuk pengambilan data, serta konfigurasi sistem yang digunakan selama proses pengujian. Bab ini berfungsi sebagai pedoman perancangan secara teknis sehingga proses perancangan dan pengujian dapat dilakukan dengan baik.

Bab keempat Hasil dan Pembahasan Bab ini membahas hasil rancang bangun *adjustable jig system* serta hasil pengujian yang telah dilakukan pada mesin pembelah kabel multi-diameter. Pembahasan meliputi proses fabrikasi dan pemasangan sistem, pengambilan data pengujian sebelum dan sesudah

menggunakan *adjustable jig system*, analisis nilai ketidakstabilan kabel, analisis kestabilan pengarah, serta pengaruh *adjustable jig system* terhadap hasil pembelahan kabel. Selain itu, pada bab ini juga dijelaskan kelebihan dan keterbatasan sistem berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh.

Bab kelima Penutup Bab ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan mengenai penerapan *adjustable jig system* pada mesin pembelah kabel multi-diameter. Kesimpulan disusun berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan. Selain itu, bab ini juga memuat saran pengembangan sistem untuk penelitian selanjutnya agar performa pengarah dan hasil pembelahan kabel dapat ditingkatkan lebih optimal