



Faktor-Faktor Kunci dalam Efektivitas Sistem Pengangkutan Sampah¹

Key Factors in the Effectiveness of Solid Waste Transportation System

Rian Yaitsar Chaniago^{a, 2}

^a Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Jember Jl. Kalimantan 37 Jember

ABSTRAK

Pengangkutan sampah dari sumber menuju Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dan atau Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) dengan kendaraan yang didesain untuk mengangkut sampah merupakan salah satu bagian terpenting dalam pengelolaan sampah. Tidak terangkutnya sampah menyebabkan sejumlah dampak negatif. Berbagai model pengangkutan sampah di desain untuk mengoptimalkan proses pengangkutan sampah, namun terdapat beberapa hambatan dalam implementasinya. Oleh karena itu, studi ini mengkaji faktor-faktor kunci dalam efektivitas sistem pengangkutan sampah dengan metode kajian literatur dari jurnal, laporan tugas akhir, dan sumber relevan lainnya terkait dengan sistem pengangkutan sampah. Sistem pengangkutan sampah terdiri atas Hauled Container System (HCS) dan Stationary Container System (SCS). HCS menggunakan sistem pengosongan kontainer dan kegiatan pemindahan sampah dilakukan secara mekanis dan SCS menggunakan sistem pemindahan sampah dilakukan secara manual oleh petugas sampah ke dalam armada pengangkutan sampah. Hasil kajian ini menemukan beberapa faktor yang mempengaruhi sistem pengangkutan sampah, yaitu: rute pengangkutan, waktu pengangkutan, jarak pengangkutan, biaya pengangkutan, jumlah ritasi, jumlah, jenis, dan kondisi armada pengangkutan yang digunakan, sistem pengangkutan sampah, kerjasama antar pemangku kepentingan, dan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Semua elemen ini harus diperhatikan agar tercapai perencanaan dan implementasi sistem pengangkutan sampah yang optimal di suatu daerah.

Kata kunci: Efektivitas, Faktor Kunci, Sistem Pengangkutan Sampah

ABSTRACT

Waste transportation from the source to the landfill and or integrated waste management sites using vehicles designed to transport waste is one of the most important parts of waste management. Uncollected waste has a number of negative impacts. Waste transportation is the activity of transporting waste. Various waste transportation models are designed to optimize the waste transportation process, but several challenges emerge in their implementation. This study investigates the key factors in the effectiveness of solid waste transportation system by means of literature review of journals, final assignment reports, and other sources relevant to waste transportation systems. Waste transportation systems consists of Hauled Container System (HCS) and Stationary Container System (SCS). HCS uses a container emptying system and waste transfers are done mechanically and SCS uses a system where waste is transferred manually by waste officers into the waste transportation fleet. This study revealed that the factors that affect the waste transportation system are transportation route, transportation time, transportation distance, transportation cost, number of routes, number, type, and condition of the transportation fleet used, waste transportation system, cooperation between stakeholders, and applicable laws and regulations. All of these factors must be considered to achieve optimal planning and implementation of the waste transportation system in an area.

Keywords: Effectiveness, Key Factors, Solid Waste Transport System

¹ Info Artikel: Diterima (*received*) 23 Agustus 2024. Disetujui (*accepted*) 27 Desember 2024. Diterbitkan (*published*) 30 Desember 2024.

² Email: yaitsarchaniago@unej.ac.id

PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah menjadi tantangan utama bagi pemerintah Indonesia (Qonitan et al., 2021). Tata Kelola pengelolaan sampah yang buruk menyebabkan pencemaran air, tanah, dan udara serta membahayakan bagi kesehatan manusia dan makhluk hidup. Perubahan gaya hidup, peningkatan jumlah penduduk, dan perubahan pola konsumsi merupakan faktor utama dalam peningkatan produksi sampah (Kahfi, 2017; Rizvanoğlu et al., 2020). Tingkat produksi limbah bervariasi tergantung pada status ekonomi suatu negara (Das et al., 2019). Semakin cepat pertumbuhan ekonomi berkembang maka variasi sampah yang dihasilkan juga beragam (Cheng et al., 2020).

Pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh sampah telah menjadi permasalahan secara global (Ferronato & Torretta, 2019). Pengelolaan sampah yang tidak tepat akan menimbulkan berbagai permasalahan (Febriyanti et al., 2023). Permasalahan sampah akan berdampak pada beberapa sekto, seperti: aspek politik, aspek ekonomi, aspek kelembagaan, dan aspek lingkungan (Debrah et al., 2021). Di Indonesia pengelolaan sampah belum berjalan optimal. Hal ini dibuktikan dari beberapa penelitian. Kota Bandung hanya mampu menangani 62,73%, Kabupaten Teluk Bintuni sebesar 37.81%, dan Kabupaten Bolaang Mongondow sebesar 21.64% (Alfian & Phelia, 2021; Hattam & Tangahu, 2024; Riruma et al., 2021). Beberapa daerah tidak mampu mengelola sampah yang meningkat tiap tahunnya (Kumar et al., 2017).

Salah satu kegiatan paling penting dalam pengelolaan sampah adalah pengangkutan sampah (Rizvanoğlu et al., 2020; Zainun et al., 2016). Tidak tersedianya infrastruktur pengelolaan sampah seperti TPS dan armada pengangkutan sampah dapat menghambat kinerja pengangkutan (Henry et al., 2006). Keterbatasan Tempat Penampungan Sementara berpengaruh terhadap perilaku masyarakat (C. N. Sari et al., 2023). Sampah yang tidak diangkat menyebabkan penumpukan sampah (Fauziah & Suparmi, 2022). Penumpukan sampah biasa terjadi pada tanah kosong dan trotoar jalan dan berdampak negatif terhadap estetika lingkungan (P. N. Sari, 2016; Siswandi & Wahyudin, 2020). Tumpukan sampah tersebut pada akhirnya menjadi tempat berkembang biaknya berbagai vektor penyakit (Ritonga & Usiono, 2023). Masalah Kesehatan yang biasa terjadi adalah diare dan penyakit kulit (Elamin et al., 2018). Persoalan ini, jika tidak diatasi, akan menimbulkan konflik sosial yang berakibat pada penutupan lokasi Tempat Penampungan Sementara (TPS) oleh masyarakat (Hermawan, 2018). Selain itu, tidak diangkatnya sampah juga menyebabkan permasalahan lingkungan yang lebih serius. Masyarakat lebih memilih untuk membakar sampah atau membuang sampah di badan air untuk menangani sampah rumah tangganya (Faridawati & Sudarti, 2021; Henry et al., 2006). Oleh karena itu, artikel ini mengkaji faktor kunci dalam efektivitas sistem pengangkutan sampah.

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah kajian literatur. Kajian literatur merupakan sebuah metode yang digunakan untuk meringkas dan mengevaluasi kumpulan tulisan dan topik tertentu. Fokus dalam metode ini adalah menemukan berbagai teori untuk selanjutnya dipecahkan melalui pertanyaan penelitian yang telah dirumuskan (Pusparani, 2021). Kajian literatur ini mengumpulkan berbagai informasi terkait dengan sistem pengangkutan sampah. Sumber yang digunakan dalam penulisan kajian ini berasal dari jurnal, buku, peraturan, dan

lainnya. Kata kunci yang digunakan dalam kajian ini berkaitan dengan sistem pengangkutan sampah.

Permasalahan pengangkutan sampah

Penerapan paradigma lama pengelolaan sampah yakni kumpul-angkut-buang untuk penanganan sampah kota masih dilaksanakan di beberapa daerah di Indonesia (Chaerul & Mulananda, 2018). Presentase pelayanan sangat bergantung pada efektivitas pengangkutan sampah. Seperti yang terjadi di Kota Pontianak, penambahan jumlah penduduk setiap tahunnya mengakibatkan peningkatan volume sampah dan penurunan tingkat pelayanan (Kamal & Youlla, 2018). Pemerintah Kota Pontianak masih harus bekerja keras untuk meningkatkan pelayanan dan tentunya membutuhkan biaya yang sangat besar untuk pengangkutan sampah. Hal serupa juga terjadi di Kota Malang. Dari total timbulan sampah yakni sebesar 646,07 ton/hari, hanya sebanyak 516,84 ton/hari yang terangkut ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) (Putra et al., 2020).

Sistem pengangkutan sampah

Pengangkutan sampah adalah kegiatan mengangkut sampah dari sumber atau Tempat Penampungan Sementara (TPS) atau Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) menuju TPA dengan kendaraan bermotor yang didesain untuk mengangkut sampah (Permen PUPR No 03 Tahun 2013). Optimalisasi pengangkutan menjadi fokus utama dalam pengelolaan sampah (Ramadhanti & Nahdalina, 2022). Jumlah sampah yang diangkut setiap hari tergantung pada kapasitas kendaraan dengan mempertimbangkan kepadatan dan aktivitas masyarakat (Sahib & Hadi, 2023). Sistem pengangkutan sampah berdasarkan Permen PUPR No 03 Tahun 2013, terbagi menjadi dua, yakni Sistem Kontainer Angkat dan Sistem Kontainer Tetap.

Sistem Kontainer Angkat atau Hauled Container System (HCS)

Sistem Kontainer Angkat menggunakan pola pengangkutan yang menggunakan sistem pengosongan kontainer. Jenis kendaraan yang digunakan adalah *arm roll truck*. Proses pengangkutan dimulai dari *pool* (tempat parkir kendaraan pengangkutan sampah) dengan membawa kontainer kosong menuju lokasi TPS tujuan. Kemudian mengganti atau mengambil kontainer tersebut untuk selanjutnya dibuang ke TPA. Hal ini dilakukan sampai dengan ritasi terakhir pengangkutan sampah (Permen PUPR No 03 Tahun 2013). Waktu operasional dengan sistem ini adalah 53 jam per minggu (Ramadan et al., 2017).

Sistem Kontainer Tetap atau Stationary Container System (SCS)

Sistem Kontainer Tetap menggunakan kontainer kecil serta kendaraan pengangkutan berupa *dump truck* atau *compactor truck*. Proses pengangkutan pada sistem ini dimulai dari *pool* menuju kontainer pertama. Sampah kemudian akan dipindahkan kedalam truk sampah. Untuk metode pemindahan dapat dilakukan secara manual (*dump truck*) dan secara mekanis (*compactor truck*). Pada sistem ini, dalam satu ritasi pengangkutan sampah dapat terdiri dari beberapa titik TPS. Kondisi ini tergantung dari volume sampah yang dihasilkan oleh suatu TPS dan pembagian jadwal pengangkutan. Untuk wilayah dengan volume sampah yang cukup besar seperti pasar, dalam satu ritasi terdiri dari satu titik TPS saja. Setelah diangkut, sampah akan diangkut menuju TPA. Hal ini dilakukan sampai dengan ritasi terakhir (Permen PUPR No 03 Tahun 2013). Waktu operasional dengan sistem ini adalah 45 jam per minggu (Ramadan et al., 2017).

Faktor kunci dalam efektivitas sistem pengangkutan sampah

Berbagai model pengangkutan sampah telah dikembangkan untuk menjelaskan proses pengangkutan sampah. Model pengangkutan sampah dirancang untuk menyederhanakan sistem pengangkutan sampah melalui berbagai pertimbangan (Haerani et al., 2019). Efisiensi pengangkutan sampah bervariasi dipengaruhi oleh beberapa faktor (Arda et al., 2020; Lubis, 2017). Oleh karena itu, jika tidak direncanakan dengan tepat, akan mengakibatkan jarak tempuh yang lebih jauh, bahkan berakibat pada tidak terangkutnya sampah (Malakahmad & Khalil, 2011). Terdapat beberapa faktor yang menjadi dasar dalam pertimbangan perencanaan sistem pengangkutan sampah, antara lain: rute pengangkutan, waktu pengangkutan, jarak tempuh, biaya pengangkutan, jumlah ritasi, serta jumlah, jenis, dan kondisi armada pengangkut sampah, dan sistem pengangkutan sampah, kerjasama antar pemangku kepentingan, dan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Rute pengangkutan

Rute pengangkutan sampah harus memperhatikan peraturan lalu lintas, kondisi lalu lintas, pekerja, ukuran, tipe alat angkut, timbulan sampah yang diangkut, dan pola pengangkutan sampah (Permen PUPR No 03 Tahun 2013). Permasalahan yang sering terjadi adalah tidak ada rute tetap yang ditetapkan sebagai jalur pengangkutan sampah (Nguyen-Trong et al., 2017). Padahal rute pengangkutan sampah berpengaruh terhadap jarak tempuh pengangkutan sampah. Pada akhirnya akan berhubungan langsung dengan tingkat emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dan biaya operasional yang dikeluarkan (Akhtar et al., 2017). Rekayasa waktu tempuh dapat dilakukan dengan melakukan rekayasa pada rute pengangkutan sampah. Dampak positifnya adalah dapat meningkatkan jumlah ritasi dalam satu kali jadwal pengangkutan (Mahmudah & Herumurti, 2016). Optimalisasi rute pengangkutan sampah mengurangi biaya operasional untuk pengangkutan sampah (Ramadan et al., 2017). Pemilihan rute pengangkutan sampah tambahan harus memperhatikan faktor waktu tempuh dan jarak tempuh (Ambariski & Herumurti, 2016). Rute pengangkutan yang paling efektif adalah rute dengan jarak tempuh terpendek dan biaya pengangkutan yang paling murah (Zainun et al., 2016).

Waktu pengangkutan

Waktu pengangkutan sampah merupakan salah satu faktor yang terpenting dalam pengangkutan sampah. Waktu pengangkutan sampah menentukan efektivitas dari sistem pengangkutan sampah. Jadwal pengangkutan setiap armada memiliki jadwal masing-masing (Sakti et al., 2019). Pengangkutan sampah yang tidak tepat akan berdampak pada peningkatan biaya operasional (Sulemana et al., 2018). Permasalahan yang sering terjadi adalah keterlambatan jadwal pengangkutan sampah (Andrian et al., 2020). Keterlambatan pengangkutan sampah akan berdampak pada penumpukan sampah di suatu TPS (Mamahit et al., 2021). Faktor yang mempengaruhi adalah kondisi jalan, lalu lintas, kepatuhan masyarakat terhadap jadwal pengangkutan sampah, cuaca, kondisi lalu lintas, dan jadwal pengangkutan sampah yang tidak tepat (Cahyani et al., 2021; Martin et al., 2023; Nindya et al., 2013; Permen PUPR No 03 Tahun 2013).

Perencanaan jadwal pengangkutan sampah adalah elemen terpenting. Perencanaan harus mempertimbangkan tingkat partisipasi masyarakat, jam kerja petugas, dan sumberdaya manusia, dan ketersediaan armada pengangkutan sampah. Jam kerja petugas pengangkutan sampah adalah 8 jam kerja (Ambariski & Herumurti, 2016; Pramatha et al., 2013; Widodo & Hadid, 2023). Jam kerja pengangkutan sampah tiap daerah berbeda-beda. Jam sibuk

untuk pengangkutan sampah adalah jam jam 07.00-09.00 (Sahil et al., 2016) karena bertepatan dengan jam berangkat kerja dan/atau sekolah. Partisipasi masyarakat dibutuhkan terutama dalam efektivitas waktu pengangkutan. Partisipasi masyarakat yang rendah membuat sampah diletakkan hanya di samping TPS saja (tidak diletakkan di dalam TPS), sehingga petugas pengangkutan memerlukan waktu tambahan untuk pemindahan sampah ke dalam truk (Shafa & Darwin, 2022).

Jarak tempuh

Jarak tempuh merupakan salah satu faktor yang digunakan dalam mempertimbangkan sebuah sistem pengangkutan sampah. Jarak tempuh berhubungan dengan biaya operasional pengangkutan sampah. Semakin jauh jarak tempuh, semakin tinggi juga biaya operasional pengangkutan sampah. Selain itu, jarak tempuh yang tinggi menyebabkan permasalahan lain yakni pelepasan emisi gas rumah kaca (Anifah et al., 2021). Jarak pengangkutan sampah dipengaruhi oleh jumlah ritasi dan jarak antara TPS dengan TPA (Mahmudah & Herumurti, 2016). Seperti yang terjadi di Kota Bandung, penanganan sampah hanya 62,73%. Hal ini dipengaruhi oleh jarak dari sumber ke TPA yakni 45 km, yang pada akhirnya membuat waktu pengangkutan sampah dalam satu ritasi membutuhkan waktu rata-rata 10 jam (Alfian & Phelia, 2021).

Biaya pengangkutan

Anggaran untuk biaya operasional pengangkutan sampah merupakan anggaran yang terbesar dalam pengelolaan sampah suatu daerah (Ramadan et al., 2017). Anggaran pengangkutan selaras dengan tingkat pelayanan dan luas zona pelayanan sampah. Sebagai perbandingan, pengangkutan sampah untuk Kota Jakarta pada tahun 2019 adalah sebesar Rp. 3.700.000.000.000, sedangkan untuk Kota Yogyakarta pada tahun 2019 hanya sebesar Rp. 20.014.317.361 (Aprilia, 2021). Biaya pengangkutan terbagi menjadi dua, yakni biaya investasi dan biaya pemeliharaan. Biaya investasi meliputi harga truk, suku bunga, inflasi, dan umur teknis truk sampah. Biaya pengangkutan sampah meliputi biaya operator, biaya pemeliharaan, biaya pergantian, biaya bahan bakar, biaya pajak tahunan, biaya KIR, dan biaya APD operator (Permendagri No 07 Tahun 2021). Permasalahan biaya operasional ditemukan di beberapa daerah. Keterbatasan anggaran membuat pengadaan truk sampah juga terbatas (Suryanto & Widjadjakusuma, 2005). Seperti yang terjadi pada Kota Lamongan, biaya operasional yang terbatas membuat pengadaan armada juga terbatas. Pada akhirnya operasional armada hanya bisa dilakukan maksimal satu ritasi per hari (Jannah, 2020). Biaya operasional ini dapat dikurangi secara signifikan dengan merekayasa jadwal, rute, dan frekuensi pengangkutan sampah (Mojtahedi et al., 2021; Rızvanoğlu et al., 2020).

Jumlah ritasi

Jumlah ritasi pengangkutan tiap armada bervariasi. Jumlah ritasi mempertimbangkan efisiensi dan efektivitas pengangkutan sampah (Permen PUPR No 03 Tahun 2013). Oleh karena itu dalam evaluasi sistem pengangkutan sampah, ritasi dapat ditambahkan terutama pada armada yang masih memiliki waktu pengangkutan sampah yang kurang (Anindita, 2014). Berdasarkan Permen PUPR No 03 Tahun 2013, efisiensi penggunaan armada pengangkutan dengan jenis *dump truck* akan tercapai jika jumlah ritasi perharinya minimum tiga ritasi dengan petugas pengangkutan berjumlah tiga orang. Efisiensi armada pengangkutan sampah berjenis *arm roll truck* akan terpenuhi jika jumlah ritasi perhari minimum berjumlah lima ritasi dengan jumlah petugas minimal berjumlah satu orang.

Jumlah, jenis, dan kondisi armada pengangkut sampah

Jumlah, jenis, dan kondisi armada pengangkut sampah berperan penting dalam efektivitas pengangkutan sampah. Keterbatasan armada pengangkutan sampah membuat sampah pada TPS menjadi menumpuk dan mengurangi estetika lingkungan suatu daerah pelayanan (Ridho, 2020). Jumlah armada pengangkutan yang tersedia juga berpengaruh pada jumlah ritasi yang diterapkan untuk satu kali jadwal pengangkutan (Zalukhu & Mirwan, 2018).

Jenis kendaraan berpengaruh signifikan terhadap efektivitas pengangkutan sampah karena armada yang digunakan bervariasi yakni ada yang menggunakan *dump truck* dan ada yang menggunakan *arm roll truck* (Chattopadhyay et al., 2009). Pengangkutan sampah dengan *arm roll truck* memiliki waktu kerja lebih singkat dibandingkan dengan menggunakan *dump truck* (Istingadah & Warmadewanthi, 2022) karena *arm roll truck* dioperasikan secara mekanis, sedangkan *dump truck* dilakukan secara manual.

Kondisi armada juga mempengaruhi kinerja dari pengangkutan sampah. Berdasarkan Permen PUPR No 03 Tahun 2013, umur teknis armada untuk adalah 5-7 tahun. Namun, fakta di lapangan menunjukkan, beberapa daerah masih menggunakan armada dengan umur yang lebih tua. Seperti dalam penelitian Kadariswan (2017), armada pengangkutan sampah ada yang telah berumur 22 tahun. Di Kota Jambi kondisi truk pengangkutan yang digunakan termasuk dalam kategori rusak sehingga air lindi dan sampah berceceran selama proses pengangkutan sampah (Fauziah & Suparmi, 2022).

Sistem pengangkutan sampah

Sistem pengangkutan sampah yang diterapkan di berbagai daerah bervariasi. Hal ini tergantung dari kemampuan ekonomi daerah dan kondisi geografis daerah pelayanan. Dalam penelitian (Chaerul et al., 2022), di Kabupaten Manokwari dan Rizal et al., (2017) di Kota Pontianak menggunakan *Hauled Container System (HCS)* dengan tiga tahap, yakni truk berangkat dari pool dengan membawa container kosong, lalu dilakukan penukaran kontainer pada Lokasi TPS, dan selanjutnya sampah diangkut menuju TPA. Kabupaten Marabahan menerapkan sistem pengangkutan sampah yang telah ada saat ini dengan *Stationary Container System (SCS)* (Ridha et al., 2016). Kombinasi antara sistem HCS dan SCS diterapkan pada penelitian Chaniago (2018) di Kabupaten Tabalong dan Awaluddin (2020) di Kabupaten Polewali Mandar.

Kerjasama antar pemangku kepentingan

Pemangku kepentingan yang terlibat dalam pengangkutan sampah adalah institusi pemerintah, swasta, dan masyarakat. Perubahan pola pikir masyarakat diperlukan dalam keberhasilan pengangkutan sampah di suatu daerah. Stigma yang berkembang di masyarakat adalah bahwa pengangkutan sampah sepenuhnya menjadi tanggung jawab pemerintah daerah sepenuhnya (Guerrero et al., 2013). Padahal, peran masyarakat dan swasta sangat dibutuhkan dalam pengangkutan sampah (Ramadan et al., 2017). Selain itu, dari sisi kelembagaan juga dibutuhkan terutama dalam perencanaan pengelolaan sampah. Hal ini karena jumlah sarana dan prasarana persampahan yang tersedia sekarang seringkali dipengaruhi juga oleh sumber daya manusia dan tata kinerja instansi dalam mengatur pengelolaan sampah (Muhardi, 2015).

Peraturan perundang-undangan

Pengelolaan sampah sepenuhnya bergantung pada peraturan perundang-undangan (Tumija et al., 2019). Kebijakan dapat dibuat sesuai dengan kebutuhan masyarakat di suatu daerah (Puspita et al., 2023). Di dalam peraturan perundangan ini selain berisi tentang pedoman pengangkutan sampah, namun juga berisi tentang retribusi pengelolaan sampah (Ramadan et al., 2017). Retribusi pengelolaan sampah termasuk kedalam golongan retribusi jasa umum yang besar tarif pengelolaannya diserahkan kepada pemerintah daerah. Besar tarif retribusi diperoleh dengan metode subsidi silang (Harmayani et al., 2023). Retribusi untuk rumah tangga menerima beban paling tinggi dibandingkan dengan kategori lainnya. Hal ini karena volume yang dihasilkan lebih besar dari kategori lainnya (Sidik et al., 2022). Hambatan dalam retribusi sampah adalah sarana dan prasarana, partisipasi masyarakat, tidak adanya sanksi yang tegas terkait retribusi, dan minimnya pengawasan dari dinas lingkungan hidup (Tumija et al., 2019). Hal ini menjadi tantangan pemerintah daerah agar target penanganan sampah dapat terpenuhi.

Inovasi dalam pengangkutan sampah

Pengangkutan sampah yang tidak berkelanjutan mengarah pada berbagai dampak tidak langsung pada manusia dampak kesehatan (Koiwanit & Hamontree, 2020). Teknologi pengurangan emisi gas buang diperlukan untuk mengurangi dampak negatif selama proses pengangkutan sampah. Kendaraan listrik menjadi kategori baru yang ditawarkan oleh produsen kendaraan berat. Produsen otomotif telah menghadirkan truk pengumpul sampah bertenaga listrik yang baru. Contoh pertama adalah Zoeller E-PTO dan sistem penggerak listrik yang menggantikan truk konvensional (Nowakowski & Wala, 2020).

KESIMPULAN

Pengelolaan sampah menjadi tantangan utama bagi pemerintah Indonesia. Tata kelola pengelolaan sampah yang buruk menyebabkan pencemaran air, tanah, dan udara serta membahayakan bagi kesehatan manusia dan makhluk hidup. Perubahan gaya hidup, peningkatan jumlah penduduk, dan perubahan pola konsumsi merupakan faktor utama dalam peningkatan produksi sampah. Pengangkutan sampah merupakan bagian terpenting dalam pengelolaan sampah. Presentase penanganan sampah bergantung pada Efektivitas pengangkutan sampah di suatu daerah. Berdasarkan hasil kajian, ditemukan beberapa faktor kunci dalam efektivitas sistem pengangkutan sampah antara lain: rute pengangkutan, waktu pengangkutan, jarak pengangkutan, biaya pengangkutan, jumlah ritasi, jumlah, jenis, dan kondisi armada pengangkutan yang digunakan, sistem pengangkutan sampah, kerjasama antar pemangku kepentingan, dan peraturan perundang-undangan yang berlaku. Semua elemen ini harus diperhatikan agar perencanaan dan implementasi sistem pengangkutan sampah di suatu daerah dapat berjalan secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

Akhtar, M., Hannan, M. A., Begum, R. A., Basri, H., & Scavino, E. (2017). Backtracking Search Algorithm in CVRP Models for Efficient Solid Waste Collection and Route Optimization. *Waste Management*, 61, 117–128.

- Alfian, R., & Phelia, A. (2021). Evaluasi Efektivitas Sistem Pengangkutan dan Pengelolaan Sampah di TPA Sarimukti Kota Bandung. *Journal of Infrastructural in Civil Engineering (JICE)*, 2(1), 16–22.
- Ambariski, P. P. D., & Herumurti, W. (2016). Sistem Pengangkutan Sampah Berdasarkan Kapasitas Kendaraan Pengangkut dan Kondisi Kontainer di Surabaya Barat. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 64–69.
- Andrian, R., Meidiana, C., & Sari, N. (2020). Optimasi Sistem Pengangkutan Sampah dari TPS di Kecamatan Purworejo Menuju TPA Jetis. *Planning for Urban Region and Environment*, 9(1), 133–142.
- Anifah, E. M., Rini, I. D. W. S., Hidayat, R., & Ridho, M. (2021). Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) Kegiatan Pengelolaan Sampah di Kelurahan Karang Joang, Balikpapan. *Jurnal Sains Dan Teknologi Lingkungan*, 3(1), 17–33.
- Anindita, D. (2014). *Optimalisasi Sistem Pengangkutan Sampah di Wilayah Utara Kabupaten Sidoarjo*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Aprilia, A. (2021). *Waste Management in Indonesia and Jakarta*.
- Arda, M., Andriany, D., & Manurung, Y. H. (2020). Analisis SWOT dalam Menentukan Strategi Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Kota Medan. *Prosiding Konferensi Nasional Ekonomi Manajemen Dan Akutansi*, 1–12.
- Awaluddin. (2020). Sistem Pengangkutan Sampah di Kecamatan Polewali Kabupaten Polewali Mandar. *Plano Madani*, 9(2), 37–48.
- Cahyani, P. D., Adys, A. K., & Abdi. (2021). Kinerja Dinas Lingkungan Hidup dalam Pengelolaan Sampah di Kabupaten Gowa. *Kajian Ilmiah Mahasiswa Administrasi Publik*, 2(5), 1595–1614.
- Chaerul, M., & Mulananda, A. M. (2018). Minimization of Municipal Solid Waste Transportation Route in West Jakarta Using Tabu Search Method. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 148(1), 1–7.
- Chaerul, M., Puturuhu, M., & Artika, I. (2022). Optimasi Rute Pengangkutan Sampah dengan Menggunakan Metode Nearest Neighbour (Studi Kasus: Kabupaten Manokwari, Papua Barat). *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan*, 10(1), 55–68.
- Chaniago, R. Y. (2018). *Perencanaan Sistem Pengangkutan Sampah di Kabupaten Tabalong*. Universitas Lambung Mangkurat.
- Chattopadhyay, S., Dutta, A., & Ray, S. (2009). Municipal solid waste management in Kolkata, India - A review. *Waste Management*, 29(4), 1449–1458.
- Cheng, J., Shi, F., Yi, J., & Fu, H. (2020). Analysis of the Factors That Affect the Production of Municipal Solid Waste in China. *Journal of Cleaner Production*, 259.
- Das, S., Lee, S. H., Kumar, P., Kim, K. H., Lee, S. S., & Bhattacharya, S. S. (2019). Solid Waste Management: Scope and the Challenge of Sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 228, 658–678.
- Debrah, J. K., Vidal, D. G., & Dinis, M. A. P. (2021). Raising awareness on solid waste management through formal education for sustainability: A developing countries evidence review. *Recycling*, 6(1), 1–21.
- Elamin, M. Z., Ilmi, K. N., Tahrirah, T., Zarnuzi, Y. A., Suci, Y. C., Rahmawati, D. R., Kusumawardhani, R., Dwi, D. M. P., Rohmawati, R. A., Bhagaskoro, P. A., & Nasifa, I. F. (2018). Analisis Pengelolaan Sampah pada Masyarakat Desa Disanah Kecamatan Sreseh Kabupaten Sampang. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 10(4), 368–375.

- Faridawati, D., & Sudarti, S. (2021). Analisis Pengetahuan Masyarakat Tentang Dampak Pembakaran Sampah Terhadap Pencemaran Lingkungan Desa Tegalwangi Kabupaten Jember. *Jurnal Sanitasi Lingkungan*, 1(2), 50–55.
- Fauziah, R., & Suparmi. (2022). Sistem Pengangkutan Sampah Kota Jambi. *Jambura Health and Sport Journal*, 4(2).
- Febriyanti, R., Rahayu, N. V. A., Pitaloka, W. D., Yakob, A., & Samsuri, M. (2023). Edukasi Pemilahan Sampah sebagai Upaya Penanganan Masalah Sampah di SD Muhammadiyah Baitul Fallah Mojogedang. *Buletin KKN Pendidikan*, 5(1), 37–45.
- Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste Mismanagement in Developing countries: A Review of Global Issues. In *International Journal of Environmental Research and Public Health* (Vol. 16, Issue 6, pp. 1–28). MDPI AG.
- Guerrero, L. A., Maas, G., & Hogland, W. (2013). Solid Waste Management Challenges for Cities in Developing Countries. *Waste Management*, 33(1), 220–232.
- Haerani, D., Syafrudin, & Budi, S. S. (2019). Review Modeling of Solid Waste Transportation Routes Using Geographical Information System (GIS). *E3S Web of Conferences*, 1–5.
- Harmayani, K. D., Widhiawati, I. A. R., Andika, I. B. M. B., & Sumbertiasih, M. (2023). Tata Cara Pemungutan dan Besaran Retribusi Pengelolaan Persampahan/ Kebersihan di Kabupaten Buleleng. *Jurnal Kelitbangan Kabupaten Buleleng*, 2(2), 10–29.
- Hattam, M. N., & Tangahu, B. V. (2024). Penilaian Kinerja Pengelolaan Sampah Daerah Kabupaten Bolaang Mongondow Timur, Sulawesi Utara. *Jurnal Serambi Engineering*, 9(3), 9999–10009.
- Henry, R. K., Yongsheng, Z., & Jun, D. (2006). Municipal Solid Waste Management Challenges in Developing Countries - Kenyan Case Study. *Waste Management*, 26(1), 92–100.
- Hermawan, F. (2018). Optimization Of Transportation of Municipal Solid Waste from Resource to Intermediate Treatment Facility with Nearest Neighbour Method (Study on six Sub Sub District in DKI Jakarta Province). *Journal of Environmental Science and Sustainable Development*, 1(1), 86–99.
- Istingadah, J., & Warmadewanthi, I. D. A. A. (2022). Optimasi Pengangkutan Sampah di Kecamatan Kebumen Kabupaten Kebumen. *Jurnal Teknik ITS*, 11(1), 17–22.
- Jannah, W. (2020). Optimasi Rute Pengangkutan Sampah di Kota Lamongan dengan Menggunakan Metode Saving Matrix. *Indonesian Journal of Spatial Planning*, 1(1), 56–62.
- Kadariswan, A. (2017). *Kajian Sistem Transfer dan Pengangkutan Sampah di Kecamatan Mejayan, Kabupaten Madiun*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Kahfi, A. (2017). Tinjauan Terhadap Pengelolaan Sampah. *Tinjauan Terhadap Pengelolaan Sampah Ashabul Kahfi Jurisprudentie* |, 4(1), 12–25.
- Kamal, M. A., & Youlla, D. (2018). Municipal Solid Waste Transportation Optimisation with vehicle Routing Approach: Case Study of Pontianak City, West Kalimantan. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 131(1).
- Koiwanit, J., & Hamontree, C. (2020). Greenhouse Gas Emissions Comparison of Solid Waste Transportation System: A Case Study in Thailand. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 424(1), 1–6.
- Kumar, S., Smith, S. R., Fowler, G., Velis, C., Kumar, S. J., Arya, S., Rena, Kumar, R., & Cheeseman, C. (2017). Challenges and Opportunities Associated with Waste Management in India. In *Royal Society Open Science* (Vol. 4, Issue 3, pp. 1–11). Royal Society. <https://doi.org/10.1098/rsos.160764>

- Lubis, H. (2017). Penyediaan Pelayanan Publik dalam Persoalan Sampah di Kota Pekanbaru Tahun 2014-2016. *Jom FISIP*, 4(2), 1–16.
- Mahmudah, R. A., & Herumurti, W. (2016). Analisis Sistem Pengangkutan Sampah di Wilayah Surabaya Utara. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 103–108.
- Malakahmad, A., & Khalil, N. D. (2011). Solid Waste Collection System In Ipoh City. *International Conference on Business*, 174–179.
- Mamahit, C., Najoran, H., & Monintja, D. (2021). Evaluasi Kebijakan Pengelolaan Persampahan di Kota Manado. *Jurnal Governance*, 1(2), 1–9.
- Martin, Harafah, L. O. M., & Yunus, L. (2023). Analisis Sistem Pengelolaan Sampah Di Kota Raha Kabupaten Muna. *Jurnal Perencanaan Wilayah PPS UHO*, 8(1), 56–68. <https://journal.uho.ac.id/index.php/jpw/index>
- Mojtahedi, M., Fathollahi-Fard, A. M., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Newton, S. (2021). Sustainable Vehicle Routing Problem for Coordinated Solid Waste Management. *Journal of Industrial Information Integration*, 23.
- Muhardi, Z. (2015). Kajian Optimalisasi Rute Pengangkutan Sampah di Kota Pontianak. *Jurnal Teknik Sipil*, 1, 1–4.
- Nguyen-Trong, K., Nguyen-Thi-Ngoc, A., Nguyen-Ngoc, D., & Dinh-Thi-Hai, V. (2017). Optimization of mMunicipal Solid Waste Transportation by Integrating GIS Analysis, Equation-based, and Agent-based Model. *Waste Management*, 59, 14–22.
- Nindya, U. A., Wasiati, I., & Makmur, H. (2013). Efektivitas Pelaksanaan Pengangkutan Sampah di Kecamatan Sumbersari Oleh Dinas Pekerjaan Umum Cipta Karya dan Tata Ruang Kabupaten Jember. *Artikel Penelitian Mahasiswa*, 1–9.
- Nowakowski, P., & Wala, M. (2020). Challenges and innovations of transportation and collection of waste. In *Urban Ecology: Emerging Patterns and Social-Ecological Systems* (pp. 457–478). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820730-7.00023-9>
- Permen PUPR No 03 Tentang Penyelenggaraan Prasarana Dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah Rumah Tangga Dan Sampah Sejenis Rumah Tangga (2013).
- Permendagri No 07 Tahun 2021 Tentang Tata Cara Perhitungan Tarif Retribusi Dalam Penyelenggaraan Penanganan Sampah.
- Pramartha, I. K. T. S., Widhiawati, I. A. R., & Ciawi, Y. (2013). Analisis Pengelolaan Pengangkutan Sampah di Kecamatan Klungkung Kabupaten Klungkung. *Jurnal Ilmiah Elektronik Infrastruktur Teknik Sipil*, 2(2), 1–6.
- Pusparani, M. (2021). Faktor yang Mempengaruhi Kinerja Pegawai (Suatu Kajian Studi Literatur Manajemen Sumber Daya Manusia). *Jurnal Ilmu Manajemen Terapan*, 2(4), 534–543.
- Puspita, K. A., Rachmawati, I., & Sampurna, H. (2023). Pengaruh Implementasi Kebijakan Pengelolaan Sampah terhadap Partisipasi Masyarakat di Kota Sukabumi. *Jurnal Ilmu Administrasi*, 14(1), 1–11.
- Putra, A. H., Amalia, A., Putro, R. K. H., & Darmayani, L. F. (2020). Waste Transportation Route Optimization in Malang using Network Analysis. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 506(1).
- Qonitan, F. D., Suryawan, I. W. K., & Rahman, A. (2021). Overview of Municipal Solid Waste Generation and Energy Utilization Potential in Major Cities of Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1858(1), 1–10.

- Ramadan, B. S., Safitri, R. P., Cahyo, M. R. D., & Wibowo, Y. G. (2017). Optimasi Sistem Pengangkutan Sampah Kecamatan Jati, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah. *Jurnal Presiptasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 16(1), 8–15.
- Ramadhanti, M., & Nahdalina. (2022). Optimalisasi Sistem Angkutan Sampah Menggunakan Vehicle Routing Problem dengan Batasan Kapasitas Angkut. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, 21(2), 196–210.
- Ridha, M. R., Abdi, C., & Mahyudin, R. P. (2016). Studi optimasi rute pengangkutan sampah kota marabahan dengan sistem informasi geografis. *Jukung*, 2(2), 38–51.
- Ridho, M. F. (2020). *Analisis Kebutuhan Armada Pengangkutan Sampah di Kota Medan*. Universitas Medan Area.
- Riruma, N., Sinaga, N., & Lekitoo, M. N. (2021). Kajian Pengelolaan Sampah Rumah Tangga (SRT) dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga (SSRT) di Kabupaten Teluk Bintuni. *CASSOWARY*, 4(1), 39–51. <https://pasca.unipa.ac.id/>
- Ritonga, Y., & Usiono. (2023). Sampah dan Penyakit: Systematic Literature Review. *Jurnal Kesehatan Tambusai*, 4(4), 5148–5157.
- Rizal, A. S., Widodo, S., & Nurhayati. (2017). Strategi Pengembangan Pengangkutan Sampah Kota Pontianak. *Jurnal Teknik Sipil*, 17(2), 1–6.
- Rızvanođlu, O., Kaya, S., Ulukavak, M., & Yeřilnacar, M. İ. (2020). Optimization of Municipal Solid Waste Collection and Transportation Routes, Through Linear Programming and Geographic Information System: a Case Study From řanlıurfa, Turkey. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(1).
- Sahib, F. S., & Hadi, N. S. (2023). Truck Route Optimization in Karbala City for Solid Waste Collection. *Materials Today: Proceedings*, 80, 2489–2494.
- Sahil, J., Al Muhdar, M. H. I., Rochman, F., & Syamsuri, I. (2016). Sistem Pengelolaan dan Upaya Penanggulangan Sampah Di Kelurahan Dufa-Dufa Kota Ternate. *Jurnal Bioedukasi*, 4(2), 478–487.
- Sakti, S., Yu, V. F., & Sopha, B. M. (2019). Heterogeneous Fleet Location Routing Problem for Waste Management: A Case Study of Yogyakarta, Indonesia. *International Journal of Information and Management Sciences*, 30, 1–16.
- Sari, C. N., Al-illahiyah, L. H., Kaban, L. B., Hasibuan, M. R., Nasution, R. H., & Sari, W. F. (2023). Keterbatasan Fasilitas Tempat Pembuangan Sampah dan Tantangan Kesadaran Masyarakat dalam Pengelolaan Sampah (Studi Kasus Di Desa Jandi Meriah Kec. Tiganderket Kab. Karo). *Journal of Human and Education*, 3(2), 268–276.
- Sari, P. N. (2016). Analisis Pengelolaan Sampah Padat di Kecamatan Banuhampu Kabupaten Agam. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Andalas*, 10(2), 157–165.
- Shafa, S. Z., & Darwin, I. S. (2022). Kajian Optimalisasi Sistem Pengangkutan Sampah di Kecamatan Subang, Kabupaten Subang. *Bandung Conference Series: Urban & Regional Planning*, 2(2), 287–295.
- Sidik, A. S. S., Rosmini, Setiawan, Y., Susilo, H., Nugraha, H. S., & Setiawan, H. (2022). *Kajian Akademik tentang Potensi dan Tarif Retribusi Pengelolaan Persampahan Kota Bontang*.
- Siswandi, E., & Wahyudin. (2020). Pemetaan Tempat Penampungan Sampah (TPS) Ilegal Menggunakan Geographic Information System (GIS). *Jurnal Sains Informasi Geografis*, 3(2), 65–77.
- Sulemana, A., Donkor, E. A., Forkuo, E. K., & Oduro-Kwarteng, S. (2018). Optimal Routing of Solid Waste Collection Trucks: A Review of Methods. In *Journal of Engineering (United Kingdom)* (Vol. 2018). Hindawi Limited.

- Suryanto, D. A., & Widjadjakusuma, J. (2005). Kajian Sistem Pengangkutan Sampah Kota Depok. *Seminar Nasional PESAT*, 39–51.
- Tumija, Ramadhan, A. F., & Kusmana, D. (2019). Optimalisasi Pemungutan Retribusi Pelayanan Persampahan/Kebersihan dalam Meningkatkan Pendapatan Asli Daerah di Kabupaten Sumedang Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Media Birokrasi*, 1(1), 187–201.
- Widodo, D. E., & Hadid, M. (2023). Analisis Transportasi Pengangkutan Sampah di Kecamatan Samarinda Ulu, Kota Samarinda. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 21(2), 137–144.
- Zainun, N. M., Samsu, K. N. S. K., & Rohani, M. M. (2016). Proposing An Effective Route for Transporting Solid Waste Using GIS Approach. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 160(1), 1–9.
- Zalukhu, S. A., & Mirwan, M. (2018). Analisis Model Dinamik dalam Pengangkutan Sampah di Kota Bangkalan. *Jurnal Envirotek*, 10(1), 28–36.



Asesmen Timbulan Sampah di Desa Tambaksumur, Kecamatan Waru, Sidoarjo dan Strategi Pengelolaannya¹

Waste Generation Assessment in Tambaksumur Village, Waru District, Sidoarjo, and Its Management Strategy

Ummul Khoir^{a,2}

^a Program Studi S1 Teknik Lingkungan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel, Surabaya, Jawa Timur

ABSTRAK

Permasalahan persampahan di Desa Tambaksumur, Kecamatan Waru, Kabupaten Sidoarjo, merupakan isu yang semakin kompleks akibat kurangnya infrastruktur pengelolaan sampah dan rendahnya kesadaran masyarakat dalam pemilahan sampah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis timbulan, densitas, dan komposisi sampah di Desa Tambaksumur sebagai dasar penyusunan strategi pengelolaan sampah yang tepat. Metode penelitian yang digunakan adalah *mix method* dengan pengambilan sampel acak pada 19 rumah tangga selama 8 hari berturut-turut, sesuai dengan SNI 19-3964-1995 tentang pengukuran timbulan dan komposisi sampah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa timbulan sampah di Desa Tambaksumur mencapai rata-rata 0,191 kg/orang/hari, dengan mayoritas komposisi berupa sampah organik (57,45%). Densitas sampah rata-rata mencapai 116,018 kg/m³, yang disebabkan oleh tingginya kadar air dalam sampah organik. Meski 79% masyarakat telah mengetahui pentingnya pemilahan sampah, sebagian besar masih bergantung pada TPS desa lain yang sudah overload atau membuang sampah secara sembarangan dan membakarnya di ruang terbuka. Penelitian ini menyarankan perlunya sinergi antara pemerintah dan masyarakat untuk meningkatkan fasilitas pengelolaan sampah, seperti pembangunan Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) dan penerapan teknologi pengelolaan berbasis masyarakat. Selain itu, regulasi yang ada, seperti PERBUP Sidoarjo Nomor 71 Tahun 2019, perlu diimplementasikan secara optimal untuk meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap minimalisasi sampah dan meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah skala rumah tangga.

Kata kunci: pengelolaan sampah, timbulan sampah, strategi pengurangan

ABSTRACT

The waste management issue in Tambaksumur Village, Waru District, Sidoarjo, is becoming more complicated due to limited waste facilities and low awareness of sorting waste among residents. This study aims to analyze the amount, density, and types of waste in the village to help create better strategies for managing it. The research used a mixed-method approach, collecting waste samples from 19 households over 8 days, following Indonesian standards (SNI 19-3964-1995) for measuring waste. The results showed that the average waste produced in Tambaksumur is 0.191 kg per person per day, with most of it being organic waste (57.45%). The average waste density is 116.018 kg/m³, influenced by the highwater content in organic waste. Although 79% of the villagers understand the importance of sorting waste, many still depend on overcrowded collection points (TPS) in nearby villages or dispose of waste improperly, including open burning. This study suggests improving collaboration between the government and the community to build better waste management facilities, such as a local Integrated Waste Management Site (TPST), and to introduce community-based waste management practices. It also recommends enforcing existing regulations, like Sidoarjo Regent Regulation No. 71 of 2019, to increase public awareness and improve household waste management.

Keywords: waste management, waste generation, waste reduction strategy

¹ Info Artikel: Diterima (*received*) 2 Oktober 2024. Disetujui (*accepted*) 28 Desember 2024. Diterbitkan (*published*) 30 Desember 2024.

² Email: ummulcho@gmail.com

PENDAHULUAN

Permasalahan persampahan di Indonesia menjadi hal yang sangat membutuhkan perhatian lebih. Fasilitas pengelolaan sampah yang belum merata di seluruh Indonesia dengan tingkat pemahaman dan kesadaran masyarakat mengenai pemilahan sampah yang sangat minim, menambah kompleksitas permasalahan persampahan ini. Sampah yang merupakan suatu hal dari hasil kegiatan yang sudah tidak lagi bermanfaat hanya akan semakin menumpuk bila tidak diolah sebagaimana mestinya. Parameter dalam persampahan muncul dari hasil kegiatan yang saling berhubungan, diantaranya yaitu pola konsumsi masyarakat, kegiatan ekonomi, kesejahteraan masyarakat, perilaku penduduk, serta keikutsertaan pemerintah dalam mengatasinya (Danang Aji Kurniawan & Ahmad Zaenal Santoso, 2021). Beberapa aspek tersebut perlu ditekankan tingkat efektivitasnya agar timbulan sampah yang ada dapat ditekan secara perlahan.

Timbulan sampah semakin mengalami kenaikan dari hari ke hari. Hal tersebut dikarenakan perilaku konsumtif dari masyarakat dan belum tingginya tingkat kesadaran masyarakat bahwa penyebab naiknya timbulan sampah di Indonesia merupakan hasil dari perbuatan masyarakat itu sendiri. Pemerintah mengatasi kenaikan timbulan sampah dari tahun ke tahun dengan menekankan praktik 3R (*reduce, reuse, recycle*) kepada masyarakat. Penelitian terdahulu (Madyatmadja et al., 2023), yang melakukan visualisasi mengenai kenaikan timbulan sampah di Indonesia menggunakan Power BI, mendapatkan kesimpulan bahwa dari tahun 2020 – 2022 timbulan sampah mengalami penurunan dari sekitar 33 juta ton menjadi 23 juta ton. Hal ini dipercayai merupakan hasil dari penekanan kesadaran kepada masyarakat akan pentingnya penerapan 3R (*reduce, reuse, recycle*) dalam kehidupan sehari-hari. Jumlah penurunan timbulan sampah tersebut tidak menutup kemungkinan akan terjadi kenaikan timbulan sampah kembali di kemudian hari sehingga diperlukan kerja sama antar lapisan masyarakat terutama pada skala rumah tangga untuk melakukan minimalisir sampah, utamanya sampah makanan. Disebutkan dalam penelitian tersebut bahwa sampah makanan memiliki jumlah dengan presentase tertinggi dibandingkan dengan jenis sampah lainnya.

Melihat pentingnya peran masyarakat dalam pengendalian permasalahan sampah di Indonesia ini, dilakukan penelitian di Desa Tambaksumur, Waru, Sidoarjo. Pengelolaan sampah di Desa Tambaksumur belum dilakukan dengan baik. Kebiasaan masyarakat yang hanya mengandalkan pengangkutan sampah menuju TPS Desa Tambakrejo atau bahkan dilakukan pembakaran terbuka dapat menyebabkan kerugian di kemudian hari bila dilakukan secara berkelanjutan. Tidak adanya pemilahan dari sumber sampah dan seringnya keterlambatan pengangkutan sampah oleh petugas menjadi masalah yang saat ini sedang dialami oleh masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan strategi yang tepat dalam mengatasi permasalahan persampahan di Desa Tambaksumur. Akan tetapi, sebelumnya perlu dilakukan analisis mengenai timbulan sampah di Desa Tambaksumur dengan mempertimbangkan jumlah penduduk, volume sampah, serta densitas sampah (Andriansyah et al., 2023).

Penelitian mengenai timbulan sampah ini tidak hanya bertujuan untuk mengukur banyaknya sampah yang ada pada suatu kawasan, akan tetapi juga menjadi dasar ataupun patokan dalam mengatasi permasalahan tersebut. Berbagai strategi pengelolaan sampah dapat dilakukan di Desa Tambaksumur dengan mempertimbangkan kondisi dan kesiapan masyarakat desa. Sehingga dengan adanya sinergi antar lapisan masyarakat ini diharapkan

dapat menjadi langkah awal terhadap kemajuan pengelolaan sampah di Desa Tambaksumur.

METODE PENELITIAN

Metode *mix method* (penggabungan dari metode kuantitatif dan kualitatif) dengan *random sampling* digunakan dalam penelitian mengenai timbulan sampah di Desa Tambaksumur ini. Pengumpulan data terdiri atas data kuantitatif dari hasil sampling sampah selama delapan hari berturut-turut dan data kualitatif yang berasal dari wawancara terhadap masyarakat mengenai pengetahuan pengelolaan sampah skala rumah tangga di Desa Tambaksumur.

Lokasi penelitian adalah kawasan Desa Tambaksumur, Kecamatan Waru, Kabupaten Sidoarjo yang berbatasan dengan Desa Tambak Oso, Desa Tambak Rejo, Desa Wadung Asri, dan Desa Gunung Anyar. Dengan lokasi yang berdekatan dengan lokasi kampus, penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi masyarakat sekitar. Penelitian ini dilakukan pada tanggal 24 Oktober 2023 hingga 31 Oktober 2023. Penelitian ini berpedoman pada SNI 19-3964-1995 tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan.



Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian di Kawasan Desa Tambaksumur
(Sumber: *Google Earth*, 2024)

Jumlah sampel yang diambil didasarkan pada perhitungan berdasarkan pada SNI 19-3964-1995 tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan dengan mempertimbangkan jumlah jiwa dan kepala keluarga (KK).

$$\text{Jumlah Sampel} = \text{Koefisien} \times \sqrt{\text{Populasi}} \quad (1)$$

Setelah dilakukan perhitungan jumlah sampel yang akan diambil sampahnya dalam kurun waktu 8 hari secara berturut-turut, maka dapat diketahui densitas sampah dengan menggunakan kotak densitas. Kotak densitas yang digunakan mempunyai kapasitas sebesar $0,04 \text{ m}^3$ dengan dimensi ukuran $1 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$. Pengukuran densitas dilakukan dengan dihentakkan untuk mengompaksi sampah agar tidak menyisakan ruang kosong. Densitas dapat dihitung dengan persamaan (2).

$$\text{Densitas Sampah Hari Ke } - n = \frac{\text{Massa Sampah Hasil Densitas Hari Ke } - n}{\text{Volume Sampah Hasil Densitas Hari Ke } - n} \quad (2)$$

Kemudian untuk mengetahui data timbulan sampah, dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Timbulan Sampah Hari Ke } - n = \frac{\text{Massa Sampah}}{\text{Densitas Sampah}} \quad (3)$$

Kemudian untuk menganalisis persentase komposisi sampah, dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Komposisi Sampah} = \frac{\text{Massa Komposisi Sampah}}{\text{Massa Keseluruhan}} \times 100 \% \quad (4)$$

Metode SNI digunakan karena dengan memperhatikan juga tingkat keefektifan dan dapat mewakili keseluruhan.

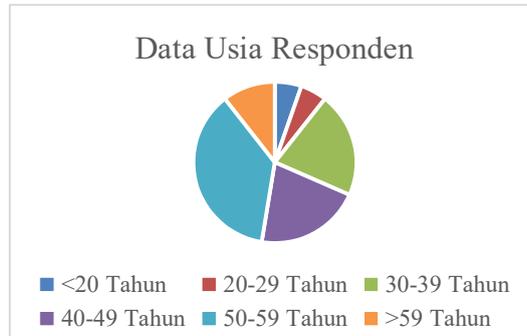
Metode yang digunakan untuk menganalisis pengelolaan sampah di Desa Tambaksumur adalah metode ABCD (*Asset-Based Community Development*) yaitu dengan menganalisis aset serta potensi yang ada pada masyarakat desa terlebih dahulu. Pengenalan potensi ini dilakukan dengan wawancara mengenai pemahaman masyarakat akan pentingnya pemilahan dan pengurangan sampah. Kemudian analisis mengenai fasilitas yang sudah ada serta merekomendasikan fasilitas penunjang lainnya. Pendekatan ini dilakukan guna meningkatkan kemitraan serta kapasitas keikutsertaan warga dalam suatu komunitas masyarakat (Hufford et al., 2009).

HASIL DAN PEMBAHASAN

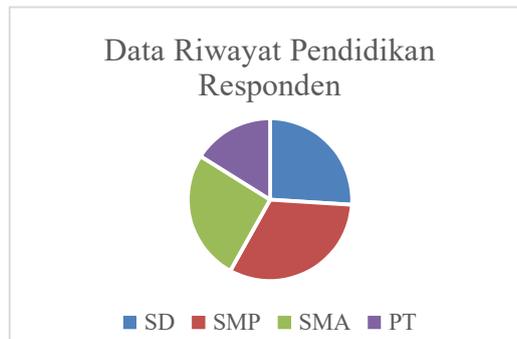
Hasil Analisis Timbulan, Densitas, dan Komposisi Sampah

Kawasan di Desa Tambaksumur berlokasi di daerah perbatasan antara Kota Surabaya dan Kabupaten Sidoarjo. Hal ini menjadi salah satu penyebab adanya pembuangan sampah ilegal di sekitar wilayah Desa Tambaksumur. Timbulan sampah ini tidak hanya berasal dari pejalan kaki yang melintas pada wilayah perbatasan, akan tetapi juga dari beberapa oknum yang membuang sampah secara ilegal di wilayah tersebut dan tidak dapat dikelola dengan baik. Berdasarkan hasil observasi, pengelolaan sampah di Desa Tambaksumur belum optimal dengan hanya dilakukan pewadahan tanpa pemilahan, pembakaran sampah di ruang terbuka, serta pengangkutan ke TPS Tambakrejo yang belum sesuai dengan jadwal. Permasalahan sampah di Desa Tambaksumur menjadi semakin kompleks dikarenakan tidak adanya TPS atau TPST di desa tersebut, sehingga beberapa kelompok masyarakat masih membuang sampah di TPS desa lain yang terdekat atau bahkan dibakar di ruang terbuka. Pembuangan sampah di TPS terdekat juga belum dapat mengatasi permasalahan ini secara maksimal karena kapasitas TPS Tambakrejo yang sudah overload.

Timbulan sampah di Desa Tambaksumur diteliti untuk dapat menentukan jumlah timbulan sampah yang ada dengan cara sampling kepada lapisan masyarakat dengan variasi usia, jenis kelamin, jumlah anggota keluarga, riwayat pendidikan, serta pekerjaannya. Proses pengambilan sampel dilakukan berdasarkan perhitungan menurut SNI 19-3964-1995 tentang Metode Pengambilan dan Pengukuran Contoh Timbulan dan Komposisi Sampah Perkotaan.



Gambar 2 Data Usia Responden



Gambar 3 Data Riwayat Pendidikan Responden

Berdasarkan hasil kuesioner yang telah disebar, dapat diambil kesimpulan bahwa mayoritas responden berusia 50–59 tahun dengan mayoritas hanya mengenyam pendidikan hingga tingkat Sekolah Menengah Pertama (SMP). Sehingga kesadaran serta pengetahuan dalam memilah sampah masih relatif rendah. Hal tersebut terbukti dengan hasil wawancara kepada responden yang menunjukkan sebanyak 79% responden sudah mengetahui jenis sampah organik dan anorganik dan 89% sudah memahami bahwa sampah harus dipisahkan.

Massa sampah

Timbulan sampah dapat diketahui dengan pengumpulan sampah dari responden. Teknik pengambilan sampel persampahan dilakukan berdasarkan tata cara SNI 19-3964-1995 yaitu tentang metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan data sampah dan komposisi sampah perkotaan. Timbulan sampah diperoleh dari perhitungan timbulan sampah selama delapan hari secara kontinyu di Desa Tambaksumur RW 02, Kecamatan Waru, Kabupaten Sidoarjo. Untuk penentuan jumlah sampel, kami menggunakan metode perhitungan Slovin sehingga didapatkan hasil sampel 19 rumah. Berikut merupakan perhitungannya:

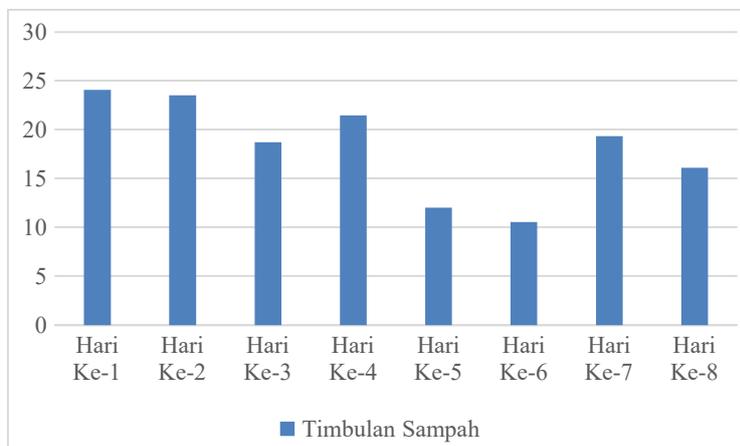
$$n = \frac{N}{(1 + (N \cdot e^2))} \quad (5)$$

Dengan keterangan bahwa untuk menghitung n (sampel yang mewakili), didapatkan dengan cara N (jumlah penduduk) dibagi dengan e (persentasi batas toleransi).

$$n = \frac{2500}{(1 + (2500 \times 0,1^2))} \text{ jiwa}$$

$$n = 19 \text{ rumah atau } 95 \text{ jiwa}$$

Metode yang digunakan untuk menentukan timbulan sampah dengan cara perhitungan langsung dari total jumlah timbulan sampah sampel rumah yakni dengan metode penimbangan langsung dengan alat timbangan digital. Berikut adalah data hasil perhitungan timbulan sampah di Desa Tambaksumur, Kecamatan Waru, Kabupaten Sidoarjo selama 8 hari pada tanggal 24 Oktober 2023 hingga tanggal 31 Oktober 2023. Data massa sampah yang dihasilkan dapat dilihat pada **Gambar 3**.

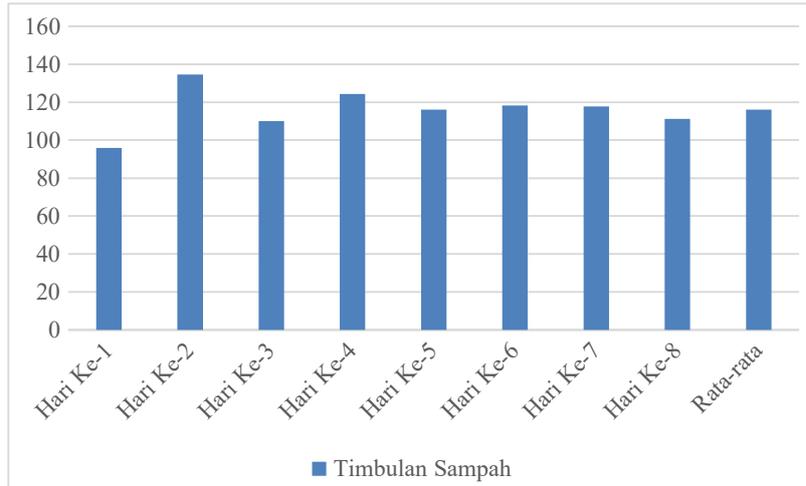


Gambar 4 Data Timbulan Massa Sampah

Dari hasil perhitungan data di atas dapat diketahui bahwa rumah dengan jumlah timbulan sampah terbanyak selama 8 hari adalah rumah nomor 2 RT 3A yaitu sejumlah 26,490 kg. Sedangkan jumlah timbulan sampah paling banyak dalam skala per hari yaitu pada penelitian hari pertama dengan jumlah 24,055 kg. Namun terdapat lima data yang kosong dikarenakan terdapat kendala pada saat pengambilan, yaitu penghuni rumah sedang bepergian dan tidak meletakkan sampah di depan rumah. Sehingga pada hari tersebut diperlukan keselarasan data agar data tetap stasioner untuk dihitung.

Densitas Sampah

Densitas sampah dapat diketahui dengan melakukan perhitungan terhadap massa sampah dibagi dengan volume sampah seperti pada persamaan (2) di atas. Sehingga didapatkan data seperti yang disajikan dalam **Gambar 4** sebagai berikut.

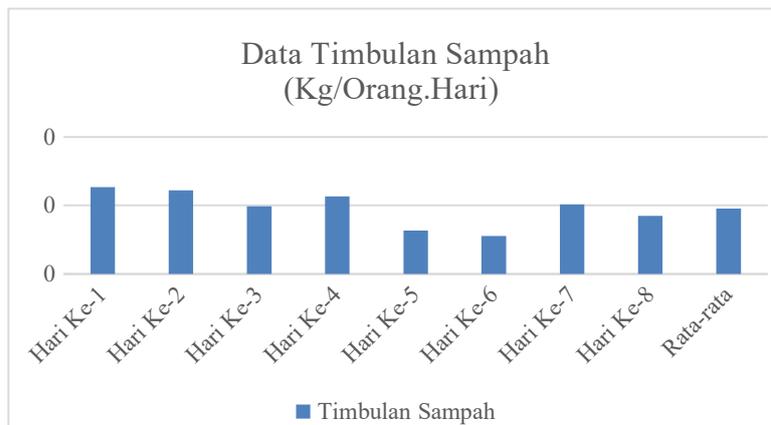


Gambar 5 Data Hasil Densitas Sampah

Data yang didapatkan menunjukkan bahwa rata-rata densitas sampah adalah sebesar 116,018 kg/m³. Nilai densitas sampah yang cukup besar untuk kelas perumahan di perkotaan ini disebabkan karena faktor rata-rata jenis sampah yang terkandung yaitu sampah organik, umumnya sampah yang berasal dari rumah warga memiliki komposisi paling banyak berupa sampah organik, sehingga massa jenis dari sampah tersebut cenderung lebih besar dibandingkan sampah anorganik. Selain jenis sampah, jumlah kadar air yang terkandung pada sampah juga berpengaruh terhadap besarnya nilai densitas sampah. Kadar air yang terdapat pada jenis sampah organik memiliki jumlah yang lebih besar dibandingkan sampah anorganik (Nguyen et al., 2022).

Timbulan Sampah

Timbulan sampah di Desa Tambaksumur dihitung untuk dapat menentukan timbulan sampah yang dihasilkan per orang serta per harinya. Sehingga dapat diketahui dengan perhitungan dari data hasil sampling mengenai massa sampah yang dibagi dengan densitas sampah per harinya. Perhitungan timbulan sampah menggunakan persamaan (3) dengan hasil seperti dalam grafik pada **Gambar 5** sebagai berikut.



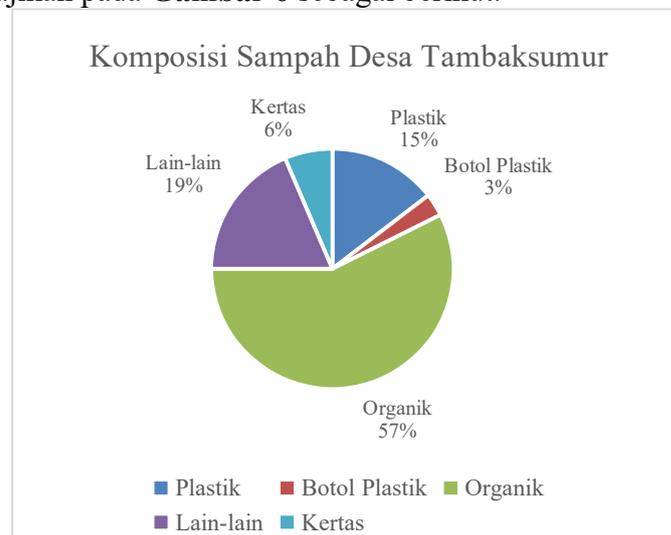
Gambar 6 Data Timbulan Sampah

Grafik timbulan sampah tersebut memperlihatkan bahwa rerata laju timbulan sampah domestik di Desa Tambaksumur, Kecamatan Waru, Kabupaten Sidoarjo adalah sebesar 1,666 L/org.hari atau 0,191 kg/org.hari. Dengan mengetahui timbulan sampah perorangan, maka dapat diketahui produksi sampah per hari di Desa Tambaksumur dengan mengalikan timbulan sampah dengan jumlah penduduk yang ada. Sehingga didapatkan data berupa produksi sampah sebesar 477,987 kg/Hari.

Peningkatan timbulan sampah yang dihasilkan disebabkan karena beberapa faktor yang mempengaruhinya, salah satunya adalah pengetahuan akan pengelolaan sampah. Pengetahuan terhadap pengelolaan sampah yang baik akan membantu meminimalisir peningkatan laju timbulan sampah (Khoiri & Rudiansyah, 2019). Berdasarkan hasil observasi dan wawancara singkat didapatkan bahwa kurangnya pengetahuan masyarakat Desa Tambaksumur terkait pengelolaan sampah yang benar. Tak hanya itu, tingkat pendapatan masyarakat juga menjadi faktor lain yang dapat berpengaruh terhadap laju timbulan sampah di suatu wilayah. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Puryanti, 2021) diketahui bahwa pendapatan masyarakat juga merupakan salah satu hal yang dapat memberikan pengaruh terhadap laju timbulan sampah pada suatu wilayah. Semakin tinggi tingkat pendapatan masyarakat maka semakin besar pula timbulan sampah yang dihasilkan.

Komposisi sampah

Proses identifikasi komposisi sampah menggunakan cara pemilahan berdasarkan jenis sampah sesuai dengan SNI 19-3964-1995. Komposisi sampah hasil pemilahan diklasifikasikan menjadi sampah organik, plastik, botol plastik, kertas, dan lain-lain (kain, kaca, sampah B3 dan sebagainya). Sehingga didapatkan data komposisi sampah dari hasil sampling yang disajikan pada **Gambar 6** sebagai berikut.



Gambar 7 Komposisi Sampah

Komposisi sampah yang berasal dari rumah warga di Desa Tambaksumur, Kecamatan Waru, Kabupaten Sidoarjo sebagian besar terdiri dari sampah organik sebanyak 57,45%. Kegiatan rumah tangga seperti memasak menjadi penyebab mengapa komposisi sampah organik menjadi salah satu komponen sampah yang paling mendominasi. Komposisi

sampah plastik, botol plastik, kertas, dan sampah lain-lain nya masing-masing sebesar 14,54%, 3,03%, 6,41%, dan 18,58%. Dengan masih tingginya timbunan sampah organik yang dihasilkan, maka dapat diketahui bahwa masyarakat belum menerapkan pengolahan sampah organik secara mandiri untuk mengurangi timbunan sampah tersebut. Hasil kategorisasi sampah ini juga sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Salsabella et al., 2023) menyebutkan bahwa komposisi sampah yang dihasilkan oleh komposisi berat rata-rata per hari (kg) dari sampah yang dihasilkan dengan presentase sampah plastik sebesar 14,54%, botol plastik sebesar 3,03%, sampah organik dengan presentase 57,45%, sampah lain-lain sebesar 18,58%, serta sampah kertas sebanyak 6,41% dari warga di Desa Tambakrejo yang juga didominasi oleh sampah organik. Komposisi sampah organik dari rumah warga lebih banyak dibandingkan komponen yang lainnya, hal tersebut dikarenakan kegiatan mengolah makanan atau memasak dilakukan setiap hari untuk memenuhi kebutuhan primer bagi masyarakat. Disamping itu, komposisi sampah plastik juga memiliki jumlah yang tidak sedikit, menurut penelitian (Putra, 2021) menunjukkan bahwa peningkatan komposisi sampah plastik disebabkan karena kebiasaan masyarakat yang saat ini lebih memilih mengonsumsi makanan siap saji yang meningkatkan timbunan sampah plastik. Tingginya presentase timbunan sampah organik juga dapat diidentifikasi dari gaya hidup masyarakat responden, sesuai dengan penelitian (Sekarsari et al., 2020), memberikan keterangan bahwa gaya hidup masyarakat yang sederhana dapat meningkatkan sampah organik yang dihasilkan. Konsen masyarakat untuk menghemat pengeluaran mendorong masyarakat untuk membuat dan mengusahakan kebutuhan primernya seperti memasak di rumah. Berbeda dengan lingkungan masyarakat yang menghabiskan banyak waktunya untuk bekerja di luar, akan lebih memilih untuk mengambil jalan instan untuk memesan dan membeli makanan.

Strategi pengelolaan sampah

Pengenalan sumber daya masyarakat

Pengelolaan sampah dalam ruang lingkup suatu desa pasti memiliki beberapa tantangan yang bersifat kemasyarakatan, mulai dari sumber daya masyarakat yang ada di desa tersebut, kemauan dan kesadaran masyarakat untuk saling membantu dalam mewujudkan pengelolaan sampah yang optimal, hingga kesediaan masyarakat untuk memberikan retribusi dalam pengelolaannya. Dari hasil observasi serta wawancara pada masyarakat Desa Tambaksumur yang telah dilakukan didapatkan informasi bahwa beberapa sampel dari warga Desa Tambaksumur sudah memiliki pengetahuan mengenai pengelolaan persampahan dengan pemilahan sampah sebanyak 79%. Akan tetapi, masih banyak juga masyarakat yang menilai bahwa pemilahan sampah menjadi tanggung jawab petugas sampah yang bertugas mengambil sampah dari rumah mereka. Pengambilan sampah oleh petugas di Desa Tambaksumur sudah dilaksanakan pada beberapa rumah saja. Hal tersebut dikarenakan tidak semua warga berkenan untuk diambil sampahnya dengan memberikan retribusi kepada TPST Desa Tambakrejo. Hal tersebut didasari oleh beberapa alasan, baik karena seringnya ada keterlambatan pengambilan sampah maupun retribusi yang terus mengalami kenaikan tiap tahunnya. Dari informasi yang dihimpun, keterlambatan pengambilan disebabkan oleh adanya *overload* kapasitas TPST Desa Tambakrejo yang menerima sampah dari Desa Tambakrejo dan Tambaksumur. Ini dapat menjadi perhatian bagi Pemerintah Desa Tambaksumur untuk segera mendirikan TPST sendiri untuk menampung timbunan sampah dari masyarakat.

Regulasi pengelolaan sampah

Tanggung jawab pemerintah daerah untuk menyediakan tempat pembuangan dan pengelolaan sampah secara mandiri telah tertuang dalam Peraturan Bupati (PERBUP) Kabupaten Sidoarjo Nomor 71 Tahun 2019 tentang Pengurangan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Rumah Tangga. Di dalam peraturan tersebut disebutkan bahwa pemerintah memiliki kewajiban untuk melakukan sosialisasi pengurangan sampah dalam menumbuhkembangkan kesadaran masyarakat terhadap pengurangan sampah, memfasilitasi masyarakat dengan Bank Sampah, TPS 3R, maupun TPST untuk mengurangi volume sampah yang diangkut ke TPA. Selain itu, masyarakat juga memiliki kewajiban untuk menyediakan wadah sampah mulai dari skala rumah tangga hingga fasilitas umum serta ikut serta dalam pengurangan dan pembatasan timbulan sampah. Pengurangan timbulan sampah dapat dilakukan dengan penggunaan kantong belanja, tempat minuman dan makanan *reuseable* (dapat digunakan berkali-kali), serta penjual mengurangi penggunaan kantong plastik sekali pakai dalam menjalankan proses jual beli.

Fasilitas dan teknologi pengelolaan sampah

Fasilitas yang tersedia bagi masyarakat Desa Tambaksumur dalam mengelola sampah meliputi wadah sampah berupa tempat sampah permanen dan non-permanen, bank sampah yang dikelola oleh organisasi keagamaan Desa Tambaksumur, serta pengangkutan sampah ke TPST Desa Tambakrejo. Kurangnya fasilitas dan teknologi pengelolaan sampah yang tidak memadai menjadi salah satu faktor yang menyebabkan masyarakat masih membuang sampah pada tempat yang tidak tepat bahkan melakukan pembakaran sampah pada ruang terbuka. Sehingga diperlukan fasilitas berupa teknologi pengelolaan sampah berbasis masyarakat maupun pembangunan TPS 3R atau TPST di Desa Tambaksumur.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa permasalahan persampahan di Desa Tambaksumur, Sidoarjo sangat kompleks dengan dominasi sampah organik sebesar 57,45% dan laju timbulan 0,191 kg/orang/hari. Meskipun 79% masyarakat sudah memahami pentingnya pemilahan sampah, praktiknya masih rendah, dan fasilitas pengelolaan seperti TPST tidak tersedia sehingga masyarakat bergantung pada TPS desa lain yang telah *overload* atau membakar sampah secara terbuka. Densitas sampah yang tinggi disebabkan oleh kadar air pada sampah organik. Pengelolaan yang buruk diperburuk oleh kurangnya infrastruktur dan pengetahuan masyarakat yang sebagian besar berpendidikan rendah.

Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan sinergi antara masyarakat dan pemerintah dengan memaksimalkan bank sampah yang ada, membangun TPST lokal, serta menerapkan teknologi pengelolaan sampah berbasis masyarakat. Regulasi pemerintah, seperti PERBUP Sidoarjo Nomor 71 Tahun 2019, harus diimplementasikan secara efektif untuk mengurangi timbulan sampah dan meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pengelolaan sampah yang berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriansyah, D. M., Puspitasari, R. P., Muhsoni, F. F., & Zainuri, M. (2023). Studi Timbulan Sampah dan Persepsi Masyarakat dalam Pengelolaan Sampah di Desa Wringinanom, Kecamatan Wringinanom, Gresik. *Environmental Pollution Journal*, 2(2), 399–408. <https://doi.org/10.58954/epj.v2i2.57>
- Danang Aji Kurniawan, D. A. K., & Ahmad Zaenal Santoso, A. Z. S. (2021). Pengelolaan Sampah di daerah Sepatan Kabupaten Tangerang. *ADI Pengabdian Kepada Masyarakat*, 1(1), 31–36. <https://doi.org/10.34306/adimas.v1i1.247>
- Hufford, L., West, D. C., Paterniti, D. A., & Pan, R. J. (2009). Community-based advocacy training: Applying asset-based community development in resident education. *Academic Medicine*, 84(6), 765–770. <https://doi.org/10.1097/ACM.0b013e3181a426c8>
- Khoiri, A., & Rudiansyah, E. (2019). HUBUNGAN ANTARA PENGETAHUAN PENGELOLAAN SAMPAH DENGAN PERILAKU PEDULI LINGKUNGAN (Studi Korelasional Pada Mahasiswa STKIP Melawi). *Jurnal Pendidikan Dasar*, 7(2), 91–97. <https://doi.org/10.46368/jpd.v7i2.164>
- Madyatmadja, E. D., Widjaja, S. A., Haryo Pangukir, J. P., Budiharjo, M., Rianky, R., & Heryanda, O. (2023). Data Visualisasi Tingkat Kenaikan Limbah Sampah Di Indonesia. *Infotech: Journal of Technology Information*, 9(2), 187–192. <https://doi.org/10.37365/jti.v9i2.200>
- Nguyen, M. K., Lin, C., Hoang, H. G., Sanderson, P., Dang, B. T., Bui, X. T., Nguyen, N. S. H., Vo, D. V. N., & Tran, H. T. (2022). Evaluate the role of biochar during the organic waste composting process: A critical review. *Chemosphere*, 299(May), 134488. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134488>
- Puryanti, W. T. (2021). *Hubungan Antara Tingkat Pendidikan Dengan Pengelolaan Sampah Rumah Tangga Di Kelurahan Kranji Kecamatan Purwokerto Timur Kabupaten Banyumas*. Universitas Jenderal Soedirman.
- Putra, A. (2021). *PERENCANAAN SISTEM PENGELOLAAN SAMPAH DI DESA NGEUNG, KECAMATAN KEDAMEAN, KABUPATEN GRESIK*. UIN Sunan Ampel Surabaya.
- Salsabella, A., Widiyanti, A., & Dani Santoso, M. R. (2023). Studi Pemilahan Sampah Domestik Di Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Tambakrejo Kecamatan Waru Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah*, 11(1), 001. <https://doi.org/10.26418/jtllb.v11i1.56528>
- Sekarsari, R. W., Halifah, N., Rahman, T. H., Farida, A. J., Kandi, M. I. A., Nurfadilla, E. A., & Fuadah, Z. (2020). Pemanfaatan Sampah Organik Untuk Pengolahan Kompos. *Jurnal Pembelajaran Pemberdayaan Masyarakat (JP2M)*, 1(3), 200–206.



Penyaringan Air Limbah Industri Kelapa Sawit Menggunakan Membran Berbasis Zeolit-Silika untuk Menurunkan Tingkat Kebutuhan Oksigen (BOD)¹

Industrial Palm Oil Wastewater Filtration Using Zeolite-Silica Based Membrane to Reduce Biochemical Oxygen Demand (BOD) Levels

Tika Kumala Sari^{a,2}

Program Studi Teknik Lingkungan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember,
Jl. Kalimantan No. 37, Jember, 68121, Indonesia

ABSTRAK

Industri kelapa sawit di Indonesia menghadapi tantangan dalam pengelolaan limbah cairnya yang memiliki kandungan BOD tinggi. Hal ini mengharuskan adanya proses pengolahan sebelum limbah tersebut dialirkan ke badan air. Salah satu solusi yang dapat ditetapkan adalah penggunaan teknologi membran berbahan anorganik, khususnya kombinasi zeolite dan silika. Pengolahan limbah menggunakan membran zeolite-silika ini dilakukan melalui reaktor dengan sistem aliran cross flow. Penelitian ini mengkaji penggunaan membran zeolite-silika dengan variasi konsentrasi silika sebesar 3%, 1,5%, dan 0,5% untuk mengolah limbah cair kelapa sawit. Tujuan utamanya adalah mengevaluasi efektivitas membran dalam menurunkan kadar BOD serta menawarkan alternatif pengolahan limbah menggunakan membran anorganik zeolite-silika. Pengujian dilaksanakan menggunakan reaktor cross flow dengan durasi 100 menit. Pengambilan permeate dilakukan setiap interval 20 menit. Analisis morfologi dan komposisi unsur membran, baik sebelum maupun sesudah proses filtrasi, dilakukan menggunakan *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM EDX). Hasil penelitian menunjukkan bahwa membran mencapai nilai fluks tertinggi sebesar 48,2 L/m².jam, sementara efisiensi penyisihan BOD terbaik diperoleh pada membran dengan penambahan silika 3% yang mampu menyisihkan BOD hingga 88%.

Kata kunci: BOD, membran, cross flow, limbah cair kelapa sawit, zeolit, silika

ABSTRACT

Liquid waste generated from the palm oil industry in Indonesia contains high BOD pollutants so it needs to be treated before the waste is discharged into water bodies. One of the liquid waste treatment techniques that can be used is using membran technology with inorganic materials such as zeolite and silica. Zeolite-silica membrane is used to treat palm oil liquid waste through a reactor with cross flow. In this study, the variables used include the addition of silica mass at 3%, 1.5%, and 0.5% proportion. The aim of this research is to determine the ability of zeolite-silica membranes to remove BOD content from palm oil wastewater. This study also aims to provide an alternative way for processing palm oil wastewater using inorganic zeolite-silica membrans. Testing on the cross flow reactor was conducted for 100 minutes, and permeate was taken every 20 minutes. The zeolite-silica membrane before and after the filtration process will undergo morphological analysis and elemental content assessment using *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM EDX). The research results show that the highest membrane flux value is 48.2 L/m².hour, while the highest BOD removal value is found in the membran with a 3% silica addition, in which BOD removal is 88.0%.

Keywords: BOD, membrane, cross flow, palm oil mill wastewater, zeolite, silica

¹Info Artikel: Diterima (*received*) 23 Agustus 2024. Disetujui (*accepted*) 29 Desember 2024. Diterbitkan (*published*) 31 Desember 2024.

²Email: tikakumalasari@unej.ac.id

PENDAHULUAN

Di Indonesia kelapa sawit telah menjadi salah satu komoditas utama yang memiliki nilai ekonomi tinggi di berbagai wilayah (Fadilah *et al.*, 2014). Perkembangan perkebunan kelapa sawit di Indonesia telah mencapai skala yang signifikan dengan keberadaannya di 24 provinsi. Pertumbuhan area perkebunan menunjukkan tren positif yang konsisten setiap tahunnya. Berdasarkan data tahun 2019, total lahan yang dimanfaatkan untuk perkebunan kelapa sawit mencapai 14.724.600 hektar, dengan porsi perkebunan rakyat yang cukup substansial yaitu sebesar 6.035.700 hektar (BPS, 2020). Industri kelapa sawit memberikan dampak ganda bagi lingkungan dan perekonomian. Di satu sisi, peningkatan produksi kelapa sawit berkontribusi positif terhadap pertumbuhan ekonomi. Namun di sisi lain, proses produksi ini menghasilkan limbah yang berpotensi mencemari lingkungan jika tidak ditangani dengan tepat. Dalam proses produksinya, industri kelapa sawit menghasilkan dua kategori limbah utama. Kategori pertama adalah limbah padat yang terdiri dari material seperti sabut, cangkang, dan janjang kosong. Kategori kedua adalah limbah cair yang berasal dari proses produksi, termasuk kondensat dari proses perebusan dan larutan kalsium karbonat (Melisa dan Apriyanto, 2020). Data konsumsi minyak sawit global menunjukkan tren yang signifikan. Menurut Oil World, selama periode 2003-2007, minyak sawit menyumbang 21,5% dari total konsumsi minyak nabati dunia. Indonesia mempertahankan posisinya sebagai produsen CPO terbesar di dunia dengan capaian produksi 21,8 juta ton pada tahun 2010. Dalam proses pengolahan kelapa sawit, terdapat rasio limbah yang perlu diperhatikan. Dari setiap ton TBS yang diproses, sekitar 50% berupa limbah cair, sementara 23% merupakan tandan kosong. Secara spesifik, pengolahan satu ton TBS menghasilkan 600-700 kg limbah cair. Konsekuensinya, peningkatan produksi CPO berbanding lurus dengan peningkatan volume limbah yang dihasilkan.

POME (*Palm Oil Mill Effluent*), yang merupakan limbah cair dari pengolahan kelapa sawit, memiliki karakteristik yang khas. Cairan ini berwarna kecokelatan dengan komposisi yang terdiri dari 95% air, 4-5% material terlarut dan tersuspensi, serta 0,5-1% residu minyak dalam bentuk emulsi. POME mengandung padatan terlarut dan tersuspensi dalam bentuk koloid dengan kadar COD yang tinggi. Sifat keasamannya ditunjukkan oleh pH yang rendah, berkisar antara 3,5 hingga 4. Selain itu, POME juga dicirikan dengan kandungan Total Suspended Solids (TSS) yang signifikan, mencapai 1.330 hingga 50.700 mg/L (Ahmad *et al.*, 2011). Selain karakteristik zat organik yang sangat tinggi, limbah cair kelapa sawit juga mengandung zat besi (Fe) sebesar 6,5 mg/L, seng (Zn) sebesar 2,3 mg/L dan amoniak 35 mg/L (Ma, 2000). Kadar *Chemical Oxygen Demand* (COD) pada limbah cair kelapa sawit berkisar 40.000-80.000 mg/L, *Biochemical Oxygen Demand* (BOD) sekitar 20.000-30.000 mg/L, TSS (4-5%), minyak dan lemak (0,6-0,7%) serta pH 3,5-4. Hal ini menunjukkan bahwa limbah cair kelapa sawit perlu diolah sebelum dibuang ke badan air agar tidak terjadi pencemaran yang mengakibatkan turunnya kualitas perairan (Ilmannafian *et al.*, 2020).

Pengolahan limbah cair kelapa sawit pada umumnya menggunakan teknologi konvensional yang dibagi terdiri atas proses aerobik digester, anaerobik digester dan metode fisik kimia. Namun, sistem pengolahan biologi mempunyai beberapa kelemahan di antaranya membutuhkan perawatan yang tepat, pemantauan secara terus menerus, tenaga kerja yang banyak dan biaya yang cukup tinggi dan penggunaan lahan yang cukup luas (Azmi dan Yunos, 2014).

Teknologi pengolahan air limbah dengan menggunakan membran merupakan salah satu teknologi yang cukup meyakinkan dan berkembang dengan cepat. Penggunaan teknologi membran saat ini sudah semakin luas digunakan dan biasanya digunakan untuk mengolah limbah yang berminyak seperti limbah cair kelapa sawit (Aryanti *et al.*, 2013). Namun, teknologi membran memiliki kelebihan dan kekurangan jika dibandingkan dengan teknologi pengolahan lain. Kekurangan dari teknologi membran yaitu dari bahan dan modul membran yang mahal. Karena itu, diperlukan alternatif teknologi pembuatan membran dengan bahan baku murah (Afifah dan Damayanti, 2016). Pengolahan air limbah menggunakan zeolit alam telah banyak dilakukan. Sifat zeolit yang unik seperti kemampuan pertukaran ion, adsorpsi, porositas tinggi, dan tahan terhadap panas membuat zeolit alam cocok untuk diaplikasikan untuk pengolahan air bersih maupun air limbah (Margeta *et al.*, 2013).

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan alternatif pengolahan limbah cair kelapa sawit dengan memanfaatkan bahan alam zeolit dan silika sebagai bahan pembuatan filtrasi. Alternatif pengolahan dengan membran filtrasi zeolit silika diharapkan dapat menyisihkan polutan BOD yang terkandung dalam limbah cair kelapa sawit.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dimulai dengan proses pengolahan membran zeolite-silika menggunakan ball milling hingga mencapai ukuran 200 mesh. Membran tersebut kemudian melalui proses aktivasi menggunakan larutan HCl dengan durasi 24 jam untuk mengeliminasi kontaminan pengotor. Setelah dicuci, zeolit-silika dikeringkan dalam oven untuk menghilangkan kandungan air. Selanjutnya dilakukan penimbangan zeolit-silika dengan tiga variasi penambahan massa silika 3%, 15% dan 0,5% dari berat total zeolit. Masing-masing variasi tersebut dicampurkan dengan 35 mL 2-Propanol. Campuran tersebut kemudian dipindahkan ke dalam botol sentrifuge untuk proses sentrifugasi pada kecepatan 600 rpm. Endapan yang terbentuk dari proses sentrifugasi dikumpulkan dan dipindahkan ke dalam erlenmeyer. Tahap berikutnya adalah penambahan 3,5 gram NH₄Cl dan aquadest ke dalam endapan yang dilanjutkan dengan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* selama 1 jam.

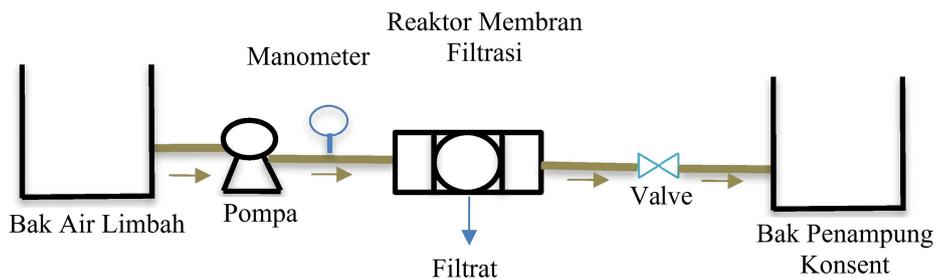
Proses selanjutnya adalah mencampurkan campuran zeolite-silika yang telah dengan PVA (*Poly Vinil Alcohol*) dan PEG (*Poly Ethylen Glicol*). Campuran zeolit-silika kemudian dipanaskan bersama sampai semua bahan larut dan mengental. Larutan yang mengental dicetak ke dalam cawan petri dengan ukuran diameter 4 cm dengan tebal yang sama. Membran yang telah dicetak diangin-anginkan selama 30 jam. Selanjutnya, membran dioven pada suhu 70°C untuk menghilangkan kadar air. Proses penambahan PVA bertujuan untuk merekatkan zeolit sehingga membran yang terbentuk padat. Adapun penambahan PEG digunakan untuk memperbesar pori membran dan menjaga ketahanan membran terhadap faktor eksternal (Rosnelly, 2012). Membran yang selesai dicetak ditunggu sampai kering sampai terlepas dari cetakan.

Tahap selanjutnya yaitu pengujian kinerja membran menggunakan reaktor *cross flow* untuk menganalisis kadar BOD pada berbagai jenis membran yang digunakan. Pengujian reaktor dilaksanakan dengan durasi total 100 menit. Pengambilan sampel dilakukan secara berkala setiap interval 20 menit. Sistem reaktor yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari

beberapa komponen utama, meliputi pompa booster, wadah penampungan limbah, sistem perpipaan, katup pengatur aliran, serta alat pengukur tekanan. Reaktor dan skema aliran cross flow yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.



Gambar 1. Reaktor *Cross Flow*



Gambar 2. Skema Reaktor *Cross Flow*

Pompa

Spesifikasi pompa yang digunakan untuk pengujian membran pada reaktor cross flow adalah sebagai berikut.

Jenis pompa	: Booster pump
Voltase	: 220 – 240 Volt
Arus	: 0,22 ampere
Debit	: 0,31 gpm (galon per menit)

Analisis sampel

Analisis sampel limbah cair kelapa sawit dilakukan sebelum dan sesudah proses filtrasi dengan membran zeolit-silika. Sampel dianalisis nilai BOD-nya. Pengujian BOD mengacu pada SNI 6989.72-2009 mengenai prosedur pengujian kadar BOD menggunakan metode Titrasi Winkler.

Permeabilitas membran

Nilai fluks menunjukkan permeabilitas dari membran. Perhitungan nilai fluks membran menggunakan Persamaan 1.

$$J = \frac{V}{A \times t} \quad (1)$$

dengan :

- J = Fluks (L/m².jam)
- V = volume *permeate* (L)
- A = Luas permukaan membran (m²)
- t = Waktu (jam)

Permselektivitas atau Nilai Rejeksi

Permselektivitas adalah kemampuan membran untuk menahan atau melewatkan suatu spesi tertentu ini diukur dengan rejeksi (R) yang dapat ditulis :

$$R = 1 - \frac{C_p}{C_f} \times 100 \% \quad (2)$$

dengan:

- R = nilai rejeksi (%)
- C_p = konsentrasi zat terlarut dalam *permeate* (mg/L)
- C_f = konsentrasi zat terlarut dalam umpan (mg/L)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini sampel limbah cair dari industri kelapa sawit diambil dari PT. Riset Perkebunan Nusantara menggunakan wadah jerigen berkapasitas 25 liter. Sampel tersebut memiliki karakteristik fisik warna coklat dan berbau asam. Untuk mengevaluasi efektivitas variasi membran, dilakukan pengujian karakteristik nilai BOD awal pada limbah tersebut. Pengukuran BOD dilaksanakan menggunakan metode Titrasi Winkler. Prosedur ini melibatkan pengamatan terhadap penurunan kadar oksigen terlarut dalam sampel yang disimpan dalam botol kedap udara. Sampel air diinkubasi pada suhu 20°C selama periode 5 hari. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi BOD awal dalam limbah cair kelapa sawit mencapai 14.497 mg/L.

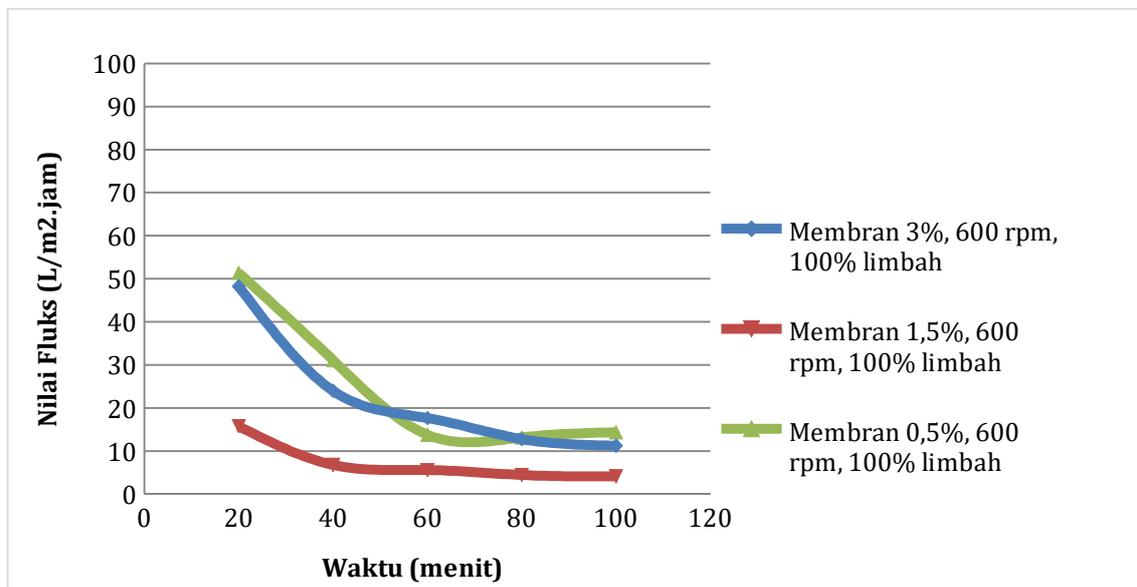
Pengaruh penambahan massa silika terhadap nilai fluks

Pada proses pengoperasian membran, nilai fluks merupakan indikator utama untuk mengevaluasi efektivitas kinerja membran tersebut. Fluks mengindikasikan volume *permeate* yang dapat menembus membran per satuan luas permukaan dalam interval waktu tertentu. Proses ini dipengaruhi oleh gaya dorong tekanan. Perhitungan luas permukaan membran yang efektif dilakukan pengukuran pada area membran yang berbentuk lingkaran tempat air limbah mengalir. Pada penelitian ini Smembran yang digunakan memiliki

diameter efektif sebesar 4 cm. Hasil perhitungan nilai fluks membran ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 3.

Tabel 1. Nilai Fluks Membran

Waktu pengambilan permeate (menit)	Variasi penambahan massa silika pada membran	Volume permeate (mL)	Nilai Fluks (L/m ² .jam)
20	3%	20,2	48,2
40		10,0	24,0
60		7,4	17,6
80		5,3	12,8
100		4,7	11,2
20	1,5%	15,8	37,6
40		6,8	16,1
60		5,6	13,3
80		4,4	10,5
100		4,1	9,8
20	0,5%	21,5	51,4
40		13,0	31,1
60		5,8	13,7
80		5,5	13,1
100		5,0	14,3



Gambar 3. Pengaruh Penambahan massa silika terhadap nilai fluks pada konsentrasi limbah 100%

Berdasarkan data pada Tabel 1, nilai fluks membran pada variasi membran 3%, 1,5% dan 0,5% menunjukkan terjadinya penurunan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja tertinggi membran yang diperoleh pada variasi dengan penambahan silika 3% yang mencapai fluks maksimal 48,2 L/m².jam pada menit ke-20. Pengamatan menunjukkan pola nilai fluks yang mencapai puncak pada menit ke-20 dan mengalami penurunan berkelanjutan hingga menit ke-100. Penurunan nilai fluks ini dapat dikaitkan dengan durasi

pengoperasian membran. Konsentrasi tinggi pada air umpan berkontribusi pada pembentukan fouling yang lebih cepat di permukaan membran yang kemudian mengakibatkan penurunan nilai fluks. Pada tahap awal operasi, permukaan membran masih bersih dari deposit partikel, sehingga memungkinkan nilai fluks yang tinggi. Namun seiringnya berjalannya waktu, akumulasi polutan pada permukaan membran menyebabkan penyempitan pori-pori yang berakibat pada penurunan nilai fluks secara progresif. Hal ini juga didukung penelitian Sutrisna (2010) yang menyebutkan nilai fluks membran akan cenderung semakin menurun seiring dengan lamanya waktu pengoperasian membran. Hasil penelitian Afifah dan Damayanti (2016) menyebutkan kecenderungan penurunan nilai fluks seiring bertambahnya waktu operasi. Hal ini dapat dijelaskan melalui konsep fouling membran yaitu perubahan karakteristik membran akibat interaksi fisik dan/atau kimia spesifik antara membran dengan komponen dalam aliran proses. Seiring bertambahnya waktu operasi membran kompaksi pori membran mulai terjadi disebabkan oleh tekanan yang diberikan kepada membran. Kompaksi menyebabkan mengecilnya ukuran pori membran sehingga jumlah *permeate* yang dihasilkan menurun. Selain itu adanya zat terlarut yang berdifusi ke permukaan membran akan membentuk suatu lapisan filter di permukaan membran. Lapisan tersebut juga akan berakibat pada menurunnya jumlah *permeate* sehingga nilai fluks juga semakin kecil.

Pengaruh Penambahan Massa Silika Terhadap Penyisihan BOD

Nilai rejeksi penyisihan BOD menggambarkan kemampuan membran zeolite-silika untuk menapis kandungan BOD yang terdapat pada air limbah. Nilai rejeksi atau dapat disebut juga nilai permselektivitas. Apabila suatu membran memiliki nilai rejeksi 100%, maka membran tersebut mempunyai nilai rejeksi sempurna yang menunjukkan kualitas *permeate* yang dihasilkan. Nilai rejeksi atau permselektivitas adalah salah satu parameter untuk menunjukkan kinerja membran. Pengaruh penambahan massa silika terhadap penyisihan BOD ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Penyisihan BOD pada Variasi Penambahan Massa Silika

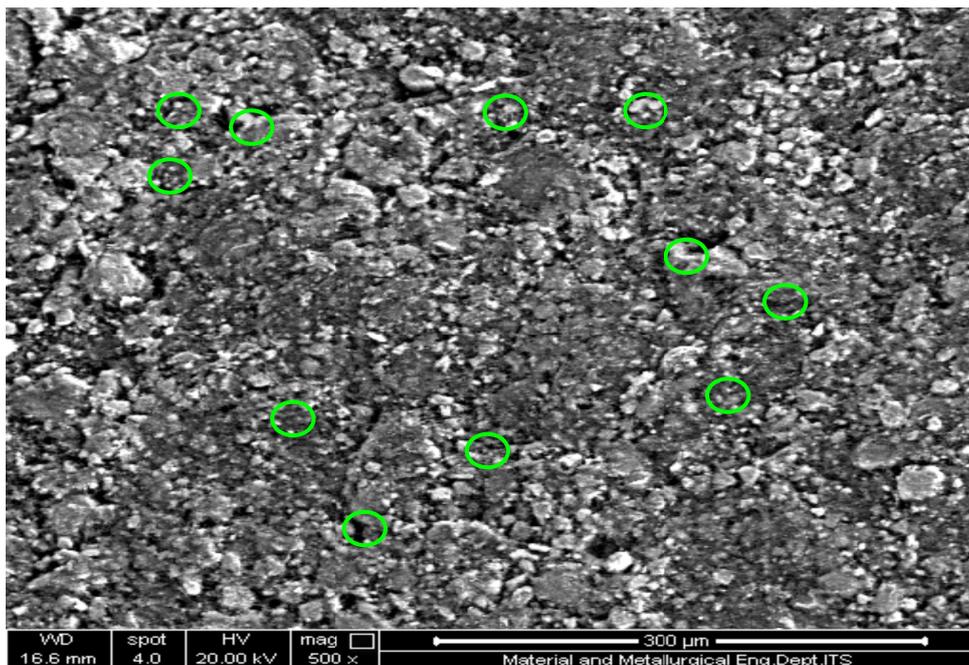
No.	Waktu (menit)	Variasi Membran			Penyisihan BOD (%)
		3%	1,5%	0,5%	
2.	20	67,8	64,5	64,3	67,8
3.	40	78,2	80,2	73,3	78,2
4.	60	80,3	84,3	77,6	80,3
5.	80	85,5	84,4	79,9	85,5
6.	100	88,0	86,5	81,6	86,5

Pada penelitian ini, nilai BOD dianalisis setiap 20 menit selama 5 kali untuk mengetahui nilai rejeksi membran zeolite-silika pada setiap variasi membran. Berdasarkan dari hasil penelitian, Penambahan masa silika 0,5% memberikan penyisihan BOD yang paling kecil yaitu sebesar 81,6%, pada penambahan masa silika 3% penyisihan BOD terbesar yaitu 88,0% sedangkan pada penambahan masa silika 1,5% penyisihan BOD terbesar yaitu 86,5%. Menurut penelitian Susetyaningsih *et al.*, (2010), peningkatan massa pasir silika yang ditambahkan berbanding lurus dengan peningkatan efisiensi penyerapan polutan

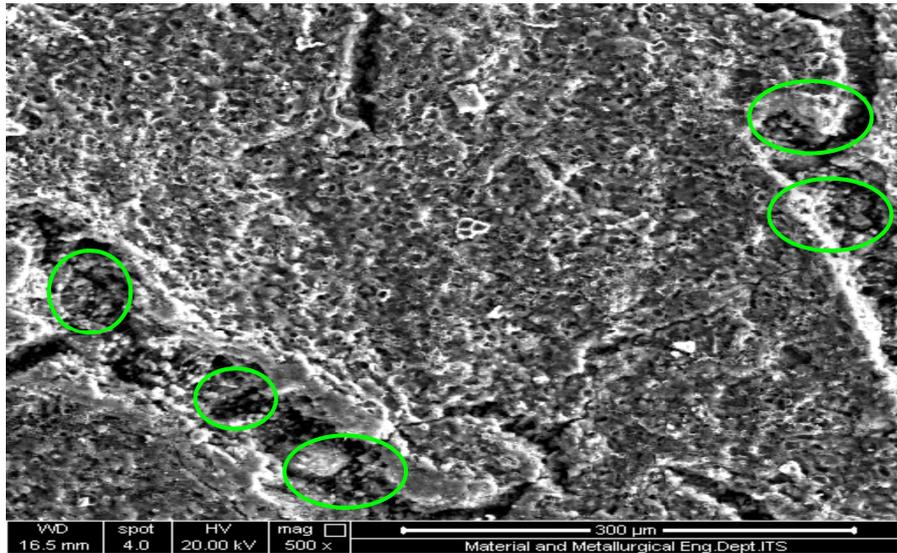
dalam limbah cair. Pasir silika berperan penting dalam mencegah terjadinya aglomerasi atau penggumpalan. Kondisi ini mengakibatkan partikel zeolit dapat bekerja lebih optimal dalam proses penyaringan polutan karena terciptanya jarak yang memadai antar partikel zeolit. Sedangkan menurut Azmi *et al.*, (2013), kenaikan persen penyisihan BOD karena adanya polutan pada air limbah yang tidak bisa melewati membran namun terjebak pada pori-pori membran. Oleh karena itu pori – pori membran diblokir oleh partikel yang terdapat pada air limbah dan menyebabkan polarisasi konsentrasi. Polarisasi konsentrasi mengacu pada kondisi dimana terjadi akumulasi partikel dengan konsentrasi yang lebih tinggi di area dekat permukaan membran dibandingkan dengan konsentrasi partikel pada aliran.

Analisis Morfologi Membran

Analisis morfologi membran dilakukan untuk mengetahui komposisi unsur yang terkandung dalam membran. Analisis morfologi membran menggunakan alat *Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy* (SEM EDX). Analisis ini dilakukan sebelum dan sesudah membran digunakan untuk proses filtrasi air limbah. Hasil analisis SEM ditunjukkan pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.



Gambar 4 Morfologi Membran Sebelum Filtrasi



Gambar 5 Morfologi Membran Setelah Filtrasi

Berdasarkan Gambar 4 dan Gambar 5, hasil analisis morfologi menunjukkan adanya perubahan morfologi membran. Morfologi membran menunjukkan perbedaan antara membran sebelum dan sesudah dilakukan proses filtrasi. Pada Gambar 4 awalnya membran terlihat memiliki banyak pori sedangkan setelah digunakan untuk proses filtrasi pori yang terlihat semakin sedikit. Pada hasil foto SEM membran setelah digunakan (Gambar 5) terlihat adanya padatan pada permukaan membran. Padatan tersebut terbentuk karena polutan pada air limbah yang tertahan pada permukaan membran.

Analisis EDAX (Energy Dispersive Analysis X-Ray) juga dilakukan untuk mengetahui komponen unsur yang terdapat pada membran sehingga mengetahui perbedaan komposisi unsur pada membran sebelum dan sesudah digunakan untuk proses filtrasi. Komponen C, O, N Al dan Si merupakan komponen utama penyusun membran yaitu zeolit dan silika. Komponen C, N, O, Al dan Si mengalami peningkatan dan penurunan pada membran yang telah digunakan untuk proses filtrasi. Selain unsur utama juga terdapat unsur tambahan pada membran setelah proses filtrasi seperti Mg, S, P dan Ca. Adanya penambahan unsur – unsur tersebut dapat berasal polutan air limbah yang tertahan pada membran. Hal ini didukung juga oleh penelitian Rupani *et al.* (2010) yang menyebutkan bahwa limbah cair kelapa sawit mengandung sejumlah unsur N, P, K, Mg dan Ca.

Tabel 3. Komposisi dan konsentrasi unsur membran sebelum dan sesudah filtrasi

Unsur	Konsentrasi sebelum filtrasi	Konsentrasi setelah filtrasi
	wt%	wt%
C	44,12	46,83
N	0,66	6,47
O	34,84	34,53
Al	1,97	1,37
Si	12,98	3,67
Cl	1,63	0,15
Fe	0,38	1,137
Mg	0	0,53
P	0	1,82
S	0	0,58
Ca	0	0,39

KESIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah didapatkan dapat ditarik beberapa kesimpulan. Nilai fluks membran tertinggi yaitu 48,2 L/m².jam pada variasi membran dengan penambahan massa silika 3%. Formulasi membran dengan penambahan massa silika 3% massa zeolite memiliki nilai rejeksi terbesar untuk mengolah kandungan BOD pada limbah cair kelapa sawit sebesar 88,0%. Hasil analisis morfologi dan kandungan unsur menggunakan SEM EDAX pada membran sebelum dan sesudah proses filtrasi menunjukkan adanya perubahan pada ukuran pori membran dan penambahan kandungan unsur pada membran zeolite-silika.

DAFTAR PUSTAKA

- Afifah, A.S dan Damayanti, A. (2016). Filtrasi Limba Laundry dengan Membran Zeolit-Silika untuk Menurunkan COD. *Jurnal Purifikasi*, Vol. 16, No. 2.
- Ahmad, A., Bahruddin., Rahmi, A. (2011). Penyisihan Kandungan Padatan Limbah Cair Kelapa Sawit Dengan Bioreaktor Hibrid Anaerob Bermedia Cangkang Sawit. Yogyakarta. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan. Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia
- Azmi, N.S dan Yunos, K.F. Md. 2014. Wastewater Treatment of Palm Oil Mill Effluent (POME) by Ultrafiltration membran Separation Technique Coupled with Adsorption treatment as Pre-treatment. *Agriculture and Agricultural Science Procedia* 2, 257-264
- Azmi, N, S., Yunos, K,F,Md., Baharuddin,A,S., Dom, Z, Md. 2013. The Effect of Operating Parameters on Ultrafiltration and reverse Osmosis of Palm Oil Mill Effluent for Reclamation and reuse of Water. *Bioresources* 8 (1), 76-87.
- Aryanti, N., Prihatiningtyas, I., Ikhsan, D., Wardhani, D.H. (2013). Kinerja Membran Ultrafiltrasi untuk Pengolahan Limbah Emulsi Minyak-Air Sintetis. *Reaktor* 14(4), 277-283

- BPS. 2020. Statistik Indonesia - Statistical Yearbook of Indonesia. (2020). Jakarta: Badan Pusat Statistik
- Fadilah, N.U., Sunarsih, E., & Faisya, H.A.F. (2014). Analisis Pelaksanaan Prinsip Produksi Bersih dalam Pengelolaan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit PT. Hindoli Cargill Tropical Palm, PTE, LTD Sungai Lilin Tahun 2012. *Jurnal Ilmu Kesehatan Masyarakat* Vol. 5 No. 1.
- Ilmannafian, A. G., Lestari, E., & Khairunisa, F. (2020). Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit Dengan Metode Filtrasi Dan Fitoremediasi Menggunakan Tanaman Eceng Gondok (*Eichhornia Crassipes*). *J. Teknologi Lingkungan*, 21(2): 244–253.
- Ma, A. N. (2000). Environmental Management for the Oil Palm industri. *Palm Oil Development* 30, 1-10
- Margeta, K., Logar, N.Z., Siljeg, M dan Farkas, A. (2013). Natural Zeolites in Water Treatment – How Effective is Their Use. *INTECH*.
- Melisa dan Apriyanto. (2020). Pengolahan Limbah Cair Pabrik Kelapa Sawit (Studi Kasus pada PT. Tri Bakti Sarimas PKS 2 Ibul, Riau). *Jurnal Teknologi Pertanian*, 9(2), 86-93.
- Rosnelly, C. M. (2012). Pengaruh Rasio Aditif Polietilen Glikol terhadap Selulosa Asetat pada Pembuatan Membran Selulosa Asetat secara Inversi Fasa, *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan* 9(1), 25-29.
- Rupani, P. F., Sigh, R. P., Ibrahim, M. H., and dan Esa, N. (2010). Review of current palm oil mill effluent (POME) treatment methods: Vermicomposting as a sustainable practice. *World Appl. Sci. J.*, 11: 70-81.
- Sutrisna, P.D. (2010). Pemisahan Emulsi Minyak dalam Air dengan Membran Berslot Mode Operasi Dead End. Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan”. ISSN 1693-439. Yogyakarta, 26 Januari 2010.
- Susetyaningsih, R., Kismolo, E., Nurimaniwathy. (2010). Reduksi Limbah B3 Cair Menggunakan Zeolit dan Pasir Silika. Seminar Nasional IV. SDM Teknologi Nuklir, Yogyakarta, 18 November 2010.



Peran Persepsi Kendali Perilaku terhadap Kesiediaan Masyarakat dalam Pengelolaan Sampah Kemasan Belanja Daring¹

The Role of Perceived Behavioral Control on Citizen's Willingness in Online Shopping Packaging Waste Management

Intan Har Aselna^{a,2}

^a Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

ABSTRAK

Permasalahan *overpackaging* dan peningkatan pembelian secara daring selama beberapa tahun terakhir menyebabkan kekhawatiran akan bahaya polusi yang dibawa oleh kemasan belanja daring. Terlebih penggunaan bahan kemasan yang tahan degradasi dapat membahayakan kesehatan pengguna, mencemari tanah, mengancam kehidupan hewan laut serta menghambat kelestarian lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh persepsi kendali perilaku terhadap kesiediaan masyarakat Kota Yogyakarta dalam pengelolaan sampah kemasan. Pengumpulan data primer dilakukan dengan pengisian kuesioner secara daring. Data yang dikumpulkan meliputi perkiraan peningkatan produksi sampah kemasan dan kesiediaan partisipasi yang diukur melalui model *Theory of Planned Behaviour* (TPB). Hasil kuesioner kemudian dianalisis menggunakan metode *Partial Least Square-Structural Equation Modeling* (PLS-SEM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa persepsi kendali perilaku berpengaruh positif dan signifikan sebesar 0,379 (37,9%) terhadap kesiediaan masyarakat dalam pengelolaan sampah kemasan. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi kepada pemerintah maupun pembuat kebijakan untuk mempertimbangkan faktor persepsi kendali perilaku dalam merancang program dan fasilitas untuk meningkatkan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah secara mandiri.

Kata kunci: persepsi kendali perilaku, sampah kemasan, pengelolaan sampah

ABSTRACT

The problem of *overpackaging* and the increase in online purchases over the past few years have led to concerns about the pollution hazards brought by online shopping packaging. Moreover, the use of degradation-resistant packaging materials can endanger the health of users, pollute the soil, threaten marine animal life and prevent environmental sustainability. This study aims to analyze the effect of perceived behavioral control on the willingness of Yogyakarta City residents to manage packaging waste. Primary data collection was conducted by filling out an online questionnaire. The data collected includes estimates of the increase in packaging waste production and willingness to participate measured through the Theory of Planned Behaviour (TPB) model. The questionnaire results were then analyzed using the Partial Least Square-Structural Equation Modeling (PLS-SEM) method. The results showed that perceived behavioral control has a positive and significant effect of 0.379 (37.9%) on citizen's willingness to manage packaging waste. The results of this study are expected to provide recommendations for government and policy makers to consider the perceived behavioral control factor in designing programs and facilities to increase community participation in independent waste management.

Keywords: perceived behavioral control, packaging waste, waste management

¹ Info Artikel: Diterima (*received*) 23 Agustus 2024. Disetujui (*accepted*) 29 Desember 2024. Diterbitkan (*published*) 31 Desember 2024.

² Email: aselnaintan@unej.ac.id

PENDAHULUAN

Kemajuan di bidang teknologi komunikasi, dan meningkatnya penggunaan aplikasi *e-commerce* telah memberikan kemudahan bagi konsumen untuk berbelanja secara *daring*. Melalui belanja *daring*, konsumen dapat menghemat waktu, tenaga, dan biaya transportasi yang biasanya dikeluarkan untuk berbelanja langsung di toko (Chen dan Yan, 2020). Namun, belanja *daring* juga menghasilkan limbah yang berupa kemasan tambahan dalam bentuk kotak kardus, kertas pembungkus, dan plastik sekali pakai, yang dibuat dengan tujuan untuk menjaga kebersihan serta melindungi produk dari kerusakan selama proses pengiriman berlangsung (Wang dan Hu, 2016). Tidak sedikit pedagang yang mengemas pakatnya secara berlebihan, misalnya dengan menggunakan plastik dan *bubble wrap* secara berlapis-lapis, atau menggunakan kardus dengan ukuran yang jauh lebih besar dari barang yang dibeli. Hal ini kemudian dapat menyebabkan *overpackaging*. Permasalahan *overpackaging* mengakibatkan limbah dari kemasan belanja *daring* menjadi ancaman bagi lingkungan (Yeonsu dkk., 2022).

Pengurangan sampah kemasan dari kegiatan belanja *daring* memerlukan peran aktif masyarakat khususnya konsumen. Dalam menganalisis kesediaan masyarakat terhadap pengelolaan sampah, dibutuhkan teori yang mampu menggambarkan konstruksi yang membangun sebuah perilaku. Salah satu teori untuk mengkaji perilaku seseorang dalam pengelolaan sampah adalah *Theory of Planned Behaviour* (TPB). TPB didasarkan pada asumsi bahwa beberapa penalaran sadar manusia terlibat dalam pembentukan niat untuk melakukan perilaku tertentu.

Pada dasarnya, niat dan kesediaan seseorang untuk melakukan sesuatu dapat diprediksi oleh beberapa faktor spesifik, salah satunya adalah persepsi kendali perilaku (*perceived behaviour control*). Teori ini digunakan secara luas untuk mengkaji berbagai perilaku manusia, seperti perilaku daur ulang sampah (Wang dkk., 2021), dan perilaku berbelanja *daring* (Sutisna dan Handra, 2022). Selain itu, beberapa penelitian terkait penerapan TPB pada perilaku pengelolaan sampah dilakukan dalam konteks yang berbeda. Misalnya, Chang dan Chou (2018) menemukan bahwa persepsi kendali perilaku merupakan prediktor signifikan yang mempengaruhi perilaku pengurangan sampah rumah tangga di Taiwan. Persepsi kendali perilaku merujuk pada persepsi individu tentang kemampuannya untuk melakukan perilaku tertentu yang dipengaruhi oleh pengalaman masa lalu sehingga membentuk ekspektasi mengenai sejauh mana perilaku tersebut dapat dilakukan dengan mudah atau sulit, serta potensi hambatan atau tantangan yang mungkin dihadapi dalam melaksanakan perilaku tertentu. Berdasarkan uraian tersebut, dalam studi ini dilakukan kajian lebih dalam mengenai faktor yang mempengaruhi kesediaan masyarakat dalam melakukan pengelolaan sampah kemasan belanja *daring*. Penelitian ini menggunakan faktor persepsi kendali perilaku dari *Theory of Planned Behaviour* (TPB) (Ajzen, 1991) dengan objek penelitian adalah konsumen yang berdomisili di Kota Yogyakarta untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kesediaan dan perilaku masyarakat dalam berpartisipasi melakukan pengelolaan sampah kemasan.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan sumber data primer. Tahapan penelitian terdiri dari studi literatur, pengumpulan data primer dan sekunder, pengolahan data dan analisis. Hipotesis penelitian diuji dengan mengumpulkan dan menganalisis

tanggapan masyarakat terhadap survei melalui kuesioner terstruktur dan sesuai dengan prosedur pengukuran yang ditetapkan pada literatur.

Desain penelitian

Subjek dalam penelitian ini adalah masyarakat Kota Yogyakarta dengan kriteria berusia 18-54 tahun, dan pernah melakukan pembelian online melalui *e-commerce* dalam kurun waktu 5 tahun terakhir. Sampel diambil dari populasi menggunakan metode *Cluster Random Sampling* yaitu pengambilan anggota sampel dari populasi secara acak dengan memperhatikan klaster yang ada dalam populasi. Pengumpulan data primer dilakukan dengan menyebarkan kuesioner daring berbentuk *Google Form*. Penentuan jumlah sampel diperoleh menggunakan rumus Slovin dengan jumlah responden dalam penelitian adalah 111 responden.

Pengukuran pengaruh persepsi kendali perilaku terhadap kesediaan pengelolaan sampah diukur menggunakan skala likert lima poin yaitu antara 1 sampai dengan 5. Nilai 1 digunakan untuk menyatakan *sangat tidak setuju* dan 5 untuk menyatakan *sangat setuju*. Item pertanyaan dalam kuesioner ini dikembangkan dari penelitian Wang dkk. (2021), Kumar (2019), Astuti dan Linarti (2020), Cao dan Liu (2019), serta Wicaksono dkk. (2020). Untuk menguji tingkat validitas dan reliabilitas instrumen, kuesioner telah melalui tahap uji coba kepada 30 responden menggunakan perangkat lunak SmartPLS. Beberapa pertanyaan yang tidak valid dihapus atau diubah struktur kata-katanya, dan menunjukkan bahwa agregasi validitas model pengukuran telah baik.

Persepsi kendali perilaku secara signifikan mempengaruhi kesediaan partisipasi konsumen muda (Wang dkk., 2021). Variabel ini menjelaskan kemudahan atau kesulitan yang muncul dalam menampilkan perilaku yang merefleksikan pengalaman masa lalu serta halangan dan rintangan yang diantisipasi. Berdasarkan hal tersebut, hipotesis pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

H0: Variabel persepsi kendali perilaku *tidak berpengaruh* secara signifikan terhadap kesediaan masyarakat untuk berpartisipasi dalam pengelolaan sampah

H1: Variabel persepsi kendali perilaku berpengaruh secara signifikan terhadap kesediaan masyarakat untuk berpartisipasi dalam pengelolaan sampah

Metode analisis data

Analisis data dilakukan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak SmartPLS dengan langkah pertama melakukan uji validitas pada SmartPLS menggunakan metode *Convergent Validity* dalam bentuk *Outer Loadings* dan *Average Variance Extranced* (AVE), serta *Discriminant Validity* dalam bentuk *Fornell-Larker Criterion* atau HTMT dan *Cross Loading*. Nilai *loading* menyatakan kelayakan suatu indikator dengan nilai minimal 0,5 dan nilai *convergent validity* untuk AVE juga bernilai minimal 0,5 (Hair dkk., 2018).

Uji reliabilitas dilakukan dengan mengukur *Composite Reliability* dan *Cronbach's Alpha* dengan nilai kelayakan masing-masing lebih dari 0,70 (Hair dkk., 2018). Hubungan antar variabel dilihat dari evaluasi model struktural yang di dalamnya nilai korelasi diturunkan dari persamaan regresi (Hair dkk., 2018), meliputi nilai *R-Square*, koefisien jalur dan nilai *p* (*p-value*) untuk menentukan signifikan atau tidaknya hubungan tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan data dilakukan selama kurang lebih 3 bulan dalam rentang waktu bulan Agustus sampai dengan Oktober tahun 2023. Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak SmartPLS versi 3 (Ringle dkk., 2015), yang mencakup 24 item pertanyaan. Penyebaran kuesioner penelitian dilakukan pada responden yang sesuai dengan kriteria dan berada di wilayah Kota Yogyakarta. Sebaran karakteristik responden penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Karakteristik responden penelitian

Karakteristik Demografi	Deskripsi	Frekuensi (orang)	Persentase
Jenis Kelamin	Pria	22	19,80%
	Wanita	89	80,20%
Usia	18-24 tahun	56	50,50%
	25-34 tahun	43	38,70%
	35-44 tahun	7	6,30%
	45-54 tahun	5	4,50%
Tingkat Pendidikan Terakhir	SMA/Sederajat	31	27,90%
	S1	78	70,30%
	S2	2	1,80%
Pendapatan per Bulan	< Rp 2,1 juta	60	54,10%
	> Rp 2,1 juta	51	45,90%

Berdasarkan Tabel 1, distribusi responden berdasarkan jenis kelamin terdiri dari lebih banyak responden wanita sebesar 80,2% dibandingkan reponden pria sebesar 19,8% sehingga dalam penelitian diketahui bahwa sampel tersebut kemungkinan tidak mewakili pria pada umumnya, namun lebih valid atau mewakili untuk responden wanita. Berdasarkan distribusi umur, diketahui responden pada penelitian didominasi oleh responden dengan usia 18-24 tahun yaitu sebanyak 56 responden (50,5%). Berdasarkan tingkat pendidikan, diketahui responden umumnya didominasi oleh responden yang memiliki pendidikan terakhir S1 yaitu sebanyak 78 responden (70,3%). Adapun kriteria distribusi responden berdasarkan pendapatan per bulan ditentukan berdasarkan nilai UMK Kota Yogyakarta tahun 2023, yaitu jumlah responden berpenghasilan kurang dari 2,1 juta sebanyak 60 responden atau 54,1%, sedangkan responden yang berpenghasilan lebih dari 2,1 juta sebanyak 51 responden atau 45,9%.

Langkah pertama pengujian dan analisis yaitu melakukan pengujian outer model dengan melihat nilai validitas konvergen dalam bentuk *Outer Loadings* dan *Average Variance Extranced (AVE)*, serta nilai validitas diskriminan dalam bentuk *Fornell-Larker Criterion* atau HTMT dan *Cross Loading*. Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa variabel persepsi kendali perilaku memiliki nilai *Composite Reability* dan *Cronbach's Alpha* di atas 0,7 yang artinya instrumen penelitian memiliki akurasi yang tinggi, konsisten dalam mengukur konstruk, serta dapat dijadikan alat pengukuran dalam penelitian.

Setelah item pertanyaan dinyatakan valid dan reliabel, selanjutnya dilakukan analisa model struktural atau *inner model*. Pada penelitian dilakukan dengan melihat nilai koefisien jalur (*path coefficient*). Adapun hasil koefisien jalur pada penelitian menyatakan bahwa seluruh variabel persepsi kendali perilaku berpengaruh positif sebesar 0,379 atau dapat diartikan bahwa, apabila persepsi kendali perilaku pada masyarakat meningkat satu satuan unit,

maka akan meningkatkan kesediaan masyarakat dalam melakukan pengelolaan sampah kemasan sebesar 37,9%.

Selanjutnya hasil uji hipotesis menunjukkan bahwa variabel persepsi kendali perilaku, berpengaruh secara signifikan ditunjukkan dengan $p\text{-value} < 0,05$ dan $t\text{-hitung}$ lebih besar dari pada $t\text{-tabel}$. Nilai $t\text{-tabel}$ yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1,968 ($df = 289$) sehingga dapat diartikan bahwa H_0 ditolak dan H_1 diterima. Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian pada perangkat lunak SmartPLS.

Tabel 2 Hasil Pengujian pada SmartPLS

1. Hasil Akhir Outer Model				
No	Variabel	AVE	Cronbach's Alpha	Composite Reliability
1	Persepsi kendali perilaku	0,634	0,806	0,874
2	Kesediaan partisipasi	0,745	0,884	0,921
2. Hasil Koefisien Jalur				
No	Hubungan	T-hitung	P-value	Hasil*
1	Persepsi kendali perilaku → Kesediaan partisipasi	3,696	0,00013	Hipotesis H1 Diterima
*signifikan apabila $p\text{-value} < 0,05$ dan $t\text{-hitung}$ lebih besar dari pada $t\text{-tabel}$ ($t\text{-hitung} > 1,968$) (Hair dkk., 2018).				

Berdasarkan hasil penelitian ini, diketahui bahwa variabel persepsi kendali perilaku memiliki pengaruh secara signifikan ($p\text{-value} < 0,05$) terhadap kesediaan masyarakat dalam melakukan pengelolaan sampah kemasan. Variabel ini merupakan persepsi individu terhadap kemampuan dirinya sendiri dalam melakukan pengelolaan sampah, meliputi persepsi yang dapat berpengaruh terhadap dirinya sendiri dan terhadap orang lain. Dengan kata lain, semakin masyarakat merasa dirinya mampu untuk melakukan perilaku pengelolaan sampah kemasan belanja daring, maka akan semakin besar niat masyarakat untuk melakukan perilaku tersebut.

Persepsi kendali perilaku mengacu pada persepsi dan kontrol faktor internal dan eksternal yang mungkin menghambat atau mempermudah penerapan perilaku dan hasilnya (Ajzen, 1991). Variabel ini terdiri dari faktor internal dimana individu secara pribadi dapat mengontrol, dan faktor eksternal, seperti kesulitan yang dirasakan, misalnya mengenai harga dan ketersediaan yang dapat menguntungkan atau tidak atas perilaku tertentu. Dengan ini, individu yang memiliki kontrol pribadi yang lebih besar dan ketersediaan semua sarana memiliki peluang lebih besar untuk berniat melakukan perilaku tertentu. Dalam konteks perilaku konsumen, banyak penelitian yang menyatakan bahwa persepsi kendali perilaku memiliki hubungan positif terhadap niat berperilaku seseorang, misalnya persepsi kendali perilaku memiliki peran positif dan signifikan dalam niat penggunaan kemasan daur ulang pada konsumen muda (Wang dkk., 2021).

Berdasarkan item pengukuran, secara umum responden penelitian merasa memiliki kemampuan dalam melakukan pengelolaan sampah kemasan di rumah dan mampu mempengaruhi orang-orang di sekitarnya untuk ikut melakukan pengelolaan sampah. Selain itu, responden secara umum tidak merasa kesulitan dalam melakukan pengelolaan

sampah kemasan tersebut. Adapun hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya (Wang dkk., 2021; Astuti dan Linarti, 2020), yang menunjukkan bahwa semakin tinggi tingkat kemudahan dan semakin yakin responden dalam melakukan perilaku tertentu, dalam hal ini adalah pengelolaan sampah, maka semakin kuat kesediaan responden dalam melakukan pengelolaan sampah kemasan belanja daringnya. Kepercayaan diri masyarakat dalam melakukan pengelolaan sampah ini dapat terus ditingkatkan dengan adanya pembinaan dan sosialisasi terkait persampahan, seperti bagaimana mengelola sampah dengan benar dan berwawasan lingkungan, dan edukasi terkait pembinaan dan pelatihan *Reduce, Reuse, Recycle* (3R) ke masyarakat (Astuti dan Linarti, 2020).

KESIMPULAN

Persepsi kendali perilaku berdasarkan metode TPB berpengaruh secara signifikan terhadap kesediaan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah kemasan di Kota Yogyakarta. Variabel ini mencakup faktor internal, seperti kemampuan dan keterampilan, serta eksternal, seperti sumber daya atau dukungan sosial. Ketika individu merasa memiliki kontrol yang lebih besar atas perilaku tertentu, mereka cenderung mudah untuk melakukan perilaku tersebut. Berdasarkan hasil penelitian ini, disarankan bagi pemerintah atau pembuat kebijakan untuk dapat mempertimbangkan pengaplikasian teori persepsi kendali perilaku untuk meningkatkan kesediaan masyarakat dalam pengelolaan sampah antara lain dengan pengoptimalan prasarana persampahan yang ada di Kota Yogyakarta. Selain itu, secara rutin perlu diberikan pemahaman mengenai pentingnya pengelolaan sampah yang dapat dilakukan dari rumah, maupun melalui pemberdayaan fasilitas persampahan yang telah ada seperti bank sampah, dan memberikan pelatihan-pelatihan yang dapat meningkatkan kemampuan pengelolaan sampah. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah peneliti dapat mempertimbangkan faktor lain yang dapat menjelaskan kesediaan masyarakat dalam pengelolaan sampah dan melakukan perluasan observasi penelitian, seperti mengambil sampel dari berbagai wilayah di Indonesia, memperbesar jumlah sampel yang diambil sehingga dapat membantu dalam memperoleh representasi karakteristik yang lebih luas, serta mengetahui persamaan atau perbedaan hasil.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajzen, I. (1991). The Theory of Planned Behaviour. *Organizational Behaviour and Human Decision Processes*, 179-211.
- Astuti, R. D., & Linarti, U. (2020). Model Perilaku Partisipasi Warga di Bank Sampah (Studi Kasus di Bantul, DIY). *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 19, 50-58.
- Cao, X., & Liu, C. (2019). Research on Customer's Willingness to Participate in Express Package Recycling. *Proceedings of IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 295.
- Chang, S. H., & Chou, C. H. (2018). Consumer Intention toward Bringing Your Own Shopping Bags in Taiwan : An Application of Ethics Perspective and Theory of Planned Behavior. *Sustainability*, 1815.
- Chen, W., & Yan, W. (2020). Impact of Internet Electronic Commerce on SO² Pollution : Evidence from China. *Environmental Science and Pollution Research*, 25801-25812.

- Hair, Joseph, F., Risher, J., Sarstedt, M., & Ringle, C. (2018). *When to Use and How To Report The Results of PLS-SEM*. European Business Review.
- Kumar, A. (2019). Exploring Young Adults's E-Waste Recycling Behaviour Using An Extended Theory of Planned Behaviour Model : A Cross-Cultural Study. *Resources, Conservation, Recycling*, 141, 378-389.
- Ringle, C.M., Wende, S. and Becker, J.M. (2015) SmartPLS 3. SmartPLS GmbH, Boenningstedt. <http://www.smartpls.com>
- Sutisna, F., & Handra, T. (2022). Theory of Planned Behaviour Influences Online Shopping Behaviour. *ATM*, 6, 52-61.
- Wang, C., Qin, J., Qu, C., Ran, X., Liu, C., & Chen, B. (2021). A Smart Municipal Waste Management System Based on Deep-Learning and Internet of Things. *Waste Management*, 20-29.
- Wang, F., & Hu, Y. (2016). Research on Green Express Packaging Design Under The Electronic Commerce. *Journal Business Management*, 621-628.
- Wicaksono, A., Mafruroh, R., & Bagus, A. (2020). Perilaku Pengurangan Sampah : Potensi Pengungkapan dan Pelaporan Keberlanjutan di Perguruan Tinggi. *Jurnal Ilmiah Akuntansi*, 5, 151-176.
- Yeonsu, K., Jisoo, K., & Hyunbae, C. (2022). Is Online Shopping Packaging Waste a Threat to The Environment? *Economics Letters*, 110398.



Optimasi Kecepatan dan Waktu Pengadukan pada Proses Koagulasi dalam Menurunkan Kekeruhan Menggunakan Biokoagulan Biji Ketapang¹

Optimization of Stirring Speed and Time in the Coagulation Process in Reducing Turbidity Using Ketapang Seed Biocoagulant

Novita Kusuma Wardhani^a, Ririn Endah Badriani^a, dan Noven Pramitasari^{a,2}

^a Program Studi Teknik Lingkungan, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jember, Jl. Kalimantan 37 Jember

ABSTRAK

Kebutuhan air bersih di Kabupaten Jember dipasok oleh dua Instalasi Pengolahan Air (IPA) yaitu IPA Tegal Gede dan IPA Tegal Besar yang mendapatkan pasokan dari Sungai Bedadung. Tingkat kekeruhan di Sungai Bedadung telah melebihi persyaratan kualitas air maksimum yang diizinkan, sehingga perlu segera dilakukan penurunan. Salah satu metode untuk menurunkan kekeruhan pada air adalah koagulasi-flokulasi. Pada proses koagulasi-flokulasi perlu ditambahkan koagulan, yaitu suatu bahan yang membantu proses pengendapan partikel. Pada penelitian ini, biokoagulan yang berasal dari biji ketapang digunakan sebagai koagulan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kecepatan pengadukan dan waktu pengadukan yang efektif serta menganalisis pengaruh variasi kecepatan pengadukan dan waktu pengadukan dalam mengoptimalkan efisiensi penyisihan kekeruhan menggunakan biji ketapang dengan variasi kecepatan pengadukan 100, 120, 150, dan 200 rpm dan variasi waktu pengadukan 15, 30, 60, 120, dan 300 detik. Dalam penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dalam bentuk eksperimen. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan dan waktu pengadukan yang efektif pada proses koagulasi menggunakan biokoagulan biji ketapang adalah 200 rpm dalam waktu 60 detik dan 30 rpm dalam waktu 20 menit pada proses flokulasi, dengan nilai efisiensi penyisihan sebesar 76%. Dapat disimpulkan bahwa kecepatan pengadukan berpengaruh secara signifikan terhadap efisiensi penyisihan kekeruhan dengan nilai-p < 0,05.

Kata kunci: koagulasi-flokulasi, kecepatan pengadukan, biokoagulan biji ketapang, waktu pengadukan

ABSTRACT

The clean water in Jember City is supplied by two water treatment plants, namely Tegal Gede and Tegal Besar plants, both of which get their supply from the Bedadung River. The turbidity level in the Bedadung River has exceeded the maximum permissible water quality, so immediate turbidity reduction is needed. One method to reduce turbidity in water is coagulation-flocculation. In the coagulation-flocculation process, it is necessary to add a substance that helps the particle deposition process, called a coagulant. The coagulant used in this research is a biocoagulant derived from ketapang seeds. This research aims to determine the effective stirring speed and stirring time and to analyze the effect of variations in stirring speed and stirring time in optimizing turbidity removal efficiency using Ketapang seeds with variation stirring speed 100, 120, 150 and 200 rpm and variation stirring time is 15, 30, 60, 120 and 300 second . In this research a quantitative method was used in the form of experiments. The results of this research show that the effective stirring speed and stirring time in the coagulation process using Ketapang seed biocoagulant is 200 rpm in 60 seconds, and 30 rpm in 20 minutes in the flocculation process, with a removal efficiency value of 76%. It can be concluded that the stirring speed significantly affects the turbidity efficiency with p-value < 0.05.

Keywords: coagulation-flocculation, stirring speed, ketapang seed biocoagulant, time of stirring

¹Info Artikel: Diterima (*received*) 1 Desember 2024. Disetujui (*accepted*) 30 Desember 2024. Diterbitkan (*published*) 31 Desember 2024.

² Penulis koresponden (corresponding author). Email: novenpramitasari@unej.ac.id

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan dasar untuk kehidupan manusia. Tingkat kualitas air baku di Indonesia saat ini semakin menurun dan beberapa sumber air tidak lagi memenuhi standar kualitas yang diterapkan. Kebutuhan air bersih khususnya di Kabupaten Jember mendapat pasokan dari dua Instalasi Pengolahan Air (IPA) yaitu IPA Tegal Gede dan IPA Tegal Besar (Nurjannah, 2016). Sumber air bersih di PDAM Kabupaten Jember berasal dari Sungai Bedadung. Sungai Bedadung menjadi salah satu sumber air yang kualitasnya secara khusus parameter kekeruhan berada di atas baku mutu. Berdasarkan survei tingkat kekeruhan di Sungai Bedadung mencapai 26,5 NTU. Mengacu pada Permenkes Nomor 2 tahun 2023, kekeruhan adalah salah satu parameter yang dapat digunakan untuk memenuhi persyaratan kualitas air minum dan kekeruhan dengan kadar < 3 NTU pada air minum adalah syarat yang harus dipenuhi. Untuk memenuhi persyaratan kualitas air minum itu diperlukan adanya pengolahan air untuk penyisihan kekeruhan. Salah satu metode untuk mengurangi kekeruhan pada air adalah koagulasi-flokulasi.

Koagulasi adalah proses pengolahan air yang mendestabilisasikan partikel koloid, sedangkan flokuasi adalah proses koagulasi lanjutan dimana partikel yang terdestabilisasi membentuk partikel yang lebih besar. Beberapa variabel, termasuk jenis koagulan dosis koagulan, pH, dan kecepatan pengadukan memengaruhi metode koagulasi-flokuasi itu sendiri. Proses koagulasi dipengaruhi oleh kecepatan pengadukan. Kecepatan pengadukan memiliki kemampuan untuk meningkatkan kontak dan tumbukan antar partikel koloid dengan koagulan yang memudahkan penggumpalan flok dan membantu proses pengendapan. Suatu zat yang disebut sebagai koagulan membantu proses pengendapan partikel selama proses koagulasi flokuasi. Koagulan akan membentuk partikel-partikel besar yang kemudian mengendap yang disebut sebagai flok (Howe et al., 2012).

Penambahan zat koagulan pada umumnya berasal dari bahan kimia maupun dari bahan alami. Pemanfaatan koagulan kimia memiliki kekurangan yaitu kurang ramah lingkungan. Oleh karenanya saat ini dikembangkan koagulan yang bersifat alami salah satunya adalah koagulan yang terbuat dari biji ketapang. Penggunaan koagulan alami untuk penjernihan air dapat dilakukan dengan beberapa cara. Proses Koagulasi yang efektif apabila bahan aktif koagulan diekstrak terlebih dahulu menggunakan NaCl (Liew, 2004). Oleh sebab itu, dilakukan penelitian ini untuk mengetahui efektivitas koagulan dari biji ketapang untuk menurunkan kekeruhan pada pengolahan air serta pengaruh variasi kecepatan pengadukan dan waktu pengadukan dalam proses koagulasi terhadap efisiensi penyisihan kekeruhan menggunakan biji ketapang.

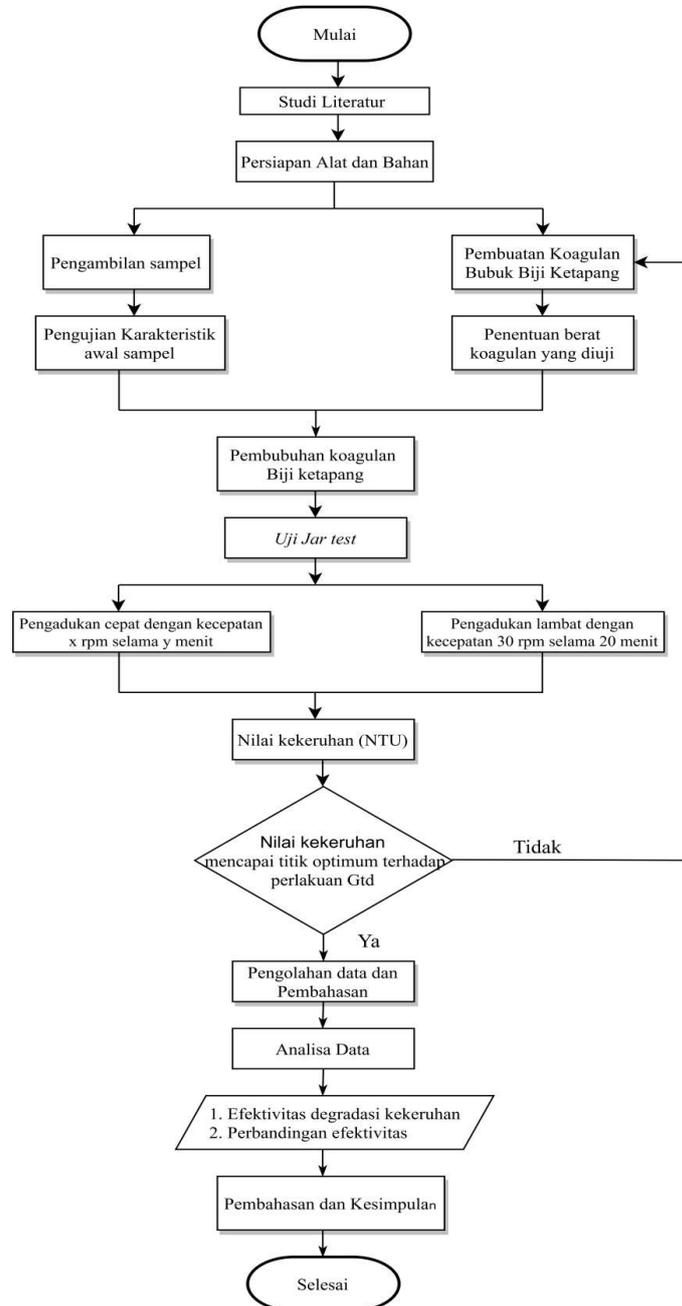
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan melalui penelitian eksperimen di laboratorium. Penelitian eksperimen adalah salah satu jenis penelitian kuantitatif untuk mengukur hubungan sebab akibat. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Jar-test, erlenmeyer, beaker glass, labu ukur, gelas ukur, turbidimeter, pipet volume, karet hisap, kertas saring, ayakan 200 mesh, timbangan digital, hotplate, kaca arloji. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah koagulan biji ketapang, sampel air sungai Bedadung, aquades, dan larutan NaCl.

Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian berisi tentang langkah-langkah yang direncanakan selama penelitian

berlangsung. Tahapan penelitian ini meliputi tahap persiapan, tahap uji, analisis data, dan pengambilan kesimpulan. Tahap persiapan meliputi persiapan alat uji jar test, pengambilan sampel dan persiapan koagulan. Tahap uji meliputi pengujian nilai kekeruhan dan running reaktor. Selanjutnya, analisis data berupa analisis terhadap variasi model yaitu kecepatan pengadukan dan waktu pengadukan. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir yang menunjukkan tahapan penelitian

Pembuatan biokoagulan

Biokoagulan dibuat dari pemanfaatan biji ketapang. Tahapan pembuatannya meliputi pemisahan biji ketapang dari buah, lalu dilakukan pencucian biji. Biji ketapang yang telah bersih dikeringkan melalui penjemuran di bawah matahari selama beberapa hari sampai dengan kandungan air yang terdapat pada biji berkurang. Tahap selanjutnya, penghalusan biji

yang telah kering hingga menjadi serbuk menggunakan blender. Biji ketapang yang telah dihaluskan dilakukan pengayakan menggunakan ayakan 200 mesh. Biji ketapang yang telah diayak ditimbang menggunakan timbangan analitik lalu dimasukkan kedalam sebuah wadah dan ditutup dengan rapat. Hasil akhir proses ini adalah koagulan berupa serbuk biji ketapang (Riyandini, 2020).

Pengujian kekeruhan

Pengujian kekeruhan meliputi preparasi alat uji dan pengujian sampel. Hasil akhir akan diperoleh nilai kekeruhan hasil pengukuran. Pengujian kekeruhan dilakukan dengan menggunakan alat berupa turbidimeter (Muhammad, 2021)

Uji jar Tes

Jar test adalah percobaan skala laboratorium untuk menentukan dosis koagulan yang ideal untuk pengolahan air bersih (Mashuri, 2016). Pengujian jar tes dilakukan sebelum proses koagulasi-flokulasi pada reaktor.

Analisis data

Analisis data dalam penelitian ini pada skala laboratorium dengan pengulangan pengujian sebanyak tiga kali. Data hasil penelitian ditampilkan dalam bentuk tabel selama analisis deskriptif. Analisis statistik yang diperlukan pada penelitian ini adalah uji ANOVA pada beberapa perlakuan. ANOVA digunakan sebagai alat analisis untuk menguji hipotesis penelitian yang mana menilai adakah perbedaan rerata antar kelompok.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik air Sungai Bedadung

Air baku yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Sungai Bedadung. Sungai Bedadung dimanfaatkan sebagai salah satu sumber air baku yang diolah oleh IPA Tegal Gede dan IPA Tegal Besar untuk didistribusikan menjadi air bersih. Penelitian dilakukan melalui intake IPA Tegal Gede. Sebelum dilakukan *running* reaktor diperlukan pengujian karakteristik awal air. Pengujian dilakukan ketika musim kemarau.

Tabel 1. Tabel parameter kekeruhan air Sungai Bedadung

Hari ke-	Kekeruhan	pH
1	20 NTU	7,6
2	22 NTU	8,4
3	21 NTU	7,5

Nilai parameter kekeruhan adalah komponen penting dalam menentukan kualitas air bersih. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Tahun 2003 tentang Persyaratan Kualitas Air Minum menetapkan batas kekeruhan air <3 NTU. Hasil pengujian menunjukkan bahwa air Sungai Bedadung memiliki tingkat kekeruhan yang lebih tinggi dari batas maksimum, yang berarti bahwa air harus diolah terlebih dahulu sebelum digunakan. Penelitian ini menggunakan variasi kecepatan pengadukan 100, 120, 150 dan 200 rpm untuk mengetahui kemampuan koagulan biji ketapang dalam menurunkan kekeruhan air dengan tingkat

kekeruhan yang berbeda. Digunakan variasi waktu pengadukan 15, 30, 60, 120 dan 300 detik untuk mengetahui kemampuan koagulan biji ketapang dalam menurunkan kekeruhan air.

Penentuan Dosis Optimum Biokoagulan Biji Ketapang

Tujuan penentuan dosis optimum adalah untuk menentukan dosis koagulan terbaik yang akan digunakan untuk proses koagulasi dan flokulasi. Dosis optimum merupakan dosis yang paling efektif untuk menghilangkan partikel koloid. Dosis optimum diperoleh dengan melihat hasil yang paling efektif sehingga dapat menyisihkan partikel koloid. Dosis tersebut akan diterapkan pada proses koagulasi-flokulasi (Puspitasari dan Hadi, 2014). Langkah pertama yang dilakukan adalah menyiapkan air baku dengan kekeruhan yang telah disiapkan dengan kekeruhan yaitu 20 NTU sebagai kekeruhan awal air baku sungai bedadung. Dosis yang diujikan terdiri atas 4 ppm, 4.5 ppm, 5 ppm, 5,5 ppm dan 6 ppm.

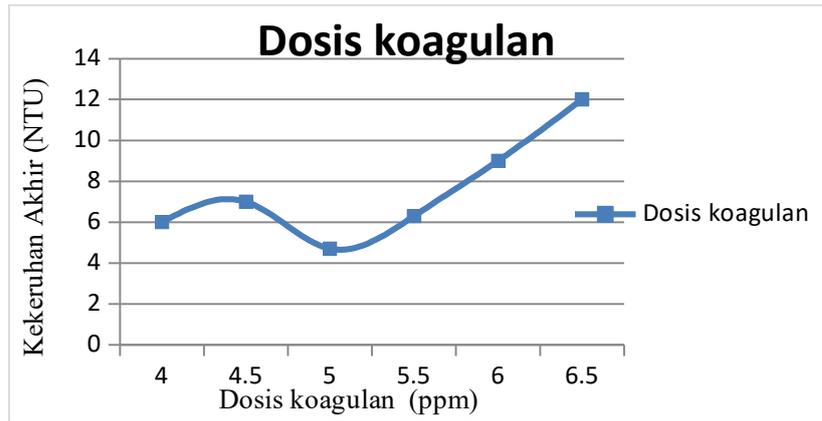
Pengujian jar test juga diterapkan tepat sebelum running reaktor dengan air baku yang tidak jauh berbeda dengan air baku running reaktor yang bertujuan untuk memastikan dosis yang akan dibubuhkan dalam proses dapat bekerja dengan optimum. Tabel 2 menunjukkan hasil dosis optimum biokoagulan biji Ketapang.

Tabel 2. Dosis optimum Biji Ketapang

Dosis koagulan (ppm)	Kekeruhan awal (NTU)	Kekeruhan akhir (NTU)
4	20	6
4.5	20	7
5	20	4.7
5.5	20	6.3
6	20	9
6.5	20	12

Hasil penelitian menunjukkan dosis yang diuji sebesar 4 ppm, 4.5 ppm, 5 ppm, 5,5 ppm dan 6 ppm dengan hasil dari kadar NTU akhir yang terendah sebesar 5 ppm dengan kecepatan pengadukan 200 rpm dan waktu pengadukan 60 detik.

Berdasarkan hasil pengujian dosis optimum dengan pengujian secara triplo (3 kali pengulangan) menunjukkan dosis 4 ppm menghasilkan 6 NTU, 4,5 ppm menghasilkan 7 NTU, 5 ppm menghasilkan 4,7 NTU, 5,5 ppm menghasilkan 6,3 NTU, 6 ppm menghasilkan 9 NTU, 6,5 ppm menghasilkan 12 NTU. Grafik pada Gambar 2 menunjukkan koagulan biji ketapang dapat menurunkan kekeruhan pada dosis 5 ppm. Penurunan tersebut dapat terjadi diakibatkan serbuk biji ketapang yang dibubuhkan berperan dalam proses penurunan kekeruhan dalam koagulan alami (Samia, 2012).



Gambar 2. Grafik efisiensi kekeruhan akhir terhadap dosis optimum

Untuk menentukan dosis optimum didasarkan pada penambahan dosis yang menghasilkan tingkat kekeruhan terendah atau menghasilkan nilai efisiensi pengolahan tertinggi (Nor dkk., 2020). Pengujian jar test menunjukkan bahwa dihasilkan dosis optimum 5 ppm biokoagulan biji ketapang mampu menurunkan kekeruhan air hingga mencapai nilai kekeruhan akhir terendah.

Penentuan dosis optimum dilakukan dengan menggunakan beberapa variasi dosis yang didapatkan dari trial and error yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh dosis koagulan. Penambahan dosis koagulan ditambahkan hingga mendapatkan hasil tren berupa titik kekeruhan terendah dimana dosis dengan hasil kekeruhan akhir paling kecil adalah dosis koagulan optimum. Dosis optimum yang menghasilkan kekeruhan terkecil adalah sebesar 5 ppm pada kekeruhan awal dengan rentang 20 sampai 20,6 NTU.

Efisiensi penyisihan kekeruhan air baku menggunakan biokoagulan biji ketapang

Proses penyisihan kekeruhan adalah tahapan dalam pengolahan air untuk menghilangkan partikel-partikel padat yang menyebabkan air terlihat keruh. Efisiensi penyisihan kekeruhan sangat penting untuk memastikan air bersih dan aman untuk dikonsumsi. Efisiensi penyisihan kekeruhan dihitung berdasarkan hasil pengujian terhadap kekeruhan sampel awal dan kekeruhan akhir setelah dilakukan proses koagulasi-flokulasi. Hasil dari efisiensi penyisihan kekeruhan dapat dilihat pada Tabel 3.

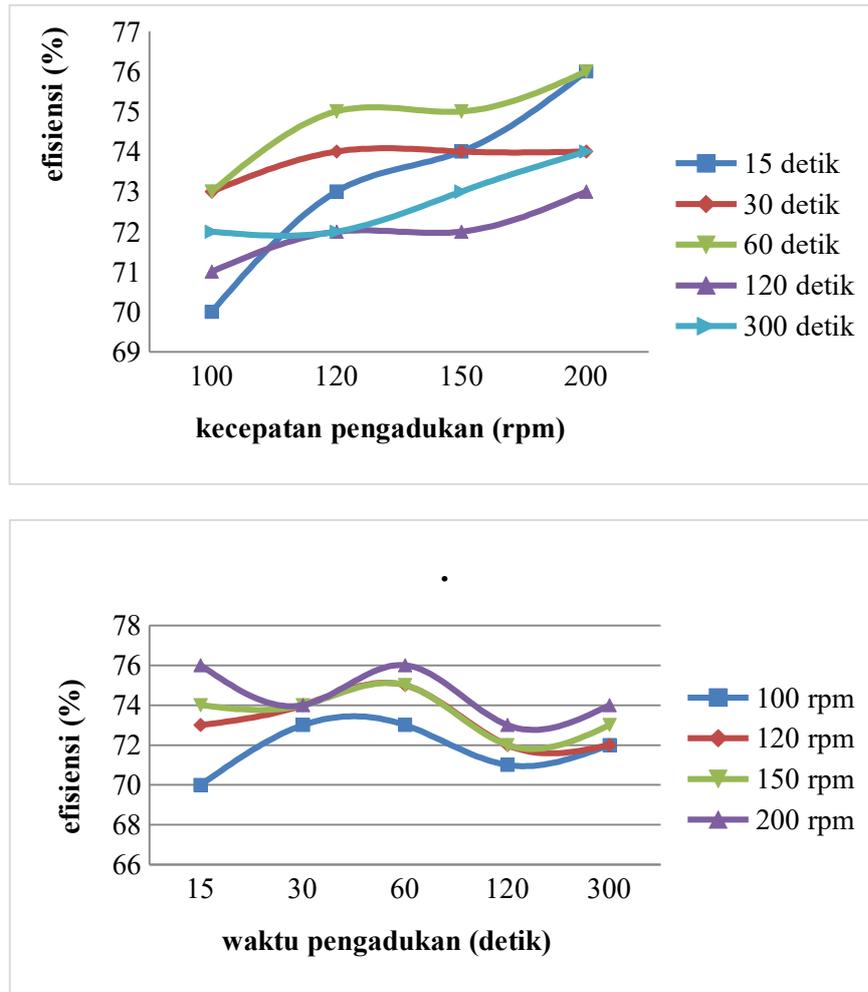
Berdasarkan Tabel 3 kekeruhan awal 20,4 NTU menunjukkan efisiensi penyisihan kekeruhan tertinggi yaitu dengan kecepatan 200 rpm dan waktu pengadukan 60 detik. Grafik pada Gambar 3 menunjukkan bahwa kecepatan pengadukan memberikan pengaruh signifikan terhadap penyisihan kekeruhan. Hal ini ditunjukkan dengan tingkat efisiensi sudah mencapai batas optimal yakni sebesar 76%. Tabel 3 menunjukkan bahwa nilai efisien terbesar ada variasi G1T3K (Koagulasi 200 rpm 60 detik + Flokulasi 30 rpm 20 menit + biokoagulan biji ketapang 5 ppm).

Pada proses koagulasi terjadi destabilisasi partikel koloid akibat pengadukan cepat dan pembubuhan biokoagulan sehingga partikel koloid akan membentuk inti flok. Inti flok yang sudah terbentuk ini akan bersentuhan saat pengadukan lambat terjadi, yang menghasilkan flok yang memiliki massa jenis lebih besar daripada air dan mudah untuk mengendap (Perdana et al, 2013).

Tabel 3. Hasil efisiensi penyisihan

Gtd Koagulasi	Kode	Kekeruhan Awal (NTU)	Kekeruhan Akhir (NTU)	Efisiensi Penyisihan (%)
200 rpm dan 15 detik	G1T1K	20,6	4.9	76.05
150 rpm dan 15 detik	G2T1K	20,9	5.2	74
120 rpm dan 15 detik	G3T1K	20,2	5.4	73
100 rpm dan 15 detik	G4T1K	20,8	6	70
200 rpm dan 30 detik	G1T2K	20,8	5.3	74
150 rpm dan 30 detik	G2T2K	20,3	5.2	74
120 rpm dan 30 detik	G3T2K	20	5.1	74
100 rpm dan 30 detik	G4T2K	20	5.3	73
200 rpm dan 60 detik	G1T3K	20,4	4.8	76.30
150 rpm dan 60 detik	G2T3K	20,1	4.9	75
120 rpm dan 60 detik	G3T3K	20,3	4.9	75
100 rpm dan 60 detik	G4T3K	20,7	5.5	73
200 rpm dan 2 menit	G1T4K	20	5.2	73
150 rpm dan 2 menit	G2T4K	20,5	5.5	72
120 rpm dan 2 menit	G3T4K	20,3	5.5	72
100 rpm dan 2 menit	G4T4K	20	5.6	71
200 rpm dan 5 menit	G1T5K	20,5	5.1	74
150 rpm dan 5 menit	G2T5K	20	5.3	73
120 rpm dan 5 menit	G3T5K	20,5	5.7	72
100 rpm dan 5 menit	G4T5K	20,6	5.6	72

Sangat penting untuk memperhatikan pengadukan supaya dilakukan secara merata sehingga semua koagulan yang dibubuhkan dapat berinteraksi dengan partikel di dalam air (Metcalf dan Eddy, 1991). Tujuan pengadukan cepat adalah untuk menghasilkan turbulensi air. Pada pengolahan koagulasi dengan variasi koagulasi dengan kecepatan pengadukan 200 rpm dan waktu detensi 60 detik. Hal ini menunjukkan bahwa biokoagulan biji ketapang efisien dalam menurunkan kekeruhan air Sungai Bedadung. Peningkatan efisiensi penyisihan tersebut menandakan proses koagulasi flokulasi yang berlangsung pada reaktor dapat berjalan dengan baik. Proses koagulasi flokulasi tersebut menghasilkan flok-flok yang mampu mereduksi kekeruhan air (Puspitasari dan Hadi, 2014).



Gambar 3. Grafik rekapitulasi refisiensi penyisihan kekeruhan kecepatan pengadukan

Proses ekstraksi protein dalam NaCl akan meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi garam, tetapi apabila konsentrasi terus meningkat kelarutan protein akan turun sampai pada titik dimana protein benar-benar akan mengendap (Deak dkk, 2006). Apabila protein mulai mengendap, maka proses penjernihan air berhenti. Akibatnya, kekeruhan air tidak dapat turun lagi. Dalam penelitian ini ada konsentrasi NaCl. Proses ekstraksi protein dalam larutan NaCl dikenal sebagai proses salting-in. Dalam proses ini adanya zat terlarut yakni garam NaCl menyebabkan kelarutan zat utama (bioaktif) dalam koagulan alami menjadi lebih besar. Untuk menurunkan kekeruhan yang secara konsisten, konsentrasi garam harus tetap stabil dalam larutan sehingga pengendapan protein tidak terjadi. Proses koagulasi zat aktif pada koagulan protein yang diekstrak dengan larutan NaCl dapat menunjukkan hasil yang efektif untuk menjernihkan air atau mengurangi kekeruhan (Adriana, 2021).

Pengaruh kecepatan pengadukan dan waktu pengadukan terhadap efisiensi penyisihan kekeruhan akhir

Untuk mengetahui efek penambahan biokoagulan biji ketapang dalam proses koagulasi-flokulasi, dilakukan uji statistik untuk mengetahui pengaruh variasi kecepatan pengadukan dan waktu pengadukan yang efektif. Analisis data yang digunakan pada penelitian ini adalah ANOVA *Two way*. Uji ANOVA digunakan saat nilai p-value pada test normalitas dengan nilai signifikansi $> 0,05$ sehingga tidak signifikan dan data terdistribusi normal (Setiadi, 2020). Sebelum melakukan uji ANOVA *Two way* perlu dilakukan uji asumsi klasik berupa uji

normalitas serta uji homogenitas.

Uji Normalitas

Uji normalitas merupakan salah satu syarat untuk melakukan analisis ANOVA. Uji normalitas berfungsi untuk mengetahui hasil data yang tersebar terdistribusi normal atau tidak diperoleh berdistribusi normal atau tidak signifikan.

Tabel 4. Hasil Uji Normalitas Kolmogorov-Smirnov

p-value	Keterangan
0,9369	terdistribusi normal

Hasil analisis pada Tabel 4 yang didapat pada uji normalitas menunjukkan nilai p-value 0,09369 maka $\text{sig} > 0,05$ sehingga nilai residual yang tersebar terdistribusi normal.

Uji Homogenitas

Uji homogenitas adalah salah satu syarat untuk melakukan analisis ANOVA. Uji homogenitas berfungsi untuk mengetahui hasil data yang diperoleh berdistribusi homogen atau tidak.

Tabel 5. Hasil Uji Homogenitas Breusch-Pagan

p-value	keterangan
0,7369	varians homogen

Hasil analisis pada Tabel 5 yang didapat pada uji homogenitas menunjukkan nilai p-value 0,7369 maka $\text{sig} > 0,05$ sehingga nilai residual memiliki varians homogen.

Uji ANOVA Two Way

Uji ANOVA *Two Way* atau uji ANOVA dua arah dilakukan untuk mengetahui interaksi antara dosis biokoagulan biji ketapang terhadap efisiensi penyisihan kekeruhan akhir. Tabel 6 menunjukkan hasil ANOVA dalam studi ini.

Tabel 6. Uji ANOVA

	Df	Sum Sq	Mean Sq	F value	Pr(>F)
NTU awal	1	0.036	0.036	0.024	0.87760
kecepatan	1	18.499	18.499	12.449	0.00279
waktu	1	3.889	3.889	2.617	0.12526
Residuals	16	23.776	1.486		

Berdasarkan Tabel 6 Nilai p-value ($\text{Pr}(>F)$) pada kecepatan pengadukan dengan nilai 0.00279 menunjukkan hasil bahwa kecepatan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap efisiensi kekeruhan karena mempunyai nilai $p < 0,05$. Untuk jarak waktu yang dipakai terlalu berdekatan sehingga tidak memiliki pengaruh signifikan. Hal ini dapat dilihat dari nilai efisiensi penyisihan dengan waktu 15 detik, 30 detik, 60 detik, 120 detik dan 300 detik

mendapatkan hasil bahwa nilai efisiensinya mengalami kenaikan dan penurunan yang nilainya tidak terlalu jauh.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa kecepatan pengadukan dan waktu pengadukan yang efektif pada proses koagulasi menggunakan biokoagulan biji ketapang adalah sebesar 200 rpm selama 60 detik pada proses koagulasi dan 30 rpm selama 20 menit pada proses flokulasi. dengan nilai efisiensi penyisihan sebesar 76%. Berdasarkan hasil uji ANOVA menunjukkan hasil bahwa variabel kecepatan pengadukan koagulasi berpengaruh signifikan terhadap tingkat efisiensi penyisihan dengan nilai didapatkan $P(>F) 0,00279$.

DAFTAR PUSTAKA

- Howe, K.J., Hand, W., David, Jhon, C., Rhodes, R., dan George, T., 2012, Principle of Water Treatment, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Liew A.G., Noor M.J.M and Ng Y.M. Turbid Water Clarification Using Extraction of Cowpea Seed. *KKU Engineering Journal*, 2004, 31(2), 73 – 82.
- Mashuri, M. 2016. Optimasi Parameter Proses Jar Test Menggunakan Metode Taguchi Dengan Pendekatan PCR-TOPSIS (Studi Kasus: PDAM Surya Sembada Kota Surabaya). *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 5(2), 2337-3520.
- Metcalf & Eddy, 1991, Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse, Third Edition, McGraw-Hill, New York.
- Muhammad, Z.N.A., Muhemin, A., Purwanti, B.S.R., dan Widiyawati, Y. 2021. Aplikasi Turbidity Untuk Mengukur Kekeruhan pada Sistem Pemonitor Penyaringan Limbah Cair. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Vol 6*.
- Nurjanah U. 2016. Studi keanekaragaman makrobentos sebagai bioindikator kualitas air sungai Bedadung Jember. *Prosiding Seminar Nasional Biologi*, p. 202–209.
- Puspitasari, M., dan W. Hadi. 2014. Efektifitas $Al_2(SO_4)_3$ dan $FeCl_3$ Dalam Pengolahan Air Menggunakan Gravel Bed Flocculator Ditinjau Dari Parameter Kekeruhan dan Total Coli. *Jurnal Teknik Pomits*. 3(2): 163–166. doi: 10.12962/j23373539.v3i2.7005.
- Riyandini, V.L., dan Iqbal, M. 2020. Pengaruh Koagulan Biji Asam Jawa (*Tamarindus indica*) Terhadap Efisiensi Penurunan Zat Organik Pada Air Gambut. *Serambi Engineering*, V (3).