

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan timbulan sampah padat karena pertumbuhan populasi dan pola konsumsi menggarisbawahi perlunya sistem transportasi sampah yang terorganisir dengan baik dan dioptimalkan untuk mengurangi bahaya lingkungan. Pengangkutan sampah domestik memainkan peran penting dalam sistem pengelolaan limbah, berdampak pada kelestarian lingkungan, efisiensi operasional, dan efektivitas biaya. Ambariski dkk (2016) menyatakan bahwa faktor utama yang mempengaruhi pengangkutan sampah adalah kepadatan penduduk, kuantitas dan kualitas sampah, karakteristik dan area pelayanan serta jarak dan jaringan jalan, pola pengangkutan, jenis kendaraan, frekuensi, tingkat pelayanan beserta tenaga kerja. Sistem pengangkutan sampah yang baik akan meningkatkan tingkat pelayanan sampah (Ramadhani dkk, 2020). Pengangkutan sampah memiliki rute pengangkutan, yang merupakan urutan kunjungan kendaraan ke sejumlah TPS untuk memuat muatan yang dimulai dari depo dan berakhir di suatu fasilitas antara (Fitria dkk, 2009).

Dalam kawasan industri, khususnya pertambangan, suatu perusahaan memiliki program penerapan berupa *Corporate Social Responsibility* (CSR) yang menjadi kewajiban perusahaan untuk memberikan bantuan serta perbaikan lingkungan pada masyarakat disekitar lingkaran tambang (Faisal, 2022), sejalan dengan kaidah *Good Mining Practice*, yang menempatkan aspek pengelolaan lingkungan sebagai yang utama (Warouw dkk, 2023). Febrita (2021) menjelaskan bahwa penanganan sampah di perusahaan mengacu pada peraturan, organisasi, peran masyarakat, pembiayaan, dan teknik operasional. Perusahaan menerapkan SOP dengan kontraktor dan memiliki lembaga khusus untuk pengelolaan sampah, menciptakan manajemen yang lebih terstruktur dibandingkan pengelolaan di perkotaan.

PT. Vale Indonesia Tbk. sendiri telah berkontribusi dalam membangun infrastruktur pengelolaan sampah yang memadai di Kecamatan Nuha, mulai dari pengumpulan hingga pengangkutan dan pengolahan sampah. Pelaksana pengelolaan sampah ini dikelola oleh PT. Hati Murni sebagai pihak kontraktor yang bekerja sama dengan PT. Vale Indonesia Tbk. untuk mengelola sampah Non B3, termasuk pengangkutan sampah domestik masyarakat. Peran PT. Vale Indonesia Tbk. menjadi sangat penting dalam mendukung pengelolaan sampah di Kecamatan Nuha dan sebagai bagian dari CSR perusahaan, karena perusahaan ini telah berkomitmen pada prinsip keberlanjutan lingkungan, sebagai perusahaan yang beroperasi di wilayah dengan aktivitas industri tinggi.

Jumlah penduduk di Kecamatan Nuha, menurut Badan Pusat Statistik (BPS) Kabupaten Luwu Timur dalam angka 2024, mencapai 26.442 jiwa dengan luas wilayah sekitar 859,71 km², yang terbagi menjadi lima wilayah: Kelurahan Magani, Desa Sorowako, Desa Nikkel, Desa Matano, dan Desa Nuha. Peningkatan jumlah penduduk ini dipengaruhi oleh sektor pertambangan, terutama dengan kedatangan

pekerja tidak tetap yang berasal dari kontraktor. Hal ini terjadi terutama di Kelurahan Magani, Desa Sorowako, dan Desa Nikkel, yang menjadi pusat aktivitas dan domisili karena letaknya yang dekat dengan kawasan pertambangan. Keadaan ini tentu akan berdampak pada peningkatan timbunan sampah di wilayah tersebut, yang dapat memengaruhi pengangkutan sampah yang telah berjalan.

Pengangkutan di tiga wilayah ini telah terlaksana dengan menggunakan 4 (empat) armada pengangkut sampah yang mencakup wilayah yang berbeda. Berdasarkan tingginya mobilitas penduduk sementara, dilakukan observasi langsung terkait pelaksanaan pengangkutan sampah. Hasil observasi menunjukkan bahwa tidak terdapat rute pengangkutan yang jelas atau berurut yang menyebabkan penumpukan sampah di beberapa wilayah pada hari tertentu, yang mengindikasikan keterlambatan pengangkutan, serta adanya penduduk yang masih mengelola sampah secara mandiri, seperti dengan membakar sampah atau membiarkan sampah menumpuk.

Untuk menangani isu ini secara efektif, diperlukan analisis mendalam terkait kondisi eksisting sistem pengangkutan sampah di Kecamatan Nuha yang dilakukan oleh PT. Vale Indonesia Tbk., mencakup kajian dari berbagai aspek operasional yang berlangsung seperti pelayanan pengangkutan sampahnya terhadap masyarakat, rute pengangkutan, frekuensi, dan kapasitas armada. Analisis optimalisasi pun diperlukan guna mengidentifikasi potensi perbaikan dalam sistem yang ada, termasuk peningkatan efisiensi dan efektivitas. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui faktor kendala dan identifikasi potensi optimalisasi pengangkutan sampah domestik Kecamatan Nuha.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut.

1. Bagaimana kondisi eksisting pengangkutan sampah domestik di Kecamatan Nuha?
2. Apakah terdapat wilayah dengan potensi sampah domestik yang tidak terangkut?
3. Apakah pengangkutan sampah di Kecamatan Nuha telah berjalan secara optimal?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki tujuan yang dapat dilihat sebagai berikut.

1. Menganalisis kondisi eksisting pengangkutan sampah domestik di Kecamatan Nuha.
2. Mengidentifikasi wilayah dengan potensi sampah domestik yang tidak terangkut.
3. Menganalisis optimalisasi pengangkutan sampah di Kecamatan Nuha.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagi akademisi dan peneliti
Penelitian ini memberikan wawasan tentang pengelolaan sampah di kawasan industri, membuka peluang untuk kajian lebih lanjut mengenai optimalisasi sistem pengangkutan di area dengan dinamika serupa.
2. Bagi PT. Vale Indonesia Tbk.
Penelitian ini akan menjadi bahan kajian efektivitas pengangkutan sampah domestik di Kecamatan Nuha, mengidentifikasi faktor-faktor yang meningkatkan optimalisasi, dan mendorong penerapan standar pengelolaan sampah. Hal ini bertujuan untuk menciptakan sistem pengangkutan yang lebih optimal dan berkelanjutan, serta meningkatkan kinerja operasional PT. Vale Indonesia Tbk.
3. Bagi pemerintah setempat
Penelitian ini memberikan pelajaran penting tentang pengelolaan sampah, terutama dalam konteks wilayah tambang dan urbanisasi. Saran dari penelitian ini dapat membantu pemerintah daerah belajar dari model yang diterapkan oleh PT. Vale, serta meningkatkan pengelolaan sampah di wilayah lainnya dengan menerapkan standar dan metode yang lebih baik.
4. Bagi masyarakat lokal
Penelitian ini memberikan wawasan kepada masyarakat di Kecamatan Nuha tentang pentingnya pengelolaan sampah yang efektif. Dengan meningkatkan kesadaran mereka mengenai pengelolaan sampah, diharapkan masyarakat dapat berkontribusi lebih aktif dalam menjaga kebersihan dan keberlanjutan lingkungan.

1.5 Ruang Lingkup

Adapun ruang lingkup penelitian ini sebagai berikut.

1. Analisis timbulan sampah dari PT. Vale Indonesia Tbk. menggunakan data sekunder dari PT. Hati Murni dan proyeksi dari Badan Pusat Statistik (BPS) Kecamatan Nuha.
2. Analisis zona pelayanan pengangkutan sampah berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), pemetaan dengan SIG (Sistem Informasi Geografis), dan responden kuesioner dari masyarakat setempat.
3. Analisis metode pengangkutan sampah yang diterapkan oleh PT. Vale Indonesia Tbk. dan PT. Hati Murni melalui observasi langsung.
4. Analisis waktu operasional sistem pengangkutan, termasuk waktu ritasi optimal dan kecepatan kendaraan.
5. Analisis rute pengangkutan sampah di Kecamatan Nuha untuk meningkatkan efektivitas.
6. Analisis terhadap armada yang tersedia dan kemampuannya dalam melayani pengangkutan sampah.

1.6 Teori

1.6.1 Pengertian sampah

Dalam Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 Pasal 1 Ayat 1 tentang pengelolaan sampah menyebutkan bahwa sampah adalah sisa kegiatan sehari-hari manusia dan/atau proses alam yang berbentuk padat. Pada SNI 19-2454-2002 menyebutkan bahwa sampah adalah limbah yang bersifat padat terdiri dari bahan organik dan bahan anorganik yang dianggap tidak berguna lagi dan harus dikelola agar tidak membahayakan lingkungan dan melindungi investasi pembangunan.

Menurut Abidin dkk (2021), sampah merupakan material sisa yang tidak diinginkan setelah berakhirnya suatu proses. Sampah didefinisikan oleh manusia menurut derajat keterpakaianya, dalam proses-proses alam sebenarnya tidak ada konsep sampah, yang ada hanya produk-produk yang dihasilkan setelah dan selama proses alam tersebut berlangsung.

Menurut World Health Organization (WHO), sampah adalah setiap material atau benda yang sudah tidak memiliki kegunaan dan dibuang oleh individu atau entitas. Ini mencakup berbagai jenis limbah, mulai dari sisa makanan hingga bahan berbahaya, yang perlu dikelola dengan baik untuk meminimalkan risiko terhadap kesehatan manusia dan lingkungan.

Dalam Tamyiz dkk. (2018), sampah merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang memerlukan perhatian serius. Sampah adalah bahan yang terbuang atau dibuang dari sumber hasil aktivitas manusia maupun proses alam yang belum memiliki nilai ekonomis. Sampah yang dibuang ke lingkungan dapat menjadi beban lingkungan. Seiring meningkatnya jumlah penduduk maka volume sampah juga ikut bertambah.

1.6.2 Jenis sampah

Menurut Abidin dkk (2021), jenis-jenis sampah terbagi atas sumber, sifat, bentuk, yang dapat dilihat sebagai berikut.

1. Sampah berdasarkan sumbernya
 - a. Sampah alam
 - b. Sampah manusia
 - c. Sampah konsumsi
 - d. Sampah nuklir
 - e. Sampah industri
 - f. Sampah pertambangan
2. Sampah berdasarkan sifatnya
 - a. Sampah organik – dapat diurai (*degradable*)
Sampah organik, yaitu sampah yang mudah membusuk seperti sisa makanan, sayuran, daun-daun kering, dan lain sebagainya. Sampah ini dapat diolah juga menjadi kompos.

- b. Sampah anorganik – tidak terurai (*undegradable*)
Sampah anorganik, yaitu sampah yang tidak mudah membusuk, seperti plastik wadah pembungkus makanan, kertas, plastik mainan, botol dan gelas minuman, kaleng, kayu, dan sebagainya. Sampah ini dapat dijadikan sampah komersial atau sampah yang laku dijual untuk dijadikan produk lainnya.
 - c. Sampah beracun (B3)
Limbah dari bahan-bahan berbahaya dan beracun seperti limbah rumah sakit, limbah pabrik dan lain-lain.
- 3. Sampah berdasarkan bentuknya
 - a. Sampah padat
Sampah padat adalah segala bahan buangan selain kotoran manusia, urine dan sampah cair. Dapat berupa sampah rumah tangga, sampah dapur, sampah kebun, plastik, metal, gelas dan lain-lain.
 - b. Sampah cair
Sampah cair adalah sampah yang terbuat dari bahan cairan yang telah digunakan dan tidak diperlukan kembali serta dibuang ketempat pembuangan sampah.
 - c. Sampah alam
Sampah yang diproduksi di kehidupan liar diintegrasikan melalui proses daur ulang alami, seperti halnya daun-daun kering di hutan yang terurai menjadi tanah. Di luar kehidupan liar, sampah-sampah ini dapat menjadi masalah, misalnya daun-daun kering di lingkungan pemukiman.
 - d. Sampah manusia
Sampah manusia adalah istilah yang biasa digunakan terhadap hasil-pencernaan manusia, seperti feses dan urin. Sampah manusia dapat menjadi bahaya serius bagi kesehatan karena dapat digunakan sebagai vektor (sarana perkembangan) penyakit yang disebabkan virus dan bakteri. Sampah manusia dapat dikurangi dan dipakai ulang misalnya melalui sistem urinoir tanpa air.
 - e. Sampah konsumsi
Sampah konsumsi merupakan sampah yang dihasilkan oleh pengguna barang, dengan kata lain adalah sampah-sampah yang dibuang ke tempat sampah. Ini adalah sampah yang umum dipikirkan manusia. Meskipun demikian, jumlah sampah kategori ini pun masih jauh lebih kecil dibandingkan sampah-sampah yang dihasilkan dari proses pertambangan dan industri.
 - f. Limbah radioaktif
Jenis limbah yang mengandung atau terkontaminasi radionuklida pada konsentrasi atau aktifitas yang melebihi batas yang ditetapkan oleh BPTN.

1.6.3 Sumber sampah

Sumber sampah merujuk pada berbagai lokasi, aktivitas, atau proses yang menghasilkan limbah atau sampah. Sumber-sumber sampah dapat bervariasi tergantung pada konteksnya, baik dari segi tempat maupun jenis sampah yang dihasilkan. Berikut merupakan sumber umum sampah menurut Abidin dkk. (2021).

1. **Rumah tangga**
Berupa sampah yang dihasilkan dari aktivitas sehari-hari rumah tangga, dapat disebut juga sebagai Sampah Rumah Tangga (SRT). Sampah ini mencakup berbagai jenis bahan yang tidak lagi dibutuhkan oleh penghuni rumah tangga dan biasanya dibuang setelah digunakan atau dikonsumsi. Sampah rumah tangga dapat meliputi: sampah organik, sampah anorganik, limbah berbahaya, limbah elektronik, sampah khusus.
2. **Kegiatan industri**
Berupa sampah yang merujuk kepada limbah yang dihasilkan dari kegiatan industri dan proses manufaktur. Sampah ini bisa berasal dari berbagai jenis industri, termasuk industri kimia, elektronik, makanan dan minuman, otomotif, tekstil, dan lainnya. Sampah industri dapat meliputi: limbah bahan baku, limbah proses, limbah bahan kimia berbahaya, limbah elektronik (*e-waste*), limbah kemasan, limbah organik.
3. **Pelayanan kesehatan**
Berupa sampah yang dihasilkan dari rumah sakit, klinik, laboratorium medis, dan instalasi kesehatan lainnya, yang dimana memiliki karakteristik khusus karena dapat mengandung bahan berbahaya seperti bahan biologis, bahan kimia, obat-obatan, dan bahan tajam. Sampah medis dapat meliputi: limbah tumpul, limbah tajam, limbah bahan berbahaya limbah farmasi, limbah infeksius.
4. **Komersial dan bisnis**
Berupa sampah yang berasal dari kegiatan bisnis dan komersial, seperti kemasan dari produk-produk yang dijual, kertas bekas dari kantor, dan limbah elektronik dari perusahaan.
5. **Institusi dan pemerintahan**
Berupa sampah dari institusi publik seperti sekolah, universitas, dan kantor pemerintahan. Sampah ini dapat berupa kertas bekas dan barang-barang bekas dari fasilitas umum.
6. **Konstruksi dan demolisi**
Berupa sampah yang dihasilkan dari proyek konstruksi, renovasi, atau pembongkaran bangunan, seperti batu bata, beton, kayu bekas, dan material bangunan lainnya.
7. **Lingkungan umum**
Berupa sampah yang dibuang secara tidak benar di tempat-tempat umum seperti di jalanan, taman, dan area publik lainnya. Ini dapat berupa sampah dari pengunjung seperti botol plastik, kemasan makanan, dan rokok bekas.

1.6.4 Timbulan sampah

SNI 19-2454-2002 menyebutkan bahwa timbulan sampah adalah banyaknya sampah yang timbul dari masyarakat dalam satuan volume maupun berat per kapita perhari, atau perluas bangunan, atau perpanjang jalan.

Timbulan sampah merujuk kepada jumlah atau volume sampah yang dihasilkan oleh suatu individu, keluarga, komunitas, atau suatu daerah dalam periode tertentu, seperti harian, mingguan, atau bulanan. Dalam (Ratya & Herumurti, 2017), Timbulan sampah menggambarkan seberapa besar atau seberapa banyak sampah yang dihasilkan oleh suatu entitas dalam suatu waktu tertentu. Timbulan sampah dapat diukur dalam berbagai metode, mulai dari berat sampah (kilogram atau ton) hingga volume (liter atau meter kubik). Hal tersebut penting dalam konteks manajemen sampah dan lingkungan, karena dapat membantu dalam perencanaan pengelolaan sampah, termasuk pemilihan teknologi pengolahan sampah yang tepat dan pengaturan kebijakan pengurangan sampah.

Semakin tinggi timbulan sampah suatu daerah, semakin besar pula tantangan untuk mengelola sampah tersebut secara efektif dan berkelanjutan. Oleh karena itu, pengelolaan timbulan sampah menjadi bagian penting dari Upaya untuk menjaga lingkungan dan meminimalkan dampak negatif dari limbah terhadap ekosistem dan kesehatan manusia.

Berdasarkan SNI 19-3964-1994, beberapa metode yang dapat dilakukan untuk melakukan pengukuran sampah dapat dilihat sebagai berikut

1. Metode timbulan sampah
Dilakukan dengan mengukur jumlah sampah yang dihasilkan dengan menimbang berat sampah pada saat pengumpulan atau penanganan.
2. Metode volume
Dilakukan dengan mengukur volume sampah baik dalam satuan liter atau meter kubik, dengan cara mengukur dimensi tumpukan atau wadah sampah.
3. Metode kuantifikasi komposisi
Mengklasifikasikan sampah berdasarkan jenisnya (misal organik, kertas, plastik, kaca, logam, dan sebagainya) dan menghitung atau mengestimasi proporsi masing-masing jenis sampah dari total timbulan.
4. Metode survei atau wawancara
Melakukan survei atau wawancara kepada rumah tangga atau unit penghasil sampah untuk mengumpulkan data tentang timbulan sampah berdasarkan estimasi atau laporan langsung dari responden.
5. Metode observasi
Mengamati langsung proses pengumpulan dan penanganan sampah untuk menghitung atau mengestimasi volume atau berat sampah yang dihasilkan.

Umumnya angka timbulan sampah kota di Indonesia berkisar antara 2-3 liter/orang/hari dengan densitas 200-300 kg/m³ dan komposisi sampah organik 70-80%. Bila pengamatan lapangan belum tersedia, maka untuk menghitung besaran

timbulan per individu dapat digunakan angka timbulan sampah sebagai berikut (SNI 19-3964-1994).

1. Satuan timbulan sampah kota sedang = 2,75 – 3,25 L/orang/hari atau 0,70 – 0,80 kg/orang/hari.
2. Satuan timbulan sampah kota kecil = 2,5 – 2,75 L/orang/hari atau 0,625 – 0,70 kg/orang/hari.

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum RI Nomor 03/PRT/M/2013 Tahun 2013, perhitungan proyeksi timbulan sampah dapat dilakukan menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Proyeksi TS} = \text{Vol. Sampah Total} \times \text{Jumlah Penduduk} \quad (1)$$

Target timbulan sampah per tahun dinyatakan dalam ton/tahun (PerMen LHK, 2018), yang dimana dalam Hadisbroto dkk (2021), perhitungan timbulan sampah dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut.

$$PJTS = \frac{(JP \times ETS)}{1000} \quad (2)$$

$$TTS = PJTS \times 365 \text{ hari} \quad (3)$$

Dengan PJTS adalah potensi jumlah timbulan sampah (ton/hari), JP adalah jumlah penduduk, ETS adalah estimasi timbulan sampah per jiwa 0,5 kg (persyaratan SNI 19-3964-1994 kota sedang dan kecil), TTS adalah target timbulan sampah per tahun (ton/tahun).

Dalam (Bagustiandi, 2024), proyeksi perhitungan berat timbulan sampah dapat menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Berat timbulan sampah} = \text{Jumlah penduduk} \times \text{Timbulan per individu} \quad (4)$$

Untuk mendapatkan potensi timbulan sampah yang belum teratasi, maka jumlah penduduk pada persamaan (4) dapat dikalikan dengan persentase sampah tidak terangkut pada wilayah yang terkait. Perhitungan tersebut dapat menggunakan persamaan sebagai berikut.

Potensi sampah tidak terangkut

$$= (\text{Jumlah penduduk} \times \text{persentase (\%) sampah tidak terangkut}) \times \text{Timbulan per individu} \quad (5)$$

1.6.5 Standarisasi dan kebijakan pengelolaan sampah

Acuan regulasi dari pengelolaan sampah yang berlaku saat ini dapat dilihat pada Tabel (1) sebagai berikut.

Tabel 1. Kebijakan pengelolaan sampah

No	Nama	Perihal	Status
1	Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008	Pengelolaan Sampah	Berlaku
2	Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012	Tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga	Berlaku
3	Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 03/PRT/M/2013	Tentang Penyelenggaraan Prasarana Dan Sarana Persampahan Dalam Penanganan Sampah	Berlaku
4	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 6 Tahun 2022	Tentang Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional	Berlaku
5	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.10/MENLHK/SETJEN/PLB.0/4 /2018	Tentang Pedoman Penyusunan Kebijakan dan Strategi Daerah Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga	Berlaku
6	Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.75/MENLHK/SETJEN/KUM.1/ 10/2019	Tentang Peta Jalan Pengurangan Sampah Oleh Produsen	Berlaku
7	Peraturan Menteri Dalam Negeri Republik Indonesia Nomor 7 Tahun 2021	Tentang Tata Cara Perhitungan Tarif Retribusi Dalam Penyelenggaraan Penanganan Sampah	Berlaku
8	Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-3964-1994	Tentang metode pengambilan dan pengukuran contoh timbulan dan komposisi sampah perkotaan	Berlaku
9	Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-2454-2002	Tentang Tata Cara Teknik Operasional Pengelolaan Sampah Perkotaan	Berlaku
10	Standar Nasional Indonesia (SNI) 3242:2008	Tentang Pengelolaan Sampah di Permukiman	Berlaku
11	Peraturan Daerah Kabupaten Luwu Timur Nomor 8 Tahun 2014	Tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Rumah Tangga	Berlaku

1.6.6 Pengelolaan Sampah

Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008 Pasal 1 Ayat 5 dan Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012 menyebutkan bahwa pengelolaan sampah adalah kegiatan yang sistematis, menyeluruh, dan berkesinambungan yang meliputi pengurangan dan penanganan sampah.

Pengelolaan sampah adalah serangkaian kegiatan yang meliputi pengumpulan, pengangkutan, pemrosesan, daur ulang, dan pembuangan akhir sampah. Tujuan utama dari pengelolaan sampah adalah untuk mengurangi dampak negatif sampah terhadap lingkungan dan kesehatan manusia serta memanfaatkan sumber daya secara efisien.

Teknik operasional pengelolaan sampah berdasarkan SNI-19-2454-2002 harus bersifat terpadu dengan melakukan pemilahan sejak dari sumbernya. Faktor yang mempengaruhi sistem pengelolaan sampah antara lain kepadatan dan penyebaran penduduk, karakteristik fisik, lingkungan, dan sosial ekonomi, timbulan dan karakteristik sampah, budaya sikap dan perilaku masyarakat, jarak dari sumber sampah ke tempat pemrosesan akhir sampah, rencana tata ruang dan pengembangan kota, sarana pengumpulan, pengangkutan, pengolahan, dan pembuangan akhir sampah, biaya yang tersedia, serta peraturan daerah setempat.

Pengelolaan sampah yang efektif menjadi krusial untuk menjaga kesehatan lingkungan dan manusia. Berikut merupakan manajemen sampah berdasarkan (Handoko, 2023).

1. *Reduce* (mengurangi): Prinsip pertama dalam manajemen sampah berkelanjutan adalah mengurangi jumlah sampah yang dihasilkan. Ini dapat dicapai dengan menghindari penggunaan produk sekali pakai, mendaur ulang, dan membuat pilihan yang berkelanjutan.
2. *Reuse* (menggunakan kembali): Menggunakan kembali barang atau kemasan dapat mengurangi jumlah sampah. Contohnya adalah membawa tas belanja sendiri atau menggunakan botol air minum yang dapat diisi ulang.
3. *Recycle* (daur ulang): Memisahkan sampah yang dapat didaur ulang seperti kertas, plastik, logam, dan kaca. Proses daur ulang mengubah material bekas menjadi produk baru.
4. *Recover* (pemulihan energi): Beberapa negara menggunakan teknologi pembakaran sampah untuk menghasilkan energi. Namun, ini juga harus diimbangi dengan kebijakan dan teknologi yang memastikan emisi gas rumah kaca rendah.
5. *Dispose* (pembuangan akhir): Sampah yang tidak dapat diolah lebih lanjut biasanya dibuang ke tempat pembuangan akhir atau dibakar. Pengelolaan tempat pembuangan akhir yang baik penting untuk mencegah pencemaran tanah dan air.
6. *Composting* (kompos): Sampah organik dapat diolah menjadi kompos melalui proses komposting. Kompos ini dapat digunakan sebagai pupuk alami untuk tanah.

Manajemen sampah yang baik melibatkan perubahan perilaku individu, kebijakan pemerintah yang mendukung, dan inovasi teknologi dalam pengelolaan sampah. Semua itu untuk mencapai pengelolaan sampah yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Pengurangan sampah. Pengurangan sampah merupakan langkah-langkah yang diambil untuk mengurangi jumlah dan mengelola limbah yang dihasilkan dari aktivitas manusia. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 81 Tahun 2012 Pasal 11 Ayat (1), pengurangan sampah mencakup pembatasan jumlah sampah yang dihasilkan, pendauran ulang, dan/atau pemanfaatan kembali sampah. Ayat (2) menjelaskan bahwa pengurangan sampah dilakukan melalui:

1. Penggunaan bahan yang bisa digunakan kembali, bahan yang dapat didaur ulang, dan/atau bahan yang mudah terurai secara alami.
2. Pengumpulan dan pengembalian sampah dari produk dan/atau kemasan yang telah digunakan.

Hal ini sangat penting untuk menjaga lingkungan dan mengurangi dampak negatif sampah terhadap ekosistem. Beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk melakukan pengurangan sampah antara lain sebagai berikut.

1. Pengurangan sampah berbasis masyarakat
Melakukan sosialisais pengurangan sampah berbasis masyarakat melalui program 3R (*reduce, reuse, recycle*) yang bertujuan untuk mengubah pola masyarakat dalam pengelolaan sampah rumah tangga, seperti membentuk Bank Sampah.
2. Pengurangan sampah dalam industri
Melakukan penerapan prinsip 3R (*reduce, reuse, recycle*), merancang produk yang berkelanjutan, melakukan optimasi proses produksi, melakukan manajemen limbah yang terpadu, melakukan kemitraan dan kolaborasi, serta melakukan pendidikan dan pelatihan.
3. Solusi pengurangan sampah pribadi
Menggunakan kembali barang, menghindari penggunaan barang sekali pakai, melakukan daur ulang, mengurangi pembelian barang yang tidak diperlukan, menggunakan produk ramah lingkungan, penggunaan kompos, pemilihan produk dengan kemasan minimalis, menggunakan botol dan wadah isi ulang, edukasi dan kesadaran

Penanganan sampah. Penanganan sampah merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mengelola sampah agar tidak mencemari lingkungan. Penanganan sampah dapat melibatkan berbagai pihak, mulai dari masyarakat, pemerintah, hingga swasta. Adapun metode penanganan sampah meliputi pemilahan sampah hingga pemrosesan akhir sampah.

Pemilahan sampah. Menurut SNI 19-2454-2002, pemilahan sampah adalah proses yang memisahkan sampah berdasarkan jenisnya, dimulai dari sumbernya hingga ke tempat pembuangan akhir. Proses ini bertujuan untuk memungkinkan pengelolaan sampah yang lebih efisien dan pemrosesan yang tepat. Metode pemilahan mencakup pemilahan di sumber, penggunaan warna dan label, serta penerapan teknologi pemilahan otomatis.

Manfaat dari pemilahan sampah meliputi peningkatan kemungkinan untuk mendaur ulang material dalam proses produksi atau pembuatan produk baru. Pemilahan sampah bertujuan untuk memungkinkan pengelolaan yang lebih efisien dan pengolahan yang tepat. Metode pemilahan yang diterapkan terdiri atas pemilahan di sumber, penggunaan warna dan label, serta penerapan teknologi pemilahan otomatis. Selain itu, pemilahan sampah juga dapat mengurangi biaya pemrosesan dan pembuangan, serta mempermudah pengelolaan sampah secara keseluruhan.

Pewadahan sampah. Menurut SNI 19-2454-2002, pewadahan sampah adalah kegiatan penyimpanan sampah secara sementara dalam wadah yang dapat bersifat individual atau komunal di lokasi sumber sampah. Dalam Effendi (2007), pewadahan sampah terbagi atas pewadahan individual dan pewadahan komunal.

a. Pewadahan individual

Pewadahan sampah individual adalah metode penampungan sementara sampah yang dilakukan oleh individu atau rumah tangga di sumbernya. Wadah ini biasanya ditempatkan di depan rumah atau di area tertentu di sekitar properti pemilik. Kriteria pewadahan individual dapat diklasifikasikan sebagai berikut

1. Bentuk: Kotak, silinder, kantong, atau kontainer.
2. Sifat: Mudah diangkat, tertutup, dan dapat dipindahkan.
3. Bahan: Tahan cairan, panas, dan kasar (logam, plastik, atau fiberglas).
4. Ukuran: 10-50 liter untuk rumah, 100-500 liter untuk tempat usaha kecil.
5. Pengadaan: Dilakukan secara pribadi, swadaya masyarakat, atau instansi.
6. Penempatan: Di halaman depan atau belakang, sesuai jenis tempat.

b. Pewadahan komunal

Pewadahan sampah komunal adalah metode penampungan sementara sampah di satu lokasi yang digunakan bersama oleh masyarakat di daerah tertentu. Metode ini digunakan di area yang memerlukan fasilitas umum, seperti pemukiman sedang, kumuh, taman kota, jalan, dan pasar. Kriteria pewadahan komunal dapat diklasifikasikan sebagai berikut.

1. Bentuk: Kotak, silinder, atau kontainer, ditetapkan instansi.
2. Sifat: Tidak bersatu dengan tanah, tertutup, mudah diangkat.
3. Bahan: Tahan cuaca dan cairan, mudah dibersihkan (seperti pada pewadahan individual).
4. Ukuran: 100-500 liter di pinggir jalan/taman, 1-10 m³ di pemukiman/pasar.
5. Pengadaan: Disediakan oleh instansi, pemilik, atau swasta.
6. Penempatan: Tidak mengganggu pengguna jalan, sedekat mungkin dengan sumber sampah.

Pengumpulan sampah. Menurut SNI 19-2454-2002, pengumpulan sampah melibatkan kegiatan yang mencakup pengambilan sampah dari wadah individual atau komunal dan pengangkutannya ke terminal atau lokasi tertentu, baik melalui

metode pengangkutan langsung maupun tidak langsung. Proses ini mencakup pengambilan sampah dari berbagai sumber, termasuk rumah tangga, sektor komersial, dan industri, serta transportasinya ke fasilitas pengolahan atau tempat pembuangan akhir (TPA). Tujuan utama dari pengumpulan sampah adalah untuk mengurangi pencemaran lingkungan, mengelola sampah dengan lebih efisien, dan meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya pengelolaan sampah.

Berdasarkan Effendi (2007), pengumpulan sampah adalah proses yang melibatkan pengambilan sampah dari berbagai sumber untuk kemudian diangkut ke tempat pembuangan atau pengolahan sampah. Pengumpulan sampah dapat dilakukan melalui metode pengumpulan individual maupun komunal, dengan pola yang bervariasi sesuai dengan kondisi wilayah dan keterbatasan infrastruktur. Adapun metode pengumpulan terbagi sebagai berikut.

1. Pengumpulan individual langsung: Sampah dikumpulkan langsung dari sumbernya dan dibawa langsung ke TPA. Metode ini diterapkan di pemukiman dengan jalan memadai untuk truk, mempermudah pengangkutan langsung dan mengurangi pencemaran lingkungan.
2. Pengumpulan individual tidak langsung: Sampah diambil dari sumber, dibawa ke lokasi pemindahan menggunakan gerobak, lalu diangkut ke TPA. Cocok untuk daerah berakses rendah dengan infrastruktur terbatas, karena mengandalkan lokasi pemindahan untuk efisiensi.
3. Pengumpulan komunal langsung: Sampah dikumpulkan dari wadah komunal dan diangkut langsung ke TPA. Metode ini diterapkan di pemukiman tidak teratur dengan akses alat terbatas, serta membutuhkan partisipasi masyarakat tinggi.
4. Pengumpulan komunal tidak langsung: Sampah diambil dari wadah komunal, dibawa ke lokasi pemindahan, dan kemudian diangkut ke TPA. Metode ini cocok untuk area dengan akses sulit atau topografi menantang, serta memerlukan lahan pemindahan dan keterlibatan masyarakat.

Pengangkutan sampah. Menurut Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2008, pengangkutan sampah adalah kegiatan memindahkan sampah dari sumbernya dan/atau dari tempat penampungan sampah sementara, seperti Tempat Pembuangan Sampah 3R (TPS 3R), ke fasilitas pengolahan sampah terpadu atau tempat pembuangan akhir menggunakan kendaraan khusus yang dirancang untuk tujuan tersebut. SNI 19-2454-2002 juga mendefinisikan pengangkutan sampah sebagai proses memindahkan sampah dari lokasi pemindahan atau langsung dari sumbernya ke tempat pembuangan akhir.

Metode pengangkutan sampah dilakukan dengan melihat aspek jenis sampah, peralatan dan kendaraan, prosedur pengangkutan, penanganan darurat, dan pengendalian kualitas. Sampah akan diangkut ke TPA dengan memenuhi kriteria sebagai berikut.

1. Peralatan yang digunakan untuk mengangkut sampah adalah truk terbuka, *Dump Truck*, *Arm Roll Truck*, dan *Compaction Truck*.
2. Umur teknis peralatan antara 5 sampai 7 tahun

3. Pemilihan jenis truk ditentukan oleh kondisi jalan daerah operasi, jarak tempuh, karakteristik sampah, tingkat persyaratan sanitasi yang dibutuhkan, daya dukung pemeliharaan dan sebagainya.
4. Daerah pelayanan tetap dan dilayani oleh peralatan angkutan yang tepat dan dalam kondisi bagus.

Pengolahan sampah. Pengolahan sampah adalah proses mengubah karakteristik, komposisi, dan jumlah sampah. Tujuan utama pengolahan sampah adalah untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia (Abidin dkk., 2021).

Pemrosesan akhir sampah. Dalam Abidin dkk. (2021), merupakan tahap terakhir pengembalian sampah dan/atau residu hasil pengolahan sebelumnya ke media lingkungan secara aman. Tujuan diantaranya untuk mengurangi risiko pencemaran lingkungan akibat dari penumpukan sampah, pemulihan lahan, dan mengontrol risiko kesehatan. Adapun metode pembuangan akhir sampah berdasarkan SNI 03-3241-1994 dapat dilihat sebagai berikut.

1. **TPA Terbuka (*Open Dumping*)**
Merupakan metode dimana sampah ditumpuk secara langsung di atas permukaan tanah terbuka. Hal ini dapat menyebabkan pencemaran lingkungan dan menjadi sumber masalah kesehatan jika tidak dikelola dengan baik.
2. **TPA Terkendali (*Controlled Landfill*)**
Menggunakan lapisan pelindung seperti liner sintetis dalam pengumpulan air lindi untuk mengurangi dampak lingkungan.
3. ***Sanitary Landfill***
Merupakan pengembangan dari controlled landfill yang dirancang untuk mengurangi risiko pencemaran lingkungan dengan menutupi sampah secara teratur dengan tanah atau bahan penutup lainnya untuk mengurangi odor dan mempercepat dekomposisi sampah.

Menurut (Aminuddin dkk., 2020), kelayakan lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) ditentukan melalui tiga tahapan kriteria secara berurutan, yaitu kriteria regional (Tahap-1), penyisihan (Tahap-2), dan penetapan (Tahap-3). Tujuan Tahap-1 adalah untuk mengidentifikasi zona layak atau tidak layak dengan menerapkan lima kriteria regional (pembatas atau *constraint*), yaitu: geologi/sesar, hidrogeologi, kemiringan tanah, jarak bandara, kawasan lindung, dan daerah genangan/banjir. Sebagian besar kriteria ini memiliki subkriteria masing-masing, sehingga total faktor pembatas menjadi sembilan faktor.

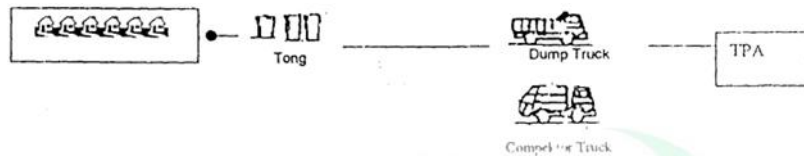
Penanganan sampah yang efektif membutuhkan perencanaan yang matang, infrastruktur yang memadai, serta partisipasi aktif dari masyarakat. Ini merupakan bagian penting dari upaya global untuk menjaga kebersihan lingkungan, mengurangi dampak perubahan iklim, dan meningkatkan kualitas hidup manusia secara keseluruhan.

1.6.7 Pengangkutan sampah

Pengangkutan berasal dari kata “angkut”, yang mencakup arti mengangkat, membawa, memuat, atau mengirimkan barang atau orang. Dalam konteks ini, pengangkutan merujuk pada proses aktivitas atau pergerakan barang atau orang dari satu lokasi ke lokasi lainnya (Hadisbroto dkk., 2021).

Prosedur pengangkutan sampah. Dalam melakukan pengangkutan sampah, terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan, yang termuat dalam SNI 19-2454-2002. Prosedur pengangkutan sampah dapat dilihat sebagai berikut.

1. Pola pengangkutan sampah
 - a. Individual langsung (*door to door*)



Gambar 1. Pola pengangkutan sampah individual

Sumber: SNI 190-2454-2002

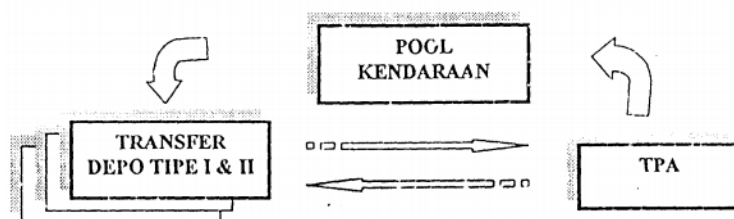
Keterangan:

1. Truk pengangkut sampah dari *pool* menuju titik sumber sampah pertama untuk mengambil sampah.
2. Mengambil sampah pada titik-titik sumber sampah berikutnya sampai truk penuh sesuai dengan kapasitasnya.
3. Pengangkutan ke TPA.
4. Pengosongan di TPA, truk menuju ke lokasi sumber sampah berikutnya, sampai terpenuhi ritasi yang telah ditetapkan.

- b. Komunal

Pengangkutan sampah ini dengan metode pengumpulan sampah melalui sistem pemindahan di transfer depo dengan pola pengangkutan dapat dilihat dengan cara berikut.

1. Pola pengangkutan sistem transfer depo tipe I dan II

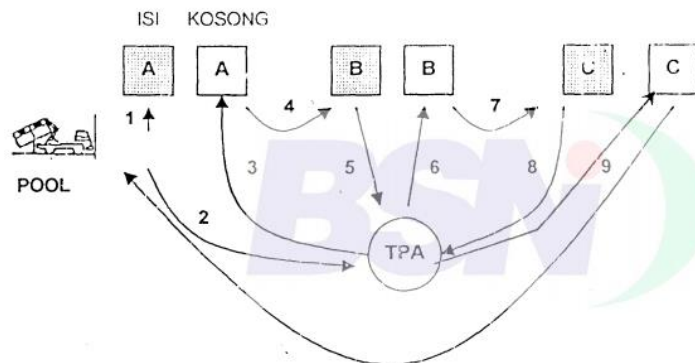


Gambar 2. Sistem transfer depo tipe I dan II

Sumber: SNI 190-2454-2002

Keterangan:

- a. Kendaraan pengangkut sampah keluar dari *pool* langsung menuju lokasi pemindahan di transfer depo untuk mengangkut sampah ke TPA.
 - b. Dari TPA kendaraan tersebut kembali ke transfer depo untuk pengambilan pada ritasi berikutnya.
2. Pola pengangkutan sistem transfer depo tipe III
- a. Cara 1

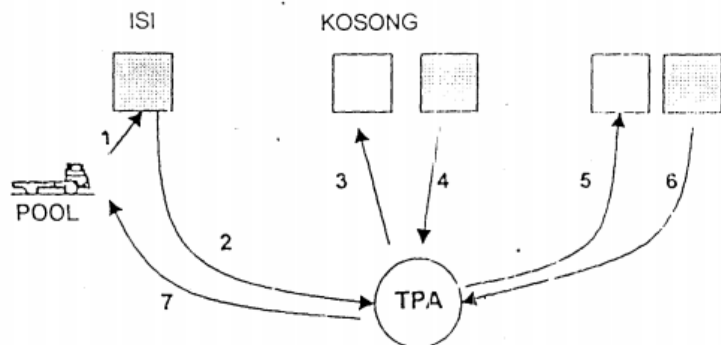


Gambar 3. Sistem transfer depo tipe III cara 1

Sumber: SNI 190-2454-2002

Keterangan:

1. Angka 1, 2, 3, ..., 10 adalah rute alat angkut.
 2. Kendaraan dari *pool* menuju kontainer isi pertama untuk mengangkut sampah ke TPA.
 3. Kontainer kosong dikembalikan ke tempat semula, menuju ke kontainer isi berikutnya untuk diangkut ke TPA.
 4. Kontainer kosong dikembalikan ke tempat semula.
 5. Demikian seterusnya sampai ritasi terakhir.
- b. Cara 2



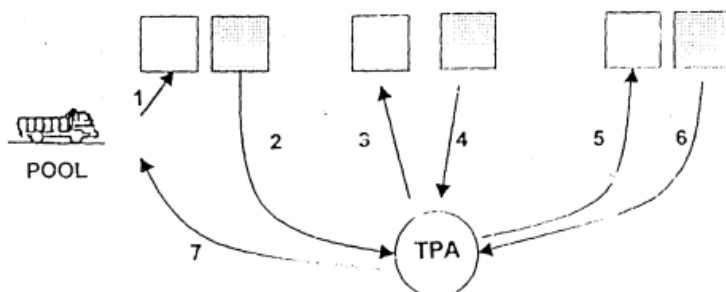
Gambar 4. Sistem transfer depo tipe III cara 2

Sumber: SNI 190-2454-2002

Keterangan:

1. Angka 1, 2, 3, ..., 10 adalah rute alat angkut.
2. Kendaraan dari *pool* menuju kontainer isi pertama untuk mengangkut sampah ke TPA.
3. Dari TPA kendaraan tersebut dengan kontainer kosong menuju lokasi kedua untuk menurunkan kontainer kosong dan membawa kontainer isi untuk diangkut ke TPA, demikian seterusnya sampai ritasi terakhir.
4. Pada ritasi terakhir dengan kontainer kosong, dari TPA menuju ke lokasi kontainer pertama untuk meletakkan kontainer, kemudian truk kembali ke Pool tanpa kontainer.
5. Sistem ini diberlakukan pada kondisi tertentu (mis: pengambilan pada jam tertentu atau mengurangi kemacetan lalu lintas).

c. Cara 3



Gambar 5. Sistem transfer depo tipe III cara 3

Sumber: SNI 190-2454-2002

Keterangan:

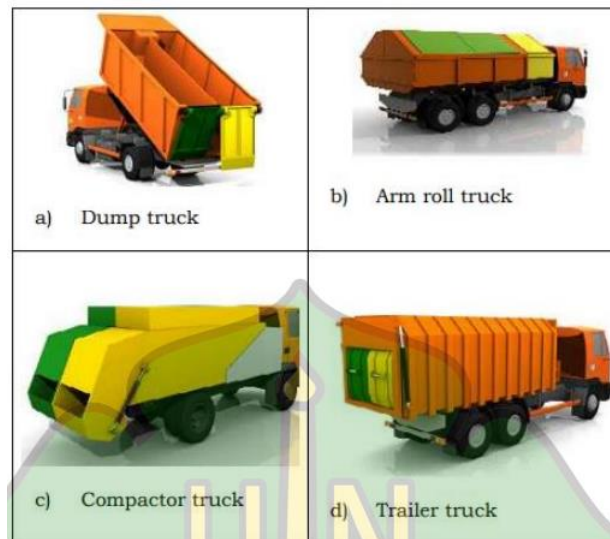
1. Angka 1, 2, 3, ..., 10 adalah rute alat angkut.
2. Kendaraan dari *pool* dengan membawa kontainer kosong menuju ke lokasi kontainer isi untuk mengganti/mengambil dan langsung membawa ke TPA.
3. Kendaraan dengan membawa kontainer kosong dari TPA menuju ke kontainer isi berikutnya.
4. Demikian seterusnya sampai dengan ritasi terakhir.

2. Peralatan pengangkutan sampah

a. Persyaratan alat pengangkut

1. Alat pengangkut sampah harus dilengkapi dengan penutup sampah, minimal dengan jaring.
2. Tinggi bak maksimum 1,6 m.
3. Sebaiknya ada alat ungkit.
4. Kapasitas disesuaikan dengan kelas jalan yang akan dilalui.

5. Bak truk/dasar kontainer sebaiknya dilengkapi pengaman air sampah.
- b. Jenis peralatan (Rahmi, 2023)



Gambar 6. Alat angkut sampah

Sumber: Rahmi, 2023

1. *Dump truck/tipper truck*

Dump truck atau *tipper truck* dilengkapi sistem hidrolis untuk mengangkat bak dan membongkar muatannya. Pengisian muatan masih tetap secara manual dengan tenaga kerja. Truk ini memiliki kapasitas yang bervariasi yaitu 6 m³, 8 m³, 10 m³, hingga 14 m³. Dalam pengangkutan sampah, efisiensi penggunaan dump truck dapat dicapai apabila memenuhi beberapa kriteria yaitu jumlah trip atau ritasi perhari minimum 3 dan jumlah awak maksimum 3. Agar tidak mengganggu lingkungan selama perjalanan ke TPA, dump truck sebaiknya dilengkapi dengan tutup terpal.

2. *Arm roll truck*

Arm roll truck dilengkapi sistem hidrolik untuk mengangkat bak dan membongkar muatannya. Pengisian muatan tetap dilakukan secara manual dengan tenaga kerja. Kapasitas truk ini bervariasi, yaitu 6 m³, 8 m³, dan 10 m³. Efisiensi penggunaan *arm roll truck* dalam pengangkutan sampah dapat dicapai dengan memenuhi kriteria minimal lima trip atau ritasi per hari dan jumlah awak maksimal satu orang. Untuk mencegah gangguan lingkungan selama perjalanan menuju Tempat Pembuangan Akhir (TPA), kontainer sebaiknya memiliki tutup yang rapat dan tidak rembes agar lindi tidak tercecce.

Jika kontainer tidak memiliki tutup, maka harus dilengkapi dengan penutup terpal selama pengangkutan.

3. *Compactor truck*

Compactor truck adalah kendaraan angkut yang dilengkapi dengan sistem hidrolik untuk memadatkan dan membongkar muatannya. Proses pengisian muatan dilakukan secara manual oleh tenaga kerja. Kapasitas truk ini bervariasi, yaitu 6 m³, 8 m³, dan 10 m³. Efisiensi penggunaan *compactor truck* dalam pengangkutan sampah dapat tercapai jika memenuhi kriteria minimal tiga trip atau ritasi per hari dengan jumlah awak maksimal dua orang.

4. *Trailer truck*

Trailer truck adalah kendaraan angkut berkapasitas besar, mampu mengangkut sampah hingga 30 ton. Kendaraan ini terdiri atas prime mover dan kontainer beroda yang dilengkapi sistem hidrolik untuk proses bongkar muatan. Pengisian muatan dilakukan secara hidrolik dengan tingkat kepadatan tinggi di *transfer station*. Kapasitas trailer berkisar antara 20 hingga 30 ton. Efisiensi penggunaannya dapat tercapai jika memenuhi kriteria minimal lima trip atau ritasi per hari dengan jumlah awak maksimal dua orang.

Kebutuhan armada. Proyeksi kebutuhan armada pengangkutan sampah dihitung untuk memastikan jumlah kendaraan yang memadai sesuai volume sampah, frekuensi angkut, dan area layanan. Perhitungan ini mempertimbangkan volume sampah harian, kapasitas angkut armada, dan pola distribusi, sehingga menghasilkan estimasi jumlah armada yang efisien untuk mendukung operasional pengangkutan secara optimal (Hadisbroto dkk., 2021).

1. Perhitungan kebutuhan armada

$$\text{Jumlah Armada} = \frac{\text{Volume Sampah}}{\text{Kapasitas Alat} \times \text{Rit}} \quad (6)$$

Dengan jumlah armada (unit), volume sampah (m³), kapasitas alat (m³), ritasi pengangkutan (rit).

2. Perhitungan kebutuhan kontainer penampung sampah

$$N_{\text{kontainer}} = \frac{\text{Volume Sampah}}{\text{Volume Kontainer}} \quad (7)$$

Dengan $N_{\text{kontainer}}$ adalah jumlah kontainer penampung yang dibutuhkan (bak), V_{sampah} adalah volume sampah (m³), V_{sampah} adalah volume bak kontainer (m³).

3. Konversi satuan

$$p = \frac{m}{v} \quad (8)$$

Dengan p adalah massa jenis sampah (kg/m³). m adalah berat sampah (kg) dan v adalah volume sampah (m³).

Rute pengangkutan sampah. Pencarian rute adalah bagian penting dalam model pembebanan jaringan jalan menurut Rahmi (2023), sering disebut pembentukan pohon jaringan. Proses ini mendukung algoritma pemecahan rute yang dilakukan berulang kali, sehingga algoritma yang baik dapat menghemat waktu dan biaya operasional. Dalam konteks pengangkutan sampah, rute harus dirancang secara efektif untuk memastikan akses cepat ke Tempat Pemrosesan Akhir (TPA), mencegah penumpukan sampah, dan mempermudah proses pengangkutan dari TPS ke TPA. Metode *trial and error* sering digunakan karena tidak ada aturan baku untuk desain rute. Data yang dipertimbangkan meliputi kondisi armada, kebijakan pengangkutan, dan karakteristik wilayah seperti topografi dan aksesibilitas.

Desain rute pengangkutan memerlukan pedoman khusus, seperti memulai dan mengakhiri rute di jalan utama, mempertimbangkan topografi wilayah, serta menyesuaikan waktu pengangkutan dengan aktivitas lalu lintas. Daerah dengan timbunan sampah tinggi dilayani lebih dulu, sementara wilayah padat lalu lintas diangkut pada pagi hari. Langkah awal melibatkan analisis data yang diplot ke peta untuk lokasi TPS, frekuensi pengumpulan, dan jumlah kontainer, diikuti dengan rancangan rute awal dan evaluasi melalui uji coba. Dengan pendekatan ini, desain rute dapat dioptimalkan agar pekerja dan peralatan digunakan secara maksimal sesuai kondisi lapangan.

Optimalisasi rute Rahmi (2023) mengungkapkan bahwa Optimalisasi berasal dari kata optimal, yang berarti terbaik, tertinggi, atau paling menguntungkan. Optimalisasi adalah proses menjadikan sesuatu lebih baik, tinggi, maksimal, dan efisien untuk mencapai hasil yang paling menguntungkan. Dalam konteks rute, optimalisasi rute adalah upaya untuk menjadikan rute paling efektif dan efisien sehingga memberikan keuntungan maksimal saat diterapkan.

Sistem pengangkutan sampah. Dalam Aminuddin dkk. (2020), pola pengangkutan sampah dapat dilakukan berdasarkan sistem pengumpulan sampah. Jika pengumpulan dan pengangkutan sampah menggunakan sistem pemindahan (TPS/TPS 3R) atau sistem tidak langsung, proses pengangkutannya dapat menggunakan sistem kontainer angkat (*Hauled Container System/HCS*) ataupun sistem kontainer tetap (*Stationary Container System/SCS*).

1. *Hauled Container System* (HCS)

HCS adalah sistem pengumpulan dimana kontainer untuk menyimpan sampah diangkut (*hauled*) ke tempat pembuangan, dikosongkan, dan dikembalikan ke lokasi mereka semula atau beberapa lokasi lain. HCS mempunyai keuntungan hanya membutuhkan satu truk dan pengemudi untuk menyelesaikan siklus pengumpul, masing-masing kontainer yang diambil (*pick-up*) membutuhkan sebuah trip keliling ke lokasi pembuangan (atau titik tujuan yang lain). HCS digunakan pada armada tipe *arm roll truck*.

2. *Stationary Container System* (SCS)

SCS adalah sistem yang biasanya digunakan untuk kontainer kecil serta alat angkut berupa truk kompaktor secara mekanis atau manual. Kontainer

penyimpanan sampah tetap berada di lokasi yang sama di titik penimbunan. Kontainer ini tidak dipindahkan setelah diisi, melainkan diatur untuk dikosongkan di tempat yang sama atau di lokasi yang sangat dekat dengan area penyimpanan. Sistem ini cocok untuk area dengan volume sampah yang konsisten dan dapat mengurangi biaya transportasi karena kontainer tetap berada di lokasi yang sama. SCS digunakan pada armada tipe *dump truck*.

Jadwal pengangkutan. Penentuan jadwal pengangkutan sampah melibatkan sejumlah pertimbangan teknis penting untuk memastikan proses pengangkutan dilakukan secara efisien, tepat waktu, dan sesuai dengan kebutuhan masyarakat serta kondisi lingkungan. Beberapa aspek teknis yang perlu diperhatikan meliputi:

1. **Pemetaan area pengangkutan**
Pemetaan area pengangkutan dilakukan dengan mengidentifikasi sumber sampah untuk menentukan prioritas pengumpulan.
2. **Frekuensi pengangkutan**
Frekuensi pengangkutan memerhatikan volume dan jenis sampah yang dihasilkan masing-masing zona dan identifikasi berdasarkan karakteristik lingkungan.
3. **Kapasitas kendaraan dan peralatan**
Memastikan bahwa kapasitas kendaraan dan peralatan yang digunakan sesuai dengan volume sampah serta pengaruh waktu bongkar muat sampah dari kendaraan ke tempat pembuangan atau fasilitas pengolahan.
4. **Jadwal operasional**
Penentuan hari dan waktu berdasarkan pola lalu lintas, aktivitas masyarakat, dan regulasi lalu lintas.
5. **Teknologi pendukung**
Komunikasi antara operator, pengemudi truk sampah, dan pusat pengendalian, serta penggunaan teknologi seperti Sistem Informasi Geografis (GIS) dapat menjadi pendukung dalam penentuan jadwal pengangkutan.

1.6.8 Pengelolaan sampah berbasis kelanjutan

Pengelolaan sampah berkelanjutan berfokus pada upaya untuk mengelola sampah secara efektif, mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan, dan menjaga keberlanjutan dalam jangka panjang. Tujuan utamanya adalah untuk meminimalkan jumlah limbah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir dan meningkatkan penggunaan kembali sumber daya yang berasal dari sampah. Berikut adalah beberapa prinsip dan praktik yang terkait dengan pengelolaan sampah berbasis keberlanjutan.

1. **Pengurangan sampah**
Kebiasaan mengurangi jumlah sampah yang dihasilkan merupakan langkah awal dalam pengelolaan sampah berkelanjutan. Hal ini mencakup

menghindari pembelian produk yang tidak diperlukan, menggunakan barang yang bisa digunakan kembali, serta memilih produk dengan umur pakai yang Panjang untuk mengurangi konsumsi berlebihan dan pemborosan sumber daya.

2. **Daur ulang**
Daur ulang melibatkan proses mengumpulkan, memproses, dan mengubah sampah menjadi produk baru. Dengan mendaur ulang barang bekas, kebutuhan akan bahan mentah baru dapat ditekan, sehingga mengurangi eksploitasi sumber daya alam dan menekan jumlah sampah yang dikirim ke tempat pembuangan akhir. Daur ulang menjadi komponen penting dalam pengelolaan sampah berkelanjutan.
3. **Kompos**
Sampah organik seperti sisa makanan dan tanaman bisa diolah menjadi kompos, yang kemudian digunakan sebagai pupuk alami dalam pertanian dan berkebun. Proses ini membantu mengurangi limbah organik yang berakhir di tempat pembuangan akhir dan menurunkan ketergantungan pada pupuk kimia.
4. **Pemilahan sampah**
Pengelolaan sampah yang efektif memerlukan pemilahan yang tepat, di mana sampah dipisahkan berdasarkan jenisnya, seperti bahan yang bisa didaur ulang, sampah organik, dan sampah yang tidak bisa diolah kembali. Pemilahan yang baik di rumah, kantor, dan fasilitas umum membantu memastikan bahwa sampah diproses sesuai dengan kemampuannya untuk diolah kembali atau didaur ulang.
5. **Pengolahan sampah**
Pengolahan sampah adalah Langkah kunci dalam pengelolaan sampah. Ini mencakup fasilitas pemisahan, daur ulang, kompos, dan pengolahan limbah berbahaya. Teknologi modern juga dapat digunakna untuk mengubah sampah menjadi energi, seperti produksi biogas atau pembangkit listrik dari sampah.
6. **Edukasi masyarakat**
Edukasi masyarakat tentang cara yang benar untuk mengelola sampah dapat memainkan peran besar dalam mendukung praktik pengelolaan sampah berbasis keberlanjutan.
7. **Penggunaan teknologi cerdas**
Teknologi cerdas, seperti sensor tempat sampah, aplikasi pelacakan sampah, dan sistem data *real-time*, membantu meningkatkan efisiensi pengelolaan sampah serta meminimalkan dampak lingkungan.
8. **Kerjasama dan kemitraan**
Kerjasama antara pemerintah, swasta, komunitas, dan lembaga internasional penting untuk memperkuat program pengelolaan sampah yang berkelanjutan melalui pertukaran sumber daya, teknologi, dan pengetahuan.

9. Kebijakan dan regulasi
Kebijakan dan regulasi yang mendukung pengelolaan sampah berkelanjutan diperlukan untuk mendorong praktik-praktik seperti daur ulang, pengurangan sampah, dan inovasi teknologi dalam pengelolaan sampah.
10. Inovasi teknologi dan riset
Pengembangan teknologi baru dan riset berkelanjutan memungkinkan munculnya solusi inovatif dalam pengelolaan sampah, seperti konversi sampah menjadi energi dan peningkatan efisiensi daur ulang.

1.6.9 Penduduk

Laju pertumbuhan penduduk Indonesia dapat diketahui berdasarkan faktor-faktor seperti kelahiran, kematian, dan migrasi, yang semuanya memengaruhi pertumbuhan populasi. Proyeksi penduduk merujuk pada estimasi atau perkiraan tentang bagaimana populasi suatu wilayah atau negara akan berkembang di masa depan, berdasarkan populasi, tingkat kelahiran, kematian, dan migrasi. Dalam Purwita dkk (2022), pengolahan dan analisis data dapat menggunakan rumus pertumbuhan penduduk sebagai berikut.

$$P_n = P_o \times (1 + r)^{dn} \quad (9)$$

Keterangan:

P_n = Jumlah penduduk pada tahun n

P_o = Jumlah penduduk pada tahun awal (dasar)

r = Rata-rata pertambahan penduduk tiap tahun

dn = Kurun waktu proyeksi

Berdasarkan peraturan SNI 03-1733-2004 tentang Tata Cara Perencanaan Lingkungan Perumahan di Perkotaan, klasifikasi kepadatan penduduk dibagi dalam empat kelompok sebagai berikut.

Tabel 2. Klasifikasi kepadatan penduduk

No	Klasifikasi	Kepadatan (jiwa/ha)
1	Rendah	< 150
2	Sedang	151 – 200
3	Tinggi	200 – 400
4	Sangat Padat	> 400

Sumber: SNI 03-1733-2004

Untuk mengetahui kepadatan penduduk suatu wilayah, dilakukan perhitungan dengan membandingkan jumlah penduduk yang menghuni wilayah tersebut terhadap luas area yang ditempatinya. Penghitungan kepadatan penduduk bertujuan untuk memberikan gambaran mengenai distribusi populasi dalam suatu wilayah, sehingga hasilnya dapat dimanfaatkan dalam perencanaan infrastruktur,

penyediaan layanan publik, serta pengembangan kawasan secara optimal. Adapun Langkah dalam menghitung kepadatan penduduk dapat dilakukan sebagai berikut.

$$\text{Kepadatan penduduk} = \frac{\text{Jumlah penduduk}}{\text{Luas wilayah}} \quad (10)$$

Keterangan:

Jumlah penduduk = Didapatkan dari data sensus penduduk

Luas wilayah = Satuan kilometer persegi (km²) atau meter persegi (m²)

1.6.10 Populasi dan sampel

Dalam Prasetyo dkk (2024), populasi adalah wilayah umum yang memuat objek atau subjek dengan ciri ciri tertentu yang peneliti putuskan untuk dipelajari dan diambil kesimpulannya. Sementara sampel adalah bagian dari jumlah dan karakteristik yang dimiliki oleh populasi tersebut. Untuk menentukan suatu responden, dapat menggunakan metode *slovin* dengan persamaan sebagai berikut.

$$n = \frac{N}{1+N.e^2} \quad (11)$$

Keterangan:

N = Jumlah populasi

n = Ukuran sampel yang dibutuhkan

e = Tingkat kesalahan yang diizinkan (margin kesalahan maksimum yang diperbolehkan adalah 10% untuk populasi besar)

1.6.11 Penentuan rentang klasifikasi

Dalam Rahayu dkk (2016), pada penentuan interval atau rentang suatu klasifikasi, diperoleh dengan data terbesar dan data terkecil pada sampel dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$C = \frac{\text{data terbesar} - \text{data terkecil}}{K} \quad (12)$$

Keterangan:

K = Jumlah kelas/kategori skala

Dimana data terbesar merupakan data dengan nilai paling maksimum dan data terkecil berupa data dengan nilai paling minimum penelitian yang akan diuji. Kategori skala atau penentuan jumlah kelas ditentukan berdasarkan rentang yang ingin dicapai pada penelitian.

1.6.12 Studi terdahulu

Beragam studi terdahulu telah dilakukan dengan membahas pengangkutan sampah. Adapun studi terdahulu tersebut dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 3. Studi terdahulu pengangkutan sampah

No	Judul	Sumber	Pembahasan
1	Evaluasi Pengelolaan Limbah Padat Domestik (Studi Kasus Pt. X)	Febrita, 2021	Sebagai industri yang berwawasan lingkungan, perusahaan memiliki sistem penanganan limbah padat domestik agar tidak tercemar dan berbahaya bagi makhluk hidup. Penelitian bertujuan untuk mengevaluasi pengelolaan limbah padat domestik di PT. X. Pada pengangkutan sampahnya dilakukan dengan armada jenis <i>dumpster</i> dengan sistem HCS, <i>dump truck</i> dengan sistem SCS, dan <i>pick up</i> , tergantung lokasi dan jenis sampahnya. Hasil evaluasi pada pengangkutan sampahnya menunjukkan sistem pengangkutan yang dilakukan oleh PT. X sudah dilakukan dengan optimal secara <i>door to door</i> , sampah tidak dibiarkan menumpuk di sumber sampah, dan menggunakan rute pengangkutan terpendek dengan hambatan sekecil mungkin.
2	Pemberdayaan Masyarakat Lingkar Tambang dalam Pengolahan Limbah Organik	Adiansyah dkk, 2018	Penelitian ini menunjukkan bahwa pihak PT. STM (Sumbawa Timur Mining) yang berada di sekitar Desa Daha sudah memfasilitasi pihak desa melalui kelompok binaan dalam mengatasi permasalahan sampah rumah tangga dengan memberikan fasilitas armada pengangkut sampah untuk mengangkut sampai sampah di tempat pembuangan akhir, namun hanya bersifat temporal dan tidak berlanjut hingga saat ini karena para pengelola sampah dan pengelola BUMDes di tingkat desa tidak berjalan dengan baik. Hasil penelitian menunjukkan masyarakat setempat diberikan pembinaan terkait pengolahan limbah organik dengan metode komposting secara individual.
3	Pengelolaan Sampah Berbasis Komunitas di Perkampungan PT. Bukit Asam,	Fitriani dkk 2024	Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi praktik pengelolaan sampah, dan partisipasi masyarakat dalam pengelolaan sampah, serta mengembangkan strategi pengelolaan sampah yang efektif di Kawasan Permukiman PT. Bukit Asam melalui metode analisis SWOT. Dalam pengangkutan

No	Judul	Sumber	Pembahasan
	Tanjung Enim, Indonesia		sampahnya dilakukan oleh layanan umum untuk diangkut langsung ke TPA.
4	Pemberdayaan Masyarakat Lingkar Tambang Melalui Pemanfaatan CSR di Kecamatan Malifut	Faisal, 2022	PT. Nusa Halmahera Mineral menerapkan <i>Corporate Social Responsibility</i> (CSR) sebagai bentuk perhatian terhadap dimensi sosial dan lingkungan yang menjadi tempat pengelolaan bahan tambang, dimana pihak perusahaan wajib memberikan bantuan serta perbaikan lingkungan pada masyarakat disekitar lingkar tambang. Hal ini sangat berkaitan erat dengan keberlangsungan atau <i>sustainability</i> perusahaan
5	Potensi Reduksi Sampah Domestik PT. X Surabaya Berdasarkan Komposisi Sampah	Pradani dkk, 2023	Timbulan sampah domestik yang dihasilkan PT. X masih menganut sistem KAB atau Kumpul, Angkut, Buang ke TPA. Proses pengelolaan sampah yang dijalankan PT X dilakukan dengan mengumpulkan sampah dari sumber penghasil sampah kemudian dikumpulkan sementara di TPS milik perusahaan. Pada periode tertentu sampah yang telah terkumpul akan diangkut menuju TPA tanpa dilakukan upaya reduksi. Tujuan penelitian untuk membahas potensi reduksi sampah domestik sebagai dasar penentuan pengelolaan sampah yang dapat dijalankan PT X.
6	Sistem Pengangkutan Sampah Berdasarkan Kapasitas Kendaraan Pengangkut dan Kondisi Kontainer Sampah di Surabaya Barat	Ambariski dkk, 2016	Penelitian bertujuan untuk menganalisis optimalisasi pengangkutan sampah yang dilakukan di Surabaya Barat. Hasil penelitian menunjukkan perubahan jumlah ritasi akan berpengaruh pada jumlah kendaraan yang digunakan untuk operasional dan biaya pengangkutan sampah. Selain itu, penggunaan kondisi kontainer tanpa tutup dapat menampung lebih banyak sampah daripada kontainer tertutup. Kapasitas kendaraan dan kondisi kontainer sampah juga berpengaruh pada biaya pengangkutan sampah.
7	Analisis Rute Pengangkutan Sampah	Samin, 2024	Optimalisasi rute transportasi sampah kota berdasarkan kondisi aktual dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi

No	Judul	Sumber	Pembahasan
	Domestik Kota Malang Berbasis Aplikasi <i>Google Map</i>		pengumpulan sampah dan penjadwalan transportasi, mengurangi jarak yang ditempuh oleh truk sampah. Penelitian ini mencoba untuk mengetahui rute pengangkutan sampah dari TPS ke TPA yang efisien pada suatu kawasan perkotaan. Terbukti bahwa Pengangkutan sampah berbasis Aplikasi <i>Google Maps</i> dari TPS ke TPA dapat diperkirakan dengan mempertimbangkan kondisi lalu lintas suatu daerah.
8	Aplikasi Model Optimasi untuk Meningkatkan Efisiensi Pengangkutan Sampah di Kota Cilegon	Triwibowo dkk, 2015	Sebagian besar kota di negara berkembang menghadapi permasalahan inefisiensi pengangkutan sampah yang dikelola pemerintah. Tujuan penelitian ini adalah mengestimasi inefisiensi pengangkutan sampah di Kota Cilegon. Inefisiensi dihitung dengan membandingkan biaya saat ini dengan biaya hasil optimasi rute dengan model <i>vehicle routing problem</i> .
9	Strategi Pengelolaan Sampah Rumah Tangga di Lingkungan Perumahan Dinas PT. Semen Baturaja Tbk.	Santoso dkk, 2024	PT. Semen Baturaja Tbk sebagai perusahaan yang bertanggung jawab terhadap lingkungan perumahan dinas karyawannya dengan melakukan pengelolaan sampah rumah tangga. Hasil penelitian menggunakan analisis SWOT menunjukkan belum adanya sarana prasarana pengangkutan sampah yang diberikan serta tenaga ahli pengelola persampahan yang ada.
10	Optimalisasi Rute Pengangkutan Sampah Berbasis Sistem Informasi Geografis Di Kupang	Pratama dkk, 2019	Penelitian ini dilakukan dengan menganalisa proses alur pergerakan sampah dari masyarakat hingga berakhir di TPA agar dapat diketahui masalah yang terdapat dalam proses pengelolaan sampah di Kota Kupang. Rute angkutan persampahan diperoleh berdasarkan hasil analisis <i>saving Solver Add-Ins</i> . Setelah diperoleh koordinat TPS dan rute angkutan persampahan divisualisasikan kedalam <i>WEBGIS</i> .

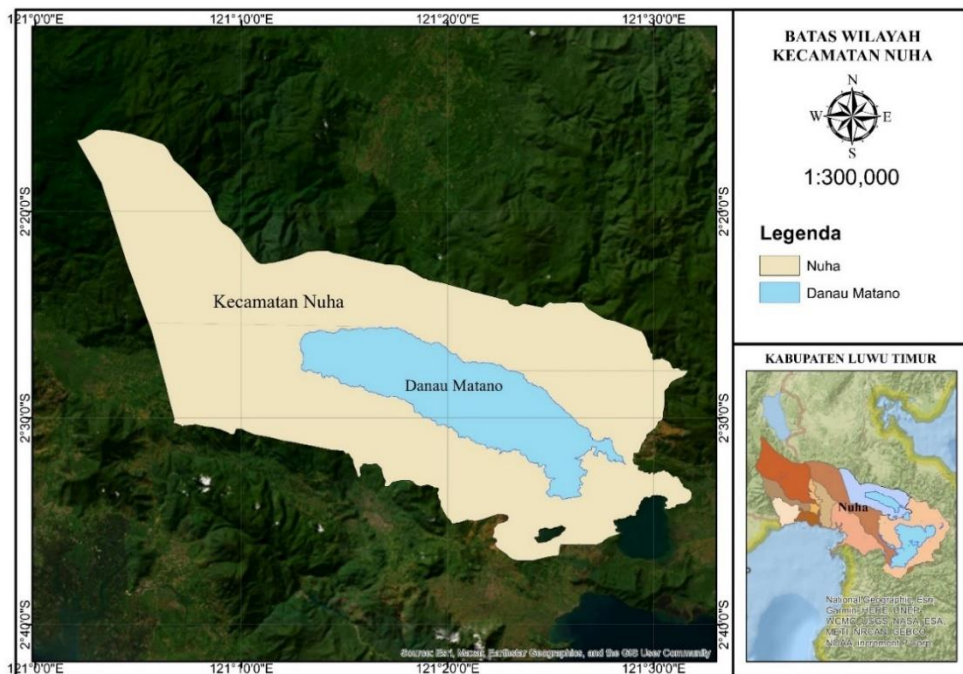
BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di wilayah Kecamatan Nuha, yang terletak di Kabupaten Luwu Timur, Provinsi Sulawesi Selatan. Penelitian ini berlangsung selama 2 (dua) bulan, dimulai dari bulan Februari hingga Maret 2024. Pemilihan periode waktu didasarkan pada relevansinya dengan jadwal yang terkait.

Kecamatan Nuha terletak di sebuah dataran tinggi dengan letak geografis $2^{\circ}18'00''$ - $2^{\circ}39'00''$ Lintang Selatan dan $121^{\circ}3'00''$ - $121^{\circ}34'30''$ Bujur Timur dengan Luas wilayah $808,27 \text{ km}^2$ dan berada pada ketinggian ± 1388 kaki dari permukaan laut (dpl). Topografi wilayah Kecamatan Nuha sebagian besar berupa perbukitan. Batasan wilayah Kecamatan Nuha dapat dilihat pada peta topografi sebagai berikut.



Gambar 7. Peta perbatasan Kecamatan Nuha

Sumber: Hasil ArcGIS, 2024

Kecamatan Nuha berbatasan dengan Kecamatan atau Provinsi yang dapat dilihat sebagai berikut.

1. Sebelah Timur : Berbatasan dengan Kecamatan Towuti
2. Sebelah Barat : Berbatasan dengan Kecamatan Wasuponda
3. Sebelah Selatan : Berbatasan dengan Propinsi Sulawesi Barat
4. Sebelah Utara : Berbatasan dengan Propinsi Sulawesi Tengah

Kecamatan Nuha terbagi atas 5 (lima) pembagian wilayah berdasarkan Badan Pusat Statistik (BPS) Kecamatan Nuha, dengan pembagian wilayah sebagai berikut.



Gambar 8. Pembagian wilayah Kecamatan Nuha
Sumber: Hasil ArcGIS, 2024

Berdasarkan peta pembagian wilayah Kecamatan Nuha di atas, wilayah yang ditandai dengan tulisan berwarna merah menunjukkan area yang terlayani dalam pengangkutan sampah oleh PT. Vale Indonesia Tbk. Ketiga wilayah tersebut meliputi Kelurahan Magani, Desa Nikkel, dan Desa Sorowako.

2.2 Variabel Penelitian

Penelitian ini memperhatikan dua variabel utama: variabel independen dan variabel dependen. Dalam Febryaningrum dkk. (2024), Variabel independen adalah variabel yang dianggap memiliki pengaruh terhadap variabel dependen dalam penelitian ini. Variabel ini mencakup metode pengangkutan (sistem *door to door* dan komunal), karakteristik pengangkutan (jenis truk, rute, frekuensi), dan infrastruktur (TPS dan TPA). Sementara itu, variabel dependen adalah variabel yang diukur untuk menentukan dampak dari variabel independen, meliputi efektivitas pengangkutan yang diukur melalui durasi pengangkutan, frekuensi pengangkutan, dan berat sampah yang diangkut, serta pengelolaan sampah di sumber, yang meliputi pemilahan dan pengurangan sampah. Kualitas pengangkutan juga dievaluasi melalui kepuasan masyarakat, persentase sampah yang didaur ulang, dan frekuensi keterlambatan pengangkutan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas sistem pengangkutan sampah dan memberikan

rekomendasi untuk perbaikan. Penjelasan lebih lengkap dapat dilihat sebagai berikut.

2.2.1 Variabel independen

Variabel independen adalah variabel yang dianggap mempengaruhi atau menjadi penyebab terjadinya perubahan pada variabel lain dalam penelitian. Variabel ini merupakan faktor yang dikendalikan atau dimanipulasi oleh peneliti untuk mengamati dampaknya terhadap variabel dependen (Febryaningrum dkk., 2024). Dalam konteks pengangkutan sampah, variabel independen mencakup aspek-aspek seperti metode pengangkutan (sistem *door to door* atau komunal), karakteristik pengangkutan (jenis truk, rute, frekuensi), serta infrastruktur (TPS dan TPA). Variabel independen dalam penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut.

1. Metode pengangkutan sampah
 - a. Sistem individual (*door to door*)
 Pada sistem ini, sampah dikumpulkan langsung dari rumah ke rumah penduduk. Dari tempat sampah atau wadah pribadi masyarakat untuk menampung sampah, kemudian diambil oleh truk pengangkut sesuai jadwal yang telah ditetapkan. Data ini dapat diperoleh melalui observasi lapangan, wawancara
 - b. Sistem komunal
 Sistem ini melibatkan pengumpulan sampah di titik-titik komunal yang ditentukan, menggunakan kontainer sampah. Truk pengangkut kemudian mengumpulkan sampah dari titik-titik tersebut sesuai jadwal yang telah ditetapkan.
2. Karakteristik pengangkutan
 - a. Jenis truk pengangkut
 Jenis kendaraan yang digunakan, seperti *dump truck* untuk pengangkutan *door to door* dan *arm roll truck* untuk pengangkutan dari titik komunal.
 - b. Rute pengangkutan
 Selain wilayah-wilayah yang tercakupi dalam pengangkutan sampah, rute pengangkutan juga mencakup waktu dan jarak tempuh oleh armada pengangkut per wilayah yang dilalui.
3. Infrastruktur yang tersedia
 - a. Tempat Penampungan Sementara (TPS)
 TPS ini termasuk penempatan kontainer sampah di wilayah domisili atau aktivitas masyarakat Kecamatan Nuha tiga wilayah. Adapun selain kontainer, PT. Vale Indonesia Tbk. memiliki fasilitas berupa *Segregation Plant* yang dikelola oleh pihak internal guna sebagai tempat pemilahan sampah sebagian sampah domestik sebelum akhirnya menuju ke TPA.

b. Tempat Pemrosesan Akhir (TPA)

TPA di Kecamatan Nuha dikelola oleh PT Vale Indonesia Tbk. dan dikenal dengan nama Inalahi *Landfill*, yang berlokasi di wilayah pertambangan.

2.2.2 Variabel dependen

Variabel dependen adalah variabel yang menjadi fokus pengamatan dalam penelitian dan diukur untuk menentukan seberapa besar pengaruh dari variabel independen. Variabel ini merupakan hasil atau efek yang dipengaruhi oleh variabel independen (Febryaningrum dkk., 2024). Dalam penelitian ini, variabel dependen meliputi efektivitas pengangkutan, yang diukur melalui indikator seperti durasi pengangkutan, berat sampah, dan manajemen sampah dari sumber. Selain itu, faktor-faktor seperti aktivitas rumah tangga dan kualitas layanan juga termasuk dalam variabel dependen untuk mengevaluasi dampak terhadap kepuasan masyarakat dan jadwal ritasi pengangkutan. Variabel dependen dalam penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut.

1. Efektivitas pengangkutan sampah
 - a. Durasi pengangkutan sampah
Waktu yang dibutuhkan untuk mengangkut sampah dari titik pengumpulan hingga tempat pemrosesan akhir. Durasi yang efisien penting untuk mencegah penumpukan sampah.
 - b. Frekuensi pengangkutan
Mengacu pada jadwal dan ritasi pengangkutan sampah, yang dapat diukur berdasarkan laporan operasional pengangkutan atau wawancara dengan pengemudi dan petugas.
 - c. Berat sampah yang dihasilkan dan diangkut
Data mengenai berat sampah yang dihasilkan dan berhasil diangkut dapat diperoleh dari catatan tim pengangkutan atau survei masyarakat mengenai volume sampah rumah tangga.
2. Pengelolaan sampah di sumber
 - a. Pemilahan sampah
Mengukur seberapa banyak sampah yang dipilah di tingkat rumah tangga (organik dan anorganik). Data dapat diperoleh dari survei kepada masyarakat setempat, wawancara, atau observasi lapangan terhadap kebiasaan pemilahan sampah.
 - b. Pengurangan sampah di sumber
Mengacu pada upaya masyarakat dalam mengurangi sampah yang dihasilkan, baik dengan mengolahnya atau membuangnya dengan cara yang ramah lingkungan. Dapat diukur melalui wawancara atau survei terhadap praktik pengurangan sampah.
3. Kualitas pengangkutan sampah
 - a. Kepuasan masyarakat terhadap pengangkutan
Berupa tingkat kepuasan masyarakat terhadap layanan pengangkutan sampah, termasuk ketepatan waktu, kebersihan setelah pengangkutan,

dan respons terhadap keluhan masyarakat. Data diperoleh dari survei atau wawancara dengan masyarakat pengguna layanan.

- b. Persentase sampah yang didaur ulang
Berupa sejauh mana masyarakat terlibat dalam kegiatan daur ulang sampah. Data ini diperoleh dari survei atau laporan terkait daur ulang yang dilakukan oleh masyarakat.
- c. Frekuensi keterlambatan pengangkutan
Berupa seberapa sering keterlambatan terjadi dalam pengangkutan sampah, yang dapat diperoleh dari laporan pengangkutan atau wawancara dengan petugas mengenai hambatan dalam pengangkutan.

2.3 Teknik Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan data primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui kuesioner, observasi lapangan, dokumentasi, dan data SIG yang dipetakan menggunakan *ArcG/S*. Sumber data sekunder berasal dari BPS dan laporan PT. Vale Indonesia Tbk. Teknik pengumpulan data ini dijelaskan lebih lanjut pada pembahasan berikut.

2.3.1 Data primer

Data primer dalam penelitian ini terbagi atas data kuesioner, observasi lapangan, dokumentasi lapangan, dan pemetaan.

Putri (2023) menjelaskan bahwa kuesioner atau angket adalah teknik pengumpulan data melalui sejumlah pertanyaan tertulis untuk mendapatkan informasi atau data dari sumber data (responden). Kuesioner tertutup merupakan kuesioner yang telah menyediakan pilihan. Data kuesioner dikumpulkan melalui penyebaran kuesioner tertutup dan wawancara yang dirancang khusus untuk masyarakat di Kecamatan Nuha. Kuesioner ini berisi pertanyaan yang berkaitan dengan status domisili, aktivitas yang menghasilkan sampah, serta metode pengangkutan yang digunakan. Penyebaran kuesioner dilakukan secara sistematis kepada responden yang telah ditentukan, dengan tujuan untuk mendapatkan informasi yang representatif mengenai pengelolaan sampah di wilayah tersebut.

Observasi dalam Putri (2023), merupakan sebuah penelitian atau pengamatan langsung yang memfokuskan perhatian terhadap suatu objek untuk mendapatkan sejumlah data. Observasi lapangan dilakukan untuk mengamati secara langsung proses pengangkutan sampah. Observasi ini mencakup pemantauan rute yang dilalui armada, frekuensi pengangkutan, serta kondisi armada yang digunakan. Selain itu, penggunaan data SIG yang dipetakan dengan perangkat lunak *ArcG/S* memberikan informasi penting mengenai titik-titik pengumpulan, jarak tempuh, serta rute optimal. Metode SIG ini memungkinkan analisis visual dan spasial terhadap data lokasi, yang membantu dalam menentukan kebutuhan armada secara lebih akurat berdasarkan wilayah layanan dan volume sampah.

Dokumentasi juga digunakan untuk mencatat informasi terkait pengangkutan, seperti catatan operasional, laporan kegiatan, dan prosedur yang diterapkan oleh PT. Vale Indonesia Tbk. Data yang diperoleh dari kuesioner, observasi lapangan, dokumentasi, dan SIG diharapkan dapat memberikan gambaran yang akurat mengenai efektivitas sistem pengangkutan sampah di Kecamatan Nuha.

2.3.2 Data sekunder

Data sekunder dalam penelitian ini diperoleh dari dua sumber utama. Pertama, data dari Badan Pusat Statistik (BPS) digunakan untuk memproyeksikan timbulan sampah berdasarkan jumlah penduduk yang tercatat. Data ini membantu dalam memahami hubungan antara jumlah penduduk dan volume sampah yang dihasilkan, serta dalam mengevaluasi kebutuhan armada pengangkutan yang memadai.

Kedua, informasi eksisting dari PT. Vale Indonesia Tbk. mencakup data mengenai sumber sampah, armada pengangkutan, metode pengangkutan yang digunakan, serta kendala yang dihadapi dalam proses pengangkutan. Analisis data sekunder ini bertujuan untuk memberikan konteks yang lebih luas mengenai kondisi pengangkutan sampah di Kecamatan Nuha, serta untuk mengidentifikasi potensi optimalisasi dalam sistem yang ada.

Selanjutnya, data pendukung juga dikumpulkan dan dianalisis seperti studi terdahulu dan standar regulasi yang serupa untuk membantu dalam melakukan penelitian ini. Data ini menjadi penting karena sebagai dasar peneliti untuk menentukan apakah pengangkutan yang telah berjalan sesuai standar dan apakah operasionalnya telah berjalan optimal.

2.3.3 Metode pengumpulan data

Metode pengumpulan data dilakukan secara sistematis dengan langkah-langkah yang telah ditentukan. Kuesioner yang relevan dirancang dan disebarkan kepada responden yang ditargetkan. Observasi lapangan dilakukan pada waktu yang telah dijadwalkan untuk memastikan keakuratan informasi yang diperoleh. Selain itu, pengumpulan data SIG dan data sekunder dilakukan dengan mengakses dokumen dan laporan resmi yang relevan, dalam waktu terbaru. Semua data yang dikumpulkan dicatat dan dikelola untuk dianalisis lebih lanjut dalam penelitian ini.

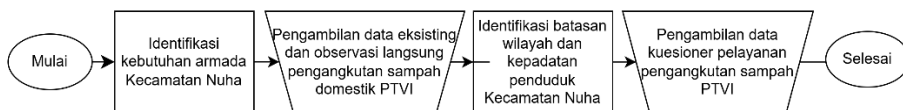
2.4 Teknik Pengambilan Data

Teknik pengambilan data dilakukan melalui kombinasi pengumpulan data eksisting, observasi langsung di lapangan, dan survei menggunakan kuesioner. Data eksisting diperoleh dari data pengangkutan PT. Hati Murni yang telah dilakukan dan data pendukung dari PT. Vale Indonesia Tbk., mencakup informasi operasional pengangkutan sampah.

Adapun data seperti jumlah penduduk dan batasan wilayah didapatkan di instansi terkait yakni pemerintah setempat Kecamatan Nuha. Selain itu, observasi

langsung dilakukan untuk memverifikasi data tersebut dan memahami kondisi aktual proses pengangkutan sampah, termasuk sarana dan prasarana yang digunakan.

Pengumpulan data juga melibatkan masyarakat melalui kuesioner untuk mengetahui persepsi, tingkat kepuasan, dan kendala yang mereka alami terkait pengelolaan sampah domestik. Metode ini memberikan gambaran lengkap mengenai efektivitas pengangkutan sampah dari perspektif pengguna layanan. Seluruh teknik ini dirancang untuk saling melengkapi guna memperoleh hasil kajian yang akurat dan relevan. Adapun alur pengambilan data dapat dilihat sebagai berikut.

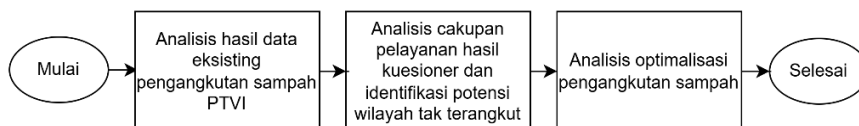


Gambar 9. Alur pengambilan data

2.5 Teknik Analisis Data

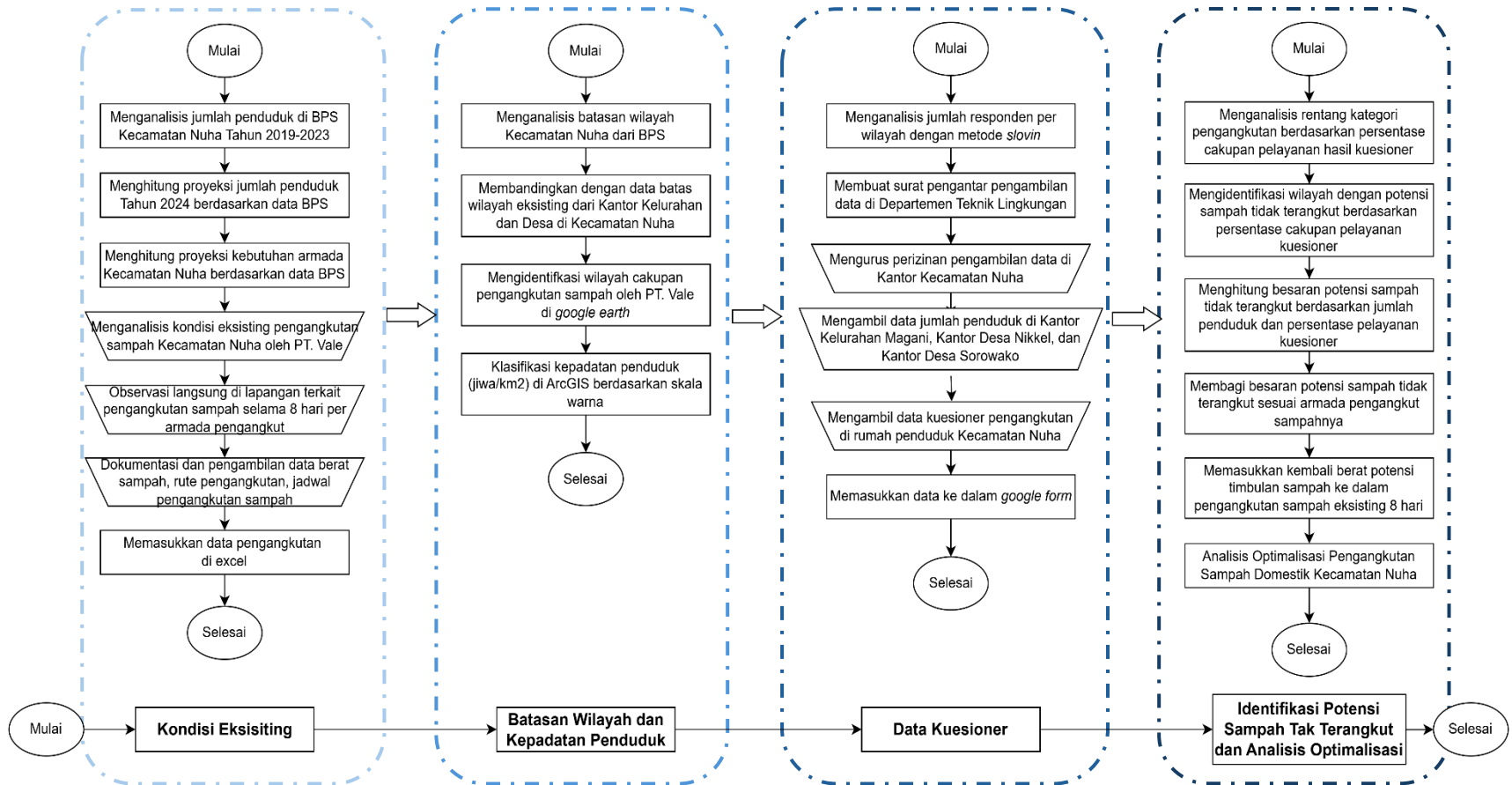
Teknik analisis data dalam penelitian ini dilakukan dengan metode kuantitatif dan evaluatif. Menurut Machali (2021), metode kuantitatif berfokus pada penggunaan angka dalam pengumpulan dan analisis data untuk menguji hipotesis yang telah ditetapkan, sedangkan Ibrahim (2024) menjelaskan bahwa metode evaluatif bertujuan untuk merencanakan dan memperbaiki pelaksanaan program, serta memberikan wawasan mengenai faktor-faktor yang memengaruhi efektivitas suatu program. Gabungan kedua metode ini memungkinkan peneliti untuk mengumpulkan dan menganalisis data secara komprehensif.

Metode kuantitatif digunakan untuk analisis data eksisting pengangkutan sampah di Kecamatan Nuha beserta hasil pengambilan kuesioner. Sementara itu, metode evaluatif digunakan untuk mengidentifikasi apakah pengangkutan sampah di wilayah tersebut sudah berjalan secara optimal. Melalui analisis ini, peneliti dapat mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan dan pengembangan, serta efektivitas armada dalam pengangkutan sampahnya. Adapun alur analisis data dapat dilihat sebagai berikut.



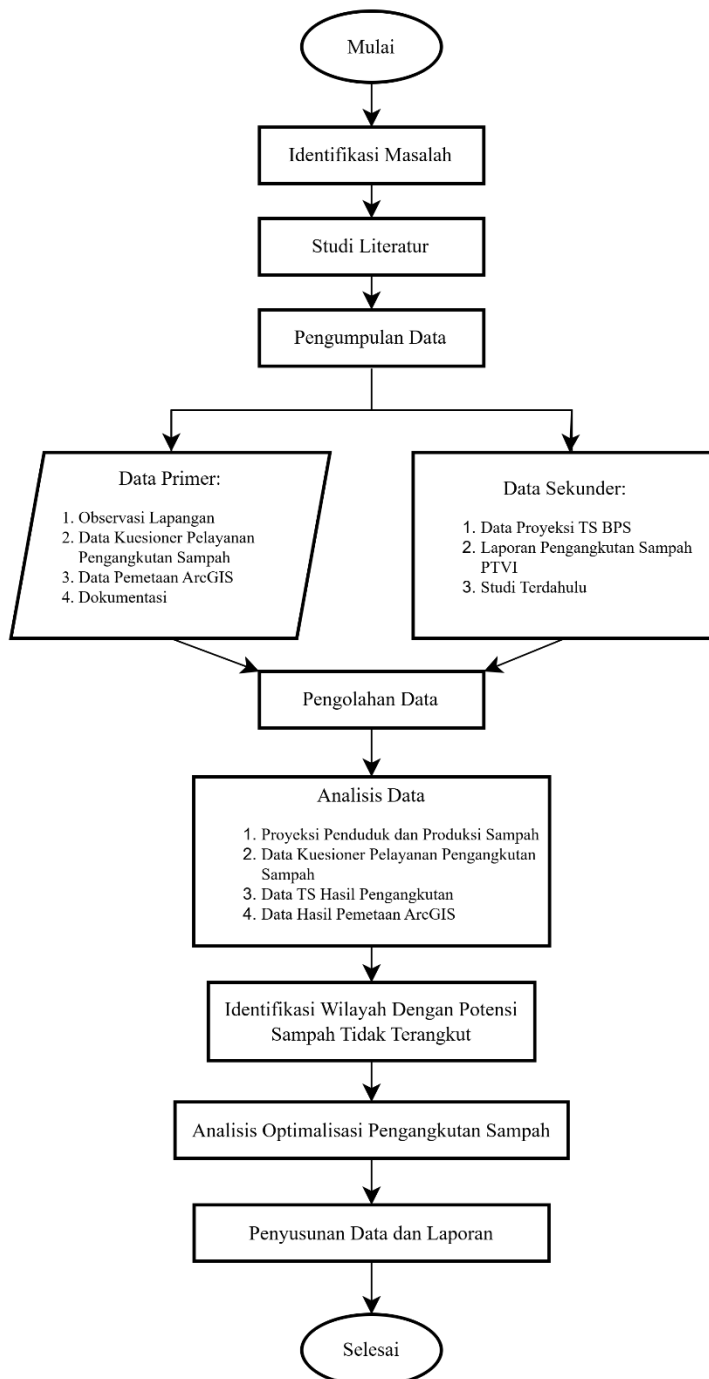
Gambar 10. Alur analisis data

Alur pengambilan data hingga analisis data secara terperinci dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 11.Spesifik alur pengambilan dan pengolahan data

2.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 12. Diagram alir penelitian