

PROGRAM RISET KEILMUAN-MBKM

PENERAPAN *FORWARD CHAINING* UNTUK PENENTUAN
TEKNOLOGI TERBAIK PENGOLAHAN SAMPAH ORGANIK
DAN ANORGANIK



AFIF HANIFUDIN

NPM: 18.0504.0067

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAGELANG
AGUSTUS, 2022

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk yang semakin meningkat berimplikasi pada kebutuhan penduduk akan ketersediaan lahan, kebutuhan pangan, dan kebutuhan energi. Kebutuhan penduduk yang setiap tahunnya meningkat mengakibatkan peningkatan jumlah produksi sampah baik dari proses produksi, konsumsi, maupun aktivitas lain yang menimbulkan buangan (Kahfi, 2017). Permasalahan sampah menjadi pekerjaan rumah bagi negara-negara di dunia tak terkecuali Generasi ASEAN yang mengumpulkan sampah rata-rata sebanyak 1,14 kg/kapita/hari, dan Indonesia merupakan penyumbang sampah terbesar yaitu sebanyak 64 juta ton/tahun (UNEP, 2017). Menurut data KLH, pada tahun 2020 Indonesia menimbun sampah sebanyak 33 juta ton dan sampah yang dapat tertangani hanya sebesar 15 juta ton (Kementerian Lingkungan Hidup RI, 2020). Timbunan itu diprediksi akan semakin banyak yang dapat mengancam kelestarian lingkungan hidup dan manusia. Pengolahan sampah belum terkelola secara optimal terbukti dari jumlah penanganan sampah yang lebih rendah daripada jumlah timbunan sampah.

Pengelolaan yang optimal merupakan hal yang penting mengingat terdapat banyak jenis keadaan sosial ekonomi dan bentuk perhatian lingkungan. Oleh karena itu, pengelolaan harus dilakukan dengan memperhatikan aspek lingkungan, ekonomi dan sosial inklusif. Pengurangan sampah memerlukan partisipasi baik pemerintah maupun masyarakat. Pemerintah kota/kabupaten di Indonesia mulai memberlakukan pengelolaan sampah berbasis masyarakat yang memberikan wewenang kepada setiap RW untuk menangani sampah melalui bank sampah di wilayahnya masing-masing. Sampah dikelola semaksimal mungkin sesuai jenis dan spesifikasinya sehingga sampah yang tersisa dan dibawa ke TPA hanya sampah yang tidak bisa diolah saja. Pembuangan sampah ke TPA bukan solusi akhir, karena jika hanya dibuang dan diurug memerlukan ketersediaan lahan yang cukup banyak dan waktu penguraian sampah yang cukup lama. Terdapat beberapa tempat pengelolaan sampah di Indonesia yang meliputi bank sampah, bank

sampah induk, TPS, TPS 3R, depo, transfer depo, dan TPA.

Untuk memaksimalkan pengolahan sampah diperlukan penentuan teknologi pengolahan sampah tepat guna dan ramah lingkungan sehingga dapat mengurangi dampak negatif dari berbagai aspek yang ditimbulkan dari sampah. Jika salah dalam menentukan teknologi pengolahan sampah akan berdampak pada kesalahan keseluruhan pengelolaan sampah. Sampah organik dapat diolah dengan *composting* atau *biogasification*. Sampah anorganik dapat diolah dengan memanfaatkan 3R (*reuse, recycle, remanufacture*). Sejalan dengan tujuan berkelanjutan secara ekonomi, sosial, dan lingkungan, dibutuhkan pendekatan terintegrasi yang dapat menginkorporasi multidimensi kualitatif dan karakteristik strategi. Walaupun demikian, tidak banyak penelitian yang mengangkat isu krusial ini. Memilih solusi yang tepat untuk mengatasi permasalahan sampah merupakan tugas sulit karena membutuhkan evaluasi kriteria yang kompleks dan adanya ketidakpastian alam.

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode *Forward Chaining* yang dapat menarik kesimpulan dari fakta-fakta yang telah diketahui. *Forward chaining* termasuk dalam *artificial intelligent* yang pada penelitian ini bertindak sebagai pemberi rekomendasi teknologi pengolahan sampah pada sebuah aplikasi, sehingga dapat menjadi *decision support system* bagi pengguna. Penggunaan metode ini didasarkan pada penelitian yang dilakukan Kunjung & Erina (2010), menggunakan metode *forward chaining* yang mampu mengidentifikasi limbah cair organik dan pengolahannya. Sistem identifikasi tersebut dibentuk menggunakan aplikasi berbasis web.

Berdasarkan masalah dan potensi pemecahan masalah yang ada, maka penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan *Decision Support System* pengelolaan sampah optimal dalam penentuan teknologi pengolahan sampah organik dan anorganik dengan metode *forward chaining*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dipaparkan, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menerapkan *forward chaining* berbasis Prolog untuk menentukan teknologi pengolahan sampah organik dan anorganik yang berkelanjutan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menerapkan *forward chaining* berbasis Prolog untuk menentukan teknologi pengolahan sampah organik dan anorganik yang berkelanjutan.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Metode dalam pengembangan sistem ini menggunakan metode *forwardchaining*.
2. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah Prolog
3. Jenis sampah yang diolah merupakan sampah organik dan anorganik. Sampah B3 tidak diikut sertakan karena membutuhkan pengolahan tersendiri.
4. Teknologi pengolahan sampah yang diteliti adalah *composting*, *biogasification*, *reuse*, *recycle*, dan *remanufacture*.

BAB II

STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Relevan

Penelitian terdahulu yang menjelaskan penentuan keputusan dalam pengelolaan sampah, beberapa perbedaan dalam penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

Penelitian yang dilakukan oleh Shi dkk (2017) dengan judul *Model Decision Support System For Diagnosis COVID-19 Using Forward Chaining: A Case in Indonesia*. Penelitian ini bertujuan untuk membuat model *Decision Support System* untuk mendiagnosa pasien terpapar Covid-19, yang termasuk orang dalam pengawasan, pasien yang tidak terdata, dan pasien yang terverifikasi positif Covid-19. Model yang dikembangkan dapat menyediakan informasi kepada masyarakat mengenai perkembangan Covid-19 dan dapat membantu sebagai referensi awal berkenaan dengan infeksi Virus Covid-19 sebelum konsultasi lebih lanjut dengan dokter. Pada penelitian ini digunakan metode *forward chaining* pada aplikasi untuk mendapatkan kesimpulan dari gejala-gejala yang ditimbulkan akibat Covid-19. Hasil dari penelitian ini berupa aplikasi yang dapat memperlihatkan pasien terpapar covid-19 dan juga menyediakan solusi kesembuhan untuk pasien.

Penelitian yang dilakukan oleh Ozmen dkk (2016) dengan judul *Designing Mobile-Based Decision Support System For Determining Police Office Locations Using Forward Chaining Method*. Tujuan dari penelitian ini adalah membangun *Decision Support System* untuk menentukan lokasi darimarkas besar polisi agar lokasi markas besar dapat terdistribusi dengan baik. Sistem ini terdiri atas 16 kriteria yang dapat membantu menyediakan informasi kelayakan untuk mendirikan markas besar polisi. Melalui metode *forward chaining* dapat dihasilkan aplikasi berbasis *mobile* yang dapat menunjukkan system yang dibangun dapat memfasilitasi polisi untuk menentukan lokasi markas besar menggunakan aturan yang telah dibuat sehingga keputusan dapat dibuat secara

tepat pada daerah yang tepat dan markas tersebut dapat berguna bagi masyarakat umum.

Penelitian yang dilakukan oleh Molinos dkk (2014) dengan judul *DecisionSupport System For Inheritance Distribution According To Islamic Law Using The Forward Chaining Method*. Penelitian ini bertujuan untuk memudahkan masyarakat dalam mempelajari dan menggali informasi mengenai pembagian harta waris sesuai dengan syariat islam melalui sistem pakar dengan metode *forward chaining*. Sistem ini dikembangkan menggunakan aplikasi berbasis android yang dimaksudkan agar menjadi solusi bagi masyarakat yang kurang paham dengan pembagian harta warisan untuk dapat mengakses informasi secara cepat dan mudah. Dari hasil pengujian dengan akurasi 100% atau bernilai 10 dengan variable yang berbeda, dibuktikan bahwa sistem yang telah dibangun dapat digunakan secara baik dan dapat memfasilitasi masyarakat dalam masalah pembagiaharta warisan.

Penelitian yang dilakukan oleh Akmalia dkk (2020) yang berjudul *Decision Support System Untuk Klasifikasi Penyandang Disabilitas Dengan Metode Forward Chaining Berbasis Mobile*. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan kelas dan olahraga yang dapat dilakukan sesuai denganminat penyandang disabilitas. Metode yang digunakan pada penelitan ini adalah *forward chaining* dengan aturan *Minimum Disability Criteria* (MDC) yang ditetapkan oleh *International Paralympic Committee* (IPC). Hasil akhir dari penelitian ini adalah sebuah sistem aplikasi *mobile* berbasis android, yang dapat digunakan paling rendah pada OS Android 4.0 Ice Cream Sandwich.

Pada penelitian diatas yang telah dipaparkan, keempat penelitian tersebut menggunakan metode *forward chaining* dalam mengembangkan sistem. Sistem tersebut dapat menentukan keputusan dengan objek yang berbeda-beda. Pada penelitian ini, metode *forward chaining* digunakan dalam pengembangan *decision system* untuk menentukan teknologi pengolahan sampah terbaik dan tepat guna dengan menggunakan Bahasa pemrograman prolog. Hasil keputusan akan menjadi pertimbangan dalam pengembangan sistem pengelolaan sampah.

2.2 Studi Pustaka

2.2.1 Sampah

Sampah merupakan segala sesuatu yang merupakan pembuangan dari hasil aktivitas bersifat padat dan tidak dapat dipakai lagi (SNI No. 19-3964-1994). Pada tingkat rumah tangga sampah yang dihasilkan biasanya berjenis organik dan anorganik. Sampah organik merupakan sampah *biodegradable* artinya sampah tersebut dapat mudah terurai atau terdekomposisi, seperti sisa makanan, sampah dapur, sayuran, buah-buahan, dan sampah kebun. Sampah anorganik merupakan sampah *non-biodegradable* artinya sampah tersebut sulit teruraikan atau terdekomposisi, seperti plastik, kaca, dan logam. Meskipun sampah dianggap tidak dapat dipakai lagi, terkadang sampah dapat diolah dan dimanfaatkan kembali menjadi barang yang berguna. Sampah tersebut dapat berasal dari sampah perkotaan (*municipal solid waste*) maupun pedesaan (*rural waste*). Sampah perkotaan yang dikelola oleh pemerintah kota di Indonesia dapat dikategorikan menurut sumbernya sebagai berikut (Damanhuri & Tri, 2010):

- a. Sampah yang berasal dari rumah tinggal atau domestic
- b. Sampah yang berasal dari daerah komersial
- c. Sampah yang berasal dari kantor/institusi
- d. Sampah yang berasal dari jalanan/tempat terbuka umum
- e. Sampah yang berasal dari industri dan rumah sakit yang sejenis sampah kota

Sampah yang ada dapat dikategorikan sesuai dengan komposisinya.

Data kategori sampah dapat dilihat pada tabel 2.1.

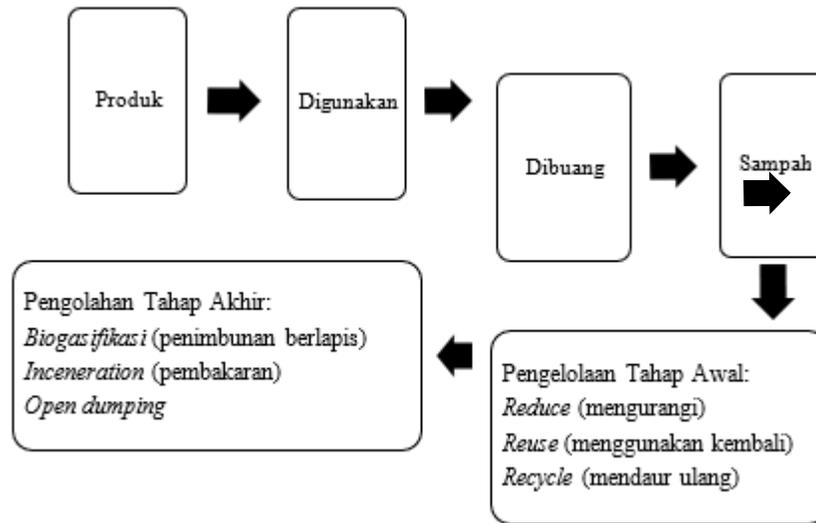
No.	Jenis	Kategori
1.	Organik	Daun
		Makanan
		Kayu/ranting
2.	Anorganik	Kertas
		Plastik
		Logam
		Kaca/Keramik
		Karet/Kulit
		Kain
		Lain-lain.

*Tabel 2.1 Kategori Sampah Menurut Komposisi di Kota Magelang
Sumber: DLH Kota Magelang*

2.2.2 Sistem Pengelolaan Sampah Terintegrasi

Pengelolaan sampah merupakan aktivitas pengurangan dan penanganan sampah yang menyeluruh, sistematis, dan berkesinambungan yang mengacu pada konsep 3R (Reduce, Reuse, Recycle) dan hendaknya bersifat terpadu (UU No. 18 Tahun 2008). Pengelolaan sampah yang baik berarti pengelolaan tersebut tidak mencemari lingkungan, air, udara, tidak mengganggu estetika, tidak menyebabkan kebakaran, dan bau menyengat. Pengelolaan sampah dimaksudkan agar sampah tidak menjadi tempat

perkembang biakan bakteri dan virus yang berbahaya bagi kesehatan manusia.



Gambar 2 1 Pengelolaan Sampah Modern Sumber: Cunningham (2004)

Sistem Pengelolaan Sampah Terintegrasi (SPST) menggabungkan aliran sampah, pengumpulan sampah, pengolahan dan metode pembuangan ke dalam sistem pengelolaan sampah praktis yang bertujuan untuk memberikan kelestarian lingkungan, keterjangkauan ekonomi dan penerimaan sosial untuk satu wilayah spesifik. Hal ini dicapai dengan menggabungkan berbagai pilihan pengolahan termasuk pengurangan sampah, *reuse*, *recycle*, *remanufacture*, *composting*, dan *biogasification*. Tahap pengelolaan sampah diawali dengan pengumpulan dan pemilahan di tingkat rumah tangga, pengangkutan, penyimpanan sementara di TPS, pengolahan, dan sampah yang tidak dapat diolah dibuang kembali ke TPA untuk diuruk sebagai proses akhir dari pengolahan sampah. Poin utamanya bukanlah seberapa banyak opsi pengelolaan sampah yang digunakan, atau pengelolaan itu dilakukan pada saat yang sama, tetapi mereka digabungkan dengan cara yang optimal sebagai bagian dari satu pendekatan. SPST mempertimbangkan sistem total dan mencari pilihan terbaik dari metode pengolahan untuk meminimalkan biaya ekonomi dan untuk memaksimalkan perlindungan lingkungan dan manfaat sosial (RPS Planning & Development, 2010).



Gambar 2 2 Elemen Sistem Pengelolaan Sampah Terintegrasi Sumber: RPS Planning & Development (2010)

a. *Reuse*

Proses dari penggunaan kembali dimulai dengan *Reuse* adalah kegiatan pengolahan sampah dengan menggunakan kembali atau mensubstitusi barang yang diperoleh. asumsi bahwa material yang digunakan kembali dapat dijadikan sumber daya dibanding dibuang (Abdul-Rahman, 2014).



Gambar 2 3 Aktivitas *Reuse* dengan *Reusable bag* Sumber: Steinwachs (1990)

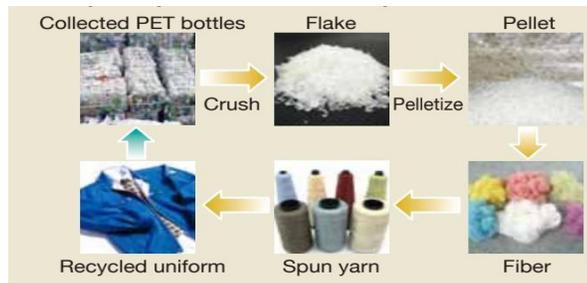
Untuk menentukan suatu produk yang telah habis masa pakai dapat *direuse* harus memenuhi kriteria yang tertera pada tabel

Sasaran	Produk dan Komponen
Tujuan	Produk yang telah dibuang atau tidak digunakan tetapi masih dalam kondisi baik dan dapat memenuhi fungsi asli dapat digunakan kembali
Kebutuhan	Produk dapat digunakan tanpa perbaikan signifikan atau pengolahan lain
Penerapan	Produk dalam urutan kerja penuh (<i>full working order</i>)
Kualitas Output	tidak sama berharganya dengan produk asli
Garansi	Tidak ada garansi

Tabel 2 2 Kriteria Penentuan Teknologi Reuse
 Sumber: (Hildenbrand et al., 2021)

b. Recycle

Recycle adalah kegiatan pengolahan sampah dengan mendaur ulang sampah. Terdapat beberapa manfaat yang diterima jika melakukan *recycle* seperti memunculkan industri baru yang bergerak dalam produk *recycle*, menciptakan lapangan kerja baru, dan menghemat pengeluaran. Metode *recycle* yang banyak digunakan adalah *curbside collection*, *drop-off centers*, *buy back center*. *Recycle* mengolah sampah menjadi produk baru (Abdul-Rahman, 2014).



Gambar 2 4 Aktivitas Recycling botol
 Sumber: National & Pillars (2005)

Dalam menentukan teknologi *recycle* terdapat beberapa kriteria yang harus dipenuhi yang dapat dilihat pada tabel

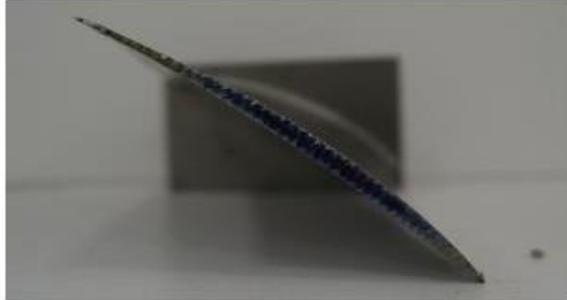
Sasaran	Material
Tujuan	Produk dapat diaplikasikan ke bentuk baru yang berbeda dari sebelumnya
Kebutuhan	Produk diproses ulang untuk memulihkan beberapa sifat asli
Penerapan	Produk dalam urutan kerja terbatas (<i>limited working order</i>) Produk memiliki cacat serius/kerusakan permanen Produk usang Produk dengan komponen yang tidak dapat diperoleh kembali secara ekonomis dan bernilai rendah Produk sekali pakai
Kualitas Output	Tidak sama berharganya dengan produk asli, atau Sama berharganya dengan produk asli
Garansi	Tidak ada garansi, atau Terdapat garansi

Tabel 2 3 Kriteria Penentuan Teknologi Recycle
Sumber: (Hildenbrand et al., 2021)

c. *Remanufacture*

Remanufacture adalah proses penggantian barang bekas ke spesifikasi asli atau *Original Equipment Manufacturer* (OEM), menurut sudut pandang pelanggan dan pada saat bersamaan memberikan garansi yang sama dengan produk baru. Pada saat ini, *remanufacture* merupakan pengolahan barang bekas dengan tingkat kerja terbesar

sehingga memiliki kualitas dan reliabilitas yang unggul disbanding dengan produk hasil olahan lain. Hal ini dikarenakan *remanufacture* membutuhkan pembongkaran total, restorasi ulang, dan penggantian komponen produk (King & Burgess, 2014).



Gambar 2.5 Aktivitas Remanufacture Pada Turbin
Sumber: Jones et al (2012)

Produk yang telah habis masa pakainya dapat di *remanufacture* dengan ketentuan sebagai berikut

Sasaran	Produk dan Komponen
Tujuan	Produk yang telah dibuang atau tidak digunakan dapat direstorasi ke spesifikasi dan kualitas kinerja ke <i>Original Equipment Manufacturing</i> (OEM)
Kebutuhan	Produk dipulihkan untuk mendapatkan performa yang lebih tinggi atau baru dengan pengolahan lanjut (substansial)
Penerapan	Produk dalam urutan kerja terbatas (<i>limited working order</i>) Produk memiliki cacat serius atau kerusakan permanen Produk rusak karena kecelakaan
Kualitas Output	Setara dengan produk baru
Garansi	Terdapat garansi

Tabel 2.4 Kriteria Penentuan Teknologi *Remanufacture*
Sumber: (Hildenbrand et al., 2021)

2.2.3 Teknologi Pengolahan Sampah

Teknologi pengolahan dan pengurukan sampah dipilih berdasarkan prinsip pengolahan yang berkelanjutan dan bertumpu pada prinsip sampah harus dapat dimanfaatkan baik untuk bahan maupun diubah menjadi energi

ditingkat sumber, kawasan, dan tempat pembuangan akhir. Sampah organik akan terurai melalui proses biologi secara aerob maupun anaerob. Kebanyakan sampah organik di Indonesia merupakan sampah dapur, sampah kebun, sisa makanan, sayuran, dan buah-buahan yang dapat membusuk dengan cepat dan mudah terurai oleh mikroorganisme. Kelembaban udara dan suhu udara yang relatif tinggi di Indonesia mendukung mikroorganisme mengurai sampah secara cepat.

a. *Composting*

Proses pengomposan (*composting*) merupakan proses penguraian substrat yang dilakukan oleh mikroorganisme terhadap bahan organik *biodegradable* dengan memecah substrat kompleks ke sederhana secara terus menerus (Kurnia et al., 2017). Dalam proses pengomposan bahan akan diuraikan untuk menjadi bahan biologi yang stabil dengan mengurangi volume dan massa dari substrat. Produk yang dihasilkan dari proses pengomposan adalah kompos yang terdiri dari berbagai unsur mineral dan zat hara seperti humus. Sampah organik dipisahkan dari sampah anorganik, dikumpulkan, ditumpuk, dan diberi zat tambahan, ditunggu dalam jangka waktu tertentu untuk membentuk substrat yang stabil yang dapat digunakan untuk pemupukan. Proses pembentukan menggunakan perlakuan biologi aerobik yang membutuhkan oksigen agar bakteri dapat hidup (Ismuyanto et al., 2017). Proses pembuatan kompos yang ada biasanya menggunakan tahapan berikut:

- 1) Pembuatan kompos setengah matang dengan waktu sekitar sekitar 3 minggu.
- 2) Pematangan (maturasi) kompos dengan waktu sekitar 4-6 minggu.



Gambar 2 6 Aktivitas Pengomposan Masal
Sumber: Dwi Haryanto (2017)

Terdapat beberapa kriteria sebagai persyaratan sampah dapat diolah menggunakan teknologi *composting*. Kriteria tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Kadar Air	0-49%
Kandungan Nitrogen	0,40-6,9%
Kandungan Karbon Organik	9,8-32%

Tabel 2.5 Kriteria Penentuan Teknologi *Composting*
Sumber: SNI 19-7030-2004

b. Biogasification

Sampah mengandung banyak energi kimia dalam bentuk komponen karbon, yang jika diproses dengan benar dapat memberikan sumber energi baru. Terdapat beberapa proses tersedia untuk memulihkan energi ini. Proses-proses yang berasal dari pembakaran langsung hingga hidrolisis, berada dalam berbagai tingkat, dikembangkan pada saat ini. Salah satu proses tersebut melibatkan konversi biologis dari fraksi organik sampah menjadi metana, karbon dioksida, dan residu yang relatif stabil melalui fermentasi anaerobik. Dalam pengolahan sampah proses umumnya diketahui sebagai "*anaerobic digestion*". Dalam literatur pengolahan tersebut lebih populer disebut sebagai "*biogasification*". Biogasifikasi skala besar telah lama dipraktikkan secara luas dalam pengolahan padatan air limbah. Sampai saat ini, dengan satu pengecualian biogasifikasi MSW telah dilakukannya pada laboratorium dan skala percontohan (Diaz et al., 2014).



Gambar 2.7 Fasilitas Penyimpanan Biogas
Sumber: BPSDM Bandung (2018)

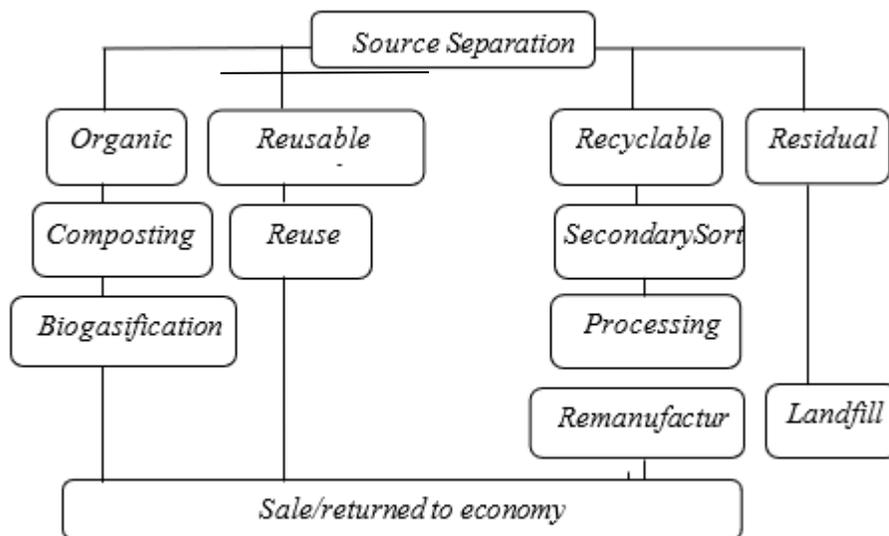
Untuk menentukan sampah dapat diolah dengan *biogasification* mengacu pada kriteria yang dapat ditunjukkan pada tabel berikut:

Kadar air	60-100%
Kandungan nitrogen	0-6,9%
Kandungan	0-90%

Tabel 2.6 Kriteria Penentuan Teknologi Biogasification
Sumber: Wicaksono et al., (2017)

2.2.4 Hierarki Pengolahan Sampah

Pengolahan sampah disusun dengan hierarki sebagai berikut:



Gambar 2.8 Hierarki Pengolahan Sampah
Sumber: Job et al (2010)

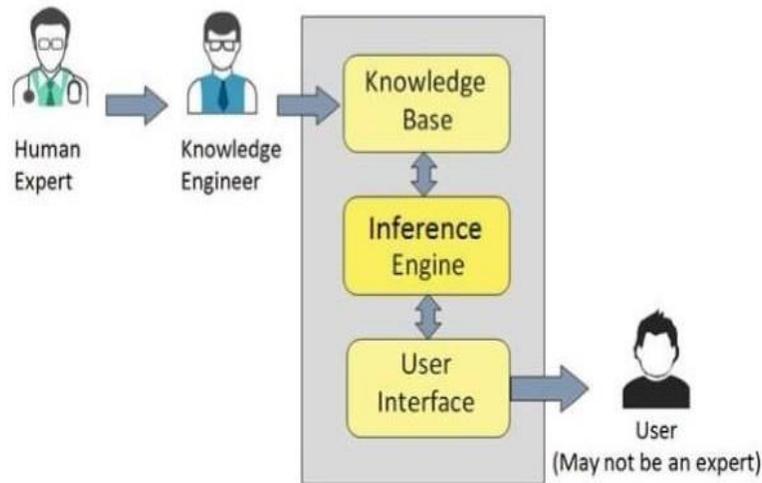
Sampah yang diolah dapat dibedakan melalui pemisahan sumber sampah. Diketahui sampah dapat dipisahkan dibedakan menjadi 4 kategori yaitu: organik, barang yang dapat digunakan kembali (*reusable good*), barang yang dapat didaur ulang (*recyclable good*), dan sampah residu. Sampah organik dapat dijadikan kompos dan biogas. *Reusable goods* dapat digunakan kembali, barang yang dapat didaur ulang memasuki proses kedua untuk pensortiran, diproses, kemudian barang tersebut dapat di *remanufacture*. Sampah sisa dapat dibuang di TPA/*Landfill* (Job et al., 2010).

2.2.5 Decision Making System

Decision making system merupakan sistem yang menggambarkan proses memilih di antara berbagai alternatif tindakan dengan tujuan untuk mencapai suatu tujuan atau cita-cita. *Decision making* melibatkan proses berpikir tentang masalah yang mengarah ke kebutuhan akan data dan pemodelan masalah yang mengarah pada interpretasi dan aplikasi dari pengetahuan (Cognition & Styles, 2007). Salah satu jenis dari *decision making system* adalah *expert system*. *Expert system* merupakan sistem informasi berbasis pengetahuan yang dapat didefinisikan sebagai *knowledgeintensive software* yang dapat melakukan beberapa tugas yang biasanya membutuhkan keahlian manusia. Sistem ini digunakan untuk memecahkan masalah domain tertentu dan setiap langkah dari penalaran oleh profesional ahli. Sistem ini bertindak sebagai sistem penasehat buatan untuk domain masalah tertentu. Proses konstruksi sistem pakar dengan pengetahuan domain khusus didefinisikan sebagai *knowledge engineering*. Sistem pakar berbasis pengetahuan berisi pengetahuan yang diperoleh dari jurnal, buku, atau dari wawancara dengan ahli. Sistem pakar sebagian besar lebih disukai karena menghasilkan solusi yang masuk akal bahkan untuk beberapa masalah tidak terstruktur yang tidak efisien (Eremia et al., 2016).

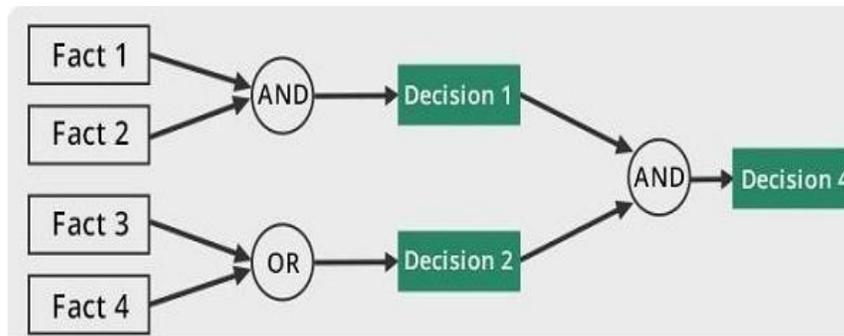
2.2.6 Forward Chaining

Forward chaining merupakan salah satu metode penalaran dalam *artificial intelligent* dengan aturan inferensi yang diterapkan pada data untuk mengambil data tambahan dari awal sampai poin akhir (tujuan) tercapai. Pada metode ini, *inference engine* dimulai dengan mengevaluasi fakta yang terjadi, mendederivasikan, dan mengkondisikannya sebelum mengetahui informasi baru. Tujuan tercapai melalui manipulasi pengetahuan yang ada pada *knowledge base*. *Forward chaining* dapat digunakan untuk menggambarkan banyak kesimpulan sehingga cocok digunakan pada aplikasi perencanaan, *monitoring*, *controlling*, dan interpretasi (Onesmus Mbaabu, 2020).



Gambar 2 9 Model Expert System
 Sumber: Onesmus Mbaabu (2020)

Forward Chaining adalah metode inferensi yang melakukan penalaran masalah untuk dipecahkan. Jika pernyataan premis sesuai dengan situasi (nilai *TRUE*), maka proses kesimpulan akan diklarifikasi. *Forward chaining* adalah teknik pencarian yang dimulai dengan fakta-fakta diketahui, dan kemudian fakta ini dipasangkan dengan aturan IF-THEN. Jika ada fakta yang cocok dengan bagian IF, aturan akan dieksekusi. Jika aturan sudah dieksekusi maka muncul aturan baru yang kan disimpan pada *database* (Syamsu, 2005).



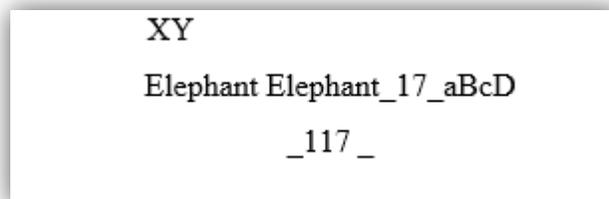
Gambar 2 10 Diagram Forward Chaining
 Sumber: Onesmus Mbaabu (2020).

Forward Chaining dipecah menjadi tiga langkah. Langkah pertama metode *forward chaining* melibatkan pemilihan aturan untuk memeriksa, mengevaluasi aturan dengan membandingkan bagian kualifikasi pada aturan pertama, dan kemudian menambahkan aturan ke konflik yang ditetapkan jika kondisi pada aturan pertama sesuai dengan fakta. Jika masih ada aturan yang sesuai dengan fakta di bagian

kondisi, tambahkan aturan lain (Sharma, et al., 2012). Pada langkah kedua, satu atau lebih aturan dipilih untuk dilakukan dari semua aturan yang diajukan ke konflik yang ditetapkan, dan operasi ini dikenal sebagai resolusi konflik. Pada tahap ini dapat menggunakan berbagai strategi untuk memilih aturan mana yang akan dijalankan, termasuk pertama kali datang, pertama dilayani, nilai prioritas, dan metarules (Hopgood, 2001). Eksekusi aturan yang dipilih adalah langkah terakhir dalam proses *forward chaining*. Aturan yang dieksekusi adalah aturan yang dihasilkan dari penyelesaian konflik. Hasil akhir/kesimpulan dari fakta-fakta yang ada yang telah dipasangkan dengan aturan di bagian kondisi adalah konsekuensi dari aturan yang telah dilakukan.

2.2.7 Prolog

Prolog adalah bahasa pemrograman yang didasarkan pada subset logika orde pertama dan gagasan sintaksis dan semantik yang diambil alih dari logika. Elemen dasar dari Bahasa pemrograman Prolog adalah datalog. Datalog berisi data yang dapat merepresentasikan aljabar relasional dan dapat digeneralisasi dari berbagai arah. Predikat atau simbol merupakan entitas dasar yang sesuai dengan standard operasi dan hubungan dalam *database* relasional (Christiansen, 2003). Contoh variabel dalam prolog dapat dilihat pada gambar 2.11.

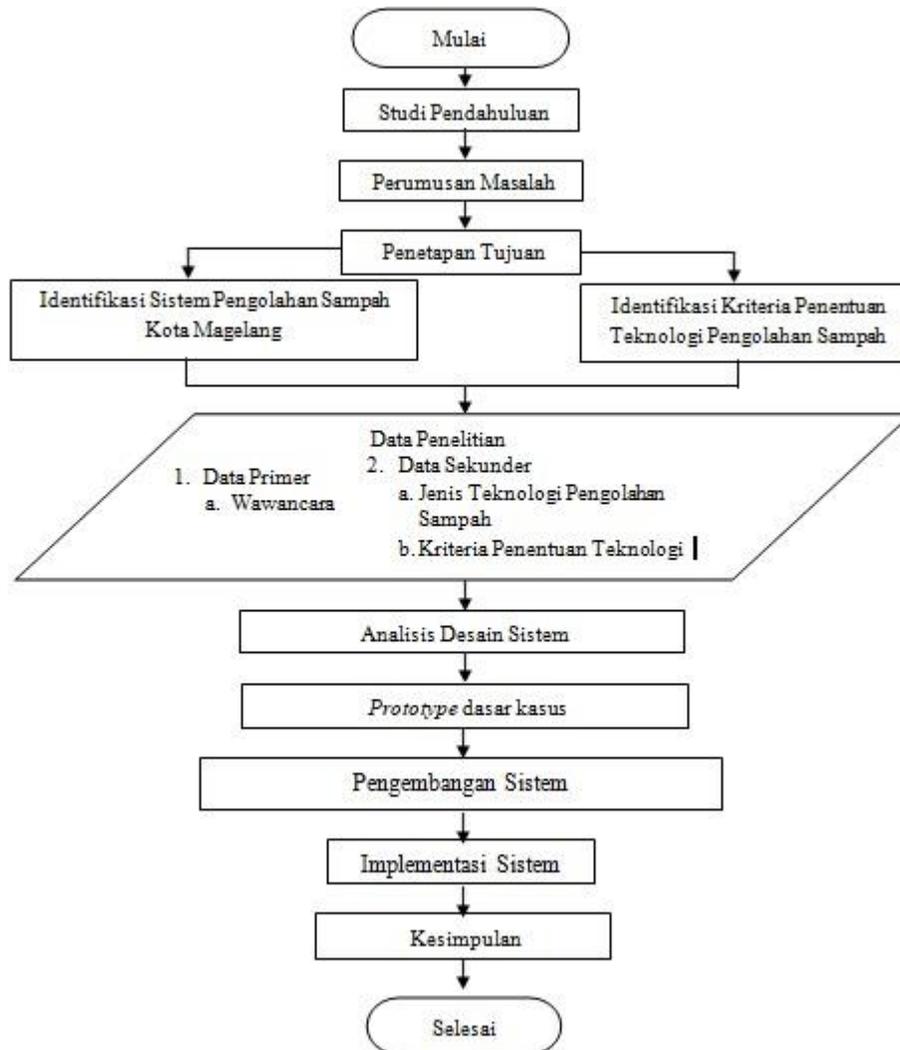


```
XY
Elephant Elephant_17_aBcD
_117_
```

Gambar 2 11 Variabel dalam Prolog
Sumber: (Christiansen, 2003)

BAB III METODE PENELITIAN

Langkah dari penelitian ini terdiri dari:



Gambar 3 1 Flowchart Penelitian
Sumber: Data yang diolah

5.1 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dari penelitian ini berupa studi lapangan, studi literatur, dan wawancara. Penelitian ini berfokus pada penentuan teknologi pengolahan sampah yang efektif dan efisien. Terdapat dua variabel dalam penelitian ini, yaitu variabel bebas dan terikat. Variabel terikatnya yaitu teknologi pengolahan sampah yang meliputi teknologi *reuse*, *recycle*, *remanufacture*,

composting, dan *biogasification*. Variabel bebasnya adalah kriteria aspek penentuan teknologi pengolahan sampah.

1. Studi Lapangan

Studi lapangan dilakukan dengan observasi secara langsung di tempat pengolahan sampah dan *stake holder* yang berwenang yaitu bank sampah, TPS, TPS 3R, TPA, dan DLH Kota Magelang pada Bulan September 2021 sampai Januari 2022 mengenai pengolahan sampah yang ada dan teknologi pengolahannya. Studi lapangan digunakan untuk mengamati objek penelitian sehingga diketahui permasalahan sampah secara langsung. Dari hasil studi lapangan didapatkan data sekunder berupa jenis pengolahan sampah organik dan anorganik yang telah diterapkan.

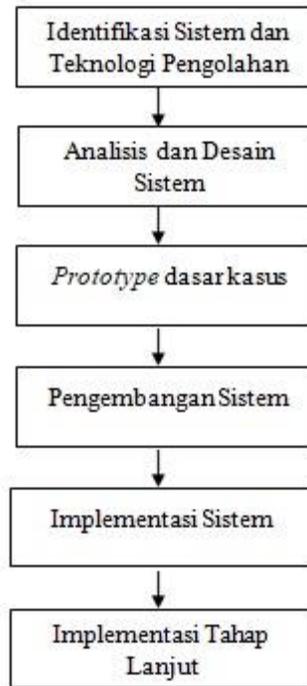
2. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan penelusuran terhadap referensi yang berkaitan dengan tema penelitian melalui buku, jurnal, artikel, dan penelitian terdahulu yang sudah ada sebelumnya, mengenai pengolahan sampah, kriteria aspek penentuan teknologi pengolahan sampah, metode *forward chaining* dan Bahasa pemrograman Prolog.

3. Wawancara

Wawancara dilakukan secara tidak terstruktur dengan pihak yang paham dengan teknologi pengolahan sampah sehingga dianggap dapat merepresentasikan pakar dalam penentuan teknologi pengolahan sampah. Wawancara dilakukan untuk mencari akar permasalahan secara langsung.

5.2 Metode Pengembangan Sistem



Gambar 3 2 Siklus Pengembangan *Decision System*
Sumber: Data yang diolah

Dalam penelitian ini pengembangan system memiliki siklus dengan metode pengembangan *Expert System Development Cycle*. Pada penelitian *decision support system* ini terdapat enam tahap yang dilakukan yaitu identifikasi, konseptualisasi, formalisasi, implementasi, pengujian, dan pengembangan sistem.

1. Identifikasi Sistem

Identifikasi Masalah merupakan langkah awal dalam pengembangan sistem pengolahan sampah dan penentuan teknologi pengolahan sampah. Tahapan ini merupakan tahapan dalam mencari hal-hal penting dalam kasus yang diangkat, kemudian hal tersebut akan dikaji dan dibatasi untuk diterapkan dalam sistem. Objektivitas dari tahap ini adalah mencari masalah, mengidentifikasinya, dan mencari solusi dari permasalahan agar tujuan dari pengembangan sistem terlaksanakan. Analisis yang dilakukan menggunakan analisis deskriptif untuk mengetahui kondisi pengolahan sampah saat ini.

2. Analisis dan Desain Sistem

Pada tahap ini, data-data yang telah terkumpul dirancang menjadi sebuah konsep yang akan dikembangkan oleh *knowledge engineer* dan pakar. Identifikasi masalah menciptakan sebuah hasil yang dikonseptualisasikan dalam bentuk relasi data, hubungan antar data, dan konsep-konsep penting dan ideal yang akan diterapkan dalam sistem yang dikembangkan. Pada tahap ini juga dilakukan analisis terhadap data-data jenis pengolahan sampah dan kriteria-kriteria penentuannya yang dapat didalami bersama pakar yang ahli dalam bidang permasalahan yang diangkat, sehingga jawaban dari hasil pengolahan sistem dapat menjawab sasaran permasalahan dengan tepat, benar, dan sesuai.

3. *Prototype* Dasar Kasus

Dalam tahap ini hubungan antar unsur digambarkan dalam bentuk format yang biasa digunakan oleh sistem pakar, yaitu sistem yang seolah-olah bertindak seperti pakar dalam suatu bidang. Pada tahap ini dibentuk mekanisme inferensi yang meliputi teknik penalaran menggunakan *forward chaining*, teknik *best first search*, dan representasi pengetahuan yang meliputi *tree diagram* dan *production rules*.

a. Mekanisme Inferensi

Mekanisme inferensi merupakan bagian dari sistem yang melakukan penalaran dengan menggunakan isi dari daftar rules berdasarkan pola-pola tertentu yang telah dibuat. Komponen dalam mekanisme inferensi dapat dibagi menjadi:

i. Teknik Penalaran

Teknik penalaran yang digunakan adalah *forward chaining*, yaitu teknik yang dapat mengidentifikasi fakta-fakta dari masalah yang kemudian dapat ditemukan konklusi yang sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.

ii. Teknik Penelusuran

Teknik penelusuran yang dilakukan menggunakan teknik *best firstsearch* yaitu teknik yang menelusuri jawaban terbaik berdasarkan pengetahuan yang dimiliki sehingga dapat ditentukan titik awal dari penelusuran.

b. Representasi Pengetahuan (*knowledge base*)

Representasi pengetahuan dari *Decision System* untuk menentukan teknologi pengolahan sampah menggunakan metode kaidah produksi. Dalam kaidah produksi, representasi pengetahuan berasal dari aturan-aturan yang dapat dibedakan menjadi dua yaitu:

i. *Antecedent*

Antecedent merupakan premis atau tahap awal yang merepresentasikan keadaan, pernyataan tersebut diawali dengan *IF*.

ii. *Konsekuensi*

Konsekuensi merupakan hasil tindakan atau jawaban yang ingin dicapai atau konklusi jika pernyataan antecedent bernilai benar, pernyataan ini diawali dengan *THEN*.

4. Pengembangan Sistem

Langkah selanjutnya ketika *prototype* dasar telah selesai dibuat adalah perancangan sistem yang akan dikembangkan sebagai bentuk penerapan dari *prototype* dasar kasus. Pengembangan sistem pengelolaan sampah dimaksudkan untuk mengembangkan sistem pakar penentuan teknologi pengolahan sampah melalui Bahasa pemrograman Prolog. Program ini dilakukan untuk memudahkan *stakeholder* dalam menentukan teknologi pengolahan terbaik, dengan teknologi terbaik yang efektif dan efisien.

5. Implementasi sistem

Sistem yang telah dibangun memerlukan implementasi berupa proses *user input*, instalasi, demonstrasi, implementasi sistem, dokumentasi, dan *security*. Evaluasi dalam sistem ini juga dilakukan untuk menguji dan menentukan

kesalahan yang terjadi. Dalam tahap evaluasi dapat ditemukan berbagai koreksi pada bagian-bagian sistem karena suatu sistem yang dibangun pasti belum sempurna sehingga memerlukan evaluasi untuk menyempurnakannya dan evaluasi berguna untuk menyamakan konklusi yang hendak dicapai dari pembuatan sistem.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari analisis dan pembahasan yang telah dilakukan di bab-bab sebelumnya, maka penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dengan diterapkannya *forward chaining*, sampah organik dengan kadar air 0-49%, kandungan nitrogen 0,40-6,9%, dan kandungan karbon organik 9,8-32% cocok diolah dengan teknologi *composting*. Sedangkan, sampah organik dengan kadar air 60-100%, kandungan nitrogen 0-6,9%, dan kandungan karbon organik 0-90% cocok diolah dengan teknologi *biogasification*. Sampah anorganik dengan kriteria sasaran untuk produk dan komponen, tujuan pengolahan untuk produk yang telah dibuang atau tidak digunakan tetapi masih dalam kondisi baik dan dapat memenuhi fungsi asli dapat digunakan kembali, kebutuhannya untuk produk dapat digunakan tanpa perbaikan signifikan atau pengolahan lain, penerapannya untuk produk dalam urutan kerja penuh (*full work order*), kualitas outputnya tidak sama berharganya dengan produk asli, dan tidak ada garansi cocok diolah dengan teknologi *reuse*. Sampah dengan sasaran pengolahan untuk material, tujuan pengolahan produk dapat diperpanjang umurnya dengan proses untuk mendapat input dengan kualitas sama atau sebanding untuk berbagai aplikasi baru. Kebutuhannya untuk produk diproses ulang untuk memulihkan beberapa sifat asli, penerapannya produk dalam urutan kerja terbatas (*limited working order*), produk memiliki cacat serius/kerusakan permanen, produk usang, produk dengan komponen yang tidak dapat diperoleh kembali secara ekonomis dan bernilai rendah, produk sekali pakai, kualitas output sama berharganya dengan produk asli, dan produk dapat memiliki garansi atau tidak memiliki garansi cocok diolah dengan teknologi *recycle*. Sampah yang diolah dengan sasaran produk dan komponen, tujuan diolah agar produk yang telah dibuang atau tidak digunakan dapat direstorasi ke spesifikasi dan kualitas kinerja OEM, kebutuhannya produk dipulihkan untuk mendapatkan performa

yang lebih tinggi atau baru dengan pengolahan lanjut (substansial), penerapannya untuk produk dalam urutan kerja terbatas (*limited working order*), produk memiliki cacat serius/kerusakan permanen, produk rusak karena kecelakaan, Kualitas output setara dengan produk baru, dan terdapat garansi cocok diolah dengan teknologi *remanufacture*.

5.2 Saran

Sistem yang dibuat masih jauh dari sempurna, sehingga penulis berharap penelitian ini dapat dikembangkan untuk disempurnakan. Saran yang dapat penulis berikan adalah sebagai berikut:

- 5.3 Sistem ini dapat dikembangkan lingkungannya, dengan kriteria penentuan lebih spesifik, jenis sampah, dan teknologi pengolahan sampah yang lebih banyak. Tidak terbatas pada sampah organik maupun anorganik, melainkan juga dapat menentukan pengolahan sampah B3.
- 5.4 Sistem ini dapat dikembangkan secara lebih lanjut berbasis Website.
- 5.5 Semua kekurangan yang tidak disadari penulis dapat disempurnakan lagi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul-Rahman, F. (2014). *Reduce , Reuse , Recycle : Alternatives for Waste Management*. 1–4.
- Akmalia, A. I. (2020). *Technology assessment of liquid waste in rubber factory using analytical hierarchy process and promethee methods*. 030059(April). BPSDM Bandung. (2018). Modul Anaerobik Digester. *EngEd Community*.
- Christiansen, H. (2003). *Advanced topics in databases : Introduction to Prolog as a database language*.
- Cognition, H., & Styles, D. (2007). *Decision-making systems, modeling, and support*.
- Condorchem Envitech. (2019). *DEHYDRATION OF WASTE GENERATED DURING WATER TREATMENT*.
- Cunningham, R. F. (2004). *Problem Posing: An Opportunity for Increasing Student Responsibility*. *Mathematics and Computer Education* 38, 1, pp. 83-89.
- Damanhuri, E., & Tri, P. (2010). *Pengelolaan Sampah-Diktat Kuliah TL-3104 Edisi Semester I 2010/2011*.
- Diaz, L. F., Savage, G. M., Trezek, G. J., & Golueke, C. G. (2014). *BIOGASIFICATION OF MUNICIPAL SOLID WASTES*. August. <https://doi.org/10.1115/1.3230832>
- Dwi Haryanto, Mochamad Thohiron, B. G. (2017). *Teknologi Tepat Guna Pengomposan Masal Campuran Sampah Daun Kering Dengan Sampah Basah*. 11, 951–952.
- Eremia, M., Tomsovic, K., & Cărtină, G. (2016). Expert Systems. *Advanced Solutions in Power Systems: HVDC, FACTS, and AI Techniques, October 2018*, 731–754. <https://doi.org/10.1002/9781119175391.ch15>
- Hildenbrand, J., Dahlström, J., Shahbazi, S., & Kurdve, M. (2021). Identifying and evaluating recirculation strategies for industry in the nordic countries. *Recycling*, 6(4), 1–19. <https://doi.org/10.3390/recycling6040074>
- Ismuyanto, B., N.H, A. . D. S., & Juliananda. (2017). *Teknik Pengolahan Limbah*

Padat. UB Publisher.

- Job, T. H. E., Potential, C., Zero, O. F., & Solutions, W. (n.d.). *ECONOMIC RECOVERY Executive Summary*.
- Jones, J., McNutt, P., Tosi, R., Perry, C., & Wimpenny, D. (2012). Remanufacture of turbine blades by laser cladding, machining and in-process scanning in a single machine. *23rd Annual International Solid Freeform Fabrication Symposium - An Additive Manufacturing Conference, SFF 2012*, 821–827.
- Kahfi, A. (2017). Tinjauan Terhadap Pengelolaan Sampah. *Jurisprudentie : Jurusan Ilmu Hukum Fakultas Syariah Dan Hukum*, 4(1), 12. <https://doi.org/10.24252/jurisprudentie.v4i1.3661>
- Kementerian Lingkungan Hidup RI. (2020). *Capaian Kinerja Pengelolaan Sampah Nasional*.
- King, A. M., & Burgess, S. C. (2019). *Reducing Waste : Repair , Recondition , Remanufacture or Recycle ?*
- Kreith, F., & Tchobanoglous, G. (2002). *Handbook of solid waste management*. New York: McGraw-Hill.
- Kunjung, W., & Erina, Y. (2010). *Sistem pakar identifikasi limbah cair organik dan cara pengolahannya menggunakan metoda forward chaining*. 53–55.
- Kurnia, V. C., Sumiyati, S., & Samudro, G. (2017). Pengaruh Kadar Air Terhadap Hasil Pengomposan Sampah Organik Dengan Metode Open Windrow. *Jurnal Teknik Mesin*, 6(2), 58. <https://doi.org/10.22441/jtm.v6i2.1191>
- M. Molinos-senante, T. Gomez, M. G. (2014). Assessing the sustainability of small wastewater treatment system: A composite indicator approach. *Science of the Total Environment*, 497–498(August), 607–617.
- National, G., & Pillars, H. (n.d.). *Solid Waste Management and Recycling Technology of Japan*.
- Onesmus Mbaabu. (2020). *Forward and Backward Chaining in Artificial Intelligence*.
- Ozmen, Mihrimah, Emel Kizilkaya Aydogan, D. . (2016). Developing A Decision_Support System for Waste Management in Aluminum Productions.

Publishing., Switzerland: Springer International.

- RPS Planning & Development. (2010). *Waste Management and Minimisation Strategy*. 1. <http://plan.scambs.gov.uk/swiftlg/MediaTemp/1009542-365995.pdf>
- Shi, H., Liu, H. C., Li, P., & Xu, X. G. (2017). An integrated decision making approach for assessing healthcare waste treatment technologies from a multiple stakeholder. *Waste Management*, 59, 508–517. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.11.016>
- SNI 19-7030-2004.*
SNI No. 19-3964-1994tl.
- Steinwachs, M. (1990). Reducing waste. In *Environment* (Vol. 32, Issue 5). <https://doi.org/10.4135/9781483349466.n8>
- Syamsu, S. (2005). *ALGORITMA FORWARD CHAINING DALAM PEMBUATAN SISTEM INFORMASI PENDUKUNG KEPUTUSAN PENENTUAN PENGUJISKRIPSI. STMIK AKBA(75)*, 119–125.
- UNEP. (2017). *Summary Report Waste Management in ASEAN Countries.*
UU No. 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah. (n.d.).
- Wicaksono, A., Pratama, Y., Halomoan, N., Lingkungan, J. T., & Teknik, F. (2017).
Identifikasi Teknologi Pengolahan Sampah Pasar Sederhana. xx(x), 1–9.