



## Mewujudkan *Net Zero Emission* 2060 Melalui Konversi Sampah Menjadi Listrik dalam Perspektif *Smart City*

Alfan Bramantya<sup>1)</sup>, Sri Untari<sup>2)</sup>, Rista Ayu Mawarti<sup>3)</sup>

Universitas Negeri Malang

[alfan.bramantya.2207128@students.um.ac.id](mailto:alfan.bramantya.2207128@students.um.ac.id)<sup>1)</sup>

[sri.untari.fis@um.ac.id](mailto:sri.untari.fis@um.ac.id)<sup>2)</sup>

[rista.ayu.fis@um.ac.id](mailto:rista.ayu.fis@um.ac.id)<sup>3)</sup>

### Abstrak

Permasalahan sampah di Indonesia yang cukup serius membuat kerusakan lingkungan yang masif. Selain itu permasalahan lingkungan di Indonesia diperparah dengan masifnya penggunaan energi berbasis fosil yang tidak ramah lingkungan. Kedua permasalahan ini semestinya bisa diatasi, karena sampah bilamana di dimanfaatkan berpeluang menjadi sumber energi terbarukan. Melalui pendekatan penelitian *research study*, penelitian ini akan mengkaji pengolahan sampah pada kota secara terpadu dalam perspektif *smart city*. Artikel ini akan membahas terkait dengan konsep tata kelola kota yang berkelanjutan serta dapat menghasilkan energi secara mandiri. Setidaknya ada tiga poin penting yang dibahas dalam artikel ini yaitu 1) *smart city*, 2) pengolahan sampah menjadi energi secara otomatisasi, 3) pengolahan sampah menjadi energi secara otomatisasi dalam perspektif *smart city*. Harapannya artikel ini dapat menjadi inspirasi untuk mengembangkan konsep *smart city* di Indonesia serta dapat membawa Indonesia menjadi negara maju dan mencapai target *net zero emission* dengan pengolahan sumber energi terbarukan secara masif melalui pengolahan sampah pada tahun 2060 mendatang.

Kata Kunci: Sampah, Energi baru terbarukan, *Smart City*, *Net Zero Emission* 2060

### Abstract

*This research is based on two serious problems, namely environmental damage due to fossil-based energy and pollution problems caused by waste. The international response related to the fossil-based energy crisis made various parties begin to realize to switch to EBT but in its implementation still encountered various obstacles. Departing from community unrest to meet energy needs with awareness to maintain the environment, the author then initiated the idea to solve the waste problem by converting it into electrical energy through the concept of automation of power plants using waste energy. Through this type of literature study research with research study methods, the author will describe 1) the Concept of Smart City, 2) Automatic Waste Power Plants, and 3) Automatic Waste Power Plants reviewed from a Smart City Perspective. The author hopes that this paper can provide an overview of good waste governance to implement the smart city concept to achieve Indonesia's target of achieving Net Zero Emission 2060.*

Keyword: Waste, Renewable Energy, *Smart City*, *Net Zero Emission* 2060

### PENDAHULUAN

*Fossil energy crisis* kini menjadi isu yang cukup substantif bagi negara-negara dunia. Meningkatnya penggunaan energi berbasis fosil secara masif tentunya memiliki konsekuensi tersendiri, mulai dari keterbatasan bahan bakar energi berbasis fosil serta energi berbasis fosil itu sendiri memberikan dampak yang serius bagi keberlangsungan ekosistem bumi. Permasalahan meningkatnya suhu bumi, kerusakan

alam, meningkatnya permasalahan kesehatan serta peningkatan mortalitas penyakit akut adalah beberapa efek nyata dari penggunaan bahan bakar fosil (Diftenbaugh & Burke, 2019; Lelieveld *et al.*, 2019).

Keseriusan permasalahan lingkungan akibat peningkatan penggunaan bahan bakar berbasis fosil membuat negara-negara dunia bergerak. Setidaknya ada tiga resolusi paling populer yang sepakati untuk menagani permasalahan ini diantaranya; *United Nations Framework Convention on Climate Change* (1994), *Kyoto Protocol* (2005), dan *Paris Agreement* (2015) yang secara signifikan mengatur mengurangi emisi karbon sebesar 5% secara merata, menjaga suhu bumi agar tidak naik melebihi 2° Celsius, transisi energi, serta menuju target *Net Zero Emission* pada tahun 2050 secara global (Leggett, 2020; McGlade & Ekins, 2015). Berbagi pihak semakin akan alternatif energi yang lebih terjangkau dan lebih hijau yang disisi lain dapat mencukupi kebutuhan di era modern. Hal ini membuat pemerintah di negara-negara dunia termasuk ASEAN semakin menunjukkan sikap dan langkanya untuk mengurangi ketergantungan energi berbasis fosil (Erdiwansyah *et al.*, 2019; Qazi *et al.*, 2019).

Transisi energi memang diperlukan akan tetapi transisi tersebut tidak bisa dipaksakan dalam waktu yang relatif singkat. Belajar dari Inggris dan Uni Eropa pada tahun 2021 yang terlalu dini serta bergantung kepada satu energi alternatif saja (Inggris yang bergantung dengan gas alamnya) berdampak kepada tidak seimbangannya permintaan energi dengan pasok energi yang tersedia yang pada akhirnya membuat Inggris dan Uni Eropa kembali menggunakan energi berbasis fosil untuk mencukupi kebutuhannya (Popkostova, 2022). Oleh karena itu dalam mengakuisisi EBT (energi baru terbarukan) menjadi sumber energi utama perlu diperhatikan skema diferensiasi sumber energi serta skema transisi yang tepat. Setidaknya ada berbagai macam alternatif EBT mulai dari air, angin, gas alam, sinar matahari hingga energi berbasis sampah dapat digunakan menjadi EBT, akan tetapi EBT berbasis air, surya, atau sejenisnya memiliki kelemahan dengan ketersediaan serta entitasnya pada salah satu daerah yang bisa jadi terbatas.

Disisi lain energi berbasis sampah kian populer hal ini dikarenakan tidak hanya sampah dapat menimbulkan permasalahan lingkungan yang serius jika tidak diolah dengan baik akan tetapi sampah juga dapat dijadikan menjadi salah satu EBT karena potensinya cukup besar (Moya *et al.*, 2017). Bank Dunia setidaknya telah mengestimasi jumlah sampah padat global sebesar 2,01 milyar ton dan diprediksi akan meningkat menjadi 3,40 milyar ton pada tahun 2050. Senada dengan World Bank, *World Economic Forum* dan *Ellen MacArthur Foundation* mengestimasi pada tahun 2050 akan lebih banyak sampah plastik dari pada ikan di lautan jika diukur dengan berdasarkan beratnya (Kaza & Yao, 2018; World Economic Forum, 2016). Hal ini yang kemudian membuat negara maju seperti Singapura mengolah sampahnya menjadi EBT untuk mengatasi dampak sampah serta secara bersamaan mengatasi dampak krisis energi.

Indonesia sendiri terhitung menghasilkan 62,5 juta ton sampah setiap tahunnya dan akan terus meningkat seiring dengan proyeksi penambahan penduduk dan pertumbuhan ekonomi (BPS, 2018). Selain itu Indonesia menghasilkan 3,22 juta metrik ton sampah plastik di lautan pada tahun 2010 dan jumlah ini kemudian diprediksi meningkat menjadi 7,42 juta metrik ton tahun 2025 yang membuat Indonesia menjadi negara penyumbang sampah plastik terbesar kedua didunia (Jambeck *et al.*, 2015) meskipun demikian hingga saat ini penanganan sampah di Indonesia masih kurang maksimal. Sekitar 10-15% sampah di Indonesia diolah dengan baik 60-85% sisanya masih ditumpuk pada TPA atau berserakan di lingkungan hal ini kemudian diperparah dengan tidak pedulinya 72% masyarakat Indonesia tentang permasalahan sampah yang berakibat pada masuknya Indonesia ke 10 besar negara dengan pengolahan sampah terburuk di dunia (Heidi Stockhaus *et al.*, 2021; Lestari *et al.*, 2021; Nizar *et al.*, 2018).

Hal ini tentunya kontradiksi dengan komitmen Indonesia untuk mengurangi 70% sampah plastik di lautan serta mengurangi sampah sebesar 30% dan mengolah sampah secara benar sebesar 70% pada tahun 2025 yang tertuang dalam Perpres No. 97/2017 (KLHK RI, 2020; WEF, 2020). Disaat yang bersamaan Indonesia juga berkomitmen untuk mencapai target 23% energi baru terbarukan (EBT) pada tahun 2025 (IESR, 2019). Pemerintah juga terus berupaya untuk mencari alternatif energi pengganti energi fosil untuk mewujudkan target *Net zero Emission* pada tahun 2060. Oleh karena itu Indonesia harus merancang strategi khusus dalam menangani permasalahan sampah khususnya untuk mengolah sampah menjadi sumber energi sebagai salah satu langkah dalam mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil.

Tentunya langkah-langkah Indonesia dalam menangani permasalahan sampah serta reformasi energi harus didukung dan dikawal dengan baik oleh seluruh pihak. Langkah ini merupakan langkah yang tepat untuk dapat menyelamatkan alam itu sendiri dan hal ini dapat menyelamatkan manusia dari dampak perubahan iklim. Pada akhirnya perkembangan zaman berkontribusi dalam perkembangan persepsi manusia dalam memenuhi kebutuhannya. Hal ini membuat berbagai pihak semakin sadar bahwa di era modern penting untuk mulai menyeimbangkan antara ekosistem dengan kebutuhan manusia lainnya. Masyarakat era modern mulai memahami bahwa mereka menginginkan peningkatan kualitas hidup dengan



menyeimbangkan kebutuhan mereka. Seiring berjalannya waktu masyarakat mulai percaya bahwa mereka dapat mengintegrasikan faktor lingkungan, ekonomi, pendidikan, pemerintahan dan sektor lainnya dibantu dengan perkembangan teknologi yang cukup masif, dengan teknologi manusia dapat manusia dapat menciptakan keseimbangan alam dengan aktivitas manusia.

## METODE

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian studi literatur dengan pendekatan *Research Study* untuk dapat menjabarkan tujuan penelitian. Studi literatur merupakan jenis penelitian untuk membahas suatu topik penelitian dengan secara kritis menganalisis, mengevaluasi, dan menyintesis teori, praktik dan temuan penelitian dengan suatu pembahasan atau topik penelitian tertentu. Selain itu peneliti harus dapat membandingkan teori dan studi penelitian yang beragam serta dapat mengungkapkan *research gap* pada penelitian yang ada, peneliti juga dapat memberikan pembeda dan memperbaiki penelitian-penelitian terdahulu, sedangkan pada metode penelitian *research study* penulis mengumpulkan bukti-bukti empiris dan kemudian menginterpretasikannya menjadi sebuah pengetahuan baru.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini penulis akan menjelaskan beberapa pembahasan yang terdiri dari 1) *smart city*, 2) *pengolahan sampah menjadi energi secara otomatisasi*, 3) *pengolahan sampah menjadi energi secara otomatisasi dalam perspektif smart city*

### **Smart City**

Seiring berkembangnya waktu yang ditopang oleh perkembangan teknologi-informasi serta peningkatan kualitas pendidikan persepsi masyarakat tentang kota mengalami perubahan. Masyarakat modern kini tidak hanya menganggap kota sebagai tempat mereka tinggal akan tetapi sebagai tempat di mana mereka dapat mengembangkan diri. Hal ini kemudian membuat masyarakat di era modern memproyeksikan kota yang mereka idamkan sebagai kota yang mengintegrasikan kegiatan pemerintahan, perekonomian, pendidikan, kesehatan, sosial, teknologi, serta lingkungan hidup dengan baik yang kemudian disebut sebagai konsep *Smart City* (Halegoua, 2020).

Hingga saat ini memang masih banyak versi yang beredar mengenai definisi dari *Smart City*, ada yang menyebut *Smart City* sebagai lingkungan kota yang elegan dan efisien atau versi kota yang lebih baik dari pada kota kebanyakan saat ini. Sudut pandang bisnis mendefinisikan *Smart City* sebagai kota dengan ekosistem perkembangan ekonomi yang masif dan terkontrol atau didefinisikan sebagai kota yang pemerintahannya mengintegrasikan teknologi informasi untuk pelayanan publik (Goodspeed, 2015). Meskipun secara konsep *Smart City* merupakan pengintegrasian seluruh sistem perkotaan dengan teknologi informasi dan komunikasi (*IoT*) namun tidak dapat dipungkiri bahwa *Smart City* merupakan sebuah sistem pengintegrasian kota yang cukup kompleks, oleh karena itu manusia terus mengembangkan definisi dari *Smart City* itu sendiri dari waktu ke waktu. Setidaknya dalam memahami pengertian dari *Smart City* dapat diperhatikan tabel berikut:

| Sumber              | Aspek dan Indikator   |
|---------------------|---|
| Albino et al., 2015 | <p><b>smart economy:</b> Pengeluaran APBN/APBD/Dana Publik untuk R&amp;D, Pengeluaran APBN/APBD/Dana Publik untuk Pendidikan, pemerataan PDPB per kapita, rendahnya tingkat pengangguran.</p> <p><b>smart people:</b> Persentase populasi dengan pendidikan tingkat tinggi, penguasaan Bahasa asing, partisipasi dalam pengembangan diri, tingkat kemahiran komputer individu, pengajuan hak cipta/paten dll per-individu.</p> <p><b>smart governance:</b> Ketersediaan dan keterlibatan universitas serta pusat penelitian di kota, sistem <i>e-government</i> dan pelayanan berbasis <i>online</i>, persentase rumah dengan ketersediaan internet</p> <p><b>smart environment:</b> Strategi ambisius dalam mengurangi emisi karbon, penggunaan energi secara efisien, penggunaan air secara efisien, proporsi pengolahan sampah, pengurangan emisi energi, kebijakan untuk menagani ekspansi perumahan, area terbuka hijau.</p> <p><b>smart living:</b> Proporsi wilayah untuk olahraga, rekreasi dan penggunaan waktu luang, intensitas perpustakaan umum, Jumlah pinjaman buku dan media lain, kunjungan Museum, ketersediaan teater dan bioskop.</p> |

| Sumber            | Aspek dan Indikator  |
|-------------------|--|
| Bosh et al., 2017 | <p><b>smart and resilience people:</b> Peningkatan layanan dan pola hidup sehat, pengurangan kriminalitas dan kecelakaan, peningkatan sistem keamanan siber dan data privasi, peningkatan akses dan kualitas transportasi umum, pemerataan akses pendidikan dan peningkatan pemahaman lingkungan, kesadaran kewarganegaraan, akses ruang terbuka hijau.</p> <p><b>Smart and Resilience Planet:</b> Pengurangan emisi karbon, peningkatan energi baru terbarukan, pengurangan energi berbasis fosil, peningkatan penggunaan bahan daur ulang dan bahan ramah lingkungan, penggunaan air secara efisien, kebijakan ketahanan iklim, pengurangan dan pengolahan sampah.</p> <p><b>Smart and Resilience Prosperity:</b> Penyediaan dan peningkatan tenaga kerja lokal, ketahanan pangan, perumahan yang terjangkau, ketersediaan dan peningkatan perusahaan ramah lingkungan, pengurangan biaya penanganan emisi karbon, peningkatan performa ekonomi. Keikutsertaan ahli dan profesional, stimulasi lingkungan yang inovatif.</p> <p><b>Smart and Resilience Governance:</b> Kepemimpinan yang kuat, penyeimbangan kekuasaan, keterbukaan informasi, <i>Bottom-up or top-down initiative</i>, keterlibatan publik dalam perumusan, pelaksanaan dan evaluasi kebijakan, <i>smart city policy</i>.</p> <p><b>Smart and Resilience Propagation:</b> Penyesuaian sosial dan teknikal, pengedepanan solusi dalam merespons sesuatu, reformasi norma sosial dan norma profesional, penyesuaian peraturan dan perundang-undangan, reformasi kebijakan investasi.</p> |

Tabel sebelumnya menjelaskan tentang indikator *Smart City* yang cukup kompleks dan beragam. Setidaknya tabel sebelumnya telah memberikan gambaran bahwasanya ada beragam aspek dan indikator mulai dari aspek lingkungan, ekonomi hingga aspek lainya yang dapat dijadikan tolak ukur bagaimana sistem *Smart City* sewajarnya berjalan. *Smart City* memang merupakan sistem perkotaan yang cukup rumit akan tetapi sistem inilah yang justru dapat membawa kehidupan manusia ke arah yang lebih baik lagi.

#### Otomatis pengolahan sampah menjadi energi secara otomatisasi

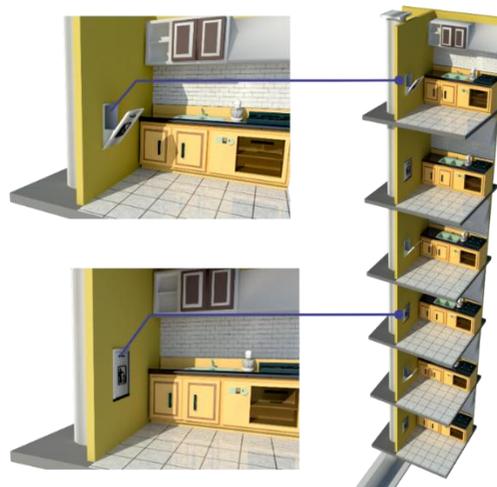
Pembangkit listrik bertenaga sampah otomatis merupakan gagasan yang diajukan oleh penulis pada Program Kreativitas Mahasiswa skim Gagasan Tertulis (PKM-GT) dengan judul "*Automatically Waste Disposal System Turned into Renewable Energy Management*". Konsep ini kemudian berlanjut untuk mengikuti kegiatan Pekan Ilmiah Mahasiswa Nasional (PIMNAS) ke-33 di Universitas Gadjahmada pada tahun 2020. Konsep ini merupakan konsep pembuangan sampah secara otomatis yang terintegrasi dengan sistem pengolahan sampah menjadi energi listrik berbasis energi baru terbarukan (EBT). Secara garis besar penulis mencoba untuk mengintegrasikan beberapa teknologi yang sudah ada untuk menjadi alternatif pengolahan sampah di masa yang akan mendatang. Penulis kemudian berharap melalui konsep ini pada masa yang akan mendatang masyarakat Indonesia khususnya akan lebih mudah untuk mengolah sampahnya dan memanfaatkan sampahnya untuk menjadi energi listrik yang dapat di dimanfaatkan kembali oleh masyarakat. Desain gagasan tersebut dapat dilihat pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Desain Gagasan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah Otomatis (Dokumen tim PKM-GT PIMNAS UM 2020)

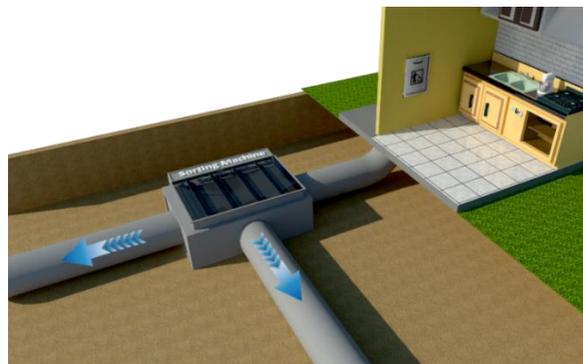
Konsep pembangkit listrik sampah otomatis ini setidaknya terdiri dari tiga bagian utama yang saling terintegrasi antara satu sama lain. *Bagian pertama* dari konsep ini adalah *Waste Chimney* atau pipa pembuangan sampah. Penulis terinspirasi dari konsep *Trash Chute* yang akan digunakan pada bagian *Waste Chimney*, *Trash Chute* sendiri merupakan konstruksi pipa pembuangan sampah yang biasanya terbuat dari plastik atau material lainnya. *Trash Chute* umumnya terpasang pada dinding-dinding perumahan atau bangunan susun, dengan memanfaatkan prinsip gravitasi *Trash Chute* dapat menyalurkan sampah dari lantai paling atas ke dalam wadah penampungan sampah dengan cepat dan tanpa menimbulkan getaran, debu atau sampah yang berserakan (Von Gunten, 2012). Kemudian sampah yang telah press pada *waste chimney* akan melewati pipa bawah tanah yang digunakan untuk menyalurkan sampah dari gedung-ke-gedung menuju *Shorting Machine*, sampah didistribusikan oleh pipa bawah tanah ke *Shorting Machine* dengan menggunakan prinsip pneumatik. Pneumatik merupakan sistem pemindah material dengan menggunakan kompresi udara (*fluida kompresibel*) sebagai tenaga utamanya untuk menjalankan sistem ini setidaknya dibutuhkan beberapa alat seperti gas kompresor, udara, pipa konveyor, perangkat umpan dan penerima umpan untuk distribusi barang yang diangkut menggunakan tekanan gas (Indriyanto *et al.*, 2018; Mills, 2016). Desain *Waste Chimney* dapat dilihat pada gambar 2 berikut.

*Waste Chimney*



Gambar 2. Desain *Waste Chimney* (Dokumen tim PKM-GT PIMNAS UM 2020)

*Bagian kedua* merupakan *Shorting Machine* yang merupakan alat pemisah sampah. Pada bagian ini sampah yang disalurkan oleh pipa bawah tanah akan dipilah menjadi dua klasifikasi sampah yaitu sampah organik dan sampah non-organik, sedangkan untuk memilah sampahnya pada *Shorting Machine* akan digunakan sensor *Proximity Capacitive*. Sensor *Proximity Capacitive* merupakan sensor yang dapat mendeteksi bahan-bahan non-logam jenis an-organik dengan mendeteksi perubahan nilai kapasitansi benda dan objek yang ada (Nugroho *et al.*, 2018). Pemilahan sampah pada bagian *shorting machine* digunakan untuk proses mengubah sampah menjadi energi listrik pada bagian *Converter Building*. Desain *Shorting Machine* dapat dilihat pada gambar 3 berikut.



Gambar 3. Desain *Shorting Machine* (Dokumen tim PKM-GT PIMNAS UM 2020)

*Ketiga* adalah *Converter Building* atau bagian konversi sampah menjadi energi listrik. Pada bagian ini sampah yang telah dipilah pada bagian *Shorting Machine* akan diproses dengan cara yang berbeda, untuk sampah organik sampah akan diproses dengan menggunakan proses gasifikasi atau konversi sampah organik menjadi gas (CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>) yang kemudian menghasilkan termal (panas) pada suhu 800-900 derajat *Celsius* sedangkan untuk sampah anorganik akan diproses dengan menggunakan teknik insinerasi atau pembakaran benda padat lainnya dengan suhu tinggi (Buekens, 2013; Styana *et al.*, 2019). Proses gasifikasi dan insinerasi yang terdapat pada bagian ini kemudian akan menghasilkan uap panas dari *boiler* yang dapat digunakan untuk menggerakkan turbin dan turbin akan menggerakkan generator listrik untuk menghasilkan listrik, listrik yang dihasilkan dari *Converter Building* akan didistribusikan untuk kepentingan umum seperti penerangan jalan atau didistribusikan kembali kepada masyarakat itu sendiri. Desain *Converter Building* dapat dilihat pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Desain *Converter Building* (Dokumen tim PKM-GT PIMNAS UM 2020)

Tentunya proses ini akan menghasilkan zat buang atau zat kimia lainnya, oleh karena itu untuk meminimalisir zat kimia dari asap pembakaran pada bagian bangunan *Converter Building* akan dilengkapi cerobong asap setinggi dua sampai dua setengah kali dari tinggi bangunan utama *Converter Building*, hal ini sesuai dengan rekomendasi Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan nomor: KEP-205/BAPEDAL/07/1996 tertanggal 10 Juli 1996 tentang Pedoman Teknis Pengendalian Pencemaran Udara Sumber Tidak Bergerak (BAPEDAL, 1996). Hasil residu (abu) pembakaran sampah menjadi listrik dapat dimanfaatkan menjadi campuran bahan bata beton pejal. Bata beton pejal yang terbuat dari 20% campuran abu pembakaran sampah akan menambah kekuatan beton sebesar 28,04 kg/cm<sup>2</sup> setelah umur beton berjalan 21 hari (Putri *et al.*, 2019).

#### **Pengolahan sampah menjadi energi secara otomatisasi dalam perspektif *smart city***

Reformasi energi fosil menjadi energi baru terbarukan serta penanganan lingkungan akibat permasalahan sampah telah menjadi tuntutan masyarakat secara global (Erdiwansyah *et al.*, 2019) oleh karena itu gagasan ini berorientasi untuk menjawab permasalahan tersebut. Tidak hanya itu masyarakat era modern saat ini menginginkan kualitas hidup yang lebih baik dan dapat mempermudah kegiatan mereka akan tetapi disisi lain masyarakat era modern menginginkan kemudahan tersebut tidak mengorbankan lingkungan. Masyarakat era modern mendambakan lingkungan hunian yang modern, edukatif, nyaman asri serta terintegrasi secara cerdas dengan teknologi informasi dan komunikasi (*Smart City*). Terkait permasalahan energi, masyarakat era modern memiliki kesadaran untuk beralih menggunakan energi baru terbarukan (EBT) alasannya selain energi baru terbarukan aman bagi lingkungan EBT juga merupakan salah satu energi yang lebih terjangkau dari pada energi berbasis fosil (Erdiwansyah *et al.*, 2021; Karvonen *et al.*, 2018).

Pembangkit listrik energi sampah secara otomatis ini setidaknya merupakan salah satu alternatif solusi untuk mewujudkan transformasi energi berbasis fosil ke energi baru terbarukan. Gagasan ini dapat terwujud apabila ada kemitraan yang kuat dari beberapa pihak sehingga gagasan ini dapat diimplementasikan secara baik. Pihak-pihak yang terkait dalam upaya perwujudan gagasan ini terdiri dari; pertama para ahli sebagai perancang implementasi gagasan sekaligus mempersiapkan kajian-kajian serta teknologi yang dibutuhkan dalam perwujudan gagasan ini, pihak kedua adalah pemerintah memiliki peran sebagai regulator serta penggagas utama dari konsep ini pemerintah juga dapat bekerja sama dengan pihak swasta atau korporasi untuk melaksanakan skema *burden sharing* dalam pembiayaan atau investasi dari gagasan ini, pihak swasta atau korporasi dapat berperan dalam penyedia teknologi atau mitra

pelaksana pemerintah dalam pengimplementasian dari gagasan ini, serta pihak terakhir merupakan masyarakat yang berfungsi sebagai sasaran atau pengguna dari gagasan ini.

Gagasan ini merupakan salah satu aspek yang dapat diterapkan dalam perancangan maupun pengimplementasian konsep *Smart City*. Integrasi antar berbagai pihak serta kompleksitas teknologi yang digunakan dalam gagasan ini dapat berkontribusi dalam pengembangan *Research* dan *Development* yang bertujuan untuk memberikan alternatif solusi dalam menjawab tantangan di masa depan. Sementara itu untuk meninjau gagasan ini dari perspektif *Smart City* secara singkat dapat digambarkan dalam tabel berikut.

| Aspek                                  | Indikator   | Perwujudan dalam gagasan   | Pihak terkait                                      |
|--|---|--|--|
| <i>smart economy</i>                   | Penggunaan dana publik untuk R&D.   | Kerja sama antar <i>multi-stake holder</i> dalam penerapan <i>burden sharing</i> untuk tahapan riset dan <i>development</i> ide, perencanaan, pelaksanaan, pemeliharaan, serta evaluasi. | pemerintah, swasta, korporasi, investor masyarakat |
| <i>smart governance</i>                | Keterlibatan peran universitas  | Universitas dan ahli dapat membantu pemerintah untuk mengkaji dan mempersiapkan teknologi pelaksanaan program.   | pemerintah, ahli, universitas, masyarakat          |
| <i>smart environment</i>               | Strategi ambisius dalam mengurangi emisi karbon serta peningkatan proporsi penanganan sampah. | Pengolahan sampah menjadi energi listrik dapat dijadikan alternatif energi pengganti energi berbasis fosil .   | Pemerintah, ahli, swasta, NGO, masyarakat          |
| <i>smart and resilience people</i>     | Peningkatan pola hidup sehat.   | Mengolah sampah menjadi listrik dapat mengurangi permasalahan kesehatan dan pencemaran lingkungan yang disebabkan oleh sampah.   | Pemerintah, ahli, swasta, NGO, masyarakat          |
| <i>smart and resilience planet</i>     | Kebijakan ketahanan iklim   | Transformasi energi fosil menjadi EBT dapat mencegah kenaikan suhu bumi di atas 2° Celsius.  | Pemerintah, ahli, swasta, NGO, masyarakat          |
| <i>smart and resilience prosperity</i> | Penyediaan tenaga kerja lokal dan penyediaan perusahaan ramah lingkungan.                     | Investasi pembangkit listrik tenaga sampah dapat menyerap lapangan pekerjaan dan tenaga kerja lokal.   | Pemerintah, swasta, korporasi dan masyarakat       |
| <i>smart and resilience government</i> | Keterlibatan publik dalam perumusan, pelaksanaan dan evaluasi kebijakan.                      | Publik dapat berpartisipasi penuh dalam perumusan, pelaksanaan dan penerapan kebijakan ini.  | Masyarakat, NGO, pemerintah                        |

Dalam tabel sebelumnya penulis berupaya menjelaskan tinjauan dari gagasan pembangkit listrik bertenaga sampah otomatis dalam perspektif *Smart City* berdasarkan aspek dan indikator oleh Albino *et al.*, (2015) dan Bosh *et al.*, (2017). Berdasarkan tabel tersebut dijelaskan bahwasanya gagasan ini berpeluang untuk mewujudkan beberapa indikator dari *Smart City* itu sendiri bilamana gagasan ini dapat diterapkan. Aspek dari ekonomi, lingkungan, pemerintahan, sosial dan beberapa aspek relevan lainnya berpeluang dapat terintegrasi dengan baik dalam gagasan ini.

Fokus utama dalam gagasan ini adalah untuk mengatasi permasalahan lingkungan yang disebabkan oleh sampah serta energi fosil dengan cara mengubah sampah menjadi alternatif energi baru terbarukan akan tetapi gagasan ini juga berpeluang untuk terintegrasi dengan aspek-aspek sosial lainnya. Hal ini dikarenakan dalam pengimplementasian gagasan ini dibutuhkan strategi yang cukup kompleks sehingga dalam pelaksanaannya akan membutuhkan beragam sumber daya yang dibutuhkan. Kompleksitas strategi pada gagasan ini bertujuan untuk memastikan bahwa gagasan ini dapat terealisasi sesuai dengan yang



diharapkan serta gagasan ini benar-benar dapat menanggulangi permasalahan sampah dan transisi energi fosil. Pemetaan serta pengkajian strategi yang dilaksanakan secara berhati-hati dan berulang-ulang juga diperlukan sehingga sebelum pelaksanaan gagasan diharapkan sudah diketahui kesesuaian gagasan ini dengan kondisi yang ada serta dapat mengetahui bagaimana pengimplementasian gagasan secara tepat guna (Concilo & Rizo, 2016).

Pengintegrasian teknologi berbasis *Internet of Thing (IoT)* dan *Artificial Intelligent (AI)* sangat diperlukan dalam gagasan ini dikarenakan gagasan ini memiliki konsep *smart automatization* yang diperlukan dalam penyaluran sampah dari rumah tangga hingga pada sampai pada pengolahan sampah menjadi energi listrik. Pada saat bersamaan persiapan sumber daya manusia yang memadai untuk perancangan hingga pelaksanaan dan pemeliharaan gagasan ini menjadi kunci keberhasilan dari gagasan ini. Sumber daya manusia yang memadai dapat berkontribusi dalam perancangan teknologi dan infrastruktur yang diperlukan dalam merealisasi gagasan.

Tidak hanya itu pemakaian gagasan dalam hal ini masyarakat perlu juga diberikan edukasi awal terkait dengan gagasan ini sehingga masyarakat dapat memahami pentingnya merawat serta mengimplementasikan gagasan ini dengan baik. Pemangku kebijakan juga memiliki peran penting dalam gagasan ini, pemangku kebijakan memiliki kewajiban untuk membuat kebijakan yang sistematis dan terarah sehingga gagasan ini memiliki *law enforcement* untuk pelaksanaan gagasan serta disisi lain pemangku kebijakan perlu memikirkan kebijakan investasi dan pembangunan skema *strategic partnership* dengan berbagai pihak yang pada akhirnya dapat memberikan masyarakat lapangan pekerjaan bagi masyarakat itu sendiri. Pada akhirnya *social engineering* antara berbagai pihak yang terkait dalam gagasan berpeluang dalam kontribusi pembangunan *Smart City*, setidaknya gagasan ini perlu memperhatikan beberapa pilar seperti infrastruktur institusional, infrastruktur fisik, infrastruktur sosial, serta infrastruktur ekonomi yang tidak dapat dipisahkan antara satu sama lain sehingga penerapan konsep *Smart City* dalam gagasan ini dapat terlihat dengan jelas (Angelakis *et al.*, 2017; Serban & Lytras, 2020; Silva *et al.*, 2018).

## SIMPULAN DAN SARAN

Krisis energi berbasis fosil telah menyebabkan berbagai permasalahan di dunia. Hal ini tidak hanya dikarenakan oleh energi berbasis fosil mulai terbatas jumlahnya yang berakibatkan pada krisis energi dunia melainkan pula karena energi berbasis fosil tersebut tidak ramah lingkungan dan cenderung merusak lingkungan. Permasalahan lainnya juga menjadi perhatian tersendiri, dampak dari buruknya tata kelola sampah berdampak kepada permasalahan pencemaran lingkungan. Sementara itu masyarakat mulai sadar bahwa mereka memerlukan transformasi energi menjadi energi baru terbarukan akan tetapi masyarakat menginginkan transformasi ini tidak mengganggu kebutuhannya di era modern.

Oleh karena itu penulis berupaya untuk memberikan gagasan untuk mengolah sampah menjadi energi listrik melalui sistem otomatisasi demi mengatasi dampak permasalahan yang ditimbulkan oleh sampah serta oleh energi berbasis fosil. Masyarakat juga semakin sadar bahwa dikemudian hari mereka memerlukan lingkungan tinggal yang lebih modern serta terintegrasi dengan teknologi informasi dan komunikasi yang dapat digunakan untuk memudahkan kebutuhan masyarakat modern. Oleh karena itu konsep *Smart City* merupakan salah satu jawaban akan kebutuhan masyarakat di era modern. Gagasan ini juga merupakan salah satu alternatif solusi yang dapat dijadikan dalam pengimplementasian *Smart City* hal ini dikarenakan dalam pengimplementasiannya gagasan ini memerlukan strategi dan integrasi yang kompleks dari beberapa pihak. Meskipun tujuan utama dari gagasan ini adalah untuk menanggulangi permasalahan sampah dan alternatif transformasi energi namun gagasan ini dapat menyentuh aspek-aspek *Smart City* lainnya.

## DAFTAR PUSTAKA

- Angelakis, V., Tragos, E., Pöhls, H. C., Kapovits, A., & Bassi, A. (2017). Designing, Developing, and Facilitating Smart Cities Urban Design to IoT Solutions. In *Switzerland: Springer International Publishing*. Springer International Publishing.
- BPS. (2018). Statistik Lingkungan Hidup Indonesia (SLHI) 2018. In Badan Pusat Statistik/BPS–Statistics Indonesia (Ed.), *Badan Pusat Statistik/BPS–Statistics Indonesia*. <https://doi.org/3305001>
- Buekens, A. (2013). Incineration Technologies. In *SpringerBriefs in Applied Sciences and Technology*. Springer Science-Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-5752-7>
- Concilo, G., & Rizo, F. (2016). *Urban and landscape perspectives: Human smart cities rethinking the interplay between design and planning*. Springer International Publishing.



- <http://www.springer.com/series/7906>
- Diffenbaugh, N. S., & Burke, M. (2019). Global warming has increased global economic inequality. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(20), 9808–9813. <https://doi.org/10.1073/pnas.1816020116>
- Efron, S., & David, R. (2019). Writing the Literature Review: A Practical Guide. In *The Guilford Press*.
- Erdiwansyah, E., Mahidin, M., Husin, H., Nasaruddin, N., Khairil, K., Zaki, M., & Jalaluddin, J. (2021). Investigation of availability, demand, targets, and development of renewable energy in 2017–2050: a case study in Indonesia. *International Journal of Coal Science and Technology*, 8(4), 483–499. <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00391-4>
- Erdiwansyah, Mahidin, Mamat, R., Sani, M. S. M., Khoerunnisa, F., & Kadarohman, A. (2019). Target and demand for renewable energy across 10 ASEAN countries by 2040. *Electricity Journal*, 32(10), 106670. <https://doi.org/10.1016/j.tej.2019.106670>
- Goodspeed, R. (2015). Smart cities: moving beyond urban cybernetics to tackle wicked problems. *Cambridge Journal of Regions, Economy and Society*, 8(1), 79–92. <https://doi.org/10.1093/CJRES/RSU013>
- Halegoua, G. R. (2020). *Smart Cities*. The MIT Press.
- Harris, D. (2020). *Literature Review and Research Design*. Routledge Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.4324/9780429285660>
- Heidi Stockhaus, Anurodh Sachdeva, Stephan Sina, Emma Bolopion, Genee Mislang, Cecilia Therese Guiao, Jacqueline Espenilla, Linda Yanti Sulistiawati, A., & Popattanachai, N. (2021). A New Treaty on Plastic Perspectives From Asia. In *World Wide Fund for Nature (Singapore) Limited*. World Wide Fund for Nature (Singapore) Limited.
- IESR. (2019). Indonesia Clean Energy Outlook: Tracking Progress and Review of Clean Energy Development in Indonesia. *Jakarta: Institute for Essential Services Reform (IESR), December 2019*, 1–72. [www.iesr.or.id](http://www.iesr.or.id)
- Indriyanto, R. F., Kabib, M., & Winarso, R. (2018). Rancang Bangun Sistem Pengepresan Dengan Penggerak Pneumatik Pada Mesin Press Dan Potong Untuk Pembuatan Kantong Plastik Ukuran 400 X 550 Mm. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 9(2), 1053–1060. <https://doi.org/10.24176/simet.v9i2.2538>
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan, R., & Law, K. L. (2015). Plastic waste inputs from land into the ocean. *Science*, 347(6223), 768–771. <https://doi.org/10.1126/science.1260352>
- Karvonen, A., Cugurullo, F., & Caprotti, F. (2018). Inside Smart Cities. In *Routledge*. <https://doi.org/10.4324/9781351166201>
- Kaza, S., & Yao, L. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. In *International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank*. International Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. [https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0\\_ch2](https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1329-0_ch2)
- KLHK RI. (2020). *National Plastic Waste Reduction Strategic Actions for Indonesia*. Ministry of Environment and Forestry, Republic of Indonesia. <https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/32898/NPWRSI.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Leggett, J. A. (2020). The United Nations Framework Convention on Climate Change, the Kyoto Protocol, and the Paris Agreement: A Summary. *Congressional Research Service*, 1, 11.
- Lelieveld, J., Klingmüller, K., Pozzer, A., Burnett, R. T., Haines, A., & Ramanathan, V. (2019). Effects of fossil fuel and total anthropogenic emission removal on public health and climate. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 116(15), 7192–7197. <https://doi.org/10.1073/pnas.1819989116>
- Lestari, G. P., Fitri, T. A., & Hikmawan, M. D. (2021). The Role of Bye-Bye Plastic Bags in Realizing Bali Provincial Government Policy Regarding the Restriction of Plastic Bags in 2013-2018. *International Journal of Demos (IJD)*, 3(1), 1–12. <https://doi.org/10.37950/ijd.v3i1.60>
- McGlade, C., & Ekins, P. (2015). The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2°C. *Nature*, 517(7533), 187–190. <https://doi.org/10.1038/nature14016>
- Mills, D. (2016). Pneumatic Conveying Design Guide Third Edition. In *Elsevier Ltd*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/c2014-0-02678-0>
- Moya, D., Aldás, C., López, G., & Kaparaju, P. (2017). Municipal solid waste as a valuable renewable energy resource: A worldwide opportunity of energy recovery by using Waste-To-Energy Technologies. *Energy Procedia*, 134, 286–295. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.618>



- Nizar, M., Munir, E., Munawar, E., & Irvan. (2018). Implementation of zero waste concept in waste management of Banda Aceh City. *Journal of Physics: Conference Series*, 1116(5). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1116/5/052045>
- Nugroho, E. C., Pamungkas, A. R., & Purbaningtyas, I. P. (2018). Rancang Bangun Alat Pemilah Sampah Otomatis Berbasis Arduino Mega 2560. *Go Infotech: Jurnal Ilmiah STMIK AUB*, 24(2), 124. <https://doi.org/10.36309/goi.v24i2.96>
- Popkostova, Y. (2022). Europe's Energy Crisis Conundrum: Origins, impact and way forward. *European Union Institute for Security Studies*, 1–8. <https://www.iss.europa.eu/content/europes-energy-crisis-conundrum>
- Putri, D., Kinasti, R. M. A., & Lestari, E. (2019). PEMANFAATAN LIMBAH ABU SISA Pembakaran Sampah Non Organik Sebagai Material Pengganti Pasir Pada Bata Beton Pejal. *Konstruksia*, 10(1), 39–50. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/konstruksia/article/view/3871>
- Qazi, A., Hussain, F., Rahim, N. A. B. D., Hardaker, G., Alghazzawi, D., Shaban, K., & Haruna, K. (2019). Towards Sustainable Energy: A Systematic Review of Renewable Energy Sources, Technologies, and Public Opinions. *IEEE Access*, 7, 63837–63851. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2906402>
- Serban, A. C., & Lytras, M. D. (2020). Artificial intelligence for smart renewable energy sector in europe - Smart energy infrastructures for next generation smart cities. *IEEE Access*, 8, 77364–77377. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2990123>
- Silva, B. N., Khan, M., & Han, K. (2018). Towards sustainable smart cities: A review of trends, architectures, components, and open challenges in smart cities. *Sustainable Cities and Society*, 38(August 2017), 697–713. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.01.053>
- Styana, U. I. F., Indrawati, R., & Cahyono, M. S. (2019). Karakterisasi Proses Gasifikasi Sampah Organik dengan Variasi Jenis Bahan. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 3(1), 29. <https://doi.org/10.30588/jeemm.v3i1.495>
- Von Gunten, C. F. (2012). Trash chutes or premier treatment. *Journal of Palliative Medicine*, 15(5), 504. <https://doi.org/10.1089/jpm.2012.9592>
- WEF. (2020). Radically Reducing Plastic Pollution in Indonesia: A Multistakeholder Action Plan. *World Economic Forum*. [https://globalplasticaction.org/wp-content/uploads/NPAP-Indonesia-Multistakeholder-Action-Plan\\_April-2020.pdf](https://globalplasticaction.org/wp-content/uploads/NPAP-Indonesia-Multistakeholder-Action-Plan_April-2020.pdf)
- World Economic Forum. (2016). The new plastics economy: Rethinking the future of plastics. *Ellen MacArthur Foundation*, January, 120. [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_New\\_Plastics\\_Economy.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf)