

POTENSI PENGEMBANGAN ENERGI BARU DAN ENERGI TERBARUKAN DI KOTA SEMARANG

Jawoto Sih Setyono*, Fadjar Hari Mardiansjah, Mega Febrina Kusumo Astuti

Universitas Diponegoro

Jalan Prof.H.Soedarto S.H, Kec. Tembalang, Kota Semarang

Jurnal Riptek

Volume 13 No. 2 (177 – 186)

Tersedia online di:

<http://riptek.semarangkota.go.id>

Info Artikel:

Diterima: 18 September 2019

Direvisi: 19 Oktober 2019

Disetujui: 19 November 2019

Tersedia online: 20 Desember 2019

Kata Kunci:

Renewable Energy, Semarang City, Electricity

Korespondensi penulis:

* jawoto@gmail.com

Cara mengutip :

Setyono, J., Mardiansjah, FH., Astuti, MFK. 2019. Potensi Pengembangan Energi Baru dan Energi Terbarukan di Kota Semarang. **Jurnal Riptek**. Vol. 13 (2) 177 - 186.

Abstract.

Semarang is the largest metropolitan city in Central Java, Indonesia with a high electricity consumption to support community activities, Main electricity of Semarang City is supplied by the State Electricity Company (PLN), and sourced from fossil fuels which are in fact unsustainable and high risk of environmental damage. The national government attempt to reduce dependence on fossil fuels by establishing a National Energy Policy (KEN) to increase the utilization of renewable energy (EBT) by around 23% in 2025 and 31% in 2050. To support this target, local governments need play a role to realize the utilization of EBT in their respective regions. The purpose of this study is to identify the source of EBT in Semarang which has the greatest potential to be developed as an energy substitute for electricity supply. This study uses quantitative descriptive methods and Geographic Information Systems (GIS) analysis to identify the potential of EBT in each region. The results of this study indicate that solar panels are the largest potential source of EBT with an estimated substitution in 2025 is about 19% of the total electricity demand in Semarang and 12% in 2050.

PENDAHULUAN

Energi dibutuhkan bagi aktivitas manusia terutama untuk kegiatan perekonomian, rumah tangga, Industri, bisnis serta transportasi. Sebagian besar suplai energi di dunia berasal dari bahan bakar fosil yang merupakan sumber daya non terbarukan. Kebutuhan energi diperkirakan terus meningkat, sementara sumber cadangan minyak bumi dan batu bara jumlahnya semakin menipis. Selain itu, penggunaan bahan bakar fosil sebagai energi berkontribusi terhadap kelebihan karbon di atmosfer sehingga menyebabkan pemanasan global (Jukic & Jerkovic, 2008). Oleh karenanya, perlu adanya suplai dari energi alternatif selain minyak bumi dan batu bara. Energi Baru dan Energi Terbarukan (EBT) menjadi salah satu sumber alternatif penyediaan energi, karena selain memiliki dampak yang rendah terhadap kerusakan lingkungan, juga menjamin keberlanjutan energi hingga masa mendatang.

Ketersediaan energi bersih dan terjangkau telah menjadi salah satu tujuan pembangunan berkelanjutan 2030, dimana keberlanjutan energi menjadi isu global serta memerlukan komitmen pemerintah pusat maupun pemerintah lokal untuk turut melaksanakan tujuan tersebut. Di Indonesia, kebijakan energi baru dan energi terbarukan tertuang dalam Peraturan Pemerintah No. 79 tahun 2014

tentang kebijakan energi nasional (KEN). Dalam dokumen tersebut, energi baru dan energi terbarukan ditargetkan mencapai 23% pada tahun 2025, serta pada tahun 2050 minimal mencapai 31%. Sebaliknya, ketergantungan terhadap minyak bumi dan batu bara ditargetkan akan berkurang, dengan masing-masing persentase sebesar 20% dan 25%. Untuk mencapai target tersebut, maka diperlukan berbagai upaya serta program yang penjabaran dan pelaksanaannya dituangkan dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) serta Rencana Umum Energi Daerah setingkat Provinsi (RUED-P).

Pada tahun 2018, penggunaan energi baru dan energi terbarukan nasional baru mencapai 11,68% dan masih jauh dari yang ditargetkan. Untuk mencapai target tahun 2025 hingga 2050, pemerintah harus terus menggali potensi energi baru dan energi terbarukan di tingkat daerah serta terus melakukan investasi di sektor energi baru dan energi terbarukan.

Meskipun pengelolaan energi merupakan wewenang pemerintah provinsi, pemerintah daerah secara mandiri perlu mengidentifikasi potensi-potensi sumber energi baru dan energi terbarukan di daerahnya. Mengadaptasi dari tujuan pembangunan berkelanjutan tentang keterjangkauan dan keberlanjutan energi ke dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah

Daerah (RPJMD) 2016-2021, Pemerintah Kota Semarang perlu menggali sumber-sumber alternatif baru bagi penyediaan energi di tingkat kota.

Tujuan dari penelitian ini yaitu mengidentifikasi potensi sumber energi baru dan energi terbarukan (EBT) dalam rangka meningkatkan kontribusi EBT terhadap bauran energi Kota Semarang tahun 2050. Penelitian ini terbatas pada konversi EBT terhadap energi listrik, karena besaran konsumsinya mudah untuk diidentifikasi, serta menjadi energi paling besar yang bersumber dari bahan bakar fosil. Analisis pra syarat pengembangan EBT merupakan langkah awal dalam mengidentifikasi potensi wilayah. Keterkaitan wilayah dengan atribut sosio-ekonomi serta atribut-atribut keruangan juga dianalisis sehingga kebijakan pengelolaan energi dengan kondisi sosio-ekonomi masyarakat serta kebijakan spasial dapat berjalan sinergis.

Secara keseluruhan, artikel ini terdiri dari empat bagian pembahasan. Bagian pertama membahas potensi besaran listrik yang dihasilkan dari masing-masing sumber EBT. Kedua, perkiraan kebutuhan energi listrik dihitung untuk mengetahui perkiraan potensi *demand* Kota Semarang, sehingga dapat diketahui seberapa besar suplai EBT terhadap kebutuhan listrik. Tahap ketiga yaitu susunan skenario penggunaan energi listrik Kota Semarang untuk memperkirakan kebutuhan listrik tahun 2025 dan tahun 2050. Sedangkan tahap ke-4 adalah menyusun bauran energi Kota Semarang tahun 2025 dan 2050. Hasil akhir dari analisis ini diharapkan dapat menjadi rujukan untuk merumuskan kebijakan terkait energi, dalam rangka mendukung target bauran energi nasional.

KAJIAN TEORI

Energi baru terbarukan berasal dari sumber-sumber yang dapat diperbaharui tanpa batas, seperti tenaga hidro/air, tenaga matahari, tenaga angin maupun tenaga dari sumber yang dapat diproduksi secara berkelanjutan seperti biomasa (Economic Cooperation, 2010). Sumber utama energi terbarukan berasal dari tenaga surya (Timmons et al, 2014), yang dapat digunakan secara langsung, misalnya untuk pemanas dan listrik, serta sebagai tenaga utama bagi beberapa energi baru terbarukan. Sementara itu, tenaga hidro, angin serta biomasa merupakan sumber energi matahari sekunder (Timmons et al, 2014) karena masih melibatkan energi matahari di dalam proses pembentukan energi.

Beberapa sumber energi yang dapat diperbaharui terdiri dari energi tenaga hidro, tenaga surya, biomasa serta tenaga sampah.

Energi Listrik Tenaga Surya. Tenaga surya merupakan sumber energi tak terbatas, karena energi matahari merupakan energi terbesar di Bumi. Bagi negara-negara tropis seperti Indonesia, sinar matahari sangatlah mudah untuk ditemui. Rata-rata insolasi harian Indonesia berkisar antara 4,5 – 4,8 kWh/m²/hari (Ramadhan & Rangkuti, 2016), sehingga berpotensi untuk mengembangkan energi surya menjadi sumber energi terbarukan.

Panel surya merupakan alat semikonduktor yang berfungsi untuk mengubah sinar matahari menjadi energi listrik secara langsung. Material nya terdiri dari mikroskopik sel untuk 100 Megawatt atau lebih dan digunakan sebagai teknologi surya di permukaan bumi maupun luar angkasa. Untuk menghasilkan satu watt panel surya, dibutuhkan biaya produksi sebesar 6 – 8 USD atau setara dengan 85.000 – 115.000. Berdasarkan jenisnya, ada dua tipe PLTS berbasis panel surya, yaitu PLTS *on grid* dan PLTS *off grid*. Secara teknis, hal-hal yang harus diperhatikan untuk merencanakan pemasangan panel surya adalah intensitas penyinaran matahari, orientasi dan arah hadap ke matahari, serta instalasi panel surya (Melorose et al, 2015).

Menurut Ramadhan dan Rangkuti (2016), potensi listrik yang dihasilkan oleh panel surya dapat diketahui dengan dua cara. Cara pertama adalah dengan mengetahui spesifikasi panel surya sehingga dapat diketahui output listrik maksimal dari panel surya. Cara kedua adalah dengan menghitung potensi listrik dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_G = A_G \times S \times t \times \eta$$

Dimana:

A : Luas panel Surya

S : Rata-rata insolasi matahari

t : Lama penyinaran matahari

η : Efisiensi panel surya

Energi Listrik Tenaga Biomasa. Biomasa merupakan bahan bakar yang berasal dari bahan-bahan organik, seperti tanaman, kotoran ternak maupun limbah manusia. Beberapa tipe sumber biomasa yang dapat digunakan sebagai bahan bakar energi diantaranya yaitu, kayu, tanaman energi (*energy crops*), sampah pertanian, sampah padat perkotaan, dan sampah industri (Rosendahl, 2013). Sementara itu, teknologi untuk menghasilkan energi dari biomasa terdiri atas pembakaran (*combustion*), gasifikasi (*gasification*), digester anaerob (*anaerob digester*) serta biofuel cair (*liquid biofuel*) (Ketsetzi & Capraro, 2016).

Biogas merupakan salah satu produk yang dihasilkan dari proses digester anaerob sehingga menghasilkan metana. Pembangkit listrik tenaga biogas berasal dari gas yang dihasilkan oleh fermentasi bakteri pada bahan-bahan organik. Umumnya biogas memanfaatkan limbah. Biogas diproduksi oleh bakteri yang menghasilkan zat metana dan CO₂. Biogas yang mengandung metana lebih dari 50% akan mudah terbakar.

Biogas dari limbah peternakan menghasilkan metana lebih banyak dibandingkan dengan limbah pertanian maupun limbah manusia. Syarat utama pengembangan pembangkit listrik tenaga biogas limbah pertanian adalah ketersediaan kotoran ternak sebagai bahan bakar untuk pembuatan biogas. Beberapa kotoran ternak dapat digunakan sebagai bahan bakar biogas, serta menghasilkan jumlah timbulan kotoran yang berbeda-beda: kotoran sapi/ kerbau (dapat menghasilkan 25 kg per hari), kuda (16,10 kg per hari), babi (2,72 kg per hari), kambing/ domba (1,13 kg per hari) serta kotoran ayam (0,05 kg per hari) (Wahyuni (2009), dalam (Febriyanita, 2015). Kotoran sapi menghasilkan biogas tertinggi diantara kotoran lainnya, karena mengandung metana lebih dari 60% (Febriyanita, 2015).

Tabel 1. Konversi Kotoran Ternak ke Biogas

| Jumlah Hewan Ternak | Hasil Biogas (m ³) |
|---------------------|--------------------------------|
| 1 sapi/ kerbau | 2 |
| 2 kuda | 2 |
| 8 babi | 2 |
| 20 kambing/ domba | 2 |
| 620 ayam | 2 |

Sumber : Said, 2007 dalam Febriyanita, 2015

Apabila hasil biogas dikonversi menjadi energi, maka 1 m³ biogas setara dengan 1.25 kWh listrik. Selain itu, 1 m³ biogas juga dapat digunakan sebagai sumber energi untuk penerangan 60-100 watt lampu bohlam selama 6 jam, memasak, sebagai sumber tenaga serta pengganti bahan bakar minyak.

Produksi biogas setiap wilayah dapat diketahui dengan menghitung keseluruhan jumlah hewan ternak. Tabel I dan Tabel II menjadi acuan perhitungan jumlah biogas yang dihasilkan dari sejumlah hewan ternak serta konversi biogas ke tenaga listrik. Sebagai contoh apabila suatu kelurahan memiliki hewan ternak (sapi) sebesar 2.500 ekor, maka dapat menghasilkan biogas sebesar 5.000 m³ per hari (2 ekor sapi menghasilkan 2m³ biogas). 5.000 m³ biogas setara dengan 6.250 kWh listrik. (1m³ setara dengan 1,25 kWh listrik). Hal yang sama juga berlaku untuk hewan ternak kambing serta hewan ternak-ternak lainnya. Sebagai contoh lain, suatu wilayah memiliki 4.500 ekor kambing dapat menghasilkan biogas

sebesar 225 m³ (20 ekor kambing menghasilkan 2m³ biogas), sehingga menghasilkan listrik sebesar 281,25 kWh listrik.

Tabel 2. Nilai Kesetaraan Biogas

| Aplikasi 1 m ³ biogas setara dengan | |
|--|---|
| Penerangan | 60-100 watt lampu bohlam selama 6 jam |
| Memasak | Dapat memasak tiga jenis bahan makanan untuk keluarga (5-6 orang) |
| Pengganti bahan | Bakar 0.7 Kg minyak tanah |
| Tenaga | Dapat menjalankan satu motor tenaga kuda selama 2 jam |
| Pembangkit tenaga listrik | Dapat menghasilkan 1,25 kWh |

Sumber: Kristoferson dan Bolkaders, 1991

Energi Listrik Tenaga Sampah. Pembangkit listrik tenaga sampah menggunakan sampah sebagai sumber energi untuk menghasilkan listrik. Kuantitas timbunan sampah perkotaan akan lebih bermanfaat sebagai sumber energi listrik dibandingkan hanya ditimbun di tempat pembuangan akhir (TPA). Tenaga listrik dapat dihasilkan oleh semua jenis sampah, baik sampah organik maupun sampah an organik. Terdapat berbagai macam jenis konversi sampah menjadi energi listrik, seperti pengompasan, methanisasi, serta insinerasi.

Sampah an organik. Sampah an organik hanya bisa dikonversi menjadi energi melalui insinerasi, karena kurang bisa menghasilkan metana. Insinerasi merupakan proses pengolahan buangan dengan cara pembakaran pada temperatur yang sangat tinggi (>800 Derajat Celcius) untuk mereduksi timbunan yang tergolong mudah terbakar (*combustible*), yang sudah tidak dapat didaur ulang lagi (Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang, 2018). Insinerasi dapat mengurangi volume buangan padat domestik sampai 85-95% dan pengurangan berat sampai 70-80%.

Sampah organik. Sampah organik dapat dikonversi menjadi energi listrik, baik melalui methanisasi maupun insinerasi, tetapi pada umumnya sampah organik dikonversi melalui proses methanisasi. Fermentasi sampah organik menghasilkan gas *methan* sebagai sumber pembangkit listrik. Menurut Eko Budi Santoso & Gunawan (2011) terdapat beberapa tahapan untuk menghitung jumlah listrik yang dihasilkan:

- **Menghitung biodigester yang dihasilkan.** Pembuatan biogas membutuhkan bakteri untuk menguraikan sampah organik hingga menghasilkan gas CH₄. Bakteri ini merupakan bakteri an aerob, sehingga diperlukan kondisi lingkungan yang mendukung bakteri agar dapat

memproduksi gas. Biodigester merupakan salah satu instalasi biogas yang berfungsi untuk menampung substrat padat (percampuran antara sampah organik dengan air) selama 30 hari. Biodigester mampu menyediakan kondisi lingkungan yang kedap udara bagi bakteri pengurai, sehingga mampu menghasilkan gas. Volume biodigester biasanya disesuaikan dengan volume substrat padat. Pada umumnya percampuran antara sampah organik dengan air adalah 1:4. Rumus yang digunakan untuk menghitung substrat padat (V_f) adalah:

$V_f = \text{Jumlah timbunan sampah (ton)} / \text{hari} \times 4$
Untuk mengetahui volume substrat padat (V_f), perlu dikonversi ke dalam m^3 .

- **Menghitung volume biodigester (V_d).** Volume biodigester perlu dihitung, karena substrat padat (V_f) akan disimpan selama 30 hari (T_r). Perhitungannya adalah:
 $V_d = V_f \times T_r$
- **Menghitung gas yang dihasilkan.** Untuk menghitung volume gas yang dihasilkan, dapat menggunakan perbandingan antara substrat padat (V_f) dengan gas holder (V_g) dengan perbandingan tertentu, dimana:
 $V_g = V_f / (V_f / V_g)$
- **Konversi gas ke listrik.** Kemampuan biogas untuk menghasilkan energi bergantung pada kandungan metana (CH_4) di dalamnya. Ekuivalensi antara CH_4 dengan biogas adalah sebagai berikut:
 $1 m^3 \text{ biogas} = 0.65 m^3 CH_4$
Dalam setiap $0.65 m^3 CH_4$ akan menghasilkan 6.5 kWh listrik

Energi Listrik Tenaga Mikro Hidro. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) menggunakan tenaga air sebagai penggerak turbin sehingga menghasilkan listrik. Hidro power merupakan energi terbarukan terbesar yang digunakan sebagai sumber energi listrik. Hampir 150 negara di dunia menggunakan tenaga hidro sebagai sumber listrik. Di Indonesia, tenaga hidro menjadi sumber energi terbesar, terutama untuk penyediaan energi listrik melalui Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA).

Terdapat beberapa unit serta komponen mikro hidro, diantaranya yaitu bendungan, saluran terbuka, bak penenang, pipa pesat, turbin dan rumah turbin, serta jaringan kabel pada generator turbin serta instalasi kabel rumah (Nugroho dan Sallata, 2015). Pemasangan instalasi dan penentuan tata letak tenaga hidro harus disesuaikan dengan karakteristik to-

pografi, hidrologi dan geologi (Brown, 2011). Setiap tempat memiliki kondisi alam yang berbeda-beda sehingga perancangan tenaga hidro harus disesuaikan dengan kondisi alam senatural mungkin. Secara umum pemilihan lokasi harus mempertimbangkan debit air, biaya konstruksi, risiko serta dampak lingkungan dan sosial. Oleh karenanya dalam perancangan PLTMH perlu mengidentifikasi lokasi-lokasi dengan kapasitas daya air yang tinggi, serta lokasi yang cocok untuk struktur tenaga hidro.

Debit aliran air serta perbedaan ketinggian mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan oleh PLTMH. Lokasi sungai harus memiliki air yang mengalir sepanjang tahun dengan debit sungai pada musim kemarau dan musim hujan yang relatif stabil. Gradient sungai dan ketinggian aliran sesuai dengan kebutuhan listrik yang dihasilkan. Rumus untuk menghitung perkiraan daya yang dihasilkan dari PLTMH yaitu:

$$P = h_{\text{net}} \times Q \times g \times \eta$$

Keterangan:

P : daya listrik (Watt)

h_{net} : beda tinggi bersih (m)

Q : debit potensial (liter/detik)

g : gravitasi ($9,8 m / det^2$)

η : efisiensi (tergantung pada desain turbin)

DATA DAN METODE

Penelitian ini menggunakan metode analisis berupa Deskriptif Kuantitatif serta Analisis Sistem Informasi Geografis (SIG). Analisis Deskriptif Kuantitatif berfungsi untuk mengidentifikasi pra syarat pengembangan energi baru dan energi terbarukan, termasuk perhitungan potensi listrik yang dihasilkan dari masing-masing sumber EBT, serta menentukan skenario untuk menghitung bauran energi Kota Semarang tahun 2025 dan 2050. SIG berfungsi sebagai alat pengolah data spasial untuk memetakan potensi sumber energi baru terbarukan berdasarkan kondisi geografis, seperti data ketinggian, tutupan lahan, panjang jalan serta ruang terbangun. SIG juga berfungsi untuk menggabungkan data (*Overlay*) kriteria fisik, sosio-ekonomi serta atribut keruangan sehingga dapat diketahui hubungan antara ketiganya.

Pengumpulan data dilakukan melalui telaah dokumen dari berbagai sumber, diantaranya yaitu BPS Kota Semarang, Data Debit Air dari Dinas Pekerjaan Umum Kota Semarang, Data Insolasi NASA, serta Data Timbunan sampah dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang. Sementara itu, analisis potensi pengembangan EBT dilakukan dengan menghitung

besaran listrik yang dapat dihasilkan dari masing-masing sumber. Sesuai dengan literatur, rumus-rumus untuk menghitung potensi sumber EBT diantaranya:

Rumus Perhitungan PLTS. Identifikasi potensi pengembangan PLTS membutuhkan data luas panel surya (A), Rata-rata insolasi matahari (S), Durasi penyinaran matahari (t), dan Efisiensi panel surya (η), dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$P_G = A_G \times S \times t \times \eta$$

Perhitungan dilakukan dengan menghitung luas atap bangunan sebagai pengganti luas panel surya. Akan tetapi tidak semua atap bangunan dapat dipasang panel surya. Oleh karenanya atribut sosio-ekonomi dipertimbangkan dalam perhitungan ini.

Rumus Perhitungan PLTMH. Data-data yang digunakan yaitu beda tinggi antara satu titik rencana bendungan dengan rumah rotor (m), debit potensial (liter/detik), serta efisiensi (η) dengan rumus:

$$P = h_{net} \times Q \times g \times \eta$$

Rumus Perhitungan Tenaga Biogas. Perhitungan Tenaga biogas menggunakan konversi data ternak dengan kriteria yang disebutkan pada Tabel I dan Tabel II. Data dasar yang digunakan dalam penilaian potensi ini adalah data jumlah ternak.

Rumus Perhitungan PLTSa. Data dasar dalam menghitung potensi PLTSa adalah data timbulan sampah organik dan an organik. Sementara, perhitungan PLTSa menggunakan tahapan yang dijelaskan oleh Santoso & Gunawan (2011) diantaranya yaitu: (a) Menghitung Biodigester yang dihasilkan, (b) Menghitung volume bio digester (Vd), (c) Menghitung Gas yang Dihasilkan, (d) Konversi Gas ke Listrik. Dimana konversi gas ke listrik diketahui dari volume gas yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Potensi Energi Baru Terbarukan. Identifikasi potensi EBT di Kota Semarang terbatas pada sumber energi Biogas, PLTS, PLTSa serta PLTMH.

- **Potensi Pengembangan Biogas.** Menurut Dinas Peternakan dan Kesehatan Hewan Provinsi Jawa Tengah (2016), populasi ternak di Kota Semarang tahun 2016 sebesar 19.779,95 AU (*Animal Unit*) dengan kepadatan ternak 52,93 AU/km². Komoditas peternakan terbesar terdiri dari unggas (591.965 ekor), sapi (5.482 ekor), kerbau (1.574 ekor) dan kambing (10.806 ekor). Tabel III menunjukkan hasil konversi jumlah ternak dan

gan potensi biogas yang dihasilkan. 15.907 m³ biogas dapat menghasilkan 19.883,75 kWh listrik setiap bulannya.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Biogas

| Indikator | | Perhitungan | |
|---------------------|--------------------------------|--------------|--------------------------|
| Jumlah Hewan Ternak | Hasil Biogas (m ³) | Jumlah Hewan | Biogas (m ³) |
| 1 sapi/ kerbau | 2 | 7.056 ekor | 14.112 |
| 20 kambing/ domba | 2 | 10.806 ekor | 540 |
| 620 ayam | 2 | 591.965 ekor | 955 |
| Total | | | 15.907 |

Berdasarkan hasil survey, terdapat tiga lokasi yang berpotensi untuk dijadikan *pilot project* pengembangan instalasi biogas, diantaranya yaitu :

Kelurahan Sumurejo (Kelompok Tani Lumintu). Kelurahan tersebut memiliki kelompok tani yang cukup besar bernama Kelompok Tani Lumintu, dengan komoditas utama berupa sapi perah. Terdapat sedikitnya 36 kandang, masing-masing kandang berisi sekitar 4-8 ekor sapi perah. Selain itu, di area tersebut juga telah disediakan digester yang khusus mengolah kotoran hewan menjadi pupuk kompos.

Kelurahan Cepoko, Gunungpati. Terdapat satu area yang berfungsi sebagai kandang komunal dengan komoditas berupa sapi perah. Terdapat sekitar 26 kandang sapi, masing-masing kandang berisi sekitar 4-8 sapi perah.

Kelurahan Kedungpane, Mijen. Kelurahan ini berbatasan dengan Kelurahan Jatibarang, yang merupakan pusat Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Kota Semarang. Terdapat beberapa kandang sapi yang berlokasi di dekat TPA, salah satunya berada di Kelurahan Kedungpani.

- **Potensi Pengembangan Energi Listrik Tenaga Sampah.** Sampah organik maupun sampah an organik berpotensi menghasilkan energi listrik. Sampah organik menghasilkan energi listrik melalui metana, sedangkan sampah an organik menghasilkan listrik dari panas yang dihasilkan saat pembakaran sehingga mampu menggerakkan turbin (insenerator).

Sampah organik. Di tahun 2017, Kota Semarang memiliki potensi timbulan sampah organik sebesar 18.964 ton per bulan. Sementara itu, menurut penelitian yang dilakukan oleh Eko Budi Santoso & Gunawan (2011) menunjukkan bahwa satu ton sampah organik dapat menghasilkan 5,2 m³ metana, setara dengan 33,8 kWh listrik. Apabila dikonversi, maka 18.964 ton sampah dapat menghasilkan 641 kWh

listrik setiap bulan.

Sampah an organik. Jenis sampah an organik diolah dengan menggunakan insinerator untuk dapat menghasilkan listrik. Berdasarkan data timbulan sampah di TPA Jatibarang, potensi timbulan sampah an organik di TPA tersebut mencapai 145.494 ton/tahun (COWI, 2018), sehingga menghasilkan listrik maksimum sebesar 60.380.010 kWh/tahun atau sekitar 5.031.667,5 kWh/bulan. Besaran listrik tersebut diperkirakan mampu menyuplai 74% kebutuhan listrik di kawasan sekitar Jatibarang (Kecamatan Mijen). Setiap bulannya, kebutuhan listrik rumah tangga di Kecamatan Mijen adalah sebesar 6.790.144 kWh.

- **Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro.** Pada penelitian ini, data dasar yang digunakan untuk menghitung potensi listrik adalah data debit irigasi yang bersumber dari Dinas Pekerjaan Umum Kota Semarang. Delapan sampel lokasi irigasi dengan debit tertinggi dapat dilihat pada Tabel IV.

Tabel 4. Perhitungan Perkiraan Listrik pada Delapan Lokasi Irigasi

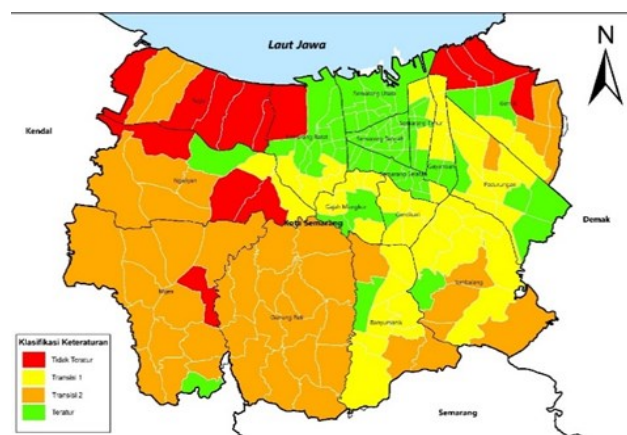
| Kelurahan | Nama Daerah Irigasi | Head (m) | Debit Potensial (m ³ /detik) | Daya Listrik (Kilowatt) |
|--------------|---------------------|----------|---|-------------------------|
| Gunungpati | Sigandu | 9 | 530,35 | 234 |
| Cangkiran | Dlingon | 8 | 666,6 | 261 |
| Tambangan | Saron | 7 | 459,9 | 158 |
| Wates | Miri | 9 | 7071 | 3.118 |
| Karangmalang | Klopo | 8 | 1097 | 430 |
| Gunungpati | Tlogo Imbeng | 4 | 468,6 | 92 |
| Gunungpati | Sidawaan | 5 | 537,4 | 132 |
| Plalangan | Nggayam | 5 | 588 | 144 |

Tabel IV menunjukkan hasil perhitungan potensi pengembangan PLTMH. Walaupun daya maksimal hanya sebesar 3.118 kWh, tetapi besaran daya tersebut masih dapat dinaikkan melalui rekayasa instalasi. Pemasangan instalasi dan penentuan tata letak tenaga hidro harus disesuaikan dengan karakteristik topografi, hidrologi dan geologi (Brown, 2011) sehingga menghasilkan daya maksimal.

- **Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya.** Kota Semarang memiliki potensi energi surya karena setiap tahun wilayahnya selalu terkena sinar matahari. Tinggi rendahnya sumber energi surya diukur dari panjang/ pendeknya gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh matahari, hingga sampai ke bumi, yang disebut sebagai *insolation (Incoming Solar Radiation)*/insolasi matahari. Sepanjang tahun

2018, Kota Semarang memiliki rata-rata insolasi sebesar 0,542 kWh/m/hari (NASA, 2018).

Potensi pengembangan panel surya hanya dihitung pada wilayah dengan permukiman teratur (Gambar 1), yaitu wilayah dengan jarak antar bangunan yang jelas, memiliki pola tertentu, aksesibilitas tinggi serta kepadatan bangunan yang rendah, sehingga panel surya memiliki ruang lebih luas untuk menangkap radiasi matahari. Dua poin utama untuk mengidentifikasi lokasi sesuai kriteria tersebut adalah kepadatan bangunan serta aksesibilitas (diukur dari panjang jalan). Perbandingan antara keduanya digunakan untuk mengukur tingkat keteraturan permukiman dengan satuan bangunan/ panjang jalan.



Gambar 1. Kategori Permukiman Teratur dan Tidak Teratur

Total kebutuhan listrik seluruh rumah tangga adalah sebesar 54.860.991 kWh/bulan. Akan tetapi, pemasangan instalasi panel surya membutuhkan biaya yang besar. Atribut sosio-ekonomi perlu dipertimbangkan dalam menentukan potensi pengembangan PLTS, karena berkaitan dengan kemampuan rumah tangga untuk mengeluarkan biaya pemasangan instalasi.

Identifikasi jumlah keluarga miskin setiap kelurahan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar rumah tangga yang diperkirakan mampu membangun instalasi panel surya. Perhitungan produksi listrik yang dihasilkan oleh PLTS tidak melibatkan rumah tangga miskin karena rumah tangga miskin di asumsikan kurang mampu membiayai pemasangan instalasi panel surya.

Setelah dilakukan seleksi terhadap rumah tangga miskin, maka kebutuhan listrik berkurang menjadi 37.363.145 kWh/bulan. Kebutuhan listrik rumah tangga non miskin inilah yang dapat di suplai oleh panel surya.

Perkiraan Kebutuhan Energi Listrik Kota Semarang tahun 2017. Perkiraan kebutuhan energi listrik Kota Semarang tahun 2017 mencapai 167.993.479 kWh per bulan (Fitrianto et al, 2006). Data tersebut merupakan data dasar untuk memperkirakan kebutuhan energi listrik tahun 2025 dan tahun 2050 melalui perhitungan skenario.

Skenario Penggunaan Energi Listrik di Kota Semarang. Memperkirakan bauran energi Kota Semarang tahun 2025 serta 2050 membutuhkan beberapa skenario. Skenario ini terdiri dari skenario kependudukan, skenario pertumbuhan ekonomi serta skenario sumber energi baru terbarukan.

- **Skenario Pertumbuhan Penduduk.** Kota Semarang diperkirakan belum akan mengalami puncak urbanisasi hingga tahun 2050. Dari tahun 2018, pertumbuhan penduduk Kota Semarang secara linier akan terus meningkat sebesar 15% pada tahun 2025, serta sebesar 36,4% pada tahun 2050. Pertumbuhan penduduk ini akan mempengaruhi peningkatan konsumsi energi listrik rumah tangga.
- **Pertumbuhan Ekonomi.** Jumlah penduduk Kota Semarang tumbuh secara linier. Oleh karenanya, peningkatan PDRB (Produk Domestik Regional Bruto) Kota Semarang setiap tahun dianggap memiliki besaran yang sama. Antara tahun 2017 hingga 2018, PDRB Kota Semarang tumbuh sebesar 5,6%. Sementara itu, elastisitas energi dianggap sama dengan elastisitas energi nasional tahun 2018, yaitu sebesar 1,85%.
- **Energi Listrik Kota Semarang.** Pertumbuhan penduduk menyebabkan peningkatan konsumsi energi listrik di Kota Semarang. Dasar perhitungan konsumsi energi listrik adalah perkiraan jumlah rumah tangga tahun 2025 dan 2050, pertumbuhan PDRB serta elastisitas energi Kota Semarang. Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, konsumsi energi listrik di Kota Semarang tumbuh sebesar 197.996.819 kWh di tahun 2025, serta 301.105.029 kWh di tahun 2050.
- **Skenario Sumber Energi Baru Terbarukan.** Di tahun 2025, sumber-sumber energi baru terbarukan yang teridentifikasi telah dimanfaatkan semaksimal mungkin. Beberapa langkah-langkah untuk memaksimalkan potensi sumber EBT diantaranya yaitu: (a) Pemerintah Kota Semarang merealisasikan proyek pengembangan EBT, baik dengan biaya dari APBD maupun melalui kerja sama dengan investor. Beberapa lokasi yang memungkinkan untuk *pilot project* EBT ada-

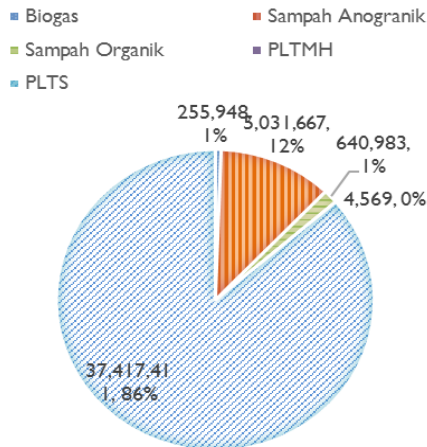
lah PLTSa di TPA Jatibarang, serta Biogas di Sumurejo, Cepoko dan Kedungpane, serta (b) Memwajibkan setiap rumah yang terletak di perumahan teratur untuk menggunakan PLTS *on grid*. Peraturan ini harus memperhatikan kemampuan rumah tangga untuk memasang instalasi panel surya.

- **Integrasi Terhadap Kebijakan Lain.** Suplai energi listrik di Kota Semarang terkoneksi dengan transmisi listrik Regional Jawa-Bali. Oleh karenanya, perencanaan bauran energi Kota Semarang perlu mempertimbangkan kebijakan regional maupun kebijakan nasional terkait penyediaan listrik di Pulau Jawa. Terdapat dua dokumen kebijakan penyediaan sumber-sumber energi di Jawa-Bali, yaitu Keputusan Menteri Energi Sumber Daya dan Mineral nomor 1567 K no. 21 tahun 2018, serta Rencana Umum Energi Daerah Provinsi Jawa Tengah.

Bauran Energi Kota Semarang. Hasil identifikasi potensi EBT menunjukkan bahwa sumber EBT penghasil daya listrik paling besar yaitu tenaga surya (PLTS) serta *waste to energy* (WtE) dengan sumber energi berupa sampah anorganik. Sebesar 37.363.145 kWh listrik dapat dihasilkan dari panel surya yang dipasang di beberapa rumah di permukiman teratur, serta 5.031.667 kWh listrik dapat dihasilkan dari proses pembakaran sampah. Sementara itu, penggunaan energi listrik eksisting di seluruh Kota Semarang masih terkoneksi dengan PLTGU Jawa-Bali. Artinya, sebagian besar penggunaan listrik di Kota Semarang bersumber dari bahan bakar fosil (batu bara).

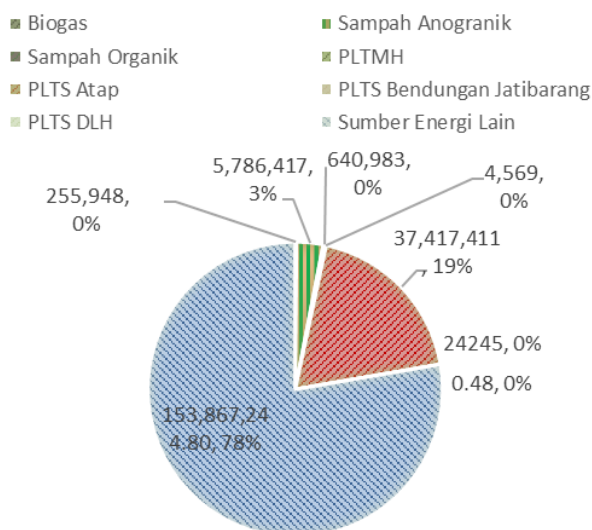
Pemerintah Nasional menargetkan penggunaan energi baru dan terbarukan sebesar 23% pada tahun 2025 mendatang, serta 31% pada tahun 2050. Sedangkan target penggunaan EBT oleh pemerintah Provinsi Jawa Tengah adalah sebesar 21,31% tahun 2025, serta 27,97% tahun 2050. Pemerintah Kota Semarang belum memiliki target penggunaan EBT di tahun 2025 serta 2050. Tetapi bila potensi sumber-sumber EBT yang telah diidentifikasi bisa dikembangkan menjadi energi listrik, maka penggunaan sumber energi fosil akan berkurang.

Apabila pemanfaatan sumber energi baru terbarukan dimaksimalkan untuk subsidi energi listrik tahun 2025 serta ditambah dengan sumber EBT eksisting (PLTS Waduk Jatibarang, Insenerator serta PLTS pada DLH), maka bauran energi di Kota Semarang akan berubah. Potensi EBT Kota Semarang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Potensi EBT di Kota Semarang

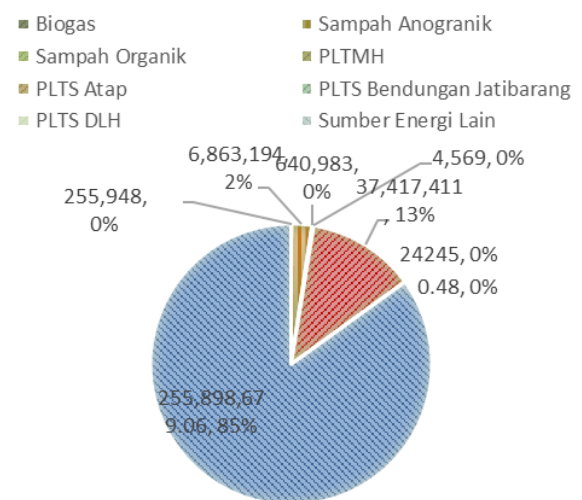
- Bauran Energi Kota Semarang Tahun 2025.** Kota Semarang menggunakan sumber energi listrik lain sebesar 78%. Sumber energi lain adalah sumber energi yang berasal dari luar Kota Semarang. Artinya, sumber ini ter koneksi dengan wilayah lain yang terhubung ke dalam jaringan transmisi Jawa-Bali. Proporsi sumber energi lainnya (Fosil, Gas, Panas Bumi dll) disesuaikan dengan sumber-sumber energi yang digunakan pada transmisi Jawa-Bali. Sementara itu, sumber energi di Kota Semarang yang paling banyak menghasilkan listrik adalah PLTS atap (19%). Sumber energi tertinggi kedua adalah sampah an organik (3%).



Gambar 3. Bauran Energi Kota Semarang Tahun 2025

- Bauran Energi Kota Semarang Tahun 2050.** Proyeksi bauran energi Kota Semarang tahun 2050 dapat dilihat pada Gambar IV Pro-

porsi kemampuan suplai energi listrik dari PLTS berubah dari 19% menjadi 12%. Hal yang sama juga terjadi pada sumber energi lainnya, energi dari sampah an organik menurun dari 3% ke 2%. Meskipun besaran daya listrik yang bersumber dari EBT dipertahankan hingga tahun 2050, proporsi penggunaan EBT di bidang kelistrikan tidak mencapai target bauran energi provinsi maupun energi nasional. Perlu adanya perencanaan peningkatan penggunaan sumber energi listrik dari EBT di Kota Semarang. Akan tetapi, bauran tersebut masih bisa berubah apabila penggunaan sumber energi pada transmisi Jawa-Bali telah teridentifikasi.



Gambar 4. Bauran Energi Kota Semarang Tahun 2050

KESIMPULAN

Proyeksi bauran energi listrik tahun 2025 menunjukkan bahwa penggunaan sumber EBT Kota Semarang sebesar 22%. Sementara bauran energi tahun 2050 menunjukkan penggunaan EBT sebesar 15%. Proyeksi tersebut menggunakan dua asumsi dasar. Pertama, asumsi bahwa pertumbuhan penduduk Kota Semarang bersifat linier sehingga jumlah penduduk terus bertambah setiap tahun. Kedua, sumber EBT yang teridentifikasi telah dimanfaatkan secara maksimal tahun 2025 serta jumlahnya tetap hingga tahun 2050. Sementara itu, sumber EBT lainnya diperkirakan terdiri dari sumber energi fosil, serta energi lain yang terhubung pada jaringan listrik Jawa-Bali. Akan tetapi hingga tahun 2050, proporsi setiap sumber energi belum dapat diketahui.

Pemerintah Kota Semarang dapat merealisasikan pemanfaatan EBT sebagai energi listrik melalui berbagai riset mendalam pada lokasi-lokasi yang memili-

ki potensi pengembangan EBT, mengadakan *pilot project*, realisasi instalasi EBT, serta terus mengidentifikasi sumber EBT baru.

UCAPAN TERIMAKASIH

Artikel ini merupakan bagian dari penelitian “Kajian Pengembangan Energi Baru dan Energi Terbarukan di Kota Semarang” yang merupakan hasil kerja sama antara Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro dengan Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (BAPPEDA) Kota Semarang. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang terlibat dalam penelitian ini, terutama dosen-dosen, staff dan mahasiswa dari Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota.

DAFTAR PUSTAKA

- Brown, C. E. (2011). Hydroelectric Power. *World Energy Resources*, 129–137. https://doi.org/10.1007/978-3-642-56342-3_6.
- COWI. (2018). *Revisi rencana induk pengelolaan sampah kota semarang*.
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang. (2018). Review Pra-Kelayakan Pengembangan dan Pengoperasian Fasilitas Pengolahan Sampah Terpadu Ramah Lingkungan TPA Jatibarang, Kota Semarang, (35), 1–42.
- Economic Cooperation. (2010). Energy supply and demand: trends and prospects. *Fuel*, (Figure 2), 5–20.
- Eko Budi Santoso, D., & Gunawan. (2011). Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah dengan Teknologi Dry Anaerobic Conversion, 25–29.
- Febriyanita, W. (2015). Pengembangan Biogas Dalam Rangka Pemanfaatan Energi Terbarukan Di Desa Jetak Kecamatan Getasan Kabupaten Semarang. *Skripsi*, 2(2), 1–13.
- Fitrianto, K., Nugroho, A., & Winardi, B. (2006). MAKALAH SEMINAR TUGAS AKHIR PRAKIRAAN KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK TAHUN 2006 – 2015 PADA PT . PLN (PERSERO) UNIT PELAYANAN JARINGAN (UPJ) DI WILAYAH KOTA SEMARANG DENGAN METODE GABUNGAN, 1–11.
- Jukic, T., & Jerkovic, I. (2008). Sustainable Urban Energy Planning. *Waste Management*, 429–443. Retrieved from http://apps.isiknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=2&SID=TIPlnajgd6iGCLI6KNm&page=14&doc=140.
- Ketsetzi, A., & Capraro, M. M. (2016). Renewable energy sources. *A Companion to Interdisciplinary Stem Project-Based Learning: For Educators by Educators (Second Edition)*, 145–153. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-485-5_17.
- Melrose, J., Perroy, R., & Careas, S. (2015). *The Homeowner's Guide to Renewable Energy. State-wide Agricultural Land Use Baseline 2015 (Vol. 1)*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Ramadhan, S. ., & Rangkuti, C. (2016). Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti. *Seminar Nasional Cendekiawan 2016*, 1–11.
- Rosendahl, L. (2013). *Biomass Combustion Science, Technology and Engineering*. Woodhead Publishing Limited.
- Timmons, D., Harris, J. M., & Roach, B. (2014). *The Economics of Renewable Energy*.
- Brown, C. E. (2011). Hydroelectric Power. *World Energy Resources*, 129–137. https://doi.org/10.1007/978-3-642-56342-3_6.
- COWI. (2018). *Revisi rencana induk pengelolaan sampah kota semarang*.
- Dewan Energi Nasional Republik Indonesia. (2014). *Laporan Dewan Energi Nasional 2014*.
- Dinas Lingkungan Hidup Kota Semarang. (2018). Review Pra-Kelayakan Pengembangan dan Pengoperasian Fasilitas Pengolahan Sampah Terpadu Ramah Lingkungan TPA Jatibarang, Kota Semarang, (35), 1–42.
- Dinas Pekerjaan Umum Kota Semarang. (2015). *Daftar Irigasi Kota Semarang*. Semarang: Dinas Pekerjaan Umum Kota Semarang.
- Dinas Peternakan dan Kesehatan Hewan Provinsi Jawa Tengah. (2016). *Masterplan Pengembangan Kawasan Peternakan Di Provinsi Jawa Tengah*. Provinsi Jawa Tengah.
- Economic Cooperation. (2010). Energy supply and demand: trends and prospects. *Fuel*, (Figure 2), 5–20.
- Eko Budi Santoso, D., & Gunawan. (2011). Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah dengan Teknologi Dry Anaerobic Conversion, 25–29.
- Febriyanita, W. (2015). Pengembangan Biogas Dalam Rangka Pemanfaatan Energi Terbarukan Di Desa Jetak Kecamatan Getasan Kabupaten Semarang. *Skripsi*, 2(2), 1–13.
- Fitrianto, K., Nugroho, A., & Winardi, B. (2006). MAKALAH SEMINAR TUGAS AKHIR PRAKIRAAN KEBUTUHAN ENERGI LISTRIK TAHUN 2006 – 2015 PADA PT . PLN (PERSERO) UNIT PELAYANAN JARINGAN (UPJ) DI WILAYAH KOTA SEMARANG DENGAN METODE GABUNGAN, 1–11.
- Jukic, T., & Jerkovic, I. (2008). Sustainable Urban Energy Planning. *Waste Management*, 429–443. Retrieved from http://apps.isiknowledge.com/full_record.do?product=WOS&search_mode=GeneralSearch&qid=2&SID=TIPlnajgd6iGCLI6KNm&page=14&doc=140.

- product=WOS&search_mode=General Search&qid=2&SID=TIPlna]gd6iGCLl6KNm&page=14&doc=140.
- Ketsetzi, A., & Capraro, M. M. (2016). Renewable energy sources. *A Companion to Interdisciplinary Stem Project-Based Learning: For Educators by Educators (Second Edition)*, 145–153. https://doi.org/10.1007/978-94-6300-485-5_17.
- Kristoferson, L.A. dan V. Bokalders. 1991. Renewable Energy Technologies-Their Application in Developing Countries. ITDG Publishing.
- Melrose, J., Perroy, R., & Careas, S. (2015). *The Homeowner's Guide to Renewable Energy. State-wide Agricultural Land Use Baseline 2015 (Vol. 1)*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- National Aeronautic and Space Administration. (2019, June 17). *Power Data Access Viewer*. Retrieved from Nasa Power: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>.
- Nugroho, Hunggul Y.S.H & Sallata, M. Kudeng (2015) Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). Yogyakarta: CV ANDI OFF-SET.
- Pemerintah Indonesia. 2017. *Peraturan Presiden Republik Indonesia No. 22 Tahun 2017 Yang Mengatur Tentang Rencana Umum Energi Nasional. Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2017, No.43* Jakarta: Sekretariat Negara.
- Pemerintah Daerah Indonesia. 2018. *Draft Peraturan Daerah Provinsi Jawa Tengah No.- Tentang Rencana Umum Energi Daerah. Lembaran Daerah Provinsi Jawa Tengah Tahun 2018, No. – Semarang: Sekretariat Daerah Provinsi*.
- Ramadhan, S. ., & Rangkuti, C. (2016). *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Di Atap Gedung Harry Hartanto Universitas Trisakti. Seminar Nasional Cendekiawan 2016*, 1–11.
- Rosendahl, L. (2013). *Biomass Combustion Science, Technology and Engineering*. Woodhead Publishing Limited.
- Timmons, D., Harris, J. M., & Roach, B. (2014). *The Economics of Renewable Energy*.
- Wahyuni, S. (2009). *Biogas. Jakarta: Penebar Swadaya*.