

SISTEM DINAMIK OPTIMALISASI PENGGUNAAN ENERGI SEKTOR DOMESTIK DI DUA DESA KABUPATEN BANDUNG BARAT

SYSTEM DYNAMICS FOR OPTIMIZING THE USE OF ENERGY IN THE DOMESTIC SECTOR AT TWO VILLAGES IN BANDUNG BARAT REGENCY

Diva Oktavariani¹ dan Asep Sofyan²

Program Studi Magister Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha 10 Bandung 40132

[¹maildeeva@gmail.com](mailto:maildeeva@gmail.com), [²asepsofyan@yahoo.com](mailto:asepsofyan@yahoo.com)

Abstrak: Energi memainkan peranan yang sangat penting dalam semua sektor kehidupan (industry, transportasi, rumah tangga, komersil, dan lain-lain), sementara memasak adalah kegiatan utama yang rutin dilakukan di rumah tangga. Bahan bakar yang dominan digunakan adalah gas elpiji dan kayu bakar. Meningkatnya jumlah penduduk akan diiringi oleh meningkatnya kebutuhan akan bahan bakar, yang akan berdampak pada peningkatan konsumsi energi dan peningkatan emisi CO₂ (gas rumah kaca) ke atmosfer. Penggunaan kayu bakar yang masih cukup banyak di Kabupaten Bandung Barat sehingga perlu dilakukannya suatu kajian konversi bahan bakar dalam upaya penurunan jumlah pengguna kayu bakar, konsumsi energi dan emisi CO₂ yang dihasilkan. Penelitian ini menyajikan analisis terhadap upaya optimalisasi penggunaan energi di sektor domestik (bahan bakar untuk memasak) dengan menggunakan bantuan perangkat lunak STELLA®. Penentuan pola konsumsi bahan bakar di Kabupaten Bandung Barat, Identifikasi terhadap komponen yang mempengaruhi pola konsumsi bahan bakar di rumah tangga, hingga membangun pemodelan sistem dinamik, merupakan tahapan metodologi dalam penelitian ini. Hasil kuesioner menunjukkan bahwa 85% KK di Desa Lembang menggunakan elpiji sebagai bahan bakar utama untuk memasak, sisanya menggunakan kayu bakar. Sementara di Desa Tenjolaut 63% KK menggunakan kayu bakar dan sisanya menggunakan elpiji. Adapun komponen utama yang mempengaruhi penggunaan jenis bahan bakar untuk memasak adalah pendapatan keluarga dan kedekatan lokasi dengan perkebunan/hutan. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa pola konsumsi energi dari kedua desa memiliki kecenderungan untuk terus naik setiap tahunnya. Akan tetapi, jika diberikan skenario intervensi berupa pengurangan jumlah pengguna kayu bakar maka pola konsumsi energinya akan mengalami penurunan begitupun halnya dengan emisi CO₂ yang dihasilkan. Di Desa Lembang, pada tahun 2025 diperkirakan nilai konsumsi energinya sebesar 437 TJ, setelah diberikan intervensi yang intensif maka dihasilkan penurunan konsumsi energi hingga menjadi 201 TJ. Di Desa Tenjolaut, konsumsi energi di tahun 2025 diperkirakan sebesar 391 TJ dan kemudian turun menjadi 278 TJ setelah diberikan intervensi. Emisi CO₂ di Desa Lembang pada tahun 2020 diperkirakan akan berkurang sebesar 8.536 ton CO₂, sementara Desa Tenjolaut diperkirakan total emisi CO₂ nya akan berkurang sebesar 11.400 ton CO₂ di tahun 2025. Dari paparan diatas dapat disimpulkan bahwa Desa Lembang lebih cepat untuk mencapai program penurunan penggunaan kayu bakar.

Kata kunci: konsumsi energi, sektor domestik, sistem dinamik, dan emisi CO₂

Abstract: Energy plays a very important role in all sectors of life (industry, transportation, household, and commercial), while cooking is a primary activity done by the household. Cooking fuel that usually used by the households are LPG and firewood. Increase in population and the needs of fuel, will effect on the enhancement of the energy consumption and CO₂ emission (green house gases) to the atmosphere. The use of firewood in Bandung Barat regency is much enough, so then we need to have a research in order to find the solution in decreasing the number of people who used a firewood, decreasing the energy consumption and CO₂ emission. This research presents an analysis on the optimizing the used of energy in domestic sector, especially the use of cooking fuel, by using software STELLA®. The methodology in this research start with the determination the pattern of fuel consumption in Bandung Barat Regency, identification the components that affect the pattern of fuel consumption in household, and last, built a system dynamics.

The questionnaire shows that 85% of household in Lembang village is using LPG and the rest is using firewood. Meanwhile, in Tenjolaut village, 63% of household using firewood and the rest is using LPG. Main components that influence the household in choosing the cooking fuel are income and distance to the plantation or forest. The results of model simulation shows that pattern of energy consumption in both villages have the same trend, which is increasing. However, if we give an intervention by reducing the number of firewood user, the pattern of energy consumption and CO₂ emissions is tend to fall. In Lembang village, the energy consumption in 2025 is predicted to be 437 TJ, it will decrease to 201 TJ after some intensive intervention. In Tenjolaut village, the energy consumption in 2025 is predicted to be 391 TJ and after some intervention, it will become 278 TJ. Emission of CO₂ in Lembang village will decrease as much as 8.536 ton CO₂ in 2020, while in Tenjolaut village, it will decrease at amount of 11.400 ton CO₂ in 2025. From the above explanation, it is conclude that Lembang village will able to first reach the program for reducing the used of firewood compared to Tenjolaut village.

Keywords: *energy, domestic sector, system dynamics, and optimization*

PENDAHULUAN

Indonesia dikaruniai beragam sumber daya energi, baik energi fosil maupun energi baru dan terbarukan. Akan tetapi, tingkat pemanfaatan dan konsumsi sumber daya energi baru dan terbarukan tersebut masih rendah. Peningkatan kebutuhan energi yang tidak diikuti dengan ketersediaan yang cukup membuat terjadinya defisit energi. Upaya konversi bahan bakar rumah tangga dari minyak tanah/ kayu bakar ke elpiji pun dilakukan oleh pemerintah daerah Provinsi Jawa Barat, untuk mengurangi krisis energi, subsidi bahan bakar, dan potensi sumbangan emisi gas rumah kaca yang lebih besar. Menurut data BPS 2014, sebanyak 84% rumah tangga di Jawa Barat sudah menggunakan elpiji, diikuti 15% rumah tangga pengguna kayu bakar, sementara sisanya masih menggunakan minyak tanah, gas kota dan sumber bahan bakar lainnya.

Selain optimalisasi pemakaian energi dari sektor domestik, studi ini juga menghitung dampak optimalisasi terhadap emisi gas rumah kaca. Emisi gas rumah kaca selain disebabkan oleh pemakaian energi tetapi juga dari pembakaran biomassa. Adapun elemen dasar yang terkandung di dalam biomassa yaitu sekitar 50% Carbon, 43% Oksigen, 6% Hidrogen dan sisanya mengandung resin dan mineral-mineral yang membentuk hemiselulosa, selulosa, dan lignin (Amarasekara, 1994). Seiler dan Crutzen (1980) memperkirakan bahwa pembakaran biomassa tanaman di negara berkembang sekitar 80% dan 50% di negara maju, sementara hasil studi lain melaporkan sekitar 10-90% biomassa tanaman dibakar (IPCC, 2006; Streets dkk., 2003; Permadi dkk., 2013). Penggunaan energi di sektor domestik terutama untuk bahan bakar memasak di suatu desa bersifat cukup dinamis dan perubahannya dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti pertumbuhan penduduk, penghasilan penduduk, dan aksesibilitas. Melalui pemodelan sistem dinamik dengan *software* STELLA® diharapkan perilaku penggunaan energi bahan bakar sektor domestik beserta komponen yang mempengaruhinya dapat tergambarkan sehingga dapat digunakan dalam pengambilan keputusan dalam hal optimalisasi energi sektor domestik khususnya bahan bakar rumah tangga di Desa Lembang dan Desa Tenjolaut, Kabupaten Bandung Barat. Adapun tujuan umum dari penelitian ini yaitu: (i) Melihat pola distribusi penggunaan kayu bakar dan elpiji di Kabupaten Bandung Barat; (ii) Mengidentifikasi komponen yang mempengaruhi penggunaan kayu bakar/ elpiji; (iii) Menggunakan sistem dinamik untuk mengidentifikasi potensi penurunan konsumsi energi dari kayu bakar dan penerapan skenario kebijakan.

Berdasarkan dari latar belakang yang telah dijelaskan maka dirumuskan sebuah hipotesis dari penelitian ini, bahwa dengan mengganti bahan bakar rumah tangga dari kayu bakar/ minyak tanah ke bahan bakar LPG, akan mampu mengurangi konsumsi energi dari bahan bakar dan emisi CO₂ yang dihasilkan dari sektor rumah tangga di kedua desa studi. Ruang lingkup dari penelitian ini adalah dua desa di Kabupaten Bandung Barat yang menggunakan sumber energi untuk memasak berupa kayu bakar dan elpiji untuk kemudian akan dikaji pengaruhnya terhadap penurunan emisi gas rumah kaca khususnya gas CO₂. Laju pertumbuhan emisi GRK tahunan Indonesia dari konsumsi bahan bakar lebih tinggi daripada laju pertumbuhan ekonominya. Hal ini berbeda dengan negara-negara lain dimana nilai pertumbuhan PDB mereka lebih tinggi

daripada nilai laju pertumbuhan emisi. Namun bagaimanapun, intensitas CO₂ negara – negara tersebut cenderung meningkat tajam setelah tahun 1998 dan terjadinya krisis keuangan Asia (World Bank, 2008 dalam Dewi dkk., 2010). *Low carbon development* (pembangunan rendah karbon) merupakan salah satu upaya pemerintah-pemerintah untuk mengurangi emisi dari GHG. Pemerintah daerah Palembang telah mencoba menerapkan pembangunan yang rendah karbon dengan bantuan investasi dari luar negeri, hasilnya dengan perkembangan industri kota yang cepat, mereka dapat mengurangi emisi sebesar 24,1% di tahun 2025 (Colenbrander dkk., 2015).

Menurut Zhao (2011) bahwa sistem dinamik (SD) yang pertama kali diperkenalkan oleh Jay Forrester pada tahun 1960an merupakan suatu metodologi simulasi sistem dalam memahami, visualisasi, dan menganalisis sistem umpan balik yang kompleks dan dinamis. Software STELLA® (Structural Thinking, Experiential Learning Laboratory with Animation) memiliki kemampuan untuk mewakili interaksi antara elemen di dalam suatu sistem dinamik dan telah digunakan secara luas dalam pemodelan sistem dinamik. Berbagai penelitian memanfaatkan software STELLA® seperti Li et al. (2011) menggunakan sistem dinamik untuk memprediksi pertumbuhan konsumsi gas di China, Wang et al. (2014) mensimulasikan pengaruh dari perkembangan sosial ekonomi terhadap energi dan lingkungan, Ansari dkk. (2012) menggunakan sistem dinamik untuk menganalisis konsumsi energi masyarakat Iran serta mengkoreksi kebijakan pemerintah terkait penggunaan besi dan baja di negara tersebut. Feng dkk. (2012) menggunakan sistem dinamik untuk memodelkan konsumsi energi dan emisi CO₂ di Beijing, China yang menunjukkan terjadi peningkatan jumlah konsumsi energi dan emisi di tahun 2030 bila dibandingkan dengan tahun dasarnya yaitu 2005. Azhaginiyal dkk. (2014) juga menggunakan software STELLA® untuk mensimulasikan interaksi antara transportasi, energi dan emisi di India. Oxella dkk. (2012) mengaplikasikan model sistem dinamik untuk menganalisis permintaan dan ketersediaan listrik sektor industri di Jawa Timur.

METODOLOGI PENELITIAN

Metode dan Teknik Analisis

Pemodelan sistem dinamik ini menggunakan alat bantu berupa perangkat lunak STELLA®. Sementara untuk pengolahan data digunakan perangkat lunak pemetaan berupa ArcView. Pemilihan desa yang akan dijadikan objek studi didasarkan pada tipe desa menurut BPS yaitu desa perkotaan/ desa pedesaan, tipe bahan bakar dominan yang digunakan di desa tersebut, dan lokasi (masih berada di satu kabupaten/ kota). Sehingga dipilih dua desa yaitu, (i) Desa Lembang, Kecamatan Lembang, masyarakatnya dominan menggunakan elpiji dan (ii) Desa Tenjolaut, Kecamatan Cikalong Wetan, masyarakatnya dominan menggunakan kayu bakar. Kedua desa ini berada di wilayah Kabupaten Bandung Barat.

Penentuan Ukuran Sampling

Adapun penyebaran kuesioner ke lapangan bertujuan untuk melihat kondisi sebenarnya di lapangan, mengidentifikasi komponen yang mempengaruhi penggunaan kayu bakar/ elpiji di masyarakat, dan memverifikasi data PODES (Potensi Desa) serta output dari model yang telah dibangun. Pengambilan sampel dalam penelitian ini akan dilakukan di dua desa, yaitu di Desa Lembang dan Desa Tenjolaut.

Metode sampling yang akan dilakukan kepada masyarakat di kedua desa tersebut adalah metode *Probability Sampling*, dimana dengan teknik ini memberikan peluang yang sama bagi setiap unsur (anggota) populasi untuk dipilih menjadi anggota sampel. Yang menjadi populasi dalam penelitian ini adalah jumlah kepala keluarga di kedua desa. Untuk menentukan jumlah sampling maka digunakan rumus *Slovin* dengan rumus sebagai berikut:

$$n = \frac{N}{(N \times d^2) + 1} \quad (1)$$

dimana:

n = jumlah sampel

N = jumlah populasi

d^2 = margin error yang ditetapkan = 10%

Dengan jumlah kepala keluarga pada Tahun 2014 di Desa Lembang dan Desa Tenjolaut berturut-turut adalah 4.685, 2.405 maka dengan menggunakan **Persamaan (1)**.

$$n_{tigadesa} = \frac{7090}{(7090 \times 0.1^2) + 1} = 100$$

Dari hasil perhitungan diatas maka jumlah responden (kepala keluarga) untuk kedua desa studi (Desa Lembang dan Tenjolaut) adalah sebanyak 100 KK.

Tahapan Penelitian

Penelitian ini diawali dengan studi literatur terkait penelitian yang akan dilakukan. Secara garis besar, terdapat tiga tahapan utama dalam penelitian ini, yaitu tahap identifikasi, tahap pemodelan, dan tahap analisis dan pelaporan. Adapun detail dari tahapan penelitian adalah sebagai berikut:

a. Tahap Identifikasi

- Penentuan pola penggunaan bahan bakar di Kabupaten Bandung Barat berdasarkan hasil pemetaan data PODES 2014.
- Pemilihan terhadap desa yang akan menjadi objek studi sesuai kriteria yang telah ditentukan di awal.

b. Tahap Pemodelan

- Identifikasi masalah, merupakan tahap awal dari pembangunan model sistem dinamik yang merupakan kelanjutan dari hasil analisa awal terhadap output dari pemetaan penggunaan bahan bakar di kedua desa studi.
- Konseptual model, merupakan gambaran pemikiran terhadap hubungan antar komponen yang berpengaruh terhadap kajian. Setelah itu dilakukan identifikasi terhadap variabel dalam sistem yang kemudian disusun dalam bentuk diagram *causal-loop*.
- Formulasi model.

Formulasi ini dilakukan dengan membangun diagram *stock* dan *flow* untuk selanjutnya dibuat formulasi matematis dari diagram tersebut berdasarkan dari hasil identifikasi masalah dan diagram *causal-loop*. Diagram stock dan flow, sistem mempunyai 3 sub model yaitu sub model populasi penduduk, sub model pendapatan per kapita RT dan sub model konsumsi energi (**Gambar 1a, 1b, dan 1c**).

- Pengumpulan data sekunder ke instansi yang terkait seperti BPS Kabupaten Bandung Barat dan Kementrian ESDM berupa, populasi penduduk, tingkat kelahiran dan kematian penduduk, serta laju pertumbuhan ekonomi.
- Menyebar kuesioner untuk input model dan verifikasi hasil
- Penentuan responden di lapangan menggunakan metode cluster. Setiap desa terbagi atas 3-4 dusun sehingga agar sampling responden yang diambil dapat mewakili kondisi desa tersebut, maka responden diambil dari setiap dusun yang ada.
- Running sistem dinamik.
- Kalibrasi dan validasi model.

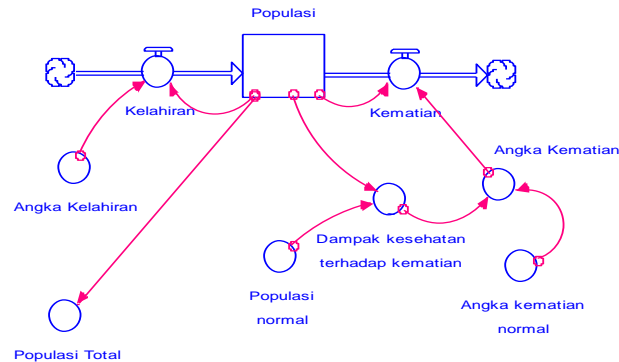
Validasi model bertujuan untuk mengetahui tingkat keakuratan model dalam merepresentasikan sistem yang sebenarnya. Dilakukan dengan membandingkan data hasil pemodelan dengan kondisi sebenarnya, Uji MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) digunakan untuk memvalidasi model dengan **Persamaan (2)**:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \frac{|X - X_d|}{X_d} \times 100\% \quad (2)$$

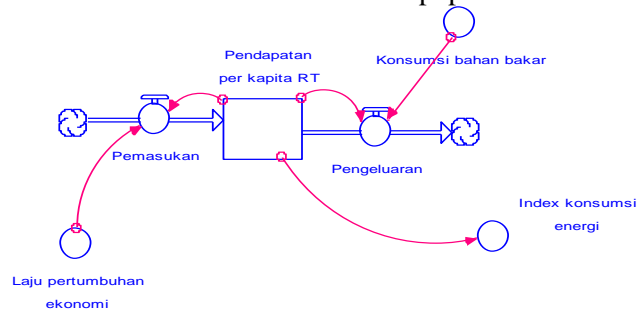
c. Tahap Analisis dan Pelaporan

- Simulasi model.

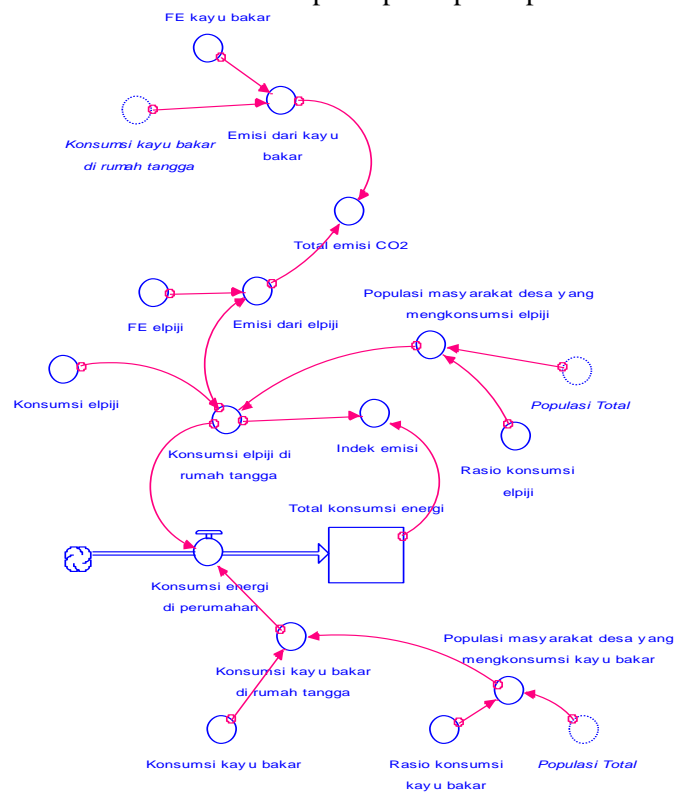
Beberapa skenario simulasi akan dicoba untuk melihat pengaruh beberapa variabel terhadap emisi CO₂ yang dihasilkan guna menarik kesimpulan optimalisasi dan konversi energi. Skenario simulasi terhadap model, antara lain: Skenario BAU, Skenario dengan intervensi moderat, dan Skenario dengan intervensi intensif untuk kedua desa studi.



Gambar 1a. Sub model populasi



Gambar 1b. Sub model pendapatan per kapita

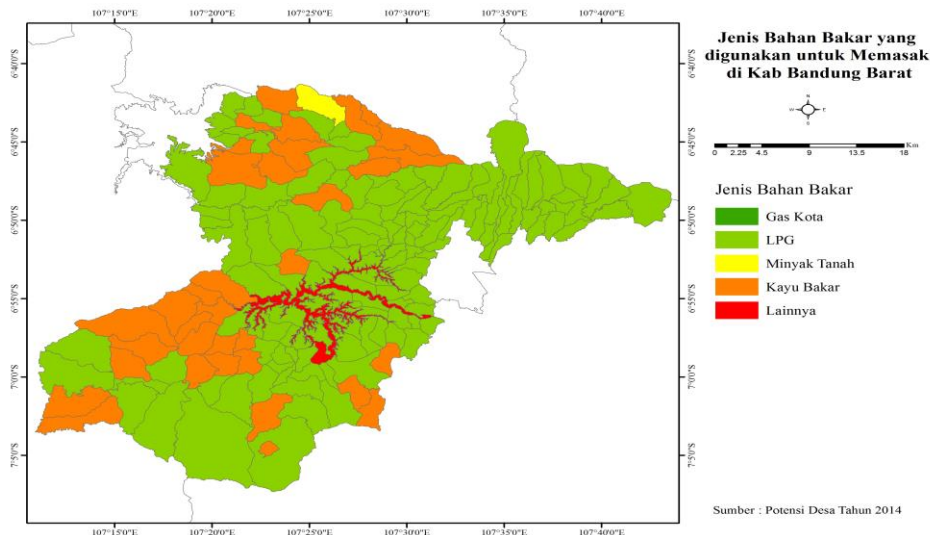


Gambar 1c. Sub Model Konsumsi Energi

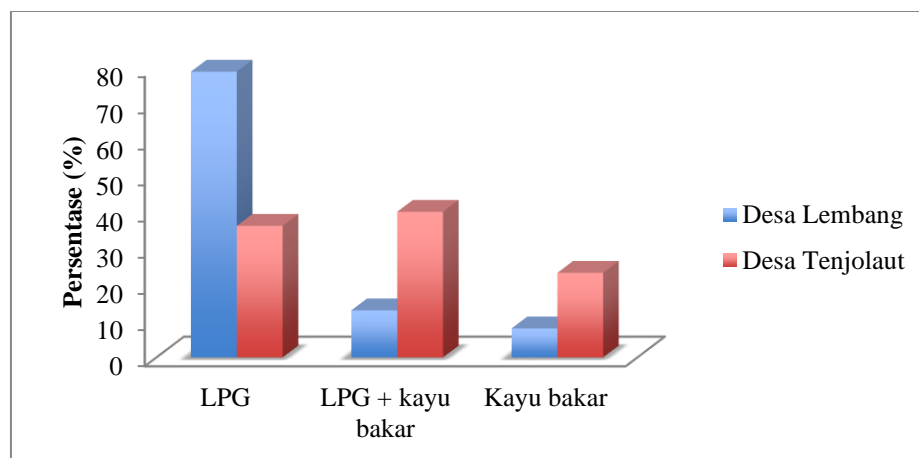
HASIL DAN PEMBAHASAN

Di Kabupaten Bandung Barat, penggunaan elpiji sudah mendominasi hampir 83% dan 16% dari rumah tangga masih menggunakan kayu bakar, sementara sisanya menggunakan bahan bakar jenis lain seperti minyak tanah, dan gas kota (**Gambar 2**). Untuk desa studi, berdasarkan hasil kuesioner diperoleh persentase penggunaan bahan bakar untuk memasak kondisi saat ini (tahun 2015) dapat dilihat pada **Gambar 3**. Rata-rata rumah tangga elpiji (Desa Lembang) akan menghabiskan 4 tabung elpiji ukuran 3 kg/ bulan, sementara rumah tangga kayu bakar (Desa Tenjolaut) akan menghabiskan sekitar 1 kubik kayu bakar/bulan. Adapun rumah tangga dengan bahan bakar campuran, akan menghabiskan 2 tabung 3 kg/ bulan dan 0,5 kubik kayu bakar/ bulan.

Model sistem dinamik total konsumsi energi di sektor domestik dibuat dengan menggambarkan keterkaitan antara tiga parameter, yaitu total konsumsi energi per tahun, pendapatan perkapita RT, dan populasi penduduk simulasi merupakan tahapan untuk mengetahui perilaku suatu sistem serta bagaimana parameter mempengaruhi sistem tersebut parameter yang dilibatkan dalam pengembangan skenario adalah jumlah pengguna kayu bakar dan elpiji. Simulasi akan dijalankan selama 25 tahun (2015-2040) untuk dapat melihat pola konsumsi energi dari bahan bakar memasak dan penurunan emisi CO₂ yang akan dihasilkan. Skenario-skenario yang akan dikembangkan dalam sistem total konsumsi energi di sektor domestik dapat dilihat pada **Tabel 1**.



Gambar 2. Pemetaan tipe penggunaan bahan bakar dominan untuk memasak di Kabupaten Bandung Barat tahun 2014



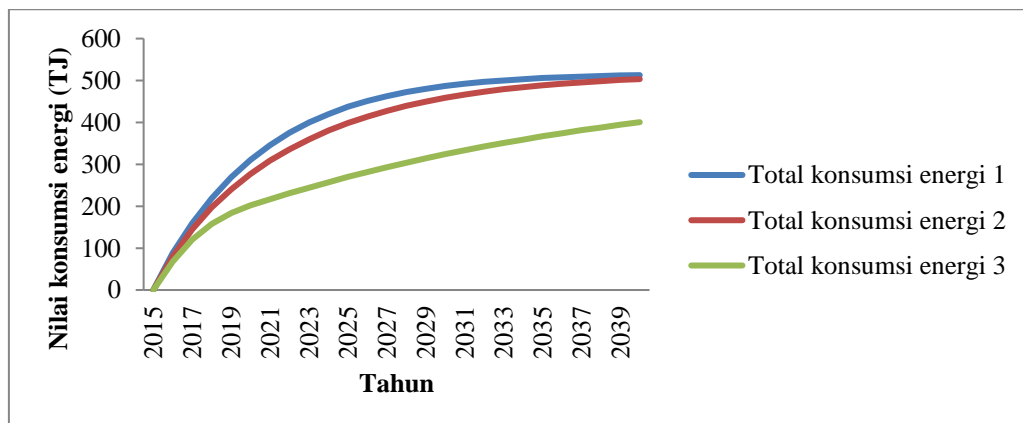
Gambar 3. Jenis konsumsi bahan bakar di dua desa studi

Tabel 1. Kondisi skenario

Skenario	Desa Lembang	Desa Tenjolaut
1	Kondisi awal	Kondisi awal
2	Menurunkan jumlah pengguna kayu bakar sebesar 5,5% dalam 10 tahun dan menaikkan jumlah pengguna elpiji dengan besaran yang sama	Menurunkan jumlah pengguna kayu bakar sebesar 11% dalam 10 tahun dan menaikkan jumlah pengguna elpiji dengan besaran yang sama
3	Menurunkan jumlah pengguna kayu bakar sebesar 15% dari kondisi awal/ hingga 0% kayu bakar dan menaikkan jumlah pengguna elpiji dengan besaran yang sama	Menurunkan jumlah pengguna kayu bakar sebesar 42% dalam 10 tahun dan menaikkan jumlah pengguna elpiji dengan besaran yang sama.

Analisis Total Konsumsi Energi

Gambar 4 menunjukkan perbandingan total konsumsi energi di Desa Lembang dari tiga simulasi skenario. Terlihat bahwa total konsumsi energi bahan bakar di sektor domestik memiliki kecenderungan untuk terus naik. Dari ketiga skenario, total konsumsi energi pada skenario 3 lebih rendah dibandingkan dengan total konsumsi energi dari skenario 1 dan 2. Hal ini karena, pada skenario 3 telah dilakukan intervensi intensif dengan menjadikan Desa Lembang *zero* kayu bakar di tahun 2020 (15% penurunan pengguna kayu bakar dalam 5 tahun). Sebelum tahun 2020 terjadi perubahan yang signifikan terhadap total konsumsi energinya, namun setelah tahun 2020 dimana semua masyarakat telah menggunakan elpiji, peningkatan total konsumsi energi sektor domestik pun mengalami peningkatan secara perlahan.



Gambar 4. Grafik perbandingan total konsumsi energi di Desa Lembang menggunakan tiga skenario simulasi

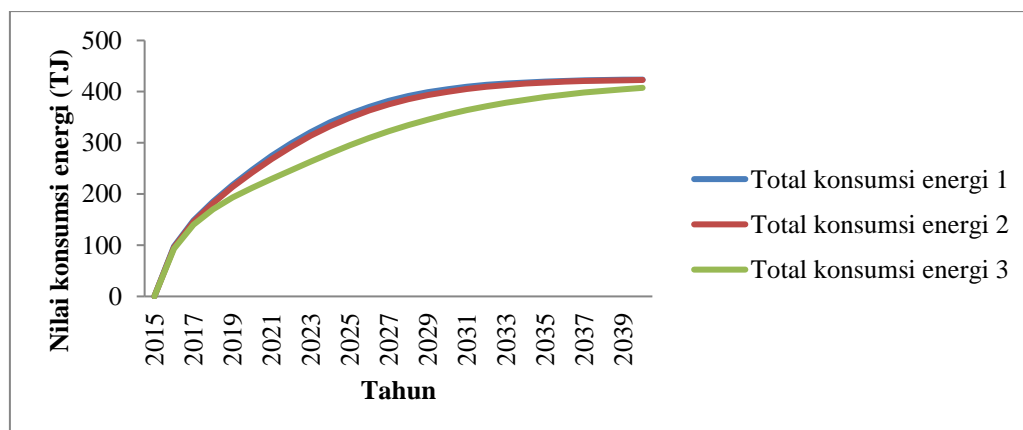
Tabel 2 memperlihatkan bahwa nilai total konsumsi energi di Desa Lembang mengalami penurunan setelah dilakukan intervensi terhadap rasio pengguna kayu bakar. Jika dibandingkan total konsumsi pada kondisi BAU di tahun 2020 dengan total konsumsi pada skenario 3, terlihat bahwa terjadi penurunan yang cukup besar terhadap total konsumsi energi di rumah tangga, yaitu dari 310 TJ menjadi 201 TJ.

Tabel 2. Nilai konsumsi energi untuk setiap skenario simulasi di Desa Lembang

Tahun	Total Konsumsi Energi (TJ)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
2015	0.01	0.01	0.01
2016	87.97	80.06	67.86
2017	159.67	144.99	120.67

2018	219.2	197.28	157.51
2019	269.01	240.57	183.5
2020	310.8	277.18	201.94
2021	345.83	308.63	216.67
2022	375.15	335.99	230.81
2023	399.62	359.78	244.36
2024	420.01	380.44	257.33
2025	436.95	398.36	269.74
2026	451.01	413.95	281.6
2027	462.64	427.55	292.92

Gambar 5 menunjukkan perbandingan total konsumsi energi di Desa Tenjolaut dari tiga simulasi skenario. Terlihat bahwa total konsumsi energi bahan bakar di sektor domestik memiliki kecenderungan untuk terus naik. Dari ketiga skenario, total konsumsi energi pada skenario 3 lebih rendah jika dibandingkan dengan total konsumsi energi dari skenario 1 dan 2. Hal ini karena, pada skenario 3 di Desa Tenjolaut telah dilakukan intervensi intensif dengan menurunkan rasio pengguna kayu bakar hingga 42% dalam 10 tahun. Sebelum tahun 2025 terjadi perubahan yang signifikan terhadap total konsumsi energinya, namun setelah tahun 2025 dimana tersisa 20% KK yang menggunakan kayu bakar, peningkatan total konsumsi energi sektor domestik pun mengalami peningkatan secara perlahan.



Gambar 5. Grafik perbandingan total konsumsi energi di Desa Tenjolaut menggunakan tiga skenario simulasi

Tabel 3 memperlihatkan bahwa nilai total konsumsi energi di Desa Tenjolaut mengalami penurunan setelah dilakukan intervensi terhadap rasio pengguna kayu bakar. Jika dibandingkan total konsumsi pada kondisi BAU di tahun 2025 dengan total konsumsi pada skenario 3, terlihat bahwa terjadi penurunan yang cukup besar terhadap total konsumsi energi di rumah tangga, yaitu dari 391 TJ menjadi 278 TJ.

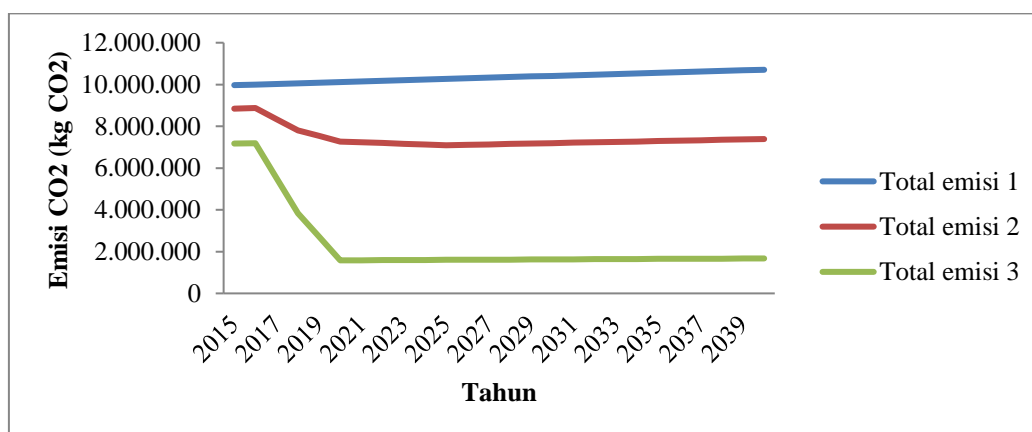
Tabel 3. Nilai konsumsi energi untuk setiap skenario simulasi di Desa Tenjolaut

Tahun	Total Konsumsi Energi (TJ)		
	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
2015	0.01	0.01	0.01
2016	382.92	217.28	48.27
2017	382.92	217.28	85.24
2018	382.92	225.76	116.69
2019	382.92	253.84	145.06

2020	382.92	282.95	171.35
2021	382.92	310.05	195.95
2022	382.92	333.91	218.99
2023	382.92	354.09	240.48
2024	383.07	370.64	260.38
2025	391.04	383.86	278.69
2026	398.87	394.17	295.42
2027	405.4	402.07	310.6
2028	410.47	408.04	324.29

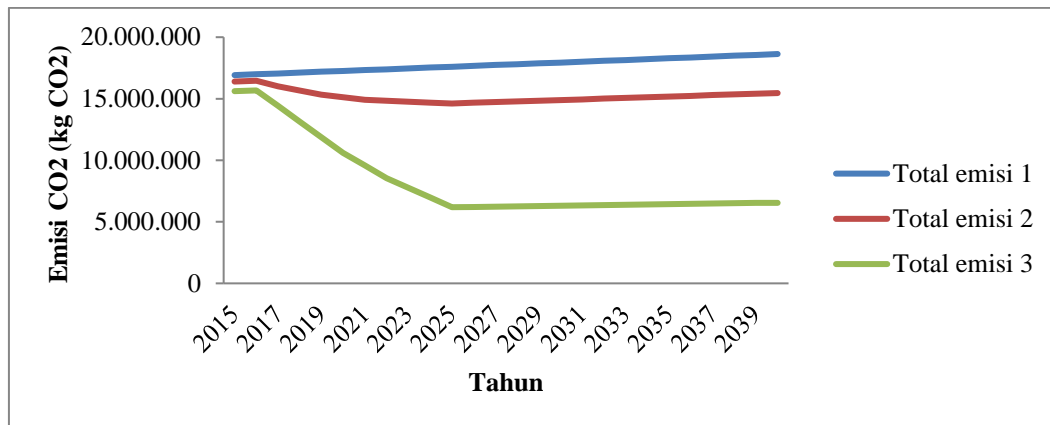
Analisis Emisi CO₂

Gambar 6 menunjukkan perbandingan emisi CO₂ di Desa Lembang dari tiga simulasi skenario. Terlihat bahwa pada kondisi BAU (skenario 1) pola emisi memiliki kecenderungan untuk naik secara perlahan, namun pada skenario 2 dan skenario 3 terjadi penurunan emisi CO₂ yang dihasilkan selama proses intervensi berlangsung. Dari ketiga skenario, emisi CO₂ pada skenario 3 mengalami penurunan yang signifikan jika dibandingkan dengan skenario 1 dan 2. Besar penurunan emisi CO₂ yang terjadi adalah sebesar 8.536 ton CO₂ di tahun 2020, namun kembali mengalami peningkatan setiap tahunnya dalam jumlah yang relatif kecil karena emisi CO₂ yang dihasilkan hanya berasal dari penggunaan elpiji.



Gambar 6. Grafik perbandingan total emisi CO₂ di Desa Lembang menggunakan tiga skenario simulasi

Gambar 7 menunjukkan perbandingan emisi CO₂ di Desa Tenjolaut dari tiga simulasi skenario. Terlihat bahwa pada kondisi BAU (skenario 1) pola emisi memiliki kecenderungan untuk naik secara perlahan, namun pada skenario 2 dan skenario 3 terjadi penurunan emisi CO₂ yang dihasilkan selama proses intervensi berlangsung. Dari ketiga skenario, emisi CO₂ pada skenario 3 mengalami penurunan yang signifikan jika dibandingkan dengan emisi CO₂ dari skenario 1 dan 2. Besar penurunan emisi CO₂ yang terjadi adalah sebesar 11.400 ton CO₂ di tahun 2025, namun kembali mengalami peningkatan setiap tahunnya dalam jumlah yang kecil sekitar 0,38%.



Gambar 7. Grafik perbandingan total emisi CO₂ di Desa Tenjolaut menggunakan tiga skenario simulasi

KESIMPULAN

- Elpiji telah menjadi bahan bakar memasak utama di Kabupaten Bandung Barat, ditandai dengan 83% KK telah menggunakan elpiji dan 16% KK menggunakan kayu bakar.
- Elpiji digunakan oleh hampir semua kalangan ekonomi, sementara kayu bakar lebih identik digunakan oleh KK dengan kondisi ekonomi menengah ke bawah. Hal ini terlihat bahwa di Desa Tenjolaut sekitar 62% KK menggunakan kayu bakar dengan penghasilan kurang dari Rp. 1.000.000,-. Hal yang sama juga terjadi di Desa Lembang dimana masyarakat dengan penghasilan kurang dari satu juta, lebih cenderung menggunakan kayu bakar (60% KK)
- Komponen utama yang mempengaruhi masyarakat untuk menggunakan elpiji atau kayu bakar adalah pendapatan, harga, ketersediaan bahan bakar, dan akses untuk memperoleh bahan bakar tersebut
- Hasil simulasi model sistem dinamik menunjukkan bahwa potensi penurunan penggunaan kayu bakar akan lebih cepat dialami oleh Desa Lembang. Hal ini karena hasil model memperlihatkan bahwa jika dilakukan intervensi intensif dalam waktu 5 (lima) tahun, Desa Lembang mampu menghasilkan *zero CO₂ emission* dari kayu bakar.

DAFTAR PUSTAKA

- Amarasekara, R.M (1994) : Energy for cooking. IDEA
- Ansari, N., Seifi, A (2012) : A system dynamics analysis of energy consumption and corrective policies in Iranian iron and steel industry, *Energy*, **43**,334-343.
- Axella, O. dan Suryani, E. (2012) : Aplikasi Model Sistem Dinamik Untuk Menganalisis Permintaan dan Ketersediaan Listrik Sektor Industri (Studi Kasus: Jawa Timur), *Jurnal Teknik ITS*, **1**, 339 – 334.
- Azhaginiyal, A., Umdevi, G (2014) : System dynamics simulation modeling of transport, energy and emissions interactions, *Civil Engineering and Architecture* 2, **4**, 149-165.
- BPS (2012) : Data Potensi Desa 2011, BPS, Jakarta.
- Colenbrander, S., Gouldson, A., Sudmant, A.h., Papargyropoulou, E (2015) : The economic case for low-carbon development in rapidly growing developing world cities – a case study of Palembang, Indonesia, *Journal Energy Policy*, **80**, 24-35.
- Feng, Y.Y., Chen, S.Q., Zhang, L.X (2012) : System dynamics modeling for urban energy consumption and CO₂ emissions: A case study of Beijing, China, *Ecological Modeling*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.09.008>

- IPCC (2006) : Intergovernmental Panel for Climate Change Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Diakses dari: <http://www.ipcc-nggips.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>.
- Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral (2014) : Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2013, Pusdatin ESDM, Jakarta.
- Li, J., Dong, X., Shanguan, J., and Hook, M (2011) : Forecasting the growth of Chinese natural gas consumption, *Journal Energy*, **36**, 1380-1385.
- Seiler, W., Crutzen, P.J (1980) : Estimates of gross and net fluxrs of carbon between the biosphere and the atmosphere from biomass burning, *Climate Change*, **2**, 207-247.
- Streets, D.G., Bond, T.C., Carmichael, G.R., Fernandes, S.D., Fu, Q., He, D., Klimont, Z., Nelson, S.M., Tsai, N.Y., Wang, M.Q., Woo, J.-H. and Yarber, K.F (2003) : An Inventory of Gaseous and Primary Aerosol Emissions in Asia in the Year 2000, *Journal of Geophysical Research*, 108, NO. D21, 8809, doi: 10.1029/2002JD003039
- Permadi, D.A., Kim Oanh, N.T (2013) : Assessment of biomass open burning emissions in Indonesia and potential climate forcing impact, *Journal Atmospheric Env*, **78**, 250-258.
- Wang, W., Zeng, W., and Yao, B (2014) : An energy-economy-environment model for simulating the impacts of socioeconomic development on energy and environment, *The Scientific World Journal*, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/353602>.
- Zhao, W., Ren, H., Rotter, V.S (2011) : A system dynamics model for evaluating the alternative of type in construction and demolition waste recycling center—The case of Chongqing, China, *Resources. Conservation and Recycling*, **55**, 933–944.