

# PEMODELAN INFRASTRUKTUR HIDROGEN UNTUK APLIKASI FUEL CELL DAN DAMPAKNYA TERHADAP ERA EKONOMI HIDROGEN STUDI KASUS DI KOTA SEMARANG

**Bayu Murti**

Universitas Maritim AMNI Semarang  
Korespondensi penulis: [ir.bayu@gmail.com](mailto:ir.bayu@gmail.com)

**Sunu Arsy Pratomo**

Universitas Maritim AMNI Semarang  
Email : [shoeyzero@gmail.com](mailto:shoeyzero@gmail.com)

## **ABSTRACT**

*The hydrogen economy is a shift in the use of fossil energy to energy derived from hydrogen. Currently, Energy experts are trying to find fuel from new and renewable energy, especially in the transportation sector. This study seeks to determine the profile of energy consumption in the city of Semarang, especially in the transportation sector with simulation calculations in a certain year. By knowing the profile of energy consumption in the transportation sector in the city of Semarang, the output of this research is a planning study to build hydrogen economic infrastructure and make possible steps. At the end of this paper, it will be known how big the potential for hydrogen infrastructure development is so that later it can be a guide in determining the right policy in carrying out hydrogen infrastructure development in the city of Semarang.*

*The design capacity of hydrogen production at PT. SAMATOR is 1000 m<sup>3</sup>/hour.*

*1. Production breakdown per day : 550 m<sup>3</sup>/hour x 24hours = 13,200m<sup>3</sup>.*

*2. If the production is maximized for 360 days per year, the total hydrogen production in Semarang is 4,752,000m<sup>3</sup>.*

*3. In 2020, the demand for hydrogen in the city of Semarang = 1,955,780 m<sup>3</sup>. With this research data, it can be analyzed that hydrogen production in the city of Semarang can meet the needs of hydrogen for transportation in the city of Semarang.*

**Keywords:** *hydrogen, fuel, production, transportation, Semarang.*

## **ABSTRAK**

Ekonomi hidrogen adalah pergeseran dalam penggunaan energi fosil ke energi yang berasal dari hidrogen. Saat ini pakar Energi berupaya menemukan bahan bakar dari energi baru dan terbarukan khususnya di bidang transportasi. Penelitian ini berusaha untuk mengetahui profil konsumsi energi di kota Semarang khususnya di bidang transportasi dengan perhitungan simulasi pada tahun tertentu. Dengan mengetahui profil konsumsi energi di bidang transportasi di kota Semarang ini, maka output dari penelitian ini adalah kajian perencanaan untuk membangun infrastruktur ekonomi hidrogen serta membuat langkah-langkah yang mungkin dilakukan. Pada akhir tulisan ini akan diketahui seberapa besar potensi pembangunan

---

Received Maret 13, 2022; Revised Maret 22, 2022; Accepted April 6, 2022

\* Bayu Murti, [ir.bayu@gmail.com](mailto:ir.bayu@gmail.com)

infrastruktur hidrogen sehingga nantinya bisa menjadi pedoman dalam menentukan kebijakan yang tepat dalam melakukan pembangunan infrastruktur hidrogen di kota Semarang.

Kapasitas design produksi hidrogen di PT. SAMATOR adalah 1.000 m<sup>3</sup>/jam.

1. Breakdown produksi per hari : 550 m<sup>3</sup>/jam x 24jam = 13.200m<sup>3</sup>.
2. Jika dimaksimalkan produksi selama 360 hari per tahun maka total produksi hidrogen di Semarang adalah 4.752.000m<sup>3</sup>.
3. Pada tahun 2020, kebutuhan hidrogen dikota Semarang = 1.955.780 m<sup>3</sup>. Dengan data penelitian ini bisa di analisa bahwa produksi hidrogen di kota Semarang bisa memenuhi kebutuhan hidrogen untuk transportasi di kota Semarang.

**Kata kunci:** hidrogen, BBM, produksi, transportasi, Semarang.

## Pendahuluan

### Produksi Hidrogen di Kota Semarang

Memperhatikan Perwal Semarang No.5/2009 yaitu petunjuk pelaksanaan Peraturan Daerah Kota Semarang Nomor 13 Tahun 2006 tentang Pengendalian Lingkungan Hidup Penanggulangan Pencemaran dan kerusakan Lingkungan Hidup Pasal 28, maka di kota Semarang sudah saatnya mulai menggali potensi tentang diversifikasi energi dan energi yang ramah lingkungan. Di Semarang Raya berdiri sebuah Perusahaan Gas Industri yaitu PT. SAMATOR. Produksi hidrogen di PT. SAMATOR dari data lapangan oleh Bp. Rifai sebagai Manager produksi adalah sebagai berikut :

1. Kapasitas produksi hidrogen di PT. SAMATOR adalah 150 M<sup>3</sup>/ H. Dimana nilai kalor Hidrogen adalah 120MJ/kg menurut Liun.
2. Daya yg terpasang utk plant *hidrogen* (H<sub>2</sub>) adalah 480 Kva.
3. Saat ini sebagian besar hanya dimanfaatkan utk sektor industri (kaca, pembangkit PLTU, produksi Argon)

### Keunggulan Energi Hidrogen

Merujuk pada Peraturan Daerah Kota Semarang Nomor 13 Tahun 2006 tentang Pengendalian Lingkungan Hidup Penanggulangan Pencemaran dan kerusakan Lingkungan Hidup Pasal 28, pengembangan produksi hidrogen bisa menjadi salah satu pemecahan masalah energi alternatif yang ramah lingkungan. Kebijakan ini bisa diberlakukan di seluruh wilayah Indonesia juga.

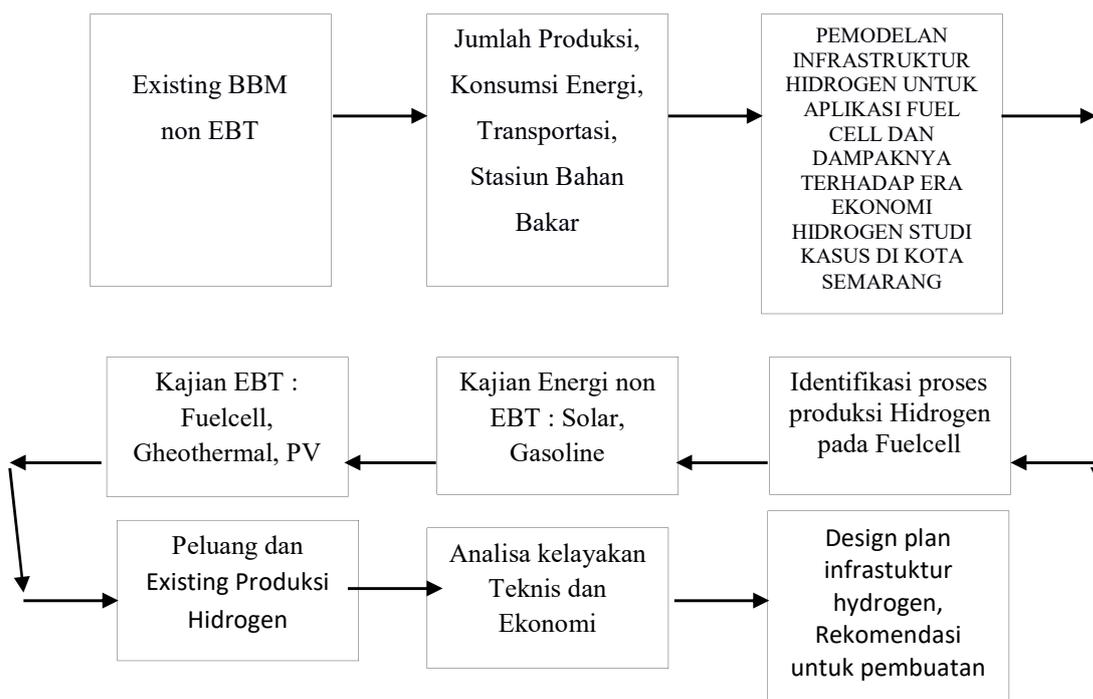
Penggunaan mobil di kota Semarang merupakan kontributor utama Terhadap tingkat polusi udara di kota Semarang, sedangkan di seluruh dunia sebanyak 20% emisi gas rumah kaca disebabkan oleh sektor transportasi (The World Bank, 2014. tanggal 24 Desember 2017). Memperhatikan persoalan tentang menipisnya cadangan bahan bakar fosil serta dampak

lingkungan, maka diperlukan upaya-upaya untuk penyediaan bahan bakar alternatif. Penyediaan bahan bakar/energi itu sendiri harus memiliki dampak lingkungan yang relatif aman dan Hidrogen merupakan sarana penyimpan energi yang bisa digunakan untuk aplikasi stasioner maupun bergerak (Rosyid, 2009).

Data dari DPAAD (Dinas Perpustakaan dan Arsip Daerah) Kota Semarang pada tahun 2014, angka kendaraan bermotor di Semarang adalah 1.305.636. Pada tahun 2015, hasil dari registrasi penduduk jumlah penduduk di Kota Semarang mencapai kurang lebih 1.595.267 jiwa. Pada Februari 2018 Jumlah SPBU di kota Semarang menurut PERTAMINA berjumlah 91 buah. Setiap SPBU telah mampu menyerap tenaga kerja rata rata sebanyak 18 orang berdasarkan survey di SPBU sekitar Semarang.

## Metode Penelitian

### Kerangka Pikir Penelitian



Gambar 1. Kerangka Pikir Penelitian

## Hasil dan Pembahasan

### Kondisi Jumlah Kendaraan dan Kebutuhan Energi di kota Semarang

#### Pemakaian BBM solar, premium, pertamax dikota Semarang

Pada tahun 2014, pemakaian energi (GJ) dikota Semarang dengan perhitungan sebagai berikut. Persamaan kalori ke joule bisa kita lihat di perhitungan dibawah ini :

$$1J = 0,2388 \text{ kal} \quad (4.1)$$

$$1Kkal = 1.000 \text{ kal} \quad (4.2)$$

$$1Kkal = 1.000 \times 4,186 \text{ Joule} \quad (4.3)$$

$$1Kkal = 4,186 \text{ KJ} \quad (4.4)$$

Perhitungan energi dengan satuan GJ di kota Semarang adalah sebagai berikut :

#### Energi solar dalam 1th di kota Semarang

$$1 \text{ liter solar} = 10.546 \text{ kkal} \quad (4.5)$$

$$1 \text{ liter solar} = 44.145 \text{ KJ/liter} \quad (4.6)$$

Dikota Semarang konsumsi solar dalam waktu 1th pada tahun 2014 adalah = 187.495 kl (sumber Pertamina).

Energi solar dalam 1th adalah :

$$\text{Energi solar dalam 1th} = 187.495 \text{ kl} \times 44.145 \text{ KJ/liter} \quad (4.7)$$

$$\text{Energi solar dalam 1th} = 8.276.966.775 \text{ KJ} \quad (4.8)$$

$$\text{Energi solar dalam 1th} = 8.276,966775 \text{ GJ} \quad (4.9)$$

#### Energi premium dalam 1th di kota Semarang

$$1 \text{ liter Premium} = 10.509Kkal \quad (4.10)$$

$$1 \text{ liter Premium} = 43.990 \text{ KJ/liter} \quad (4.11)$$

Dikota Semarang konsumsi premium dalam waktu 1th pada tahun 2014 adalah = 349.448 kl Premium.

Energi premium dalam 1th adalah :

$$\text{Energi premium dalam 1th} = 349.448 \text{ kl} \times 43.990 \text{ KJ/liter} \quad (4.12)$$

$$\text{Energi premium dalam 1th} = 15.372.217.520 \text{ KJ} \quad (4.13)$$

$$\text{Energi premium dalam 1th} = 15.372,217520 \text{ GJ} \quad (4.14)$$

**Energi bbm pertamax dalam 1th di kota Semarang**

$$1 \text{ liter Pertamax} = 10.622 \text{ Kkal} \quad (4.15)$$

$$1 \text{ liter Pertamax} = 44.463 \text{ KJ/liter} \quad (4.16)$$

Dikota Semarang konsumsi pertamax dalam waktu 1th pada tahun 2014 adalah = 16.804 Kilo liter Pertamax.

Energi pertamax dalam 1th adalah :

$$\text{Energi pertamax dalam 1th} = 16.804 \text{ kl} \times 44.463 \text{ KJ/liter} \quad (4.17)$$

$$\text{Energi pertamax dalam 1th} = 747.156.252 \text{ KJ} \quad (4.18)$$

$$\text{Energi pertamax dalam 1th} = 747,156 \text{ GJ} \quad (4.19)$$

Energi solar dalam 1th = 8.276,966775 GJ. Energi premium dalam 1th = 15.372,217520 GJ. Energi pertamax dalam 1th = 747,156 GJ. Total energi didapat dari penjumlahan dari total energi solar, premium dan pertamax. Energi solar dalam 1th = 8.276,966775 GJ. Energi premium dalam 1th = 15.372,217520 GJ. Energi pertamax dalam 1th = 747,156 GJ. Setelah dijumlahkan hasilnya adalah 24.396 GJ pada tahun 2014.

Laju pertumbuhan konsumsi BBM di Semarang menurut Humas PT. Pertamina Marketing Operation Region (MOR) IV Jateng - DIY Jl. Pemuda No.114 adalah 0,3% per tahun. Dengan Total energi yang didapat dari penjumlahan dari total energi solar, premium dan pertamax. Energi solar dalam 1th = 8.276,966775 GJ. Energi premium dalam 1th = 15.372,217520 GJ. Energi pertamax dalam 1th = 747,156 GJ. Setelah dijumlahkan hasilnya adalah 24.396 GJ pada tahun 2014. Prediksi kebutuhan Energi tahun berikutnya secara linier dengan menggunakan software microsoft excel dapat dicari sebagai berikut :

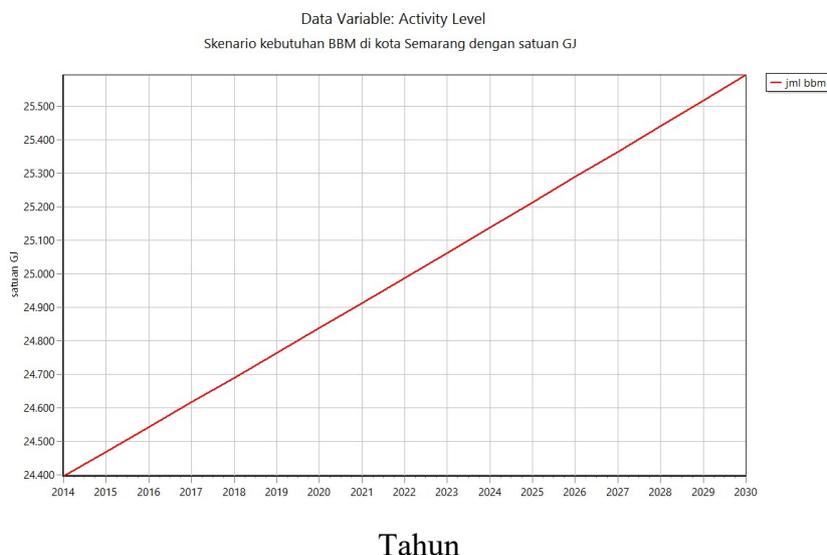
$$2014+x = 0,003(\text{Energi } x) + \text{Energi } x \quad (4.20)$$

Dengan software Microsoft Excel dan LEAP didapat data seperti gambar 2 dan tabel 1 dibawah ini. Sumbu x menuliskan jumlah energi dan sumbu y menjelaskan tahun yang diprediksikan.

**Tabel 1. Hubungan antara kebutuhan Energi di kota Semarang sepanjang tahun dengan satuan GJ.**

Tahun	x	Energi(GJ) [A]	Laju Pertumbuhan [B]	[A] [B]	[A] [B]+[A]
2014	0	24.396	0,003	73,1880	24.469
2015	1	24.469	0,003	73,4076	24.543
2016	2	24.543	0,003	73,6278	24.616
2017	3	24.616	0,003	73,8487	24.690
2018	4	24.690	0,003	74,0702	24.764
2019	5	24.764	0,003	74,2924	24.838
2020	6	24.838	0,003	74,5153	24.913
2021	7	24.913	0,003	74,7388	24.988
2022	8	24.988	0,003	74,9631	25.063
2023	9	25.063	0,003	75,1880	25.138
2024	10	25.138	0,003	75,4135	25.213

### Hubungan antara kebutuhan Energi di kota Semarang sepanjang tahun



**Gambar 2. Hubungan antara kebutuhan Energi di kota Semarang sepanjang tahun dengan satuan GJ.**

SPBU di kota Semarang menurut BPS berjumlah 63 pada tahun 2014 dan kenaikan 3% per tahun. Prediksi pertumbuhan SPBU secara linier dengan menggunakan software microsoft excel dapat dicari persamaan linier dibawah ini:

$$2014+x = 0,03(SPBU x) + SPBU x \tag{4.21}$$

Estimasi pertumbuhan SPBU di kota Semarang bisa kita lihat di gambar 3 dan tabel 2. Dengan LEAP, dapat kita skenarioikan seperti gambar 4 dibawah ini. Sumbu X menuliskan jumlah SPBU dan sumbu Y menuliskan tahun.

#### Estimasi pertumbuhan SPBU di kota Semarang.



**Gambar 3. Estimasi pertumbuhan SPBU di kota Semarang.**

**Tabel 2. Estimasi pertumbuhan SPBU di kota Semarang**

Tahun	x	Jml SPBU [A]	Laju Pertumbuhan	[A] [B]	[A] [B]+[A]
2014	0	63	0,03	1,8900	65
2015	1	65	0,03	1,9467	67
2016	2	67	0,03	2,0051	69
2017	3	69	0,03	2,0653	71
2018	4	71	0,03	2,1272	73
2019	5	73	0,03	2,1910	75
2020	6	75	0,03	2,2568	77
2021	7	77	0,03	2,3245	80
2022	8	80	0,03	2,3942	82
2023	9	82	0,03	2,4660	85
2024	10	85	0,03	2,5400	87

### Kebutuhan Hidrogen di Kota Semarang

Pasar global untuk hidrogen sudah lebih dari 40 miliar \$AS per tahun, termasuk hidrogen yang digunakan dalam produksi amonia (49%), penyulingan minyak bumi (37%), produksi metanol (8%) dan lain - lain menggunakan volume yang lebih kecil (6 %) (Sutarno,

2012). Untuk konsumsi hidrogen di Semarang, saat ini terfokus hanya di Indonesia Power dan ada juga permintaan beberapa tabung per bulan untuk kebutuhan laborat. Sumber : Bp. Didik dari PT SAMATOR. Indonesia Power saat ini mempunyai kebutuhan 200 tabung per bulan. Isi 6m<sup>3</sup>. Dengan volume 1m<sup>3</sup> = 0,0810 kg dengan harga Rp. 308.000/6m<sup>3</sup> atau Rp. 62.000/m<sup>3</sup> atau Rp. 62.000/0,0810kg. Dengan perhitungan matematika dari Rp. 62.000/0,0810kg sehingga didapat harga jual hidrogen Rp. 633.745/kg. Dapat kita hitung kebutuhan hidrogen di kota Semarang kurang lebih Rp. 61.600.000/bulan di Indonesia Power untuk pemakaian 200 tabung per bulan.

### **Infrastruktur yang mungkin dibangun di Kota Semarang.**

Data design produksi hidrogen dari PT SAMATOR dengan metode steam metan reforming oleh Bp. Ponari divisi Plant Hidrogen dan Bp. Sampoerno selaku pimpinan adalah sebagai berikut:

1. Kapasitas design produksi hidrogen di PT SAMATOR dengan *Cap. Design plant* 1.000 m<sup>3</sup>/jam dengan metode steam metan reforming. Dengan volume 1m<sup>3</sup> = 0,0810 kg, akan didapat 81kg/jam. Breakdown produksi per hari : 550 m<sup>3</sup>/jam x 24 = 13.200 m<sup>3</sup> atau 1.069,2kg
2. Harga jual secara umum Estimasi antara Rp. 62.000/m<sup>3</sup>
3. H<sub>2</sub> tube trailer dengan kapasitas Isi @ 4.000 m<sup>3</sup> dengan pressure kerja 200 kg/cm<sup>2</sup>.  
Kapasitas design produksi hidrogen di atas dapat kita analisa lebih lanjut bahwa jumlah total produksi memenuhi kebutuhan di Semarang.

### **Prediksi Kendaraan jika diarahkan ke pemakaian Bahan bakar hidrogen di kota Semarang**

Prediksi Jika Kendaraan diarahkan ke Bahan bakar hidrogen dengan perhitungan Hidrogen Volumetric *higher heating value* (HHV) sebesar 12,7 MJ/m<sup>3</sup> (Fung, 2005) akan didapat :

$$12,7 \text{ MJ/m}^3 = 12.700 \text{ KJ/m}^3 \quad (4.22)$$

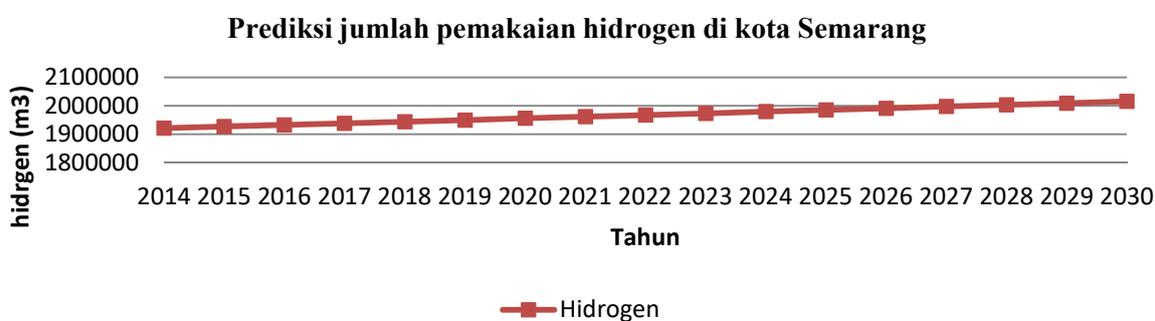
$$1 \text{ m}^3 = 12,7 \text{ MJ} = 0,0127 \text{ GJ} \quad (4.23)$$

Dengan persamaan matematika maka kita bisa menghitung Hubungan antara kebutuhan Energi di kota Semarang sepanjang tahun yang dirubah ke m<sup>3</sup> dengan 1 m<sup>3</sup> = 12,7 MJ = 0,0127 GJ. Maka didapat Tabel 3. berikut ini.

**Tabel 3. Konversi kebutuhan Energi di kota Semarang sepanjang tahun**

	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Gj	24.396,00	24.469,20	24.542,60	24.616,20	24.690,10	24.764,10	24.838,40	24.912,90	24.987,70
m3	1920945	1926709	1932488	1938283	1944102	1949929	1955780	1961646	1967535

Kapasitas design produksi hidrogen di PT. SAMATOR adalah 1.000 m<sup>3</sup>/jam. Breakdown produksi per hari : 550m<sup>3</sup>/jam x 24 jam = 13.200m<sup>3</sup>. Jika kita maksimalkan produksi selama 360 hari per tahun maka total produksi hidrogen di Perusahaan Gas Industri Semarang adalah 4.752.000m<sup>3</sup>. Pada tahun 2020 berdasarkan tabel diatas, kebutuhan hidrogen dikota semarang = 1.955.780 m<sup>3</sup>.



**Gambar 4. Prediksi jumlah pemakaian hidrogen di kota Semarang. Sumbu x menuliskan jumlah kebutuhan hidrogen per m<sup>3</sup> dan sumbu y menuliskan tahun.**

**Tabel 4. Prediksi jumlah pemakaian hidrogen di kota Semarang.**

Tahun	Hidrogen(m3)
2014	1.920.944,882
2016	1.932.488,189
2018	1.944.102,362
2020	1.955.779,528
2022	1.967.535,433
2024	1.979.354,331

### Perbandingan biaya BBM dengan Hidrogen di Kota Semarang

Pada tahun 2014, pemakaian solar dikota semarang adalah = 187.495 kl solar. Pada tahun 2014, pemakaian premium dikota semarang adalah = 349.448 kl Premium. Pada tahun

2014, pemakaian pertamax dikota semarang adalah = 16.804 kl Pertamax. Maka total biayanya adalah sebagai berikut :

1. Solar 187.495Kl x Rp. 9.500/l = Rp. 1.781.202.500.000
2. Premium 349.448Kl x Rp. 6.550/l = Rp. 2.288.884.400.000
3. Pertamax 16.804Kl x Rp. 9.200/l = Rp. 154.596.800

Total biaya BBM kota Semarang jika semua dijumlahkan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Rp. 1.781.202.500.000} + \text{Rp. 2.288.884.400.000} + \text{Rp. 154.596.800} = \\ \text{Rp. 4.070.241.496.800} \end{aligned} \quad (4.24)$$

Dari tabel 4 Pada tahun 2020, prediksi BBM di kota Semarang adalah 24.838GJ .

Total biaya BBM kota Semarang tahun 2014 dibagi dengan total energi tahun 2014 adalah sebagai berikut :

$$\text{Rp. 4.070.241.496.800 dibagi 24.396GJ} = \text{Rp. 166.840.527.-} \quad (4.25)$$

Harga BBM per 1GJ adalah = Rp. 166.840.527.-

Total biaya BBM pada tahun 2020 adalah Harga BBM per 1GJ dikalikan dengan total energi tahun 2020 dengan persamaan sebagai berikut :

$$\text{Rp. 166.840.527} \times \text{24.838GJ} = \text{Rp. 4.143.985.009.626.-} \quad (4.26)$$

Harga 1GJ hidrogen dapat dihitung dengan perhitungan dibawah ini.

$$1\text{m}^3 \text{ hidrogen} = 0,0127\text{GJ} \quad (4.27)$$

$$1\text{GJ} = 1/0,0127 = 78,740\text{m}^3 \quad (4.28)$$

$$\text{Harga 1GJ} = 78,740\text{m}^3 \times \text{Rp. 62.000} \quad (4.29)$$

$$\text{Harga 1GJ} = \text{Rp. 4.881.880} \quad (4.30)$$

Dari tabel 4.2 maka didapat total biaya hidrogen dikota Semarang pada tahun 2020 adalah :

$$\text{Harga 1GJ hidrogen} \times \text{total GJ hidrogen} \quad (4.31)$$

$$24.838\text{GJ} \times \text{Rp. 4.881.880} = \text{Rp. 121.256.135.440} \quad (4.32)$$

**Gambar 5. Lay out bangunan**

**SPBU hidrogen dan konfigurasi SPBU hidrogen yang akan dibangun**

**Peta topografi/rupa bumi yang**

**memperlihatkan titik lokasi rencana**

**pendirian SPBU hidrogen**

**Lay out bangunan SPBU**

**hidrogen dan konfigurasi SPBU**

**hidrogen yang akan dibangun**



**Gambar 6. Peta topografi/rupa**

**bumi yang memperlihatkan titik lokasi**

**rencana pendirian SPBU hidrogen**



**Gambar 7. Tangki Hidrogen yang ditimbun di SPBU**

Skenario Peluang Produksi Hidrogen dan Status Produksi serta penggunaan hidrogen saat ini di Kota Semarang mengambil inisiatif spesifik berikut ini:

1. Penyebaran strategis stasiun hidrogen di Kota Semarang.

Sambil mempertimbangkan subsidi dari pemerintah nasional dan inisiatif pemerintah daerah / PT. SAMATOR / perusahaan baru, maka perusahaan tersebut akan mengembangkan rencana penyebaran saluran hidrogen milik sendiri, untuk menciptakan lingkungan di mana banyak pengguna dapat menikmati kendaraan fuelcell di Semarang. Partisipasi yang lebih luas dari perusahaan anggota harus diupayakan untuk memastikan pencapaian target (Fathkul, 2018).

2. Kontribusi pengoperasian stasiun hidrogen yang efisien di Kota Semarang.

Dengan mengumpulkan dan memanfaatkan informasi mengenai konstruksi dan pengoperasian stasiun hidrogen melalui pengembang infrastruktur perusahaan baru akan membangun dan memiliki stasiun hidrogen dan akan memberi kontribusi pada operasi yang efisien sesuai peta jalan.

### **Beberapa skenario dalam membangun infrastruktur Hidrogen di Kota Semarang**

Beberapa skenario dalam membangun infrastruktur Hidrogen di Kota Semarang sebagai berikut:

a. Peningkatan kenyamanan bagi pengguna FCV di Kota Semarang.

Untuk mendorong pelanggan menggunakan hidrogen, Pemerintah / pihak terkait akan memperbaiki kenyamanan stasiun. Hal ini misalnya dengan menggandeng sebuah Asosiasi hidrogen Supply dan Pemanfaatan Teknologi dan organisasi industri pengembang stasiun hidrogen. Pelayanan penuh 1x24jam juga harus segera diskenariokan jika suatu saat permintaan meningkat.

b. Pengurangan biaya dan *review* peraturan di Kota Semarang.

Pada PP No 79 Tahun 2014 Tentang KEN. Pada BAB I yang berisi Ketentuan Umum di Pasal 1 di bagian 4, tentang Sumber Energi Baru antara lain hidrogen. Pada BAB III, tentang

Arah KEN di Bagian 1 pada Kebijakan Utama, Paragraf ke-3 tentang Pemanfaatan Sumber Daya Energi Nasional Pasal 12 Pada point (1) Pemanfaatan Sumber Daya Energi Nasional dilakukan Pemerintah atau Pemda berpedoman bahwa Pemanfaatan Sumber Energi Baru memungkinkan mengembangkan bahan bakar hidrogen untuk transportasi.

Pada PP diatas, pengembangan hidrogen bisa disimpulkan menjadi salah satu alternatif pemecahan masalah energi di Kota Semarang. Pemerintah/pihak terkait bisa berkolaborasi dengan organisasi eksternal untuk mengurangi biaya dengan menangani masalah seperti standarisasi peralatan dan merevisi peraturan.

**Peran dan tanggung jawab utama perusahaan anggota pendiri Hidrogen di kota Semarang :**

Berikut ini peran dan tanggung jawab utama perusahaan anggota pendiri Hidrogen di kota Semarang :

- a. Pengembang infrastruktur akan menyumbangkan beberapa modal, membangun stasiun hidrogen dan mengoperasikannya.
- b. Pembuat mobil akan mempercayakan pengembang infrastruktur untuk mengoperasikan stasiun hidrogen untuk membantu mempromosikan perluasan stasiun hidrogen dan FCV.

Prediksi penggunaan FCV di kota Semarang, jika 25% sudah pakai FCV, 50% FCV, 75% FCV dan 100% semua kendaraan pakai FCV, maka asumsi stasiun yang akan dibangun sebagai berikut :

2014: 25 % kendaraan pakai FCV

2016 : 50 % kendaraan pakai FCV

2018 : 75 % kendaraan pakai FCV

2020 : 100 % kendaraan pakai FCV

Dari tabel 4 bisa kita hitung asumsi pemakaian hidrogen di kota Semarang.

2014: 25 % kendaraan pakai FCV. Prediksi total konsumsi BBM 24.396GJ. Maka jika 25 % kendaraan pakai FCV akan didapat perhitungan sebagai berikut :  $24.396 \text{ GJ} \times 25 \% = 6.099 \text{ GJ}$ .

2016 : 50 % kendaraan FCV. Prediksi total konsumsi BBM 24.542,60 GJ. Maka jika 50% kendaraan pakai FCV akan didapat perhitungan sebagai berikut :  $24.542,60 \text{ GJ} \times 50\% = 12.271,3 \text{ GJ}$ .

2018 : 75 % kendaraan FCV. Prediksi total konsumsi BBM 24.690,10GJ. Maka jika 75% kendaraan pakai FCV akan didapat perhitungan sebagai berikut :  $24.690,10\text{GJ} \times 75\% = 18.517,575\text{GJ}$ .

2020 : 100% kendaraan FCV. Prediksi total konsumsi BBM 24.838,40GJ. Maka jika 100% kendaraan pakai FCV akan didapat perhitungan sebagai berikut :  $24.838,40\text{GJ} \times 100\% = 24.838,40\text{GJ}$ .

Mercedes Benz telah test drive dengan jarak 496km dengan satu kali pengisian 3 menit (Akhmad, 2017). Asumsi 1 SPBU equivalent dengan 243 GJ sehingga dapat diprediksikan untuk SPBU yang dibangun bisa kita asumsikan pada table 5 sebagai berikut :

**Tabel 5. Prediksi jumlah SPBU hidrogen di kota Semarang.**

Tahun	Energi BBM (GJ)	Simulasi pemakai fcv	Simulasi pemakaian Energi hidrogen (GJ)	SPBU yang dibangun
2014	24.396	25%	6099	25
2016	24.542,60	50%	12271,3	50
2018	24.690,10	75%	18517,575	75
2020	24.838,40	100%	24838,4	100

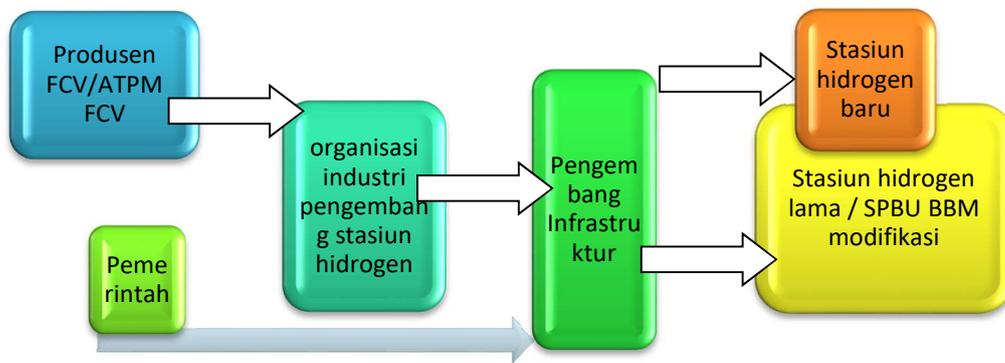
- c. Investor akan berkontribusi meningkatkan penempatan stasiun hidrogen di masa depan dengan sarana keuangan. Mereka akan menutupi sebagian biaya penempatan stasiun melalui investasi di pihak terkait. Dengan menyediakan dana yang diperlukan sampai bisnis stasiun hidrogen menjadi berkelanjutan secara komersial, mereka akan membantu mengurangi beban keuangan awal yang ditanggung oleh pengembang infrastruktur dan akan membantu menarik peserta baru. Skenario tersebut bisa kita lihat seperti gambar 8 dan gambar 9 berikut ini :

### Skenario infrastruktur hidrogen di kota Semarang



Gambar 8. Skenario infrastruktur hidrogen di kota Semarang

### Skenario keberlanjutan bisnis infrastruktur hidrogen di kota Semarang



Gambar 9. Skenario keberlanjutan bisnis infrastruktur hidrogen di kota Semarang

Tujuan bisnis pembangunan infrastruktur hidrogen di kota Semarang adalah :

1. Mendukung Penyebaran dan pengoperasian stasiun hidrogen untuk FCV di kota Semarang
2. Mendukung pengembangan stasiun hidrogen untuk FCV di kota Semarang
3. Mendukung Kepemilikan dan pemeliharaan stasiun hidrogen untuk FCV di kota Semarang
4. Promosi FCV di kota Semarang

Modal: Menyesuaikan kebutuhan awal yang berdasarkan kajian penelitian lanjutan.

Skenario Perusahaan Anggota Eksekutif / Perusahaan peserta :

1. Toyota, Honda, dll (Pabrikan mobil/ATPM)
2. PT. PERTAMINA
3. PGN
4. PT. SAMATOR
5. BPD JATENG / BCA, dll ( Perbankan)

Representasi (President) : Pakar Hidrogen di Kota Semarang

Tanggal berdiri : 2020 (atau menyesuaikan)

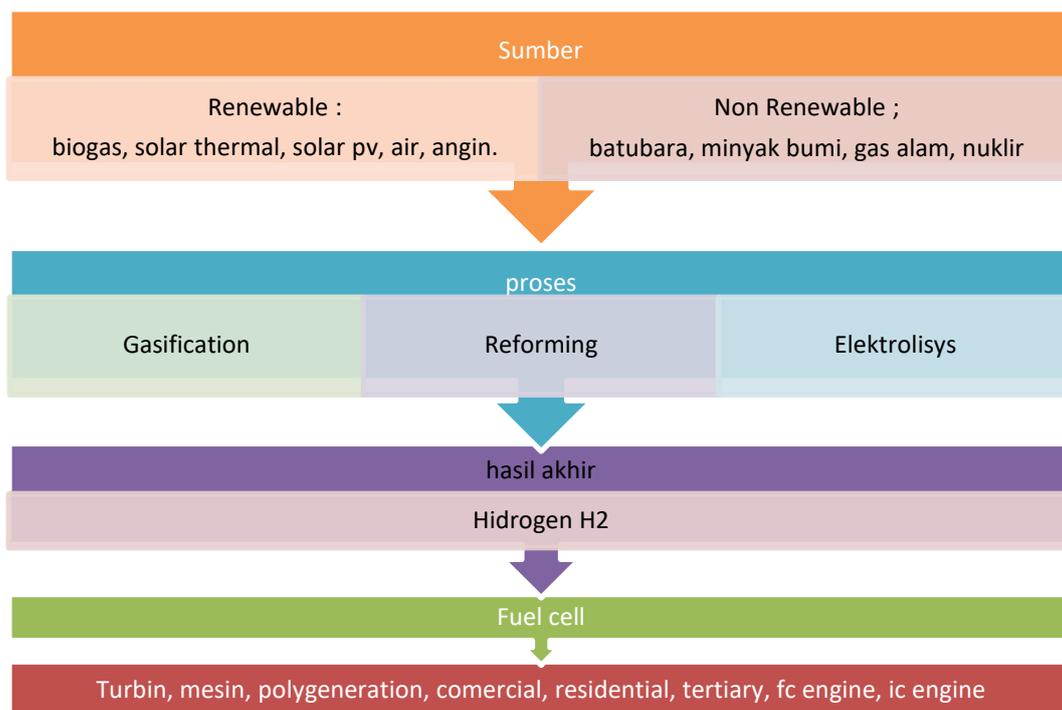
Hasil riset KPMG Global Automotive Executive Survey 2017, menyatakan bahwa 78% teknologi hidrogen merupakan energi alternatif terbaik untuk menghasilkan nol emisi. Sebagai catatan : KPMG merupakan perusahaan jasa auditor profesional yang terkemuka.

Kota Semarang juga bisa mempersiapkan listrik fuel cell karbonat berkapasitas megawatt. Cara kerjanya yaitu memanfaatkan sampah biologis dari limbah pertanian di kota Semarang dan sekitarnya untuk menghasilkan air, listrik dan hidrogen. Seperti Toyota yang merintis pembangkit listrik fuel cell karbonat yang memiliki kapasitas hingga megawatt dan tercatat yang pertama di bumi ini yang menggunakan SPBU hidrogen guna mensuplai listrik dalam perusahaannya di Port of Long Beach (Hilmi, 2018). Masalah utama dalam pemanfaatan gas hidrogen sebagai bahan bakar adalah tidak tersedianya di alam dan kebutuhan akan metode produksi yang murah.

### **Desain infrastruktur hidrogen di kota Semarang dan Jalur menuju ekonomi hidrogen di kota Semarang**

Pakar hidrogen berpendapat Hidrogen akhirnya akan muncul dalam jangka panjang, setelah lebih dari 50 tahun. Salah satu pendorong utama untuk ekonomi hidrogen di kota Semarang adalah perubahan iklim di kota Semarang. Hal tersebut bisa kita gambarkan melalui jalur menuju ekonomi hidrogen dari bahan baku ke *end user*, terlihat pada Gambar 10 Dimana gas hidrogen di bangkitkan dari proses gasifikasi, reforming dan elektrolisis dengan bahan baku seperti batubara, gas alam, biogas, panas matahari, air, angin dan nuklir.

**Skema Jalur menuju ekonomi hidrogen: dari bahan baku hingga penggunaan akhir di kota Semarang**



**Gambar 10. Jalur menuju ekonomi hidrogen: dari bahan baku hingga penggunaan akhir di kota Semarang**

**Pengiriman H<sub>2</sub> di kota Semarang.**

Teknologi yang tersedia saat ini ada beberapa cara distribusi hidrogen (Reuß et al. 2017) menunjukkan bahwa biaya pengiriman dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti konsumsi dan jarak transportasi. Perhitungan keseluruhan biaya ini didasarkan pada empat langkah utama (Reuß et al. 2017), yaitu : Produksi, Penyimpanan, Transportasi dan Pengisian bahan bakar.

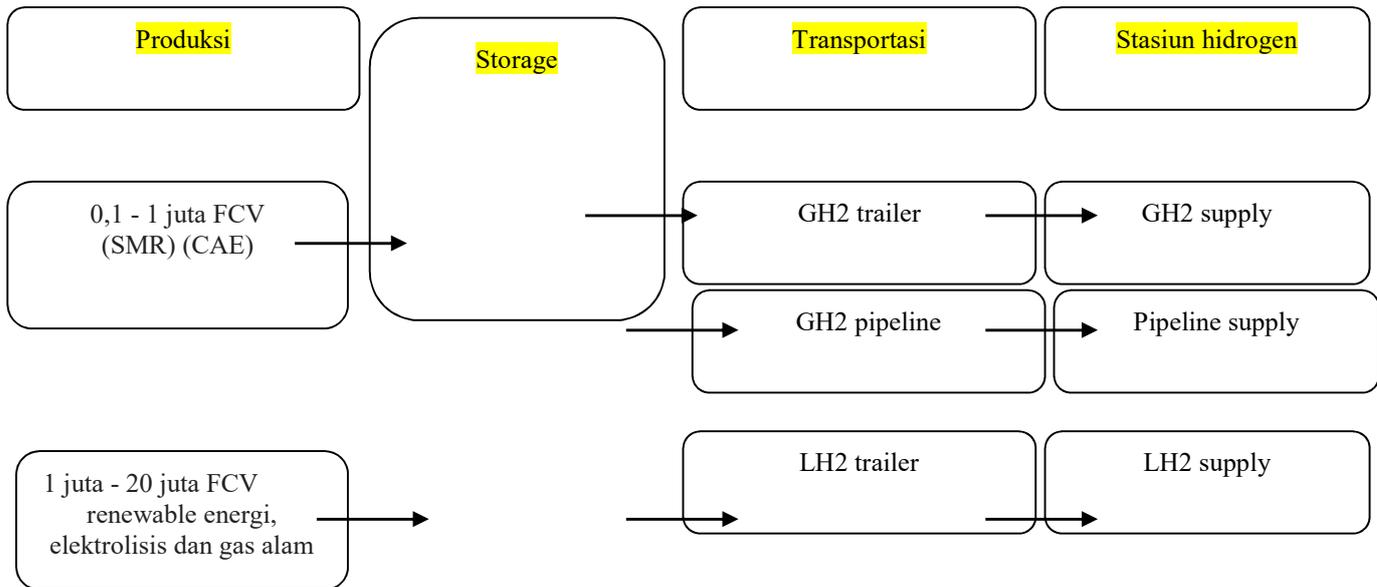
Pada Gambar 11 Untuk 0,1 - 1 juta FCV kita asumsikan bahwa fasilitas produksi di kota Semarang menggunakan uap metana reforming (SMR) dan produk sampingan hidrogen dari elektrolisis klor-alkali (CAE) akan menyediakan jumlah bahan bakar hidrogen yang memadai. Dalam skenario 1 juta - 20 juta FCV, hidrogen bisa diproduksi dari renewable energi,

elektrolisis dan gas alam (Robinius, 2018). Infrastruktur hidrogen di kota Semarang untuk jangka panjang dan lebih kompleks akan membutuhkan fasilitas penyimpanan tambahan untuk menghubungkan antara permintaan dan produksi hidrogen. Pada tulisan ini, penulis mempertimbangkan lima jalur transportasi hidrogen di kota Semarang yaitu :

1. Pipa GH2: Transportasi gas hidrogen (GH2) melalui pipa
2. Trailer GH2: transportasi GH2 melalui trailer
3. Trailer LH2: Transportasi hidrogen cair (LH2) melalui trailer
4. Pipa / trailer GH2: Jaringan pipa untuk transmisi GH2 ke pusat distrik.
5. Transportasi trailer GH2 untuk "jarak tempuh terakhir" ke stasiun pengisian bahan bakar.

Gambaran umum dari semua jalur transportasi hidrogen di kota Semarang yang dipertimbangkan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 11.

### Skenario jalur pengiriman hidrogen di kota Semarang

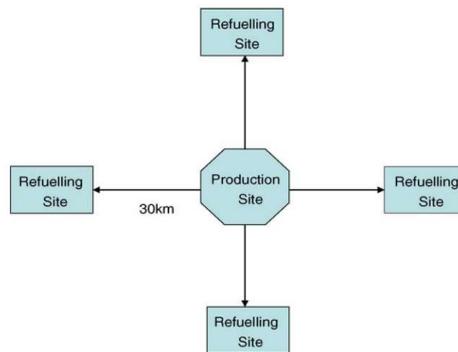


**Gambar 11. Skenario jalur pengiriman H2**

Skenario pada Gambar 12 empat pengisian bahan bakar hidrogen di kota Semarang yang dipasok PT. SAMATOR pada jarak yang sama. Empat stasiun ini berjarak pengiriman sama (antara lokasi produksi dan pengisian bahan bakar) dijaga konstan pada 30 km. Metode produksi diasumsikan menggunakan SMR, dan nilai-nilai dasar dianggap sama untuk semua

parameternya. Karena stasiun pengisian bahan bakar berjarak sama, maka biaya satuan H<sub>2</sub> juga sama (Shayegan, 2006).

### Skenario Lokasi produksi dan pengisian bahan bakar di kota Semarang.



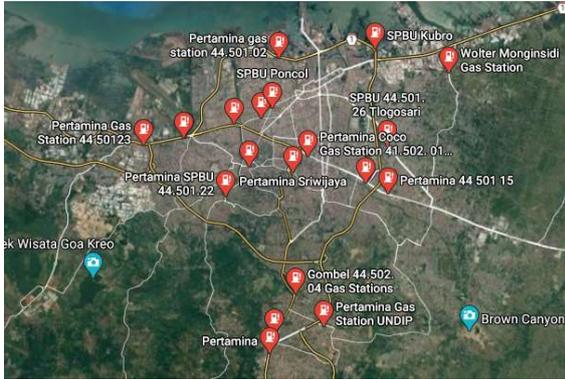
**Gambar 12. Skenario Lokasi produksi dan pengisian hidrogen di kota Semarang.**

Dengan skenario diatas dan melihat pada gambar 13 tentang Persebaran SPBU besar di kota semarang maka dapat kita desain awal infrastruktur SPBU hidrogen dengan menggunakan existing SPBU yang di modifikasi dengan pompa hidrogen. Dengan data perhitungan diatas asumsi 1 SPBU hidrogen memiliki kemampuan menjual 243 GJ/tahun dan asumsi penggunaan FCV di kota Semarang pada tahun 2020 adalah 4%, maka akan ada 4 stasiun awal yang akan dibangun. Stasiun yang akan dibangun sebagai berikut :

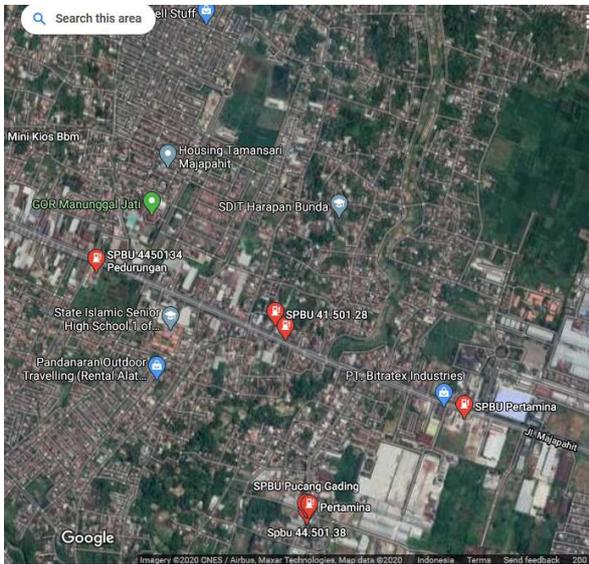
1. Dari semarang ke arah timur yaitu Jalan raya Semarang – Purwodadi di SPBU 44.501.34 di Jalan Majapahit. Pada gambar 14
2. Dari semarang ke arah barat yaitu Jalan raya Semarang – Kendal di SPBU 44.501.27 di Jalan Siliwangi. Pada gambar 15
3. Dari semarang ke arah selatan yaitu Jalan raya Semarang – Ungaran di SPBU 44.502.04 di Jalan raya Gombel. Pada gambar 16
4. Dari semarang ke arah utara yaitu Jalan raya Semarang – Kudus di SPBU 44501.36 di Jalan raya Kaligawe. Pada gambar 17

PEMODELAN INFRASTRUKTUR HIDROGEN UNTUK APLIKASI FUEL CELL DAN DAMPAKNYA TERHADAP ERA EKONOMI HIDROGEN STUDI KASUS DI KOTA SEMARANG

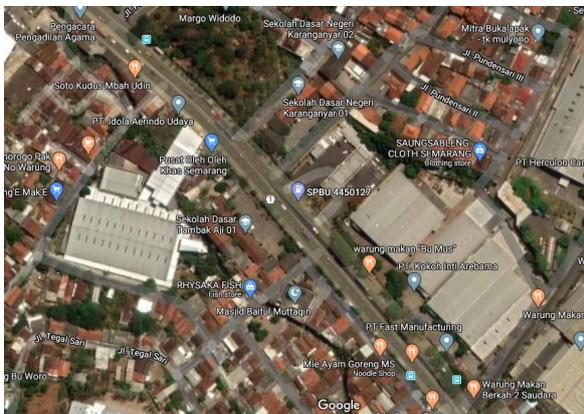
Gambar 15. SPBU di jalur Semarang-



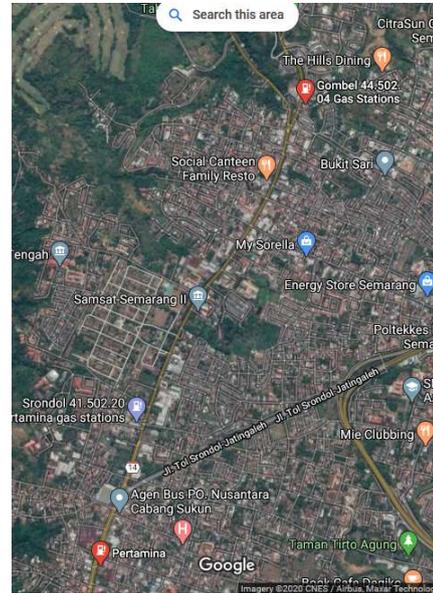
Gambar 13. Persebaran SPBU besar di kota semarang



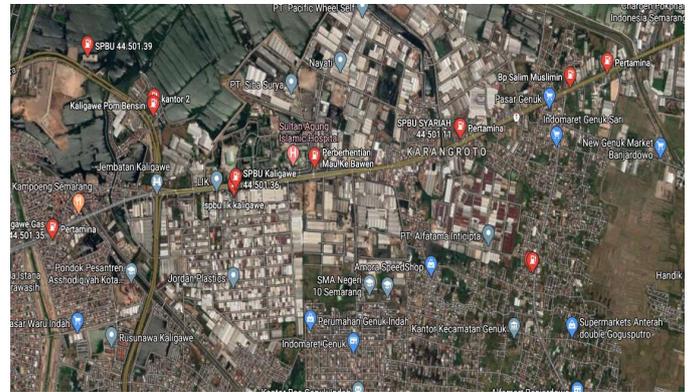
Gambar 14. SPBU di jalur Semarang-Purwodadi



Kendal



Gambar 16. SPBU di jalur Semarang – Solo



Gambar 17. SPBU di jalur Semarang - Kudus

## Kesimpulan

Dengan penelitian ini ditarik kesimpulan bahwa:

1. Prediksi total biaya BBM pada tahun 2020 adalah sebagai berikut :
  - Harga BBM per 1GJ dikalikan dengan total energi (satuan GJ) pada tahun 2020
  - $\text{Rp. } 166.840.527 \text{ (Harga BBM per 1GJ)} \times 24.838\text{GJ (total energi tahun 2020)} = \text{Rp. } 4.143.985.009.626.-$
2. Kapasitas design produksi hidrogen di PT. SAMATOR adalah 1.000 m<sup>3</sup>/jam.
  - Breakdown produksi per hari :  $550 \text{ m}^3/\text{jam} \times 24\text{jam} = 13.200\text{m}^3.$
  - Jika dimaksimalkan produksi selama 360 hari per tahun maka total produksi hidrogen di Semarang adalah 4.752.000m<sup>3</sup>.
  - Pada tahun 2020, kebutuhan hidrogen dikota Semarang = 1.955.780 m<sup>3</sup>. Dengan data penelitian ini bisa di analisa bahwa produksi hidrogen di kota Semarang bisa memenuhi kebutuhan hidrogen untuk transportasi di kota Semarang
3. Analisis kebutuhan permintaan hidrogen dikota Semarang pada tahun 2020 diperoleh dengan cara sebeagai berikut :
  - Harga hidrogen per 1GJ dikalikan dengan total energi (satuan GJ) tahun 2020.
  - Dengan asumsi harga 1GJ hidrogen adalah Rp. 4.881.880 dan Total energi tahun 2020 adalah 24.838GJ, dengan demikian biaya hidrogen di kota Semarang adalah  $\text{Rp. } 4.881.880 \times 24.838\text{GJ} = \text{Rp. } 121.256.135.440$
4. Skenario pada tulisan ini pada tahun 2020 akan dibangun empat pengisian bahan bakar hidrogen di kota Semarang yang dipasok PT. SAMATOR pada jarak (antara lokasi produksi dan pengisian bahan bakar) dijaga konstan kurang dari 30 km. Metode produksi diasumsikan menggunakan SMR, dan nilai-nilai dasar dianggap sama untuk semua parameternya. Karena stasiun pengisian bahan bakar berjarak sama, maka biaya satuan H<sub>2</sub> juga sama.
5. Pada tulisan ini asumsi 1 SPBU hidrogen memiliki kemampuan menjual 243 GJ/tahun dan asumsi penggunaan FCV di kota Semarang pada tahun 2020 adalah 4%, maka akan ada 4 stasiun awal yang akan dibangun dengan menggunakan existing SPBU yang di modifikasi dengan pompa hidrogen. Stasiun yang akan dibangun sebagai berikut :

- a. Dari semarang ke arah timur yaitu Jalan raya Semarang – Purwodadi di SPBU 44.501.34 di Jalan Majapahit. Pada gambar 4.15
- b. Dari semarang ke arah barat yaitu Jalan raya Semarang – Kendal di SPBU 44.501.27 di Jalan Siliwangi. Pada gambar 4.16
- c. Dari semarang ke arah selatan yaitu Jalan raya Semarang – Ungaran di SPBU 44.502.04 di Jalan raya Gombel. Pada gambar 4.17
- d. Dari semarang ke arah utara yaitu Jalan raya Semarang – Kudus di SPBU 44501.36 di Jalan raya Kaligawe. Pada gambar 4.18

## DAFTAR PUSTAKA

- Anon, 2016, *Worldwide Hydrogen Fueling Station*, updated on 8/09, (<http://www.fuelcell.org/info/charts/h2fuelingstations.pdf>), (Diakses tanggal 24 Desember 2017 pk. 08.00pm)
- Akhmad Muawal Hasan, 2017, **Selamat Datang Era Mobil Hidrogen**, <https://tirto.id/selamat-datang-era-mobil-hidrogen-ch4s>
- Ahied, Mochammad, 2015, efisiensi material pada pembangkit listrik tenaga nuklir lwr (light water reactor) dan phwr (pressurized heavy water reactor), Universitas Trunojoyo, Madura.
- Anonim, 2015, <http://www.satuenergi.com/2015/12/bahan-bakar-sel-hidrogen-kelebihan-dan.html> diakses pada 15/3/2018 pk. 08.00pm
- Anonim, 2015 <http://intisolar.com/news/dampak-pemakaian-energi-fosil/> diakses tanggal 15/03/2018 pk. 08.00pm
- Alimah, Siti dan Sriyono, 2013, *Kajian penentu jarak jarak aman instalasi produksi hidrogen dengan RGTT200K*. Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN)-BATAN, Jl. Kuningan Barat, Mampang Prapatan, Jakarta Selatan.
- Aries, R.S. and Newton, R.D., 1954, *Chemical Engineering Cost Estimation*, Mc.Graw Hill Book Company Inc., New York
- Armawati, Yeni, 2013, *Implementasi Peraturan Walikota Semarang Nomor 5 Tahun 2009 Tentang Petunjuk Pelaksanaan Peraturan Daerah Kota Semarang Nomor 13 Tahun 2006 Tentang Pengendalian Lingkungan Hidup Terhadap Mekanisme Kegiatan Pengendalian Pencemaran Udara Di Wilayah Semarang Timur*, Fakultas Hukum, Universitas Negeri Semarang.
- BPS Kota Semarang, 2016, *Kota Semarang dalam Angka*, Pemerintah Kota Semarang.
- BPS Kota Semarang, 2017, *Banyaknya Kendaraan Bermotor dirinci menurut Jenis Kendaraan, 2012-2014*, (<https://semarangkota.bps.go.id/linkTabelDinamis/view/id/23>), (Diakses tanggal 24 Desember 2017 8.00 PM).
- Chan CC, 2007, *The state of the art of electric, hybrid, and fuel cell vehicles. Proc IEEE*; VOL. 90, NO. 2, Publisher Item Identifier S 0018-9219(02)01129-5, Department of Electrical and Electronic Engineering, the University of Hong Kong, Hong Kong.
- Dinata, M Ridho, 2011, *Fuel cell sebagai energi alternatif pada motor bakar*, Fakultas Teknologi Industri Jurusan Teknik Mesin – Universitas Kristen Petra, Jakarta.
- Ecotricity, 2017, *The end of fossil fuels* (<https://www.ecotricity.co.uk/our-green-energy/energy-independence/the-end-of-fossil-fuels>), (Diakses tanggal 24 Desember 2017 8.00 PM).
- EU project SOLREF, 2016, *Hydrogen production via solar reforming of Hydrocarbons*, <http://www.pre.ethz.ch/research/projects/?id=solref> (diakses 01-02-2018 7:27 PM)
- Fatkul Maskur, 2018, JHyM, 11 Perusahaan Jepang Kembangkan Stasiun Hidrogen Bagi FCV, <http://otomotif.bisnis.com/read/20180305/275/745966/jhym-11-perusahaan-jepang-kembangkan-stasiun-hidrogen-bagi-fcv> diakses pada 2 Agustus 2018.
- Fung Michele, 2005, fact, <https://hypertextbook.com/facts/2005/MichelleFung.shtml> diakses pada 2 Agustus 2018.

- Grube, M, 2004, *Tankstellengeschichte in Deutschland*, (<http://www.geschichtsspu ren.de/artikel/34-verkehr/138-tankstellengeschichte.html>). (Diakses tanggal 24 Desember 2017 8.00 PM)
- Gnann Till, Patrick Plötz, 2015, *A review of combined models for market diffusion of alternative fuel vehicles and their refueling infrastructure*, Fraunhofer Institute for Systems and Innovation Research ISI, Breslauer Strasse 48, 76139 Karlsruhe, Germany
- Hilmi, 2018, Bahan bakar hidrogen, <https://www.ikons.id/toyota-sedang-membangun-pembangkit-listrik-raksasa-yang-mengubah-biowaste-menjadi-bahan-bakar-hidrogen/> diakses pada 2 Agustus 2018.
- Lemus Guerrero. R & Martínez-Durant. J.M., 2010, *Updated hidrogen production cost and partities for conventional and renewable technologies*, *International Journal of Hidrogen Energi* 35, 3929–3936, Spanyol.
- Hasan, Achmad, 2011, Aplikasi sistem fuel cell sebagai energi ramah lingkungan di sektor transportasi dan pembangkit, Jakarta.
- Handajani Mudjiastuti, 2014, Konsumsi bahan bakar minyak kota semarang dan kota Surakarta ditinjau dari system transportasi dan tipologi kota, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Semarang
- Hamelinck CN, Faaij APC, 2002, Future Prospects For Production Of Methanol And Hidrogen From Biomass. *J Power Sources*;111:1- 22.
- Harvenda Aris F, 2015 <https://olahragakompas.com/read/2015/10/29/105336915/Alasan.Mengapa.Mirai.Sulit.Hidup.di.Indonesia> diakses pada 15/03/2018 pk. 01.35AM
- Hendrata, Suhada, 2011, *Fuel Cell Sebagai Pengganti Motor Bakar Pada Kendaraan*, Univ Sriwijaya, Ogan ilir.
- Hidayati Nur, 2005, Prarancangan pabrik hidrogen peroksida proses autooksidasi 2-Ethilanthraquinone kapasitas 40.000 ton per tahun, Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sebelas Maret, Surakarta
- Isdiriyani Nurdin, 2005, <http://www.energi.lipi.go.id/utama.cgi?artikel&1113609431&5> diakses pada 15/03/2018 pk. 01.35AM
- KESDM, 2015, *RENSTRA KESDM 2015-2019*, Jakarta.
- Korompot, M. N., 2011, “BP Migas Diminta Tinjau Harga Gas Wajo”, *Bisnis KTI*, <http://www.bisnis-kti.com/index.php/2011/07/bp-migas-diminta-tinjau-harga>, diakses 1 Januari 2018 7:27 PM.
- Kim J. W. , K. J. Boo , J. H. Coo and I. Moon, 2014, *Challenges in the development of an infrastructure for hidrogen production, delivery, storage and use*, Korea Institute of Energi Research, Republic of Korea
- LEAP User Guide, 2006. Dokumen Teknis, Stockholm Environment Institute, Stockholm, 2006
- Liun Edwaren, 2011, *Analisis Keekonomian Bahan Bakar Produk Nabati dan Hidrogen Nuklir*. Pusat Pengembangan Energi Nuklir (PPEN) –BATAN, Jakarta
- Metz, S, 2005, *European Hidrogen Technology*. Linde Technology, Berichte aus Technik und Wissenschaft, Berlin, Germany
- Matthew, Mench M., 2008. *Fuel Cell Engines*, Jhon Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. United States of America

- Muradov NZ, Veziroglu TN, 2005, *From Hydrocarbon To Hidrogenecarbon To Hidrogen Economy. Int J Hidrogen Energi*;30:225-37
- National Renewable Energi Laboratory, *Current (2009) State-of-the-Art Hidrogen Production Cost Estimate Using Water Electrolysis, Independent Review*, Published for the U.S. Department of Energi Hidrogen Program, National Renewable Energi Laboratory, Colorado, September 2009, <http://hidrogen.energi.gov/pdfs/46676.pdf>. (diakses pada tanggal 3 Januari 2018 8.00 PM)
- Neef, H-J, 2009, International overview of hidrogen and fuel cell research, <https://doi.org/10.1016/j.energi.2008.08.014>, Project Management Juelich (PtJ), Research Centre Juelich, D 5245 Juelich, Germany
- Ofyar, Z Tamin, 2011, Menuju terciptanya sistem transportasi kota hemat energi dan ramah lingkungan. *Institut Teknologi Bandung, Bandung*.
- Peters, M. S., K. D. Timmerhaus, and R. West, *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*, Fifth Edition, McGraw-Hill, 2003.
- Polites, M. E, 1999, Technology of automated rendezvous and capture in space, *Journal of Spacecraft and rockets* 36.2 (): 280-291. Alabama, USA
- Kahn Ribeiro S, Kobayashi S, Beuthe M, Gasca J, Greene D, Lee DS, et al. 2007. *Transport and its infrastructure*. In: Metz B, Davidson OR, Bosch PR, Dave R, Meyer LA, editors. Technical report. *Working group III to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, Cambridge, United Kingdom, New York, NY, USA
- Mustakim, Aksa, 2013, *Analisis Konsumsi BBM Kota Semarang Ditinjau dari Sistem Transportasi Kota dan Tipologi Kota*, Tesis, Program Magister Teknik Sipil, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Rabia, Shabbir, Sheikh, S.A, 2010, Monitoring urban transport air pollution and energi demand in Rawalpindi and Islamabad using leap model. *Energi policy* 35, 2323-2332
- Reuß, M.; Grube, T.; Robinius, M.; Preuster, P.; Wasserscheid, P.; Stolten, D.: *Seasonal storage and alternative carriers: A flexible hydrogen supply chain model*. In: *Applied Energy* (2017).
- Robinius Martin, Jochen Linßen, Thomas Grube, Markus Reuß, Peter Stenzel, Konstantinos Syranidis, Patrick Kuckertz and Detlef Stolten, 2018, Comparative Analysis of Infrastructures:  
Hydrogen Fueling and Electric Charging of Vehicles
- Rosyid, Oo Abdul, 2009, *Infrastruktur hidrogen untuk aplikasi fuel cell dalam era ekonomi hidrogen*, Balai Besar Teknologi Energi (B2TE-BPPT), Kawasan Puspiptek Serpong, Tangerang.
- Rosyid, O.A., 2006, *System-Analytic Safety Evaluation of the Hidrogen Cycle for Energetic Utilization*, Disertasi, O-v-G- University Magdeburg, Jerman.
- Rosyid, O.A. and A. Hadianto, 2002, *Hidrogen as Alternative Fuel for Future Transportation System*, Proceeding of the 7th ISSM, Berlin.
- Sampoerno, 2018, hidrogen, <http://www.anekagas.com/id/product/pages-detail/hidrogen> diakses pada 2 Agustus 2018.
- Sampoerno, 2018, sistem gas di lokasi, <http://www.anekagas.com/id/product/pages-detail/sistem-gas-di-lokasi> diakses pada 2 Agustus 2018.

- Shayegan S. D. Hart, P. Pearson, D. Joffe 2006 Analysis of the cost of hidrogen infrastructure for buses in London \*, Department of Environmental Policy, Imperial College, RSM Building, London SW7 2BP, UK Received 3 October 2005; received in revised form 16 December 2005; accepted 20 December 2005 Available online 8 February
- Schultz, K. R., At all, 2003, *Large-Scale Production of Hidrogen By Nuclear Energi For The Hidrogen Economy*, work supported by the U.S. Department of Energi under grant No. DE-FG03-99SF21888 GENERAL ATOMICS PROJECT 49009, U.S.
- Sutarno, Abdul Malik, 2016, *Kajian produksi energi hidrogen menuju transisi ekonomi bebas CO2. Jurusan Teknik Kimia – Tekstil, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia1, Jl. Kaliurang Km.14,5, Sleman, Yogyakarta, 55584*
- Sutarno, 2008, Sistem produksi hidrogen dengan proses kombinasi termolisis dan elektrolisis air menggunakan energi surya, Prosiding Seminar Nasional Teknoin, Jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Jl Kaliurang km 14 Yogyakarta
- Sutarno 1, H. Malik KH2 dan Faisal RM3, 2012, Hidrogen dari biomassa scenario sekarang dan prospeknya di masa depan, *Teknoin Vol. 18 No. 4 Desember 2012 : 01- 17 Jurusan Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Jl.Kaliurang Km.14.5, Yogyakarta*
- Stygar, M. and Brylewski, T, 2012, Towards a hidrogen economy in Poland, *International Journal of Hidrogen Energi* 38 1–9.
- Traduka, <http://tradukka.com/unit/energi/kilocalorie-it/gigajoule> Diakses tanggal 24 Desember 2017 8.00 PM
- The World Bank, 2014. Low-emission transport, (<http://www.worldbank.org/en/topic/transport/brief/low-emission-transport>; Diakses tanggal 24 Desember 2017 8.00 PM)
- Tzimas, E., C. Filiou, S.D. Peteves, J.B.Veyret, 2003, *Hidrogen Storage. State-of-The-Art and Future Perspective*, European Commssion, EUR 20995 EN, The Netherland,.
- Yang, C.; Ogden, J.: *Determining the lowest-cost hydrogen delivery mode*. In: *International Journal of Hydrogen Energy* 32 (2007), pp. 268-286.
- Yusuf, M. Rido, 2014, estimasi penggunaan bahan bakar pada kendaraan angkutan umum brt di semarang sampai tahun 2030 menggunakan software leap, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro