

Elektrolisis Air Laut untuk Produksi Garam dan Hidrogen sebagai Sumber Energi Generator Penerangan *Fuel-Cell* pada Rumah Masyarakat Sekitar Lokasi Produksi Garam

Resa Taruna Suhada^{1*}, Yani Iriani², dan Dwi Priyanto³

^{1,3)} Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana
Jl. Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta Barat 11650

²⁾ Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Widyatama

Email: resa.taruna@mercubuana.ac.id*, yani.iriiani@widyatama.ac.id, dan dwi.priyanto@mercubuana.ac.id

Abstrak

Industri garam di Indonesia sangat menarik untuk dikaji karena banyak permasalahan dalam industri garam seperti harga garam jatuh saat panen. teknologi masih tradisional dan belum ada diversifikasi produksi garam. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji perkiraan ekonomi jika dilakukan diversifikasi produksi hidrogen pada produksi garam menggunakan teknologi hidrolisis air laut. Perkiraan ekonomi ini dilakukan untuk dua hal. yaitu pertama jika hidrogen sebagai hasil elektrolisis dijual kepada industri dan kedua jika hidrogen tersebut digunakan sebagai sumber energi generator pembangkit listrik fuel-cell untuk rumah masyarakat di sekitar tempat produksi garam. Metode yang digunakan adalah metode konversi energi hidrogen menjadi energi listrik dan metode perhitungan nilai ekonomi hidrogen jika dijual ke industri. Hasil dari penelitian ini adalah Potensi penghasilan tambahan jika memproduksi hidrogen dan dijual kepada industri paling tinggi sebesar Rp 1.328.554.519/ petambak/ tahun dibandingkan jika hanya memproduksi garam dengan metode tradisional yaitu sebesar Rp 30.163.501/ petambak/ tahun. Potensi produksi energi listrik dari hidrogen menggunakan generator fuel-cell paling tinggi mencapai 464.031MWh/ tahun. Potensi energi listrik tersebut dapat mencukupi keperluan listrik untuk rumah tinggal petambak garam bahkan untuk seluruh rumah tinggal nelayan di Indramayu dan Cirebon. Namun hasil analisis kelayakan ekonomi menunjukkan bahwa proyek penggantian sumber Listrik dari PLN menjadi Listrik dari generator fuel-cell belum layak untuk digunakan.

Kata kunci: Hidrogen; industri garam; produksi hydrogen dari air laut; generator fuel-cell; elektrolisis air laut

Abstract

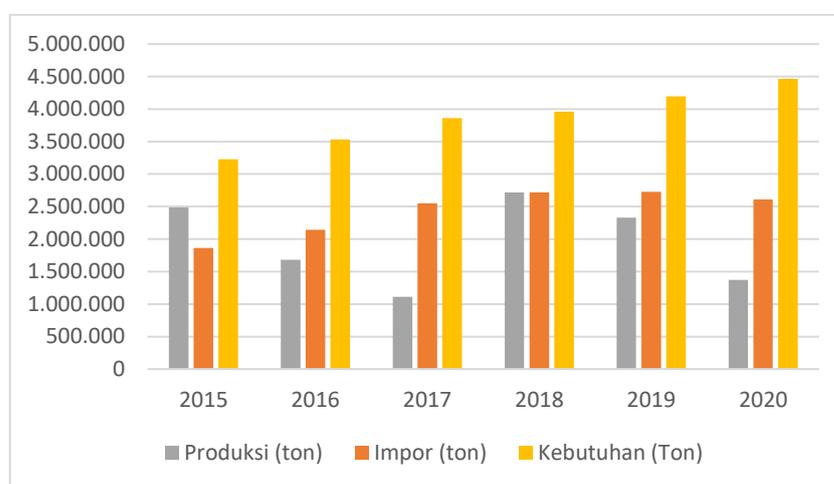
The salt industry in Indonesia is very interesting to study because there are many problems in the salt industry such as falling salt prices during harvest. The technology is still traditional and there has been no diversification of salt production. This study was conducted to examine the economic estimates if hydrogen production is diversified in salt production using seawater hydrolysis technology. This economic estimate is made for two things. namely first if hydrogen as a result of electrolysis is sold to industry and second if the hydrogen is used as an energy source for fuel-cell power generators for people's homes around the salt production site. The method used is the method of converting hydrogen energy into electrical energy and the method of calculating the economic value of hydrogen if sold to industry. The results of this study are the potential for additional income if producing hydrogen and selling it to industry is the highest at IDR 1,328,554,519/salt farmer/year compared to only producing salt using traditional methods, which is IDR 30,163,501/farmer/year. The potential for producing electrical energy from hydrogen using a fuel-cell generator is the highest at 464,031MWh/year. The potential of electrical energy

can meet the electricity needs for salt farmers' homes and even for all fishermen's homes in Indramayu and Cirebon. However, the results of the economic feasibility analysis show that the project to replace the electricity source from PLN to electricity from fuel-cell generators is not yet feasible to use.

Keywords: *Hydrogen; salt industry; hydrogen production from seawater; fuel-cell generator; seawater electrolysis*

PENDAHULUAN

Garam merupakan komoditi strategis yang tidak kalah pentingnya dengan kebutuhan pokok lainnya. hal ini disebabkan karena garam merupakan bahan baku industri dan bahan pangan bagi masyarakat Indonesia. Sebagian besar garam yang diproduksi di Indonesia di butuhkan untuk industri CAP (Industri Clor. Alkali Plan/CAP). rumah tangga dan industri pangan. farmasi dan perminyakan. (Makhfud et al. 2012).



Gambar 1. Data Produksi, Kebutuhan dan Impor Garam Indonesia 2015-2020 (Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian. 2019) (Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2020)

Dari data di atas terlihat bahwa produksi garam nasional masih lebih rendah dari kebutuhan garam di Indonesia. Untuk memenuhi kebutuhan garam tersebut maka telah diupayakan pengembangan garam rakyat diperlukan untuk mencapai tujuan tersebut sekaligus untuk kesejahteraan masyarakat pesisir baik secara intensifikasi, ekstensifikasi, maupun revitalisasi lahan tambak. Hal itu tercantum pada Inisiasi Swasembada Garam Nasional (ISGN).

Ketersediaan energi domestik pada tahun 2030 diperkirakan hanya mampu memenuhi 75% permintaan energi nasional. dan akan terus menurun hingga sekitar 28% pada tahun 2045.

Sehingga akhir-akhir ini penggunaan energi dari fosil mulai dikurangi dan mulai beralih ke Energi Baru dan Terbarukan (EBT). Salah satu sumber EBT adalah energi hidrogen. Hidrogen adalah salah satu sumber energi bagi industri di masa depan. Hal ini karena hidrogen merupakan pembawa energi yang dapat digunakan untuk menyimpan, memindahkan, dan menyalurkan energi yang dihasilkan dari sumber lain.

Saat ini garam diproduksi dari air laut tanpa menghasilkan hidrogen. dengan perubahan teknologi produksi garam dari air laut menggunakan teknik hidrolisa maka akan ada produk lain yaitu hidrogen. Hidrogen ini bisa dimanfaatkan untuk dua hal yaitu

dijual langsung ke industri yang menggunakan hidrogen atau dijadikan sumber energi generator untuk energi listrik di perumahan penduduk atau untuk pabrik. Hal tersebut yang menjadi latar belakang sehingga perlunya dilakukan penelitian ini.

Menurut KKP (2020), salah satu permasalahan pergaraman nasional adalah belum adanya diversifikasi produk sehingga pemerintah telah membuat program diversifikasi produk melalui kegiatan meningkatkan nilai tambah pada produk turunan garam (Artemia. Garam Spa. Garam Souvenir dan lain-lain.). Selain itu penggunaan teknologi dalam pergaraman rakyat masih belum optimal. Dari kondisi tersebut maka dipandang perlu untuk dilakukan penelitian alternatif produksi garam air laut melalui teknik hidrolisis sehingga diperoleh garam dan hidrogen sebagai produk tambahan.

Menurut Vladimir M. Sedivy (2008), garam murni sangat berharga untuk manufaktur diantaranya untuk produsen kloralkali. Industri ini bersedia membayar harga yang lebih tinggi untuk garam yang lebih murni.

METODE PENELITIAN

Kajian penelitian sebelumnya

Hidrogen telah muncul sebagai bagian penting dari bauran energi bersih yang diperlukan untuk memastikan masa depan yang berkelanjutan. Penurunan biaya hidrogen yang diproduksi dengan energi terbarukan, ditambah dengan urgensi pengurangan emisi gas rumah kaca, telah memberikan momentum yang bagus untuk penggunaan energi hidrogen. (IRENA. 2019)

Hidrogen dapat memainkan peran penting di masa depan karena penggunaan hidrogen memungkinkan sistem energi yang lebih aman dan mengurangi ketergantungan bahan bakar fosil. Energi hidrogen dapat dimanfaatkan untuk berbagai sektor diantaranya transportasi, industri, dan kelistrikan. (Staffell. 2019)

Skenario kelistrikan di Malaysia menunjukkan bahwa fuel-cell generator adalah solusi yang sangat baik sebagai energi alternatif terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik untuk perumahan di negara ini. (Zakaria. Z.et al..2021)

Sedangkan penggunaan Fuel Cells untuk rumah tangga khususnya untuk pendinginan perumahan telah dicoba di Ghardaia dengan hasil bahwa PEMFC adalah solusi yang menjanjikan (Bendaikha. Larbi. & Mahmah. 2011).

Jenis Fuel cells Proton Exchange Membrane Fuel Cells (PEMFC) sesuai untuk pembangkit listrik skala kecil seperti untuk catudaya listrik di perumahan (sel bahan bakar home system) (Oktaufik. 2009)

Teknik produksi garam di daerah Losarang Indramayu menggunakan metode tradisional (Widiarto. S.B.. 2013)

Menurut Vladimir M. Sedivy (2008) garam murni sangat berharga untuk manufaktur diantaranya untuk produsen kloralkali. Industri ini bersedia membayar harga yang lebih tinggi untuk garam yang lebih murni.

Metode pengumpulan data

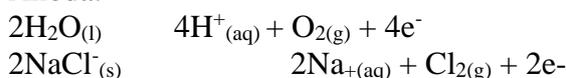
Penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data dokumen (data sekunder) dari perusahaan yang berhubungan dengan produksi garam dan jumlah rumah masyarakat sekitar sentra produksi garam.

Metode pengolahan data

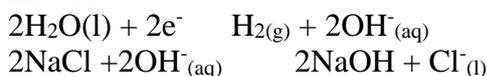
Pengolahan data dilakukan dengan perhitungan potensi volume hydrogen yang dihasilkan dan potensi daya listrik yang dihasilkan jika digunakan generator fuel-cell.

Perhitungan potensi produksi hydrogen berdsarkan persamaan kimia berikut (Fahlunnazar. 2020). (Gidon et al. 2018). (Jiang. S..2022):

Anoda: (1)



Katoda: (2)



Total



Perhitungan konversi energi hydrogen menjadi energi Listrik menggunakan persamaan berikut:

Jika digunakan sel fuel dengan efisiensi 60% maka diperlukan 1.666 kWh energi kimia untuk menghasilkan 1 kWh energi listrik. Sedangkan 1 kWh setara dengan 3.6 MegaJoule. Satu kilogram hidrogen mengandung 141.8 megajoule.

Jadi. $1.666\text{kWh} = 1.666 * 3.6 / 141.8 = 42.3$ gram hidrogen.

Hidrogen memiliki berat atom 2. jadi 22.4 liter gas pada suhu dan tekanan standar memiliki 2 gram di dalamnya.

Sehingga. 42.3 gr H_2 setara dengan $42.3 * 22.4 / 2 = 473.75$ liter H_2 pada suhu dan tekanan standar. (Committee on Alternatives and Strategies for Future Hydrogen Production and Use. 2004)

Metode analisis data

Analisis mengenai ketercukupan hidrogen sebagai sumber energi generator fuel-cell untuk perumahan pada tahun 2021 untuk rumah tinggal di sekitar sentra produksi garam dan potensi nilai ekonomi jika hidrogen tersebut dijual ke industri.

Analisis Kelayakan Ekonomi

- Net Present Value (NPV)

$$NPV = \sum_{i=0}^{n=0} \left[(b_i - c_i) \left(1 + \left(\frac{r}{100} \right) \right)^i \right]^{-1}$$

dimana:

NPV = nilai sekarang bersih

b_i = manfaat pada tahun i

c_i = biaya pada tahun i

r = suku bunga diskonto (discount rate)

n = umur ekonomi proyek, dimulai dari tahap perencanaan sampai akhir.

Apabila NPV positif atau $NPV > 0$ maka kriteria kelayakan ekonomi pada proyek diterima. Sebaliknya apabila $NPV < 0$ maka kriteria usulan proyek tersebut tidak layak, apabila $NPV=0$ maka usulan proyek tersebut netral dan perlu ditinjau kembali (W, 2015)

- Internal Rate Return (IRR)

$$IRR = i_1 + (i_2 - i_1) \frac{NPV_1}{NPV_1 + NPV_2}$$

IRR = arus pengembalian internal

i_1 = tingkat bunga yang menghasilkan NPV negatif terkecil

i_2 = tingkat bunga yang menghasilkan NPV positif terkecil

NPV_1 = nilai sekarang dengan menggunakan i_1

NPV₂= nilai sekarang dengan menggunakan i₂

Apabila IRR >discount factor, maka usulan proyek diterima. Sebaliknya, apabila IRR <discount factor, maka usulan proyek tersebut belum dapat diterima (Prastiwi & Utomo, 2013).

- Return on Invesment (ROI)

$$ROI = \frac{\text{annual cash flow}}{\text{total cash invested}} \times 100\%$$

- Benefit Cost Ratio (BCR)

$$BCR = \frac{\text{presenta value benefit}}{\text{capital cost}} \times 100\%$$

Hasil BCR dari suatu proyek dikatakan layak secara ekonomi bila nilai BCR lebih besar dari 1 (BCR>1) (Amirullah et al., 2017).

- Payback Period (PP)

$$PP = \frac{n + (a + b) \times 1}{c - b}$$

dimana:

n = tahun terakhir dimana jumlah arus kas masih belum bisa menutup investasi mula-mula

a = jumlah investasi mula-mula

b = jumlah kumulatif arus kas pada tahun ke n

c = jumlah kumulatif arus kas pada tahun n+1

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data produksi dan harga garam

Luas lahan garam di Kabupaten Indramayu mencapai 2.714 Ha. Terdapat tiga sentra garam terbesar di Kabupaten Indramayu. yaitu Krangkeng. Kandanghaur dan Losarang yang menghasilkan 335.000 ton garam pada tahun 2018 dengan produktivitas 117 ton/ha.

Tabel 1. Data Produksi. Kebutuhan dan Impor Garam Indonesia 2015-2020

Tahun	Impor (ton)	Produksi (ton)	Kebutuhan (Ton)
2015	1.864.049	2.485.111	3.227.279
2016	2.143.743	1.680.540	3.532.887
2017	2.552.283	1.111.395	3.862.925
2018	2.718.659	2.719.256	3.960.945
2019	2.724.772	2.327.078	4.197.622
2020	2.608.043	1.370.000	4.464.670

(Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian. 2019)

(Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2020)

Tabel 2. Data Kebutuhan Garam Nasional Tahun 2021

No	Sektor	Kebutuhan (ton)	Proporsi (%)	Alokasi
1	Industri Manufaktur	3.860.896	84	Impor
2	Rumah Tangga	325.496	7	Garam lokal
3	Komersil	397.803	8.5	Garam lokal
4	Peternakan/ Perkebunan	22.357	0.5	Garam lokal

Garam Lokal 1.528.653 ton Alokasi Impor 3.077.901 ton

Petani/Petambak 1.146.253 ton PT Garam 219.458 ton

(Sumber : Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Diolah BPS. 2021)

Tabel 3. Data Produksi garam di Cirebon dan Indramayu

Jenis Usaha	Prov.	Kab./Kota	2017 (ton)	2018 (ton)	2019 (ton)	2020 (ton)
Tambak	Jawa Barat	Kota Cirebon	63.363.30	0.00	30.000.00	6.000.00
		Kab. Cirebon	0.00	185.860.28	152.799.50	2.810.96
		Kab. Indramayu	167.930.77	285.242.41	280.964.34	37.071.86
Total			231.294.07	471.102.69	463.763.84	45.882.82

(Sumber: KKP. 2020)

Setiap satu hektar lahan biasanya digarap oleh satu orang penggarap. Terdapat tiga sistem usaha yang digunakan yaitu sendiri, bagi hasil dan integrasi lahan. Sistem bagi hasil ada dua yaitu $\frac{1}{2}$ untuk pemilik lahan dan $\frac{1}{2}$ untuk penggarap, atau $\frac{1}{3}$ untuk pemilik lahan dan $\frac{2}{3}$ untuk penggarap. Tetapi sebagian besar menggunakan sistem bagi hasil $\frac{1}{2}$ untuk pemilik lahan dan $\frac{1}{2}$ untuk penggarap. Sistem integrasi dilakukan oleh koperasi untuk mendapatkan bantuan dari Dinas Kelautan dan Perikanan dimana lahan integrasi dicetak oleh KKP. (Kemendag. 2020)

Tabel 4. Data Harga Garam Rakyat

No	Tahun	Harga di tingkat petambak (Rp/ ton)
1	2016	3.400.000
2	2017	8.160.000
3	2018	5.800.000

(S. L. Moqoddas., S. Subari. 2020)

No	Tahun	Harga di tingkat petambak (Rp/ kg)
1	2019	150 - 200
2	2020	450 - 600

(Sumber: Kemendag. 2019)

(Sumber: Republika. 2020)

Data Petambak Garam

Tabel 5. Data Petambak Garam

Jenis Usaha	Provinsi	Kabupaten	2019	2020
Garam Tambak	Jawa Barat	Cirebon	1.015	841
		Indramayu	2.056	1.507
		Kota Cirebon	4	2
Total			3.075	2.350

(Sumber: KKP. 2021)

Tabel 6. Data Petambak Garam Cirebon Tahun 2018

Kecamatan	Petambak (Orang)	Luas Lahan (ha)	Produksi (ton)
(1)	(2)	(3)	(4)
Waled	-	-	-
Pasaleman	-	-	-
Ciledug	-	-	-
Pabuaran	-	-	-
Losari	194	150	150
Pabedilan	-	-	-
Babakan	-	-	-

Kecamatan	Petambak (Orang)	Luas Lahan (ha)	Produksi (ton)
Gebang	210	136	50 796
Karangsembung	-	-	-
Karangwareng	-	-	-
Lemahabang	-	-	-
Susukan Lebak	-	-	-
Sedong	-	-	-
Astanajapura	-	-	-
Pangenan	1 900	1 550	301 940
Mundu	118	41	4 161
Beber	-	-	-
Greged	-	-	-
Talun	-	-	-
Sumber	-	-	-
Dikupuntang	-	-	-
Palimanan	-	-	-
Plumbon	-	-	-
Depok	-	-	-
Weru	-	-	-
Plered	-	-	-
Tengahtani	-	-	-
Kedawung	-	-	-
Gunungjati	4	10	128
Kapetakan	386	288	1 726
Suranenggala	14	16	626
Klangenan	-	-	-
Jamblang	-	-	-
Arjawinangun	-	-	-
Panguragan	-	-	-
Ciwaringin	-	-	-
Gempol	-	-	-
Susukan	-	-	-
Gegesik	-	-	-
Kaliwedi	-	-	-
Cirebon	2 826	2 191	359 527

(Sumber: Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Cirebon 2018)

Data Jumlah Nelayan Cirebon dan Indramayu

Tabel 7. Data Jumlah Nelayan Cirebon

Kecamatan	Nelayan Penuh	Nelayan Sambilan Utama
Waled	-	-
Pasaleman	-	-
Ciledug	-	-
Pabuaran	-	-
Losari	1 200	-
Pabedilan	-	-

Kecamatan	Nelayan Penuh	Nelayan Sambilan Utama
Babakan	-	-
Gebang	6 825	-
Karangsembung	-	-
Karangwareng	-	-
Lemahabang	-	-
Susukan Lebak	-	-
Sedong	-	-
Astanajapura	-	54
Pangenan	976	-
Mundu	593	1 670
Beber	-	-
Greged	-	-
Talun	-	-
Sumber	-	-
Dikupuntang	-	-
Palimanan	-	-
Plumbon	-	-
Depok	-	-
Weru	-	-
Plered	-	-
Tengahtani	-	-
Kedawung	-	-
Gunungjati	3 700	-
Kapetakan	1 178	-
Suranenggala	996	-
Klangenan	-	-
Jamblang	-	-
Arjawinangun	-	-
Panguragan	-	-
Ciwaringin	-	-
Gempol	-	-
Susukan	-	-
Gegesik	-	-
Kaliwedi	-	-
Cirebon	15 468	1 724

(Sumber: BPS Kab. Cirebon. 2018)

Tabel 8. Data Nelayan Indramayu Tahun 2017

Wilayah Kecamatan	Status Nelayan	
	Pemilik (RTP)	Buruh (RTBP)
	2017	2017
Hargeulis	-	-
Gantar	-	-
Kroya	-	-
Gabuswetan	-	-
Cikedung	-	-
Terisi	-	-

Wilayah Kecamatan	Status Nelayan	
	Pemilik (RTP)	Buruh (RTBP)
	2017	2017
Lelea	-	-
Bangodua	-	-
Tukdana	-	-
Widasari	-	-
Kertasemaya	-	-
Sukagumiwang	-	-
Krangkeng	-	-
Karangampel	161	773
Kedokanbunder	-	0
Juntinyuat	833	7.393
Sliyeg	-	0
Jatibarang	-	0
Balongan	218	1.058
Indramayu	1.643	8.130
Sindang	185	791
Cantigi	451	1.948
Pasekan	344	1.421
Lohbener	47	183
Arahan	27	68
Losarang	311	1.526
Kandanghaur	1.512	9.670
Bongas	-	0
Anjatan	-	0
Sukra	162	790
Patrol	173	847
Total	6.067	34.598

(Sumber: BPS Kab. Indramayu. 2017)

Metode Pembuatan Garam (KKP, 2020)

Terdapat beberapa cara pembuatan garam. yaitu:

- Metode Pembuatan Garam Tradisional
- Teknologi Ulir Filter (TUF) Geomembran
- Continuously Dynamic Mixing* (CDM) dan Teknologi *Greenhouse Salt Tunnel* (GST)

Data harga hydrogen

- Harga hydrogen di dunia internasional

Biaya produksi *green hydrogen* internasional mencapai USD2.5-4.5 per kg pada tahun 2019. dan diproyeksi menjadi USD1-2.5 per kg pada tahun 2030 dan diperkirakan akan turun hingga tiga kali lipat pada tahun 2050. Tergantung pada harga gas regional. tingkat biaya produksi hydrogen dari gas alam berkisar antara USD 0.5 hingga USD 1.7 per kilogram (kg). Menggunakan teknologi CCUS untuk mengurangi emisi CO₂ dari produksi hydrogen meningkatkan biaya produksi rata-rata menjadi sekitar USD 1 hingga USD 2 per kg. Menggunakan listrik terbarukan untuk menghasilkan hydrogen membutuhkan biaya USD 3 hingga USD 8 per kg. (IEA. 2021)

- Harga hydrogen di Indonesia

Data pada bulan Juli 2022 dari indotrading menunjukkan harga Hidrogen Rp190.000/ 6m³ (<https://www.indotrading.com/putrasinargas/gas-hidrogen-p699348.aspx>)

Pembahasan

a) Jumlah rumah di daerah pesisir dan Perkiraan konsumsi listrik PLN.

Tabel 9. Jumlah rumah di daerah pesisir Indramayu dan Cirebon

No	Status	2018	2019	2020
1	Rumah Petambak (unit)		3.075	2.350
2	Rumah Nelayan (unit)	56.131		

Jika diasumsikan semua rumah menggunakan listrik dengan daya 900VA. dengan penggunaan rata-rata per hari 24 jam. maka konsumsi listrik per tahun diperoleh seperti pada tabel berikut:

Tabel 10. Perkiraan konsumsi listrik di daerah pesisir Indramayu dan Cirebon

No	Status	2018	2019	2020
1	Rumah Petambak (MWh)		23.911	18.274
2	Rumah Nelayan (MWh)	436.475		

b) Pendapatan rata-rata petambak garam ditampilkan pada Tabel 11.

Tabel 11. Pendapatan rata-rata petambak garam.

No	Uraian	2017	2018	2019	2020
1	Produksi (ton)	231.294,07	471.102,69	463.763,84	45.882,82
2	Harga di tingkat petambak (Rp/ ton)	8.160.000	5.800.000	200.000	600.000
3	Pendapatan total (Rp)	1.887.359.611.200	2.732.395.602.000	92.752.768.000	27.529.692.000
4	Jumlah petambak (orang)			3.075	2.350
5	Pendapatan rata-rata petambak (Rp/ tahun/ petambak)			30.163.501,79	11.714.762,55

c) Perhitungan volume hidrogen yang dihasilkan jika digunakan teknik elektrolisis air laut untuk memproduksi garam.

Perhitungan volume H₂ yang dihasilkan pada proses produksi garam menggunakan persamaan (3) diperoleh mol H₂ yang dihasilkan yaitu.

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} \text{ dari mol NaOH} &= \frac{1}{2} \times 5.8 \times 10^9 \text{ mol} \\ &= 2,9 \times 10^9 \text{ mol} \end{aligned}$$

Untuk produksi pada tahun 2017 sebagai contoh maka bisa dihitung perkiraan H₂ sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Massa molekul Hidrogen (Mr) H}_2 & \text{ adalah } 2 \text{ gram/mol} = 2 \times 10^{-6} \text{ ton/ mol.} \\ \text{sehingga perkiraan H}_2 \text{ yang dihasilkan adalah:} \\ (2,9 \times 10^9 \text{ mol}) \times (2 \times 10^{-6} \text{ ton/ mol}) & = 5,782 \times 10^3 \text{ ton} \\ & = 5.782 \text{ ton.} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan perhitungan yang sama maka diperoleh:

Tabel 12. Perhitungan Produk H₂ Pada Produksi Garam

No	Tahun	Kapasitas Produksi garam ton/ tahun	Perkiraan produksi H ₂ ton/tahun	Perkiraan produksi hidrogen (m ³ / tahun)
1.	2017	231.294.070	5.782	64.341.290
2.	2018	471.102.690	11.778	131.051.154
3.	2019	463.763.840	11.594	129.009.636
4.	2020	45.882.820	1.147	12.763.664

Dari tabel tersebut layaknya dibuat proyeksi produksi H₂ sampai dengan tahun 2030 namun karena pola data tidak memiliki trend khusus maka diasumsikan bahwa sampai tahun 2030 diperkirakan produksi H₂ tetap pada jumlah 11.000 ton/tahun. Dengan menggunakan densitas gas hidrogen pada 1⁰C dan 1 atm sebesar 0.08987 (kg/m³) atau 8.987 x 10⁻⁵ ton/ m³ maka bisa dihitung volume hidrogen yang dihasilkan.

- d) Perhitungan nilai ekonomi hidrogen yang dihasilkan jika dijual kepada industri.

Tabel 13. Perhitungan Potensi Penerimaan Petambak Garam dari Hidrogen

No	Tahun	Perkiraan produksi hidrogen (m ³ / tahun)	Potensi Penerimaan (Rp)
1	2017	64.341.290	2.037.474.189.570
2	2018	131.051.154	4.149.953.224.101
3	2019	129.009.636	4.085.305.144.468
4	2020	12.763.664	404.182.699.084

Pada harga Rp 190.000/ 6m³, pendapatan rata-rata tambahan petani garam dari hidrogen ditampilkan pada Tabel 14.

Tabel 14. Pendapatan rata-rata petambak garam.

No	Tahun	Potensi Penerimaan (Rp)	Jumlah petambak (orang)	Pendapatan rata-rata petambak (Rp/ tahun/ petambak)
1	2017	2.037.474.189.570		
2	2018	4.149.953.224.101		
3	2019	4.085.305.144.468	3.075	1.328.554.519
4	2020	404.182.699.084	2.350	171.992.638

- e) Perhitungan potensi energi hidrogen yang dihasilkan jika digunakan untuk sumber energi listrik rumah penduduk.

Tabel 15. Perhitungan Potensi energi listrik dari Hidrogen

No	Tahun	Perkiraan produksi H ₂ (ton/tahun)	Potensi energi listrik (kWh/thn)	Potensi energi listrik (MWh/thn)
1	2017	5.782	227.821.925	227.822
2	2018	11.778	464.030.581	464.031
3	2019	11.594	456.801.901	456.802
4	2020	1.147	45.194.035	45.194

f) Analisis kelayakan ekonomi.

Data-data berikut digunakan untuk analisis kelayakan ekonomi:

- Investasi pada tahun ke nol adalah Rp 10.000.000.000 dengan pengembalian Rp 1.500.000.000 pada tahun pertama, Rp 2.500.000.000 pada tahun ke dua dan tahun ke tiga dan Rp 3.000.000.000 pada tahun ke empat dan ke lima
- Biaya operasional untuk memproduksi 1 kg H₂ per jam adalah USD3,15 (S. Dokhani et al, 2023). Hasil perhitungan diperoleh sebesar Rp519.717.000.000/tahun pada kurs 1USD = Rp 15.000
- Biaya listrik mulai bulan Mei 2024 untuk golongan R-1/TR daya 900 VA adalah Rp1.352 per kWh (PLN, 2024). Biaya listrik diasumsikan menjadi pendapatan bagi perusahaan penyedia genset fuel-cell yaitu sebesar Rp 590.114.200.000/tahun
- Produksi hidrogen diasumsikan 11.000 ton/tahun (tabel 15)
- Biaya investasi untuk membeli generator fuel-cell adalah Rp 10.000.000.000
- Waktu pengembalian investasi diproyeksikan dalam 5 tahun.
- Tingkat diskonto 6% (Bank Indonesia, 2024)

Hasil analisis kelayakan ekonomi adalah sebagai berikut:

- NPV = Rp336.970.901,46
- IRR = 7%
- ROI = 12%
- BCR = 0,5

Karena nilai BCR < 1 maka proyek penggantian sumber Listrik dari PLN menjadi Listrik dari generator fuel-cell belum layak untuk digunakan.

PENUTUP

Simpulan

Potensi penghasilan tambahan jika memproduksi hidrogen dan dijual kepada industri paling tinggi sebesar Rp 1.328.554.519/ petambak/ tahun dibandingkan jika hanya memproduksi garam dengan metode tradisional yaitu sebesar Rp 30.163.501/ petambak/ tahun

Potensi produksi energi listrik dari hidrogen menggunakan generator fuel-cell paling tinggi mencapai 464.031MWh/ tahun. Potensi energi listrik tersebut dapat mencukupi keperluan listrik untuk rumah tinggal petambak garam bahkan untuk seluruh rumah tinggal nelayan di Indramayu dan Cirebon.

Hasil analisis kelayakan ekonomi menunjukkan bahwa proyek penggantian sumber Listrik dari PLN menjadi Listrik dari generator fuel-cell belum layak untuk digunakan.

Saran

Perlu dilakukan penelitian kelayakan instalasi genset fuel-cell untuk perumahan dan penelitian kelayakan investasi peralatan elektrolisis air laut serta pabrik pengemasan hidrogen.

DAFTAR PUSTAKA

- Amikam, G., Nativ, P., & Gendel, Y. (2018). Chlorine-free alkaline seawater electrolysis for hydrogen production. *International Journal of Hydrogen Energy*, 43(13), 6504-6514.
- Amalyos.(2020).Peran Kemenko Marves dalam Pengembangan Diversifikasi Produk Turunan Garam di Masa Depan. Kemenko Marves.Diakses tanggal 22 Juni 2022 dari <https://kkp.go.id/an-component/media/upload-gambar-pendukung/DitJaskel/publikasi-materi-2/diversifikasi-garam/A5%20DIVERSIFIKASI%20GARAM%20ARTEMIA%20DAN%20BITTER%20N.pdf>
- BPS Kabupaten Cirebon. (2021). Statistik Kabupaten Cirebon. Diakses tanggal 22 Juni 2022 dari <https://cirebonkab.bps.go.id/statictable/2020/01/15/109/jumlah-nelayan-perikanan-tangkap-menurut-kecamatan-dan-jenis-nelayan-di-kabupaten-cirebon-2018.html>
- BPS Kabupaten Indramayu. (2018). Statistik Kabupaten Indramayu. Diakses tanggal 22 Juni 2022. dari <https://indramayukab.bps.go.id/indicator/56/75/1/status-nelayan.html>
- Fazlunnazar, M., Hakim, L., Meriatna, M., & Sulhatun, S. (2020). Produksi gas hidrogen dari air laut dengan metode elektrolisis menggunakan elektroda tembaga dan aluminium (Cu dan Al). *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 9(1), 58-66.
- Abdel-Aal, H. K., Zohdy, K. M., & Kareem, M. A. (2010). Hydrogen production using sea water electrolysis. *The Open Fuel Cells Journal*, 3(1).
- Handayani..L.S.(2020). Harga Garam Rendah. Semangat Petambak Menurun. Republika. Diakses tanggal 22 Juni 2022 dari <https://www.republika.co.id/berita/qcbpqc457/harga-garam-rendah-semangat-petambak-menurun>.
- IRENA. (2019). Hydrogen : A Renewable Energy Perspective. Abu Dhabi: *International Renewable Energy Agency*.
- Jiang. S.; Suo. H.; Zhang. T.;Liao. C.; Wang. Y.; Zhao. Q.; Lai. W. (2022). Recent Advances in Seawater Electrolysis. *Catalysts* . 12. 123. <https://doi.org/10.3390/catal12020123>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2020). Statistik KKP. Diakses tanggal 22 Juni 2022 dari <https://statistik.kkp.go.id/home.php?m=garam&i=107#panel-footer>
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2021). Statistik KKP. Diakses tanggal 22 Juni 2022 dari https://statistik.kkp.go.id/home.php?m=produksi_garam&level=kabupaten#panel-footer
- Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian. (2021). Neraca Garam. Diakses tanggal 22 Juni 2022. dari <https://kkp.go.id/an-component/media/upload-gambar-pendukung/DitJaskel/publikasi%20materi/tatakelola-garam/Moga%20Simatupang%20-%20Monitoring%20Pemanfaatan%20Garam%20Impor.pdf/TanpaPenulis>
- Nuryati.Y. Prabowo. D.W. Priantomo. A. Pambayun. R. (2019). Laporan Akhir Analisis Struktur Biaya Produksi Garam Rakyat. Kemendag RI. Diakses tanggal 25 Juni 2022 dari http://103.108.241.194/media_content/2019/11/file_kajian_laporan_hasil_analisis_20210907121919m1ideu7fsc.pdf
- Staffell. I. (2019). The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system. *Energy and Environmental Science*. 463-491.
- Moqoddas, S. L., & Subari, S. (2020). Faktor-faktor yang mempengaruhi harga garam di Indonesia. *AGRISCIENCE*, 1(2), 464-474.

- Dokhani, S., Assadi, M., & Pollet, B. G. (2023). Techno-economic assessment of hydrogen production from seawater. *International Journal of Hydrogen Energy*, 48(26), 9592-9608.
- Sedivy. V.M. (2008). Economy of Salt in Chloralkali Manufacture. *National Salt Conference 2008*. Gandhidham.
- Widiarto, S. B., Hubeis, M., & Sumantadinata, K. (2013). Efektivitas program pemberdayaan usaha garam rakyat di Desa Losarang, Indramayu. *MANAJEMEN IKM: Jurnal Manajemen Pengembangan Industri Kecil Menengah*, 8(2), 144-154.
- Zakaria. Z. et al. (2021). The Progress of Fuel Cell For Malaysian Residential Consumption: Energy Status And Prospects to Introduction as A Renewable Power Generation System. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 144. July 2021. 110984