

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kenaikan jumlah penduduk dan meningkatnya industrialisasi terutama pada negara-negara berkembang mengakibatkan peningkatan permintaan yang sangat signifikan pada energi fosil (Sui D., Dkk., 2019). Energi fosil seperti batu bara, gas, dan minyak bumi akan habis pada waktunya dan selama ini pembakaran energi fosil menimbulkan efek negatif seperti perubahan cuaca, ketersediaan air bersih, ketersediaan lahan dan dampak terhadap kehidupan manusia (Phuoc-Anh Le, Dkk, 2023).

Energi fosil yang semakin berkurang dan terjadinya percepatan pemanasan global akibat meningkatnya emisi gas rumah kaca (GRK) yang menghasilkan karbon dioksida telah mendorong negara-negara untuk membuat kebijakan terkait lingkungan dan energi baru terbarukan (Soumia Rahmouni, Dkk. 2014). Untuk mengatasi perubahan iklim, dunia saat ini mulai beralih dari bahan bakar fosil ke energi baru dan terbarukan yang lebih ramah lingkungan. Sektor energi dituntut untuk bertransisi ke arah energi yang lebih bersih, rendah emisi dan ramah lingkungan. Setiap negara saat ini berlomba-lomba untuk meningkatkan pemakaian energi listrik yang berasal dari sumber energi baru atau terbarukan. Semua ini dilakukan dengan semangat untuk mengurangi emisi karbon dioksida yang berdampak buruk terhadap lingkungan. Sumber listrik dari energi baru dan terbarukan bisa didapatkan dari Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB), Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) (Han Phoumin, Dkk., 2020).

Program dekarbonisasi dunia telah berjalan dan berbagai negara secara kolaboratif membuat kesepakatan Perjanjian Iklim Paris sebagai respon atas kekhawatiran dampak perubahan iklim di masa yang akan datang. Perjanjian Iklim Paris bertujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca pada tingkat global dan mencegah kenaikan suhu rata-rata global lebih dari 2°C dibandingkan dengan tingkat sebelum era industri, serta melakukan upaya yang lebih ambisius untuk

membatasi kenaikan suhu rata-rata global agar di bawah 1,5 °C (IPCC, 2018). Indonesia termasuk salah satu dari 189 negara yang telah meratifikasi perjanjian tersebut dalam bentuk Undang-Undang nomor 16 tahun 2016 tentang Pengesahan *Paris Agreement to The United Nations Framework Convention on Climate Change* (Persetujuan Paris Atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim) (ESDM, 2023). Komitmen bersama ini harus menjadi perhatian bersama dan perlu ditindaklanjuti secara serius dan tepat agar pengurangan emisi dapat terwujud.

Indonesia adalah salah satu penghasil emisi gas rumah kaca terbesar di dunia, dan Indonesia telah berkomitmen untuk mencapai pengurangan emisi karbon sebesar 29%-41% pada tahun 2030 (D. Gunawan, 2022). Untuk mencapai target tersebut, pemanfaatan energi baru dan terbarukan memegang peranan yang sangat penting dalam proses transisi tersebut. Kapasitas pembangkit listrik di Indonesia hingga saat ini terpasang sebesar 66.514 MW pada tahun 2021, yang merupakan kombinasi antara pembangkit listrik yang bersumber dari energi fosil dan dari energi baru dan terbarukan (BPS, 2022).

Pertumbuhan kebutuhan listrik di Indonesia diproyeksikan mengalami kenaikan 4,9% setahun (PT. PLN, 2021). Rencana pembangunan pembangkit tenaga listrik di proyeksikan sebesar 40.575 MW dengan pembagian 51,6% dari pembangkit tenaga listrik yang berasal dari energi baru dan terbarukan. 48,4% lainnya berasal dari pembangkit listrik tenaga fosil.

Pembangun Pembangkit Listrik Tenaga Energi Terbarukan diharapkan dapat membantu menurunkan emisi gas rumah kaca. Salah satu potensi energi yang cukup besar di Indonesia adalah energi panas bumi. Energi panas bumi merupakan sumber energi terbarukan yang sangat handal dan berkelanjutan yang tidak bergantung pada kondisi iklim (Bina, dkk, 2016). Sebagai sumber energi terbarukan yang bersih, berlimpah, dan fleksibel, energi panas bumi dapat menjadi solusi untuk masalah energi dan lingkungan saat ini dan sebagai sumber utama keberlanjutan (Ozgener Leyla dkk, 2007). Energi panas bumi dapat digunakan dalam tiga cara utama: pembangkit listrik, penggunaan panas secara langsung, dan pompa panas bumi (Lund John W. dkk, 2015).

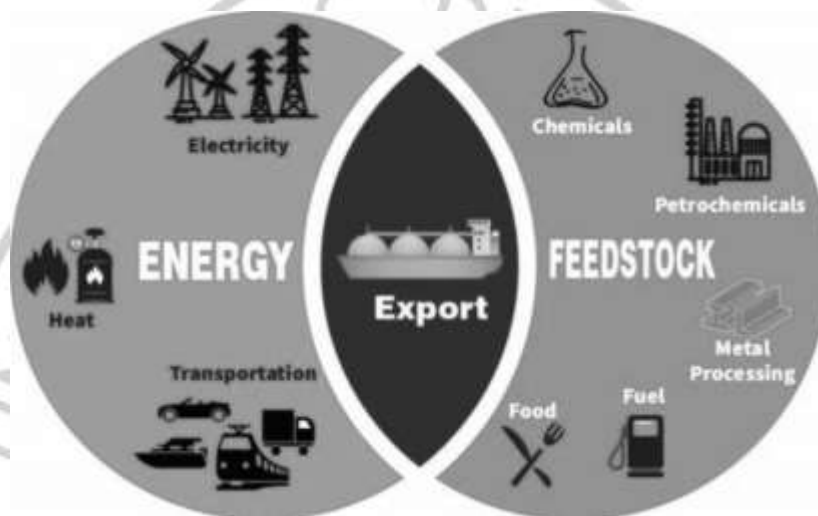
Total potensi energi panas bumi sebesar 23.965 Mwe yang terdiri dari sumber daya sebesar 9.339 Mwe dan cadangan sebesar 14.626 Mwe (DEN, 2023). Pemerintah Indonesia menargetkan target capaian pembangkit listrik EBT sebesar 23% pada tahun 2025, dimana per 2021 target tersebut baru tercapai 11,5% (PT. PLN, 2021). Potensi panas bumi Indonesia tersebar di 356 Wilayah Kerja Panas Bumi (WKP) yang dapat dilihat pada tabel 1.1. Pulau Sumatra memiliki 101 WKP dengan total potensi panas bumi sebesar 9.460 Mwe dengan kapasitas terpasang hingga saat ini sebesar 949 Mwe atau sebesar 10% dari total potensinya (ESDM, 2023). Pulau Sumatra merupakan pulau dengan potensi terbesar di Indonesia. Oleh karena itu, pembangkit listrik tenaga panas bumi merupakan salah satu sumber energi yang sangat potensial untuk terus dikembangkan di wilayah Indonesia.

Tabel 1.1 Potensi Panas Bumi di Indonesia (Diolah dari Badan Geologi (2021))

No.	Pulau	Total Lokasi	Potensi (MWe)					Kapasitas Terpasang (MWe)
			Sumber Daya (MWe)		Cadangan (MWe)			
			Spekulatif	Hipotesis	Terduga	Mungkin	Terbukti	
1	Sumatera	101	2167	1567	3624	976	1126,4	949,75
2	Jawa	75	1259	1191	3260	377	1820	1253,8
3	Bali	6	70	21	104	110	30	0
4	Nusa Tenggara	34	215	146	783	121	12.5	19.08
5	Kalimantan	14	151	18	6	0	0	0
6	Sulawesi	90	1352	342	989	180	120	120
7	Maluku	33	560	91	485	6	2	0
8	Papua	3	75	0	0	0	0	0
Total		356	5849	3376	9251	1770	3110.9	2342,63
					14131.9			

Hidrogen sebagai energi ramah lingkungan dan bahan baku industri yang dapat digunakan untuk berbagai aplikasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.1

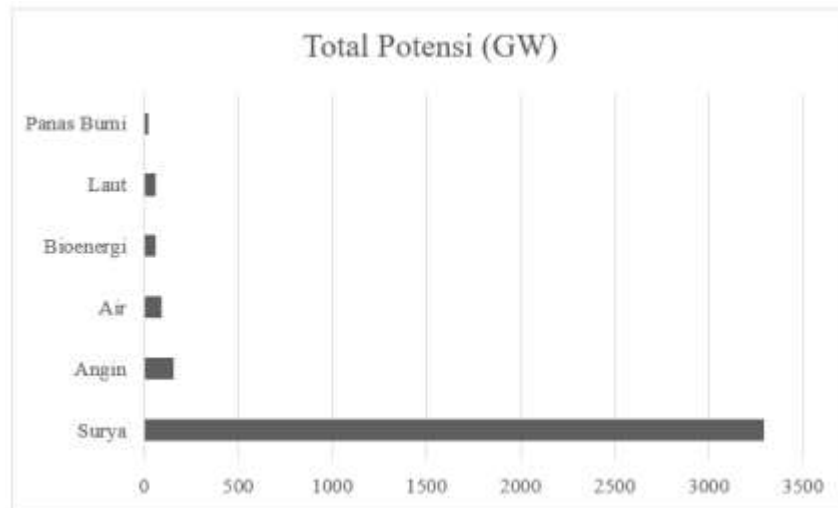
(D. Gunawan, 2022). Hidrogen yang ada di Indonesia saat ini sebagian besar dihasilkan dari gas bumi dan dimanfaatkan untuk sektor industri, terutama sebagai bahan baku pupuk. Kebutuhan hidrogen di Indonesia saat ini adalah 1,75 juta ton per tahun (IEA 2022), didominasi untuk urea sebesar 88%, amonia sebesar 4%, dan kilang minyak sebesar 2%. Indonesia secara bertahap diharapkan dapat mengembangkan dan memproduksi hidrogen rendah karbon untuk menggantikan hidrogen yang saat ini sebagian besar dihasilkan dari energi fosil (ESDM, 2023).



Gambar 1.1 Aplikasi Untuk Hidrogen (Bruce, Dkk, 2018)

Indonesia sangat mungkin memproduksi hidrogen rendah karbon mengingat besarnya potensi sumber daya EBT yang ada. Potensi sumber daya EBT seperti tenaga surya, tenaga air, tenaga angin, tenaga biomassa, tenaga panas bumi dan tenaga pasang surut air laut di Indonesia yang dapat dilihat pada Gambar 1.2, memungkinkan Indonesia untuk menghasilkan hidrogen ramah lingkungan.

Berbagai metode telah dikembangkan untuk menghasilkan gas hidrogen. Metode tersebut adalah, *steam methane reforming*, elektrolisis, gasifikasi batubara. (Mehmet Kanoglu, 2015). Produksi hidrogen dari elektrolisis air adalah salah satu metode yang banyak dipakai di dunia (M.M. Hadjiat dkk., 2020).



Gambar 1.2 Potensi Pembangkit Listrik Energi Terbarukan 2022 (DEN, 2023)

Tujuan pengembangan hidrogen di Indonesia adalah untuk terwujudnya ekonomi hidrogen yang berkontribusi pada transisi energi dan berperan penting dalam dekarbonisasi sistem energi global (ESDM, 2024). Hidrogen merupakan salah satu sumber energi baru yang dapat dihasilkan dari teknologi baru baik yang berasal dari sumber energi terbarukan maupun sumber energi tidak terbarukan menurut UU No. 30 tahun 2007 tentang Energi. Jika melihat pada Peraturan Pemerintah (PP) No. 79 tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN), pemanfaatan energi hidrogen hanya dikhususkan pada sektor transportasi. Hal ini juga diperkuat dengan Peraturan Presiden nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional (RUEN), dimana pemanfaatan energi hidrogen masih terfokus pada sektor transportasi. Apa yang diamanatkan pada PP dan Perpres tersebut seperti menutup kenyataan bahwa konsumsi energi hidrogen terbanyak pada saat ini adalah untuk sektor industri.

Indonesia dan seluruh dunia masih menghadapi tantangan besar dalam penerapan dan pemanfaatan hidrogen hijau. Mahalnya biaya produksi hidrogen dari energi baru terbarukan dibandingkan hidrogen dari energi fosil masih menjadi tantangan bagi pengembangan hidrogen hijau. Kebijakan pemerintah yang tepat dapat mendorong pertumbuhan dan pengembangan energi baru dan terbarukan di Indonesia.

Penelitian ini akan difokuskan untuk melihat potensi panas bumi beserta analisis ekonomi terhadap biaya pembangkitan listrik dari panas bumi pada WKP.

XYZ yang sampai saat ini belum terdapat unit PLTP yang dibangun. WKP. XYZ direncanakan dalam RUPTL akan dibangun PLTP sebesar 110 MW. Harga pembangkitan listrik menjadi penting didalam memproduksi energi hidrogen hijau dari elektrolisis karena komponen biaya terbesar dari proses elektrolisis adalah dari biaya listrik selain dari biaya elektroliser hidrogen itu sendiri. Penelitian ini mengasumsikan bahwa energi listrik yang dihasilkan dari panas bumi XYZ akan digunakan 100% untuk menghasilkan hidrogen hijau. Dengan demikian diharapkan didapatkan gambaran untuk harga produksi hidrogen hijau dari panas bumi.

1.2 Rumusan Masalah

Hingga saat ini belum banyak energi panas bumi yang digunakan untuk memproduksi hidrogen hijau. Beberapa rumusan masalah yang diteliti dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana penentuan teknologi pembangkit listrik tenaga panas bumi yang tepat dan harga produksi listrik untuk digunakan pada lokasi WKP. XYZ.
2. Bagaimana penentuan teknologi dan harga produksi elektrolisis yang tepat untuk produksi hidrogen hijau dari energi panas bumi.
3. Bagaimana penentuan aspek ekonomi produksi listrik dari panas bumi WKP XYZ yang dimanfaatkan secara langsung untuk produksi hidrogen hijau menggunakan teknologi elektrolisis.

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam analisis sebagai berikut:

1. Data Rencana Usaha Penyediaan Listrik (RUPTL) PT. PLN yang dipakai adalah tahun 2021-2030.
2. WKP. XYZ di Provinsi Jambi akan digunakan sebagai obyek penelitian untuk pengembangan potensi energi listrik dari panas bumi. Berdasarkan RUPTL PT. PLN, WKP XYZ direncanakan untuk dapat menghasilkan 110 MW Listrik.
3. Teknologi panas bumi yang dipakai untuk penelitian adalah dengan membandingkan tipe *flash system* dan *combined-cycle system* dan dilakukan penilaian dari sisi teknis dan ekonomi terhadap masing-masing

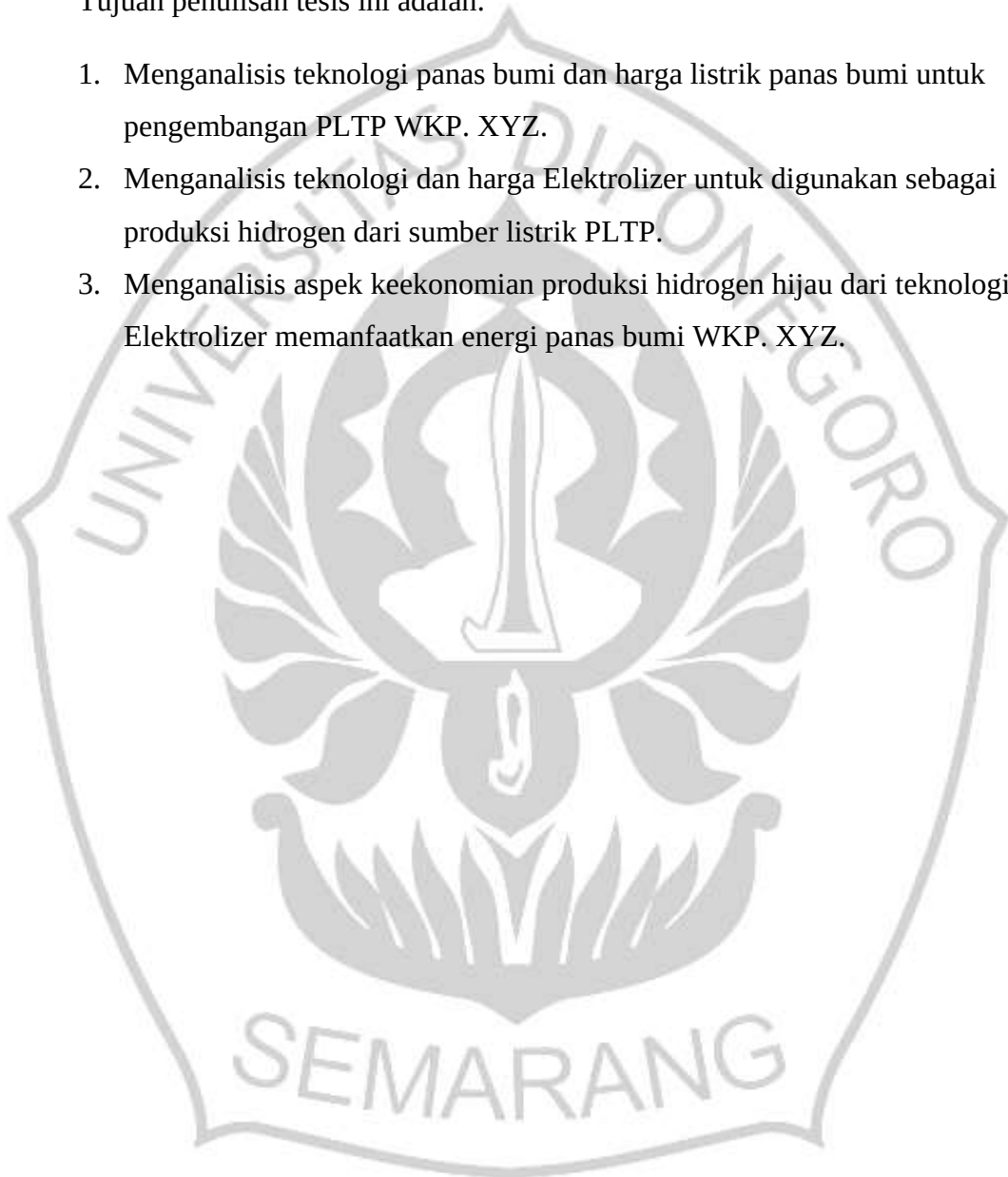
tipe pembangkit.

4. *Proton-exchange membrane* (PEM) elektrolisis adalah teknologi yang dipilih untuk memproduksi hydrogen hijau pada WKP. XYZ

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penulisan tesis ini adalah:

1. Menganalisis teknologi panas bumi dan harga listrik panas bumi untuk pengembangan PLTP WKP. XYZ.
2. Menganalisis teknologi dan harga Elektrolizer untuk digunakan sebagai produksi hidrogen dari sumber listrik PLTP.
3. Menganalisis aspek keekonomian produksi hidrogen hijau dari teknologi Elektrolizer memanfaatkan energi panas bumi WKP. XYZ.



1.5 Originalitas Penelitian

Tabel 1.2 Ringkasan Penelitian

No	Peneliti (Tahun)	Judul Penelitian	Metodologi Penelitian	Hasil Penelitian	Gap Penelitian
1	Mohamed Osman Awaleh, Dkk. (2021)	<i>Economic Feasibility of Green Hydrogen Production by Water Electrolysis Using Wind and Geothermal Energy Resources in Asal-Ghoubbet Rift (Republic</i>	(1) penilaian energi angin dan panas bumi di wilayah studi (2) pemilihan turbin angin dan pembangkit listrik tenaga panas bumi yang paling sesuai (3) penilaian LCOE (\$/kWh) yang dihasilkan dari energi angin dan panas bumi (4) pemilihan elektroliser yang paling sesuai (5) evaluasi LCOH (\$/kg) (6) evaluasi penghematan CO ₂ untuk energi angin dan panas bumis	Hasil penelitian menunjukkan bahwa area Asal-Ghoubbet Rift dapat menghasilkan hydrogen hijau dengan biaya dari energi angin lebih rendah dibandingkan dengan biaya dari energi panas bumi Biaya listrik dari energi panas bumi sebesar \$0,1253/KWh dan \$0,0867/KWh untuk pembangkit listrik tenaga panas bumi <i>single flash</i> dan <i>dry steam</i> . Kombinasi pembangkit listrik tenaga panas	- PLTP yang dipilih pada penelitian sebelumnya menggunakan <i>single flash</i> dengan kapasitas 4,91 MW dan <i>dry steam</i> dengan kapasitas 22.22 MW. - Pada penelitian ini, penulis akan menggunakan acuan potensi pengembangan panas bumi WKP. XYZ sebesar 110 MW dengan membandingkan berapa

		<i>of Djibouti): A Comparative Evaluation</i>	(7) perbandingan LCOH yang dihasilkan oleh elektroliser yang ditenagai oleh energi angin dan panas bumi.	bumi <i>single flash</i> dengan elektroliser HTE dan PEMem menghasilkan biaya produksi hidrogen masing-masing sebesar \$4,78/kg H ₂ dan \$8,16/kg H ₂ . Namun, dengan kombinasi <i>dry steam</i> dengan elektroliser HTE dan PEMem, biaya produksi hidrogen dievaluasi sekitar \$3,46/kg H ₂ dan \$5,80/kg H ₂ .	potensi MW yang dihasilkan dengan beberapa teknologi yang dipilih. - Elektrolizer temperature tinggi tidak dipakai pada penelitian yang sekarang karena secara teknologi masih dalam tahap pengembangan. - Biaya listrik dari PLTP dan harga LCOH dari PEM akan dipakai pada penelitian yang sekarang sebagai data pembanding.
2	Ceyhun Yilmaz.	<i>Exergetic cost evaluation of hydrogen</i>	Mengembangkan model PLTP tipe Combined flash-binary dan elektrolisis air.	Air untuk proses elektrolisis dapat dipanaskan terlebih dahulu hingga 70 C menggunakan air condensate	- PLTP yang dipilih pada penelitian sebelumnya menggunakan <i>Combined</i>

	Dkk. (2014)	<i>production powered by combined flash-binary geothermal power plant</i>	Perhitungan termodinamika dan eksergi ekonomi untuk sistem yang dipilih.	yang keluar dari pembangkit listrik dan hidrogen dapat diproduksi dengan kecepatan 0,0498 kg/detik. Efisiensi eksergi dari pembangkit listrik dan keseluruhan sistem dihitung masing-masing sebesar 46,6% dan 45,8%. Biaya eksergi unit listrik dari pembangkit listrik adalah 11,1 \$/GJ (atau 0,0400 \$/kWh) dan biaya hidrogen yang diproduksi adalah 26,1 \$/GJ (atau 3,14 \$/kg H ₂).	- <i>flash and binary.</i> - Harga 3,14 \$/kg H₂ merupakan nilai yang sudah mendekati harga dari hidrogen energi fosil.
3	Ceyhun Yilmaz (2019)	<i>Life cycle cost assessment of a geothermal power assisted hydrogen energy system</i>	Simulasi pemodelan system PLTP dan produksi hidrogen pada kondisi termodinamika dengan analisis masa pakai menggunakan software EES dan ASPEN Plus	Konsumsi energi untuk hidrogen cair 8,98 kW jam/kg LH ₂ . Biaya produksi hidrogen dan periode pengembalian modal sebesar 2,154 \$/kg LH ₂ dan 6,17 tahun. Perhitungan analisis ekonomi, <i>net present value</i> (NPV) dan <i>levelized</i>	- PLTP yang dipilih pada penelitian sebelumnya menggunakan <i>Combined flash and binary.</i> - Harga 2,154 \$/kg H₂ merupakan nilai yang sudah setara dengan

				<i>annual cost</i> (LAC) dihitung masing-masing sebesar 78.390.000 dan 9.207.000 \$ / tahun.	produksi hidrogen dari energi fosil.
4	D.N. Sahdarani, Dkk. (2020)	<i>Geothermal Energy as An Alternative Source for Indonesia's Energy Security: The Prospect and Challenges</i>	Pengambilan data potensi panas bumi, kebutuhan listrik dan ketersediaan listrik dan sensus penduduk dari Lembaga pemerintah, BUMN, organisasi bukan pemerintah. Data dibuat pada rentang tahun 2010-2020 dan akan diproyeksikan untuk tahun 2035. Data akan dibagi berdasarkan pulau-pulau besar di Indonesia.	Pengembangan energi panas bumi di Indonesia dapat menjadi sumber tambahan dan alternatif untuk menjaga ketahanan energi. Energi panas bumi berkontribusi terhadap pengurangan perubahan iklim dan dapat diandalkan tanpa terpengaruh oleh cuaca dan musim. Selain itu, Indonesia memiliki cadangan energi yang besar dan terdapat kemungkinan besar untuk mengembangkan teknologi yang lebih baik dan meminimalkan risiko-risiko dalam pengembangan panas bumi. Selain	- Harga acuan LCOE panas bumi sebesar 7,86 sen USD/kWh tidak ada penjelasan menggunakan teknologi panas bumi tipe apa.

				itu, pengembangan panas bumi memerlukan kebijakan yang lebih tegas dari kedua pemerintah untuk menarik investor. Saat ini, LCOE nasional Indonesia berada di angka 7,86 sen USD/kWh	
5	Soumia Rahmouni, Dkk. (2014)	<i>A technical, economic and environmental analysis of combining geothermal energy with carbon sequestration for hydrogen production</i>	Pemodelan numerik dilakukan untuk evaluasi potensi produksi hidrogen dan estimasi LCOH.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa proses produksi hidrogen panas bumi memiliki potensi yang baik karena mampu menghasilkan sekitar 22 kg/jam hidrogen dengan kondisi laju aliran massa karbon dioksida 40 kg/s dan suhu 296 K. Ditinjau dari sisi ekonomi, biaya listrik merupakan komponen utama dari total biaya produksi hidrogen (lebih dari 90%).	- PLTP yang dipilih pada penelitian sebelumnya menggunakan <i>binary power plant</i>. - Perkiraan biaya hidrogen 8,24 \$/kg H₂ merupakan harga yang wajar dari harga hidrogen dari panas bumi.

				Perkiraan biaya hidrogen adalah 8,24 \$/kg H₂. Dengan memasukkan pajak karbon, biaya produksi hidrogen menjadi jauh lebih kompetitif.	
--	--	--	--	---	--

