

出國報告(出國類別：考察)

2025 第 11 屆印尼國際地熱大會暨展覽會 出國報告

服務機關：經濟部能源署

姓名職稱：楊尚儒科員

派赴國家：印尼

出國期間：2025 年 9 月 16 日至 2025 年 9 月 22 日

報告日期：2025 年 11 月 21 日

內容摘要

地熱能係我國再生能源開發重點之一，2024 年印尼地熱能電廠裝置容量達 2,653MW，全球排名第 2，為地熱能推動指標性國家之一，故印尼國際地熱大會暨展覽會(IIGCE 2025)匯集全球地熱相關領域領導者、專家和創新者，藉由赴印尼參加 IIGCE 及參訪伊真地熱發電廠，並拜訪印尼政府單位、地熱產業代表及企業，以了解印尼地熱推動政策、經驗及技術發展，並洽詢雙方可合作議題及地熱發電技術交流，作為國內地熱能開發策略之參考。

目 錄

壹、目的及行程紀要	1
一、目的	1
二、行程紀要	1
貳、參訪行程及工作內容	2
一、出國行程	2
二、參加人員	2
三、參訪紀要	3
(一)第 11 屆印尼國際地熱大會暨展覽會(114/9/17~19)	3
(二)Baker Hughes 訪談(114/9/16、9/18)	24
(三)印尼能源與礦產資源部訪談(114/9/17、9/18)	25
(四)Star Energy Geothermal 訪談(114/9/17)	27
(五)參訪 PT Apexindo Pratama Duta Tbk 及總部(114/9/18)	30
(六)參訪 Ijen Geothermal Power Plant(114/9/20)	33
參、結論與心得建議	37
附件、參訪交流之國際地熱相關專家名片資訊	40

圖目錄

圖 1、第 11 屆印尼國際地熱大會暨展覽會 Day1 議程	4
圖 2、第 11 屆印尼國際地熱大會暨展覽會開幕典禮	5
圖 3、印尼能源與礦產資源部長 Bahlil Lahadalia 致詞	5
圖 4、商業合作、基礎建設、技術開發與融資承諾簽署儀式	7
圖 5、第 11 屆印尼國際地熱大會暨展覽會參展廠商名錄	7
圖 6、Vallourec 公司的 THERMOCASE 地熱封閉系統模型	8
圖 7、PT Geo Dipa Energi 地熱複合利用示意模型	9
圖 8、複合型鑽頭與傳統 TCI、PDC 鑽頭示意圖	17
圖 9、世界銀行對地熱開發融資之分布圖	18
圖 10、第 11 屆印尼國際地熱大會暨展覽會入口合影	23
圖 11、第 11 屆印尼國際地熱大會暨展覽會入口視覺	23
圖 12、與受訪談人 Baker Hughes 公司 Will Pettit 博士合影	25
圖 13、第 11 屆印尼國際地熱大會暨展覽會-能礦部展位	27
圖 14、與受訪談人能礦部 Aulia Rizky Pratama 先生合影	27
圖 15、與 Star Engegye 公司 Aquardi Rachmat Suminar 先生訪談	29
圖 16、與受訪談人 Star Engegye 公司 Aquardi Rachmat Suminar 先生合影	30
圖 17、參訪 Apexindo Pratama Duta Tbk 鑽井訓練場地	32
圖 18、與受訪談人 Apexindo 公司 Don K Wood 先生合影	32
圖 19、電廠管線參觀及介紹	35
圖 20、電廠操作控制室參觀及介紹	35
圖 21、電廠生產井場介紹參觀照片	36

壹、目的及行程紀要

一、目的

印尼位於環太平洋火山地震帶(Ring of Fire)，火山地帶長達 7,000 多公里，傳統型地熱潛能約 28.9 GW，占全球約 40%。印尼首座地熱能電廠建於 1983 年，裝置容量為 30 MW。印尼政府地熱發展目標 2030 年為 3,300 MW，2035 年為 9,300 MW。印尼地熱裝置容量自從 2007 年之後開始加速提升，2016 年之後每年新增地熱能裝置容量速度又增加。

地熱能為我國再生能源開發重點之一，2024 年印尼地熱能電廠裝置容量達 2,653 MW，全球排名第 2，為地熱能推動指標性國家之一，故印尼國際地熱大會暨展覽會(IIGCE 2025)匯集了全球地熱相關領域領導者、專家和創新者，藉由赴印尼參加 IIGCE 和拜訪政府單位、地熱產業代表及企業，以了解印尼地熱發展之推動政策、經驗及技術發展，並洽詢雙方可合作議題及地熱發電技術交流，作為國內地熱能開發策略之參考。

二、行程紀要

本次出訪主要為參加 114 年 9 月 17 日至 19 日在雅加達國際會議中心(JICC)舉行之第 11 屆印尼國際地熱大會暨展覽會(今年主題為「促進印尼綠色經濟合作：地熱能在永續成長中的作用」)，並安排拜訪包含 Baker Hughes、印尼能源與礦產資源部(Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, ESDM)、PT Apexindo Pratama Duta Tbk 等。

於雅加達大會結束後，9 月 19 日至 21 日前往東爪哇省泗水之伊真地熱發電廠(Ijen Geothermal Power Plant)案場參訪，瞭解印尼最新地熱電廠開發歷程，供國內地熱電廠發展之參考。

貳、參訪行程及工作內容

一、出國行程

出國日期為 114 年 9 月 16 日至 9 月 22 日，共計 7 日。詳細行程安排與參訪重點說明如下：

日期	行程內容摘述	住宿地點
9/16(二)	去程搭機(臺灣桃園→印尼雅加達)	雅加達
	參觀雅加達舊城古蹟	
	Baker Hughes 訪談	
9/17(三)	參加第 11 屆印尼國際地熱大會暨展覽會	雅加達
	印尼能源與礦產資源部訪談	
	Star Energy Geothermal 訪談	
9/18(四)	參訪 PT Apexindo Pratama Duta Tbk	雅加達
	印尼能源與礦產資源部訪談	
	Baker Hughes 訪談	
	與駐印尼台北經濟貿易代表處交流	
9/19(五)	搭機至泗水外南夢機場(雅加達→泗水)	泗水
9/20(六)	參加伊真火山健行	泗水
	參訪伊真地熱能發電廠(Ijen Geothermal Power Plant)	
9/21(日)	搭機至雅加達蘇卡諾-哈達國際機場(泗水→雅加達)	雅加達
9/22(一)	回程搭機(印尼雅加達→臺灣桃園)	臺北

二、參加人員

姓 名	單 位	職 稱
楊尚儒	經濟部能源署 油氣發展及管理組	科員
柳志錫	財團法人工業技術研究院 綠能與環境研究所	技術副組長
呂侑宣	財團法人工業技術研究院 產業服務中心	副管理師

三、參訪紀要

(一)第 11 屆印尼國際地熱大會暨展覽會(114/9/17~19)

IIGCE 2025(Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition 2025)為印尼主辦之第 11 屆國際地熱大會暨展覽會，於 2025 年 9 月 17~19 日在雅加達國際會議中心(JICC)舉行。本屆主題為 Fostering Collaboration for a Green Economy in Indonesia: The Role of Geothermal Energy in Sustainable Growth(促進合作以建構印尼綠色經濟：地熱能源在永續成長中的角色)。

大會由印尼能源與礦產資源部(Ministry of Energy and Mineral Resources)主導支持，印尼地熱協會(INAGA，Indonesian Geothermal Association)主辦，大會主席為印尼地熱協會會長 Julfi Hadi，相關會務活動由 On Us Asia 公司規劃辦理。

IIGCE 2025 吸引超過 150 家公司及來自 22 個國家的代表參加，會場中聚集眾多專家學者、公司、設備供應商，彼此互相交流、研討有關地熱能源開發經驗、創新技術及未來的發展方向。

展覽會包含近 70 個展位，各家廠商展示最新的技術、產品和服務，包含從探勘、鑽探至生產等相關應用及解決方案，不僅能了解全球能源行業的最新趨勢和創新技術，也促進彼此間的交流與合作。

Day 1 - Wednesday, 17 September 2025

*Last Updated: 01 August 2025 #18

OPENING SESSION

08.30 - 10.50	REGISTRATION, COFFEE MORNING, EXHIBITION & NETWORKING ACTIVITY
10.50 - 11.00	SAFETY BRIEFING BY JICC MANAGEMENT AND WELCOME ANNOUNCEMENT BY MC
11.00 - 11.05	VVIP ARRIVE AT JICC
11.05 - 11.10	NATIONAL ANTHEM INDONESIA RAYA
11.10 - 11.15	PRAY READING
11.15 - 11.20	OPENING ACT*
11.20 - 11.25	GEOTHERMAL VIDEO PROFILE
11.25 - 11.30	WELCOME SPEECH Jufri Hadi, President of Indonesian Geothermal Association (INAGA)
11.30 - 11.50	ANNOUNCEMENT, COD LAUNCHING, AND SIGNING AGREEMENT*
11.50 - 11.55	VIDEO OPENING
11.55 - 12.05	OPENING REMARKS Hon. Bahlil Lahadalia, Minister of Energy and Mineral Resources of the Republic of Indonesia
12.05 - 12.35	KEYNOTE SPEECH H.E. Prabowo Subianto*, President of the Republic of Indonesia
12.35 - 12.40	OPENING PROCESSION
12.40 - 13.00	EXHIBITION OPENING & INSPECTION
13.00 - 13.15	PRESS CONFERENCE

12.30 - 14.00
LUNCH BREAK

PLENARY SESSION 1 - BRIDGING THE GAP: GEOTHERMAL INVESTMENT AND POLICY FRAMEWORKS

14.00 - 16.00	KEYNOTE SPEECH: Hon. Rosan Roeslani*, Minister of Investment of the Republic of Indonesia "Investment Facilitation for Accelerating Geothermal Development" Hon. Raja Juli Antoni*, Minister of Forestry of the Republic of Indonesia "Empowering Geothermal Development: The Ministry of Forestry's Commitment to Permitting and Policy Support" Hon. Anggito Abimanyu*, Vice Minister of Finance of the Republic of Indonesia "Fiscal Instruments to Support Geothermal Investment" Setia Diarta*, Director General of Metal, Machinery, Transportation Equipment, and Electronics Industries (ILMATE), Ministry of Industry "Advancing Geothermal Development through Local Content (TKDN): Regulatory Strategies and Policy Innovations in Indonesia" M. Pradana Indraputra, Special Advisor to the Minister of Energy and Mineral Resources on the Acceleration of Strategic Issues Resolution in the Energy and Mineral Resources Sector "Accelerating Geothermal Investment: National Policy Strategies" Darmawan Prasodjo, President Director of PT PLN (Persero) "Integrating Geothermal Energy into the National Electricity Plan" Jufri Hadi, President of Indonesian Geothermal Association (INAGA) & President Director of PT Pertamina Geothermal Energy Tbk "Best Practices and Strategies for Geothermal Development in Indonesia" Nisriyanto, President & CEO of Supreme Energy "Geothermal Investment Perspectives: Challenges and Opportunities" Facilitator: Riza Pasikki, Indonesian Geothermal Association
---------------	---

TECHNICAL SESSION (PARALLEL 6 CLASSES)

14.30 - 17.00

KAKATUA ROOM COMMERCIAL TOPICS - Environmental and Social Aspects - Legal and Regulatory Aspects - Economics and Financing - Energy Pricing and Policies	KENARI ROOM RESOURCE MANAGEMENT TOPICS - Reservoir Optimization - Well Testing - Well Stimulation - Reservoir Modeling	MURAI ROOM BEYOND KWH TOPICS - Monetizing Environment Asset: Carbon Emission Reduction (Carbon Credit) - Geothermal Secondary Products - Direct Use: Health, Tourism, Balneology, and Agriculture
MALEO ROOM EARTH SCIENCE & EXPLORATION TOPICS - Geology - Geophysics - Geochemistry - Hydrogeology - Resource Assessment	NURI 1 ROOM SPECIAL TOPICS - Unconventional Geothermal Development - Software for Geothermal Application - Geothermal Education - Low Enthalpy Resource Development - Supply Chain and Human Capital	NURI 2 ROOM ENGINEERING TOPICS - Drilling and Well Intervention Technology - Steam Gathering - Power Generation - Corrosion and Scaling Management

圖 1、第 11 屆印尼國際地熱大會暨展覽會 Day1 議程

1. 大會演說

印尼能源與礦產資源部長 Bahlil Lahadalia 在開幕致詞，重點如下：

- (1) 印尼目前的地熱發電裝置容量約 2,744 MW，為世界第 2 大(僅次於美國)，但印尼地熱發電潛能估計約有 23,742 MW，目前僅開發約 12%左右。
- (2) 為加速地熱發展，將透過 Geothermal Energy Information System (GENESIS)平臺招標開發地熱工作區(WKP)，簡化許可制度，目標將許可審查時間從約 18 個月縮短至 5 天。
- (3) 政府承諾在 2025 年至 2034 年電力供應規劃(RUPTL)中建設 48,000 公里輸電網絡，以支持再生能源佈局。



圖 2、第 11 屆印尼國際地熱大會暨展覽會開幕典禮



圖 3、印尼能源與礦產資源部長 Bahlil Lahadalia 致詞

2. 會議

在會議期間，簽署多項商業合作、基礎建設、技術開發與融資承諾，涵蓋約 265 MW 裝置容量，總投資金額約 15 億美元(約印尼盾 250 兆)。對於地熱許可流程的優化，已將線上單一窗口(OSS,Online Single Submission)方式簡化，原本需 1.5 年的程序可加速至 5 天。

在產業界與國營企業參與方面，印尼國營企業 PT Pertamina Geothermal Energy(PGE)在 IIGCE 2025 中重申其對建立印尼地熱生態系的承諾。PGE 董事長提出地熱「電力之外」商業模式機會，如離網應用、綠氫、綠氨等可能路徑。另外多家技術／系統公司(如 Exergy)於 IIGCE 2025 展出其 ORC(Organic Rankine Cycle)技術與應用成果。

印尼政府在會中強調自己作為全球地熱樞紐(global geothermal hub)的地位，呼籲加強國際合作及技術交流。會中並宣布設立「Indonesia Geothermal Excellence Centre」(印尼地熱卓越中心)展示該國長期支持地熱技術與研究的決心，該會議同時舉辦技術論文發表、攝影視覺競賽等活動，重點如下表：

項目	概要說明
地熱區塊競標案啟動	印尼政府在 IIGCE 2025 正式推出 10 個地熱區塊的競標案(tender)以吸引投資者與開發商。
技術展示與商機媒合	多家參展商如 Exergy 利用會場展示其 ORC 技術，以爭取印尼或東南亞地區的合約與合作。
強化國際企業身份與曝光	透過參展與贊助，國際企業(如 Toshiba、Turboden、Exergy)在印尼地熱圈與政府、業界建立能見度與連結。
政策與投資信號	展會期間，政府不僅宣布競標案，也藉由會議平台發表新的政策方向、制度簡化措施等，為業界提供較清晰的政策預期。



圖 4、商業合作、基礎建設、技術開發與融資承諾簽署儀式

3. 現場參展廠商交流

本次參展廠商包括 SLB、Baker Hughes、Exergy、Ormat、Turboden、TISHIBA、MITSUBISHI、HALLIBURTON 等國際大廠商，及印尼當地 Supreme energy、Pertamina Geothermal Energy 等大型地熱廠商，參展者主要集中在地熱發電、餘熱回收、設備製造、控制系統、監控平台、IoT／數位解決方案等領域。



圖 5、第 11 屆印尼國際地熱大會暨展覽會參展廠商名錄

(1) Vallourec 公司 THERMOCASE VIT(地熱封閉系統)

地熱封閉循環系統通常只需要一口井，開發優勢在於不需尋找熱水或裂隙，只需尋找高溫乾岩盤，利用先進鑽井技術於高溫岩盤製造封閉通道，取熱時將流體注入至封閉通道中，藉由流體與熱岩接觸獲得熱能，取出高溫熱水發電利用，能夠使地熱開發商幾乎於全球任何位置設置地熱能發電場。

此外，這個封閉循環系統在流體選擇方面具有靈活性，可以是水，也可以是有助於優化熱量提取的超臨界二氧化碳等其他流體，從而提高發電量。可使用環境包含乾熱岩石、活化非生產用途之地熱井、枯竭的油氣井改造成地熱井等。

此系統運作方式係將冷流體注入 THERMOCASE VIT 和套管之間的空隙中，並在向下流動時加熱，隨後高溫流體就會沿著 THERMOCASE VIT 向上流動驅動渦輪機或直接用於區域供熱。

為了最大限度地提高取熱效率，Vallourec 公司的 THERMOCASE[®] VIT 具有一流的絕緣性和高使用溫度，使其成為井下熱交換器的核心部件。



圖 6、Vallourec 公司的 THERMOCASE 地熱封閉系統模型

(2) PT Geo Dipa Energi 地熱複合利用

Geo Dipa(PT Geo Dipa Energi)是印尼一家專注於開發地熱能的國營企業，由印尼財政部和國家電力公司 PLN 持有。該公司目標是到 2035 年將公司案場累計裝至容量提升至 1,020 MW。

該公司 Kampung Direct Use(Kadieu)計畫正在開發諸多將地熱能除了發電使用以外的利用，如乾操作業，利用地熱蒸汽或熱水乾燥農作物、木材、魚類；食品加工，製糖、牛奶殺菌、飲料加熱；養殖與水產業，地熱水提供溫暖環境，提升養殖效率；利用地熱保持農業溫室恆溫，提高作物生產力；溫泉旅遊，地熱熱水最傳統的利用型態，又地熱水富含礦物質，常用於皮膚病治療、復健理療等。



圖 7、PT Geo Dipa Energi 地熱複合利用示意模型

4. 專題演講及技術研討

IIGCE 2025 大會議程主要分為專題演講及技術研討，專題演講邀請印尼政府部門、公協會及民營企業領袖針對地熱推動策略、法規及商業營運等進行評論與分享，包括印尼能礦部、森林部、投資部等地熱推動部門代表、印尼地熱協會會長、印尼電力、石油、地熱等相關企業主管和 Schlumberger、ORMAT 等國際性大廠之專家代表。

技術研討方面則分為商業模式、資源管理、地球科學及探勘、環境及社會溝通、工程實務、特殊議題(如非傳統技術、人才培育、市場供應鏈等)等主題分區演講與討論。

(1) 專題演講重點摘要

A 印尼地熱協會會長 Julfi Hadi(同時也是 PT Pertamina Geothermal Energy Tbk 的總經理)

以印尼地熱開發的最佳實踐及策略為題發表演說，提到印尼地熱發電潛力全球最大約有 24 GW，已開發僅約 2.6 GW，約 12%，但地熱能源為印尼能源安全、GDP 成長及能源轉型的關鍵。政府目標為 2035 年裝置容量要達 7.8 GW，因此需每年新增 700 – 800 MW(但過去僅 100 – 150 MW/年)。其核心挑戰有以下幾點：

- a. 投資回報率低：缺乏電價誘因與財政支持。
- b. 地質風險高：鑽井與維護成本昂貴。
- c. 單一買方 (PLN)：市場彈性不足，投資意願低。
- d. 收益模式單一：仍集中於電力銷售。

印尼地熱協會提出以下幾點行動方案：

- a. 政策倡議：稅務優惠、風險分攤、電價支持。
- b. 技術合作：引進先進鑽井、渦輪發電機與數位化方案。
- c. 本地供應鏈：提升 TKDN(使用印尼本地材料、人工、設計與製造的比例)，培養本土製造能力。
- d. 業務多元化：拓展綠氫、甲醇、離網市場。

B 印尼能源與礦產資源部部長戰略事務特別顧問 M. Pradana

Indraputra

說明 RUPTL(印尼電力供應商務計畫)規劃在 2025 – 2034 年新增 69.5 GW 再生能源發電容量，其中 42.6 GW(61%)來自再生能源(含地熱發電)、10.3 GW(15%)儲能(BESS 與抽蓄水力)、16.6 GW(24%)來自非再生能源(煤氣等)。並期望 2034 年實現 34.3%再生能源占比(2024 年僅 12%)。

其中地熱能源因具有供應穩定基載電力(容量因子 90 – 95%，可連續運轉 30 年)、減碳效益(可減少 3,100 萬噸 CO₂/年)、平衡區域發展(對位於偏遠之地區，可促進均衡發展與鄉村電氣化)等特性。2025 – 2034 期間目標新增 5.2 GW，期望到 2034 年可達 7.7 GW。可望帶動之投資與經濟效益如下：

- a. 預估投資需求：USD 22B(IDR 363.8 兆)/10 年。
- b. 預計創造 42,700 綠色就業機會(2034 年)。
- c. 對 GDP 的貢獻：至 2034 年可增加 USD 30.2B。
- d. 減少燃油進口，節省外匯約 IDR 1.28 兆/年。

政策與激勵措施如下：

- e. 財政誘因：稅務減免、土地稅優惠、進口關稅減免。
 - f. 市場模式：89%地熱開發由 IPPs(獨立電廠)負責，PLN(印尼國營電力公司)與子公司僅 11%。
 - g. 去柴油化：東印尼及孤島供電將以地熱替代柴油機組。
- C 印尼國家電力公司(PT PLN)再生能源與專案管理處處長 Suroso Isnandar

演講主題為「將地熱能源納入國家電力發展計畫」，提及印尼政府(總統 Prabowo Subianto)在 2024 年就職演說中強調「能源自給自足」是國家優先目標，且印尼擁有豐富能源潛力地熱、煤、水力與太陽能等。PLN 作為國家電力規劃與執行主體，將在新一版 RUPTL 2025 – 2034 中強化地熱與再生能源角色。

印尼 2034 年電力需求預測全國總用電量達 511 TWh(較 2024 年增加約兩倍)。成長主因有工業園區與資料中心需求、礦產下游加工(Mineral downstreaming)、電動車與電爐普及新首都 IKN 建設、觀光與海事發展。但印尼再生能源潛力與區域發展有落差，雖然再生能源(特別是地熱、水力、太陽能)潛力分布廣，但與主要用電區(如爪哇島)位置錯位。為解決供需區域落差，PLN 推動「Green Enabling Super Grid」計畫。

所謂「Green Enabling Super Grid」構想，是建置全國超高壓輸電網路總長約 48,000 公里，連接蘇門答臘、爪哇、加里曼丹、蘇拉威西與努沙登加拉群島。預計可達到將偏遠地區的再生能源送至高需求區；降低開發商的技術與財務風險和吸引再生能源投資等效益。

而在地熱發電推動方面，至 2034 年預計將推動約 5.2 GW 地熱新建計畫。採分階段開發，預期 2025 – 2034 年間約有 58%容量可在 2030 年前商轉。並採用「分配額度制(Distributed Quota)」管理專案時程。不同區域的地熱電價(Tariff)與發電成本(BPP)依據 ESDM 部長令第 169/2021 號訂定價格區間如下：

- a. 爪哇／峇里：約 7 – 9 cUSD/kWh。
- b. 蘇門答臘、蘇拉威西部分地區可達 12 – 13 cUSD/kWh。

在 PPA(購售電合約)制度改革上，舊制度在探勘前即簽 PPA，導致風險高、預測不準。新制度將地熱探勘後才確定容量與電價，更貼近實際情況。新制度引入 PTA(Pre-Transaction Agreement)與 Price Matrix 機制，以標準化流程降低不確定性。

演講結語為地熱能源是 RUPTL 2025 – 2034 的核心基載電源，綠色超級電網將成為串聯印尼再生能源的關鍵基礎建設。未來政策方向聚焦於：

- a. 降低再生能源區域差距。
- b. 提升投資誘因與市場信心。

c. 透過制度改革(PPA 改制)提高專案可行性與透明度。

D 印尼國家發展規劃部／國家發展規劃署政策分析與績效中心 Yasir Arafatz 發表主題為邁向 2030 的戰略途徑，以前瞻分析為基礎的印尼能源轉型中地熱發展研究，介紹印尼地熱發展歷史概況如下：

- a. 地熱開發可追溯至 1928 年的 Kamojang。近一世紀後，截至 2024 年，印尼共運營 18 座地熱電廠(PLTP)，總裝機容量 2,639 MW，全球排名第二。
- b. 裝機容量從 2015 - 2024 年幾乎翻倍，年均增長約 117.75 MW，但自 2019 年後增速放緩(受 COVID-19 疫情影響)。
- c. 儘管持續增長，實際容量(2025 年為 2,689 MW)仍低於 RUEN 計畫的 7.2 GW 目標，使得在 2050 年達成 17.6 GW 目標更加艱難。

能源礦產部(MEMR)2025 年第 10 號法規設定 2060 年新目標為 22.7 GW(占全國能源結構 5.1%，或達總潛力的 95%)。但要達成上述目標，需要在 25 - 35 年內每年新增約 0.57 GW，發展策略應與 RPJPN(印尼國家長期發展計畫)2025 - 2045 及 RPJMN(印尼國家中期發展計畫)2025 - 2029 充分協調並進行轉型。因地熱對 2060 年淨零排放及國家能源轉型至關重要，其複雜挑戰需依靠前瞻性且具彈性的政策制定，並應以 STEEPV(社會 S)－技術(T)－經濟(E)－環境(E)－政治(P)－價值觀(V))框架進行前瞻分析，辨識地熱發展中可能的事件、趨勢與驅動力，作為印尼能源轉型策略的一部分。

而若要在 2030 年達成 4,300 MW，也需要強有力的政策、先進技術，以及結構化的 2025 - 2030 路線圖。其認為關鍵策略概述如下：政策改革(包括 RUU EBET 新與再生能源法草案、KEN 國家能源政策、RUEN 國家能源總體規劃、電價)、降低投資風險、強化機構能力、創新與人才培育、綜合資源統籌規劃等。

(2)主題技術研討重點成果摘要

A 印尼星能地熱公司(Star Energy Geothermal, SEG)集團執行長 Hendra Soetjipto Tan 介紹該公司卓越的地熱電廠管理成就

在提升地熱鑽探計畫成功率方面，該公司在 2022 年前即達到 91%，之後更是達到 100%。其做法如下：

a. 降低鑽桿卡死風險

- 建立 AI 驅動的卡鑽風險評估與斷層偵測系統的警示機制。
- 利用數學建模提升風險評估及安全操作意識，減少鑽桿卡死事件。

b. 加快卡鑽事件復原

- 事先準備維修系統與工具，確保在卡鑽時能快速決策並迅速恢復。
- 將停工時間降至最低，避免昂貴的無效鑽探。

c. 提升場域有效滲透率地層的瞭解

開發全球首創斷層特性地圖繪製系統，並持續更新模型及整合最新鑽探成果，以提升井位準確性並避免非生產性鑽探工作。

在提升鑽進效率方面，該公司已將典型地熱井(平均深度 5,500 – 6,500 英尺)的鑽探天數從約 60 天縮短至 14 – 18 天。其做法如下：

a. 建立高效能的技術鑽探團隊

促進團隊協作、保留現場經驗、應用學習成果，推動持續改進。

b. 採用單一型式鑽機策略

- 在多資產作業中，同步鑽探計畫，使用單一型式鑽機與一致化的鑽探團隊。
- 上述策略可加強團隊凝聚力、提升操作紀律並增進整體效率。

c. 運用先進技術

優化鑽進速度(ROP)、即時監測、先進鑽頭選擇、AI 驅動的鑽桿卡死風險評估，以及簡化的定向鑽探策略。

在電廠營運成本優化方面，該公司從 2017 年的 1.76 美分/kWh 降至 2024 年的 1.14 美分/kWh，提升幅度達 35%。其做法如下：

a. 合約整合

將相似合約分組，最大化規模經濟效益，並取得更優惠的價格與

條件。

b. 及早處理閒置庫存

識別、評估並決定是否維修、重新部署或清理非生產性庫存，以釋放空間和資金。

c. 租賃與購買分析

提前評估設備需求，決定哪些資產適合租賃、哪些適合購買，以達到最佳投資回報。

在電廠妥善率提升方面，自 2017 年以來，該公司已將電廠的可利用率維持在平均 98.2%。平均每年僅有 157 小時(約 6.5 天)的非計畫停機，其做法如下：

a. 從預防性維護轉向預測性維護

對關鍵備品進行全面的壽命評估，建立數據驅動的策略性維護計畫。

b. 確保關鍵備品的準備就緒

識別並維持最佳庫存水平，以便在非計畫事件發生時快速恢復，將操作停機時間降至最低。

在電廠發電效能方面，該公司將電廠的蒸汽消耗量從每兆瓦電力 2 kg/s 降至 1.8 kg/s。其做法如下：

a. 提升渦輪效率

- 升級葉片設計以提高能量轉換效率。
- 改善材料與塗層選擇，延長維修間隔。

b. 改善輔助設備(Balance of Plant)

- 升級冷卻塔設計，提高冷卻效率。
- 升級中間冷凝器設計，以改善水垢去除效果。

c. 降低從井口到電廠的熱能損失

- 採用適合用途的管線設計。
- 改善保溫材料選擇。

B PT Mitra Rekayasa Keberlanjutan 公司 Sekar Arum Aniswari

發表「包容性地熱開發：連結 ESG 與原住民權益」，提出地熱開發專案的社會衝突並非源於對清潔能源的抵制，而是源自被排除在外及程序不公，開發專案若缺乏自由、事前知情同意(FPIC)、環境、社會與治理(ESG)、以及性別平等與社會包容(GEDSI)等考量，會削弱其合法性與長期可行性。因此認為包容性框架須包含整合當地價值觀、權力結構與集體認同一對專案成功至關重要。並對開發者提出建議如下：

- a. 培訓員工、在專案全生命週期中實質整合自由、事前知情同意(FPIC)、繪製地方利害關係人地圖，設計符合文化敏感性的溝通策略、將社會投資視為長期的經營策略。
- b. 對政府與公共部門的建議為在能源部門及 AMDAL 法規中強制要求 FPIC，賦能社區，使其理解並行使自身權利，鼓勵非政府組織/公民社會組織、學術界與地方政府的協作，支持社區經濟模式，共享地熱開發利益。FPIC 要素如下：
 - 自由(Free)：不受脅迫、壓力或操控。
 - 事前(Prior)：在專案核准或設計前取得同意。
 - 知情(Informed)：必須分享完整且相關的資訊。
 - 同意(Consent)：以集體決策為基礎、共識形成，可具條件性。

C Sepuluh Nopember Institute of Technology 之 Putu Ayu Shri Arwitha Wulandari

發表印尼整合地熱鹵水萃取綠氫、鋰與直接供熱的可行性分析認為印尼地熱電廠鹵水可透過現代直接鋰萃取技術(DLE)取得商業化鋰金屬。(示範地熱區之鋰離子濃度約 33 ppm ~62.7 ppm，高溫鹵水溫度約 170 – 330 °C 並夾帶氣體 CO₂、H₂)。

其示範系統基本成果如下：可直接鋰萃取(DLE)、可催化 CO₂ 氫化生成甲酸(Formic acid)、可進行多階閃蒸／膜蒸餾(MSF/MD)淡化並取得超純水、可直接熱能應用。系統的熱能傳遞效率 >90%、鋰回收率約 90 – 99%。

D 印尼國家石油地熱公司(Pertamina Geothermal Energy)Edyson Purba

介紹在西爪哇火山型熱儲層中應用複合型鑽頭(Hybrid bit)技術的地熱鑽井策略，並以 Karaha-Talaga Bodas 地熱田為例，指出複合型鑽頭在各種地層(如凝灰角礫岩、安山角礫岩及安山岩熔岩)中創下最高平均鑽進速度(ROP)。與傳統 TCI(三錐)鑽頭相比：平均鑽進速度提升 85%，在安山岩熔岩(最硬地層)鑽進時，平均 ROP(鑽進速率)可達 10 米/小時以上；與 PDC(多晶鑽石複合鑽頭)鑽頭相比時創下單次至目標深度的場域平均最高 ROP 記錄。

整體而言，鑽井成本的影響因素包括鑽頭成本、鑽機運行成本、鑽探時間、起下井時間，以及鑽進深度。複合型鑽頭比傳統型鑽頭平均可節省 3.56 天鑽探時間，每英尺成本(CPF)比所有鑽頭平均值低 9%，不僅鑽得更深，也更具成本效益。

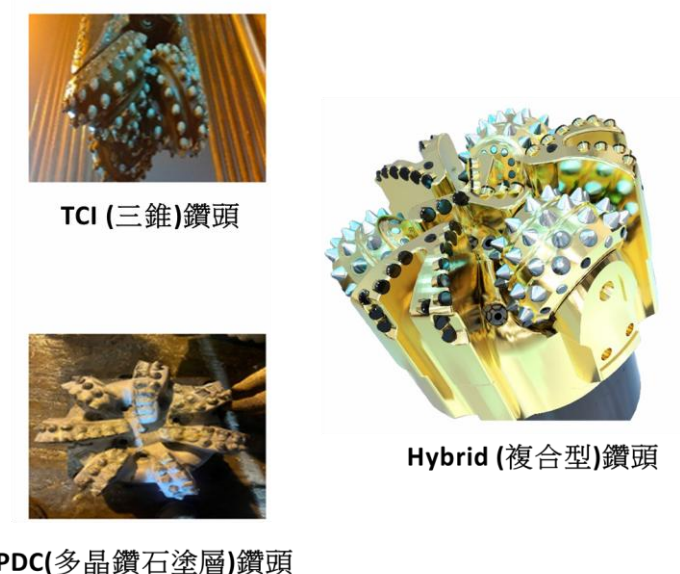


圖 8、複合型鑽頭與傳統 TCI、PDC 鑽頭示意圖

E 世界銀行 Snorri Gudbrandsson、Muchsin Chasani Abdul Qadir、Stephanie Alexandra Pinnington、Elin Hallgrimsdottir 等人

說明世界銀行與 ESMAP(Energy Sector Management Assistance Program)在地熱能源推動上的角色。ESMAP 是世界銀行

的一個信託基金與技術援助計畫，專注於支援再生能源、能源效率與永續能源政策。

ESMAP 對全球地熱能源的推動與發展已有重大貢獻。除了向各國政府提供量身訂做的技術援助方面發揮關鍵作用，以推進地熱能源的發展外，並透在國家層級的合作設計培養當地開發能力，協助解決監管或技術的瓶頸，並降低地熱勘探與開發的投資風險。截至目前為止，世界銀行已在全球地熱專案中提供超過 9 億美元的貸款。

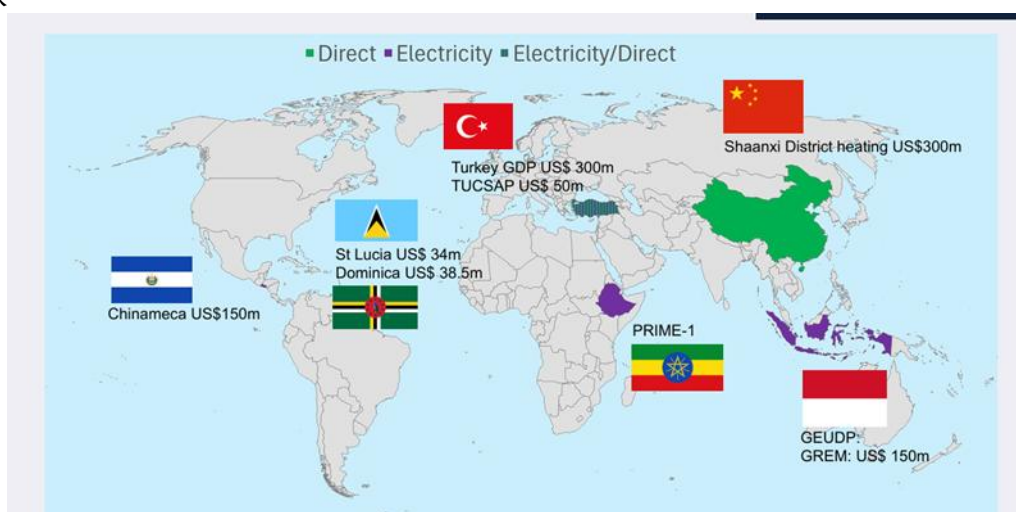


圖 9、世界銀行對地熱開發融資之分布圖

F GEOENERGIS & ENERKA 公司 Nadya Erichatama 等人

發表如何學習美國地熱發電商業模式以最佳化印尼的地熱電力市場，其指出全球地熱發電裝置容量約 16,335 MW，美國居首(約 3,900 MW)，印尼第二，現行印尼的商業模式為以投資組合型 (portfolio) 為主，由建設、油氣公司或投資服務商驅動，但也存在一些地方型小規模開發；少數企業(如 Ormat Indonesia)採用垂直整合(vertical integrated)，涵蓋從勘探到營運一條龍服務模式，部分公司也嘗試發展地熱衍生商品。

其歸納美國的商業模式之業者可分為三型：

- a. Geothermal Power Producer(專注型)：專注地熱發電，有些結合在地小規模開發或觀光教育。

- b. Renewable Portfolio(投資組合型)：將地熱納入更大再生能源組合(如 Enel、Calpine)。
- c. Vertical Integrated(垂直整合型)：掌握從勘探、設備製造到運營(如 Ormat)。
- d. 電力市場由 ISO/RTO 開放電網、多層級(聯邦、州、市)監管機構管理，確保競爭與傳輸公平。

美國經驗商業模式優缺點如下：

- a. 專注型(Producer)：專業深入、在地發展靈活，但高度依賴資源且資本需求大。
- b. 投資組合型(Portfolio)：風險分散、規模化優勢，但管理複雜、可能稀釋地熱投資效益。
- c. 垂直整合(Vertical Integrated)：掌控供應鏈、利潤率高，但需龐大資本，運營管理複雜。

美國地熱商業模型給印尼地熱發展的啟示如下：

- a. 政策面：簡化許可流程(一站式)、明確土地權屬、透明競標、提高電價以平衡風險。
- b. 財務面：彈性合約條款、風險分攤機制、提升 PPA 銀行融資可行性。
- c. 技術面：開發中低溫地熱系統，及美國 Fervo 公司的 EGS 前瞻技術。
- d. 應用面：推動地熱衍生品(鋰回收、直接利用)與創新商業模式。

G Institut Teknologi Bandung, Bondan Attoriq

發表如何利用多重機器學習(Multi-ML)來最佳化 EGS 鑽井作業，其研究動機為 EGS 鑽井成本高，通常占總開發成本的 35 - 40%，且鑽井風險高(如井斷層、滲透率不確定)，導致失敗率大、投資風險高。因此需要新方法來預測最佳鑽井參數(ROP、泥漿流速、井壁穩定性等)。

其研究方法為建立多重機器學習(ML)模型(如隨機森林、XGBoost、神經網路等)，整合歷史鑽井數據。並利用特徵工程(Feature Engineering)提取關鍵影響因子(壓力、溫度、岩石特性)。最後訓練模型以預測 ROP(Rate of Penetration)與井壁穩定性，進而調整鑽井參數。

研究成果顯示可應用機器學習模型提升 ROP 預測準確度，降低無效鑽井時間。並減少非生產時間，提升整體作業效率，及預估可節省數百萬美元的成本，和縮短鑽井工期。該項技術適用於 EGS 鑽井、傳統地熱開發、油氣井鑽探。未來可與即時監測系統(real-time drilling data)整合，形成智慧型鑽井決策支援系統(Smart Drilling DSS)。

H Supreme Energy 公司 Nisriyanto 發表《Geothermal Investment Perspectives: Challenges and Opportunities》，Supreme Energy 為印尼少數能成功開發綠地型地熱場(Greenfield Projects)民間企業之一。該公司認為目前印尼地熱開發投資困境如下：

a. 高風險投資

- 勘探成功率僅約 50%。
- 開發期仍存在技術與資金風險。

b. 高前期資本投入

- 勘探與基礎設施建置成本高。
- 即使採「slim hole」微孔探勘井策略，仍需鑽鑿大孔徑井支撐融資。

c. 長期開發週期

從勘探到商轉時間約需 7 年。

d. 市場限制

- 僅可供發電使用，依賴單一買方(PLN)。
- 回報偏低，價格與財政政策影響大。

在價格與政策上多有演變(2008 – 2022)，印尼地熱定價政策歷經多次修訂，早期以「BPP(PLN 發電成本上限)」為依據，一度引

入 Feed-in Tariff (2012)，最新是依據 PERPRES 112/2022：以「PLN 可負擔成本(affordability)」為上限。該公司對印尼地熱發展的未來建議與展望如下：

- a. 提升價格與財政吸引力
 - PLN 不應負擔定價責任。
 - 政府不應將地熱視為稅收來源。
 - 引入「滑動式電價機制(sliding scale tariff)」。
 - 制定「具銀行融資性(bankable)的標準化 PPA」。
- b. 強化部會協調(MEMR 領銜整合)。

I PT Greatwall Drilling Asia Pacific 公司的 Abdul Hamid

發表高溫鑽井及完井技術(High-Temperature Drilling and Completion Technology)，提出該公司地熱鑽井成果如下：

項目	數據或成果
服務年限	10 年地熱鑽井經驗
鑽井數量	>146 口高溫地熱井，平均鑽進速率 59.1 – 67.4 m/day
發電容量	超過 800 MWe(平均每井約 7 MWe)
印尼專案	KS Orka、SMGP(Sorik Marapi)、SGI(Sokoria)等案場

該公司歸納地熱鑽井與完井主要挑戰如下：

- a. 高溫與多斷層帶地層→鑽頭嚴重磨損。
- b. 岩層可鑽性→鑽進速率低、工具壽命短。
- c. 泥漿性能劣 →循環能力下降、冷卻不足。
- d. 井下震動與漏失頻繁。
- e. 水泥封固品質不穩，常需補封(backfilling)。

歸納該公司在高溫鑽井技術上突破如下：

項目	技術重點
破岩技術	高溫 PDC 鑽頭與 HT BHA 組件；加強抗衝擊與冷卻結構設計(fan type flow channel)
氣體鑽井技術	空氣泡沫泥漿(air-foaming fluid)與高溫氣鑽流程

高溫測試技術	在鑽井與完井階段能進行溫度量測與測試，最高溫可達 230°C (Kenya 實例)
套管檢測技術	300°C 耐溫、40 臂探測儀(multi-arm caliper)，可偵測套管變形與損壞並修復
電動化鑽機技術	柴油驅動鑽機改為電動鑽機，大幅降低燃油成本與碳排放

5. 作為臺灣國際地熱論壇學習內容

(1) 政府高層次政策支持

「第 11 屆印尼國際地熱大會暨展覽會」由印尼地熱協會(INAGA)主辦，並獲得能源與礦產資源部(ESDM)、國營企業(如 PLN、Pertamina、Geo Dipa)的高度支持。最初規劃由印尼總統(Prabowo Subianto)親臨致詞，隨後上午改為能源與礦產資源部長(Bahlil Lahadalia)致詞及發表演說，展現中央政府在能源轉型中的決心，並透過政策論壇向業界釋放明確訊號，提升了會議權威性與政策連結度。

(2) 全產業鏈參與

大會不僅有發電業者，還包括勘探服務商、鑽井公司、渦輪機製造、金融機構、國際發展組織、研究機構等。形成從「資源－技術－融資－市場」完整交流平台。

(3) 學術與產業結合

大會於會議期間下午設有技術研討會(technical session)，涵蓋地熱勘探技術、環境監測、ESG、融資模式等，提供學者發表論文、業界分享案例，讓學術與實務形成互補。透過「技術論壇+商務論壇」雙軌並行，讓研究成果有機會進入產業應用。

(4) 地熱現場參訪(Field Trip)

透過大會後實地參訪地熱電廠，讓與會者能實際認識印尼地熱案場開發經驗，透過與第一線人員對談，提升會議的實務價值，並瞭解當地自然風景、傳統文化。



圖 10、第 11 屆印尼國際地熱大會暨展覽會入口合影



圖 11、第 11 屆印尼國際地熱大會暨展覽會入口視覺

(二) Baker Hughes 訪談(114/9/16、9/18)

Baker Hughes 是一家全球領先的能源科技公司，總部位於美國德州休士頓，在全球 120 多個國家和地區有業務。它的核心角色是為能源產業提供技術、產品與服務，涵蓋石油、天然氣、地熱以及新能源開發領域。

Baker Hughes 透過油氣鑽井與地下技術累積之經驗應用於地熱能案場開發，如深井鑽探技術應用於地熱井(尤其是高溫、高壓地層)、井下工具與測量技術(測井、隨鑽測量)等。在印尼與國營企業與 Pertamina 及其子公司合作，參與多個地熱場區(如 Java、Sumatra 的地熱計畫)；另與 Geo Dipa Energi 有技術合作，支援地熱發電廠的升級與擴建。

1. 討論交流議題

- (1)最初從場址辨識開始，彙整地質資訊建立靜態 3D 模型，再建立地下裂隙模型(包含液裂工程製造裂縫)，接著進行流體建模評估熱交換效率，最終判斷技術、經濟可行性。須大量數據蒐集與探勘計畫，並透過情境建模進行分析
- (2)針對案場篩選採分階段進行，初步篩選需 6-8 週，再用 8-12 週深入分析幾個場址。之後即可提出數據蒐集與完整探勘建議(包含地球物理調查與實際鑽井)
- (3)針對地震監測，案場有安裝設備監測，目前這些震動都非常微小，要放大一萬倍才可能會在地表被感知。

2. 後續合作或引進至國內建議

未來深層地熱案場為臺灣地熱推動重點，其中 EGS 開發技術於國際上相對 AGS 等深層地熱技術較為成熟，且中油公司已規劃建置 EGS 示範案場，期待未來邀請該公司專家(如 Will Pettit 博士)來臺交流，進一步解析地熱前沿發展、鑽井技術以及 EGS 的內涵，同探討未來地熱在臺灣的應用潛力、技術發展與機會。



圖 12、與受訪談人 Baker Hughes 公司 Will Pettit 博士合影

(三)印尼能源與礦產資源部訪談(114/9/17、9/18)

印尼能源與礦產資源部是負責管理印尼能源和礦產資源的政府部門，這個部門的主要職責包括負責制定和確定能源和礦產資源領域的政策、協調和同步能源和礦產資源領域的政策實施、負責管理的國家財產/資產、監督能源及礦產資源領域任務的實施。

其成功的政策工具(如開發區塊招標機制、風險勘探資助、電價制度與國營公司參與模式)對台灣未來推動具高度參考價值，有助於優化法規與行政流程，降低民間投資障礙。

1. 地熱開發的政策或目標

印尼是全球地熱資源最豐富的國家之一，估計可開發潛能超過 23.7 GW，但 2024 年地熱電廠裝置容量達 2.65 GW，開發率仍低故規劃至 2035 年將地熱裝置容量再增加 5.2 GW。

能礦部擔任印尼地熱能的監管者，負責評估地熱潛力區、制定作業區遴選標準，並核發許可與執照給開發者(國內外私人企業均可)。

印尼採用的是電價上限制(ceiling tariff)，非固定收購價(FIT)，透過與國營電力公司 PLN 的協商決定價格，並依據一份指標性價格表作為參考，上限電價會再乘以地點係數(F)，用以獎勵在偏遠地區或成本較高地區的電廠。

印尼在研發方面與國內大學及國際夥伴合作，包括紐西蘭奧克蘭大學、冰島、美國的大學，也與日本、紐西蘭、冰島及非洲(例如肯亞)的國家合作。

2. 地熱相關法規或行政流程

2014 年印尼修正原先的地熱專法 (Law No. 21 of 2014 on Geothermal)，在該法中增加地熱能發電等再生能源利用，以減少溫室氣體排放。重要內容包含：

- (1)地熱開發須遵循九大原則：利益、效率、正義、經濟優化、可負擔性、可持續性、獨立性、安全性，以及環境保護。
- (2)地熱資源歸國家所有，定義從礦物改為熱能，其開發不受礦物開採之限制，得以在森林保護區開發。
- (3)政府可以依據前期評估資料劃定地熱工作區，進行招標作業，並核發地熱許可證(Izin Panas Bumi)。

3. 相關地熱獎勵補助項目

政府不會直接補貼地熱開發商，但會提供包括免稅優惠、政府投入探勘承擔風險，並與世界銀行合作分擔風險等。

4. 印尼地熱開發之挑戰

印尼仍有大量未開發的傳統地熱潛能，目前優先開發傳統系統；另因 EGS 涉及潛在地震風險，社會接受度有限，政府需要謹慎處理。



圖 13、第 11 屆印尼國際地熱大會暨展覽會-能礦部展位



圖 14、與受訪談人能礦部 Aulia Rizky Pratama 先生合影

(四)Star Energy Geothermal 訪談(114/9/17)

Star Energy Geothermal 成立於 2003 年，為印尼最大的地熱能開發商，目前管理和營運的地熱能電廠總裝置容量達 886MW，並持續探勘印尼新地熱區域與擴建現有電廠，計畫在 2028 年前將其地熱發電容量提升至約 1,200 MW。

1. 討論交流議題

(1)地熱案場開發經驗

地熱案場開發關鍵在於風險高，開發者需控制政策與技術風險，透過提前進行 3G 調查(地質 Geology、地球物理 Geophysics、地球化學 Geochemistry)來降低風險。

(2)回饋機制

公司每年投入約 10 萬美元作為投入社區發展，改善當地居民生活，包括興建學校、鑿水井等基礎民生設施，協助居民改善生活，以及進行農業輔導等，提升與在地社區的關係。

(3)人才培育

聘用在地人力挑戰在於地熱能發電產業皆需要較高學歷，而地方居民學歷偏低，因此只能聘用在地人員至技術員層級，較高階職位需求還是說來自都市人才擔任，以確保營運品質。

(4)環境保育

目前開發環境風險主要是鑽井過程中泥漿可能溢出溪流、作業會產生噪音。總體而言風險較低，且公司在環境管理上被評為印尼地熱業界最佳之一。

Salak 案場(裝置容量 377MW)位於自然保護森林與保育區域，該場址中地上設施僅占特許面積小部分(約僅 1%)，大部分土地保留為自然森林。此外運營中亦重視維護森林，電廠周圍甚至有野生花豹、猴子出沒。

2. 後續合作或引進至國內建議

(1)社區回饋與地方共榮

鼓勵開發業者於地方進行實質回饋，如鋪路、蓋學校、運動場等，促進業者與當地居民關係，認同地熱發電對於地方之助益。此外，強化與原鄉部落合作，將地熱開發與文化保存、地方旅遊結合。

(2)人才培育

我國教育程度相對印尼高，惟地熱發電相關課程較少，可與大專院向合作，建立地熱專業職能訓練課程。開發業者出資提供在地青年

實習與證照制度，逐步培養地熱技術人力，建立「地方+專業」雙軌人力模式，兼顧專業技術與社區連結。

(3)環境保育

透過劃設地熱工作區減少業者零星開發，於工作區內限制其他利用，透過地熱案場地表占地面積小、不產生碳排等特性，達到地熱案場與環境生態共存共榮。



圖 15、與 Star Engegye 公司 Aquardi Rachmat Suminar 先生訪談



圖 16、與受訪談人 Star Engegye 公司 Aquardi Rachmat Suminar 先生合影

(五)參訪 PT Apexindo Pratama Duta Tbk 及總部(114/9/18)

Apexindo 成立於 1984 年，為印尼唯一具備陸上與離岸鑽井能力的國內承包商，主要提供油氣、地熱與煤層甲烷(CBM)產業的鑽井服務，包括離岸(Jack-up 平台與 swamp barge)與陸上鑽井。目前擁有約四座離岸鑽井設備與六座陸上鑽井設備，服務對象包括油氣開採業者，也開展地熱與煤層甲烷的鑽井事業。

Apexindo 在地熱積累豐富實務經驗，可透過拜訪深入了解運作流程、鑽井技術、安全、環境管理等內容，提升國內專業能量。期透過此次拜訪加深與印尼能源業者的聯繫，開啟臺印雙方在地熱資源開發方面的交流機會，為未來技術合作、投資協議或試點計畫奠基。

1. 討論交流議題

地熱能需要高額前期投資，包括鑽井、地面設施、管線與現場電廠；與石油/煤炭挖了就能馬上開採不同，必須要有電廠、管線，而且是在現場直接發電。

印尼會要求 70%在地化，故案場會優先使用當地服務(如運輸、推土機)及當地人力(例如村民擔任保全、採購當地食材)，避免從外地或國外調配。

熱蒸氣進渦輪機後，尾水進蓄水池冷卻並回注，若排放至河流需高成本淨化，故通常不將尾水再利用。

案場開發報酬率取決於前期投資成本與售電價，故鑽井成本與井產能是關鍵，印尼地熱約 1974 年開始進行研究，快速發展是來自 50 年長久的探勘經驗累積。

公司非常重視健康、安全與環境(HSE)，以實現企業的永續經營和零傷害目標。

2. 後續合作或引進至國內建議

政府應建立長期地熱開發藍圖與融資支持機制，主動投入全臺探勘，強化技術能量與探勘資料共享機制，以協助業者克服高額前期投資壓力。

推動地熱注重在地化與社區共榮模式，以創造地方就業與社區支持。嚴格導入公司 HSE 管理制度與環境監測標準，完善職員訓練機制，降低鑽井施工風險，提升地熱產業永續形象。



圖 17、參訪 Apexindo Pratama Duta Tbk 鑽井訓練場地



圖 18、與受訪談人 Apexindo 公司 Don K Wood 先生合影

(六)參訪 Ijen Geothermal Power Plant(114/9/20)

本屆 IIGCE 2025 安排參觀之地熱電廠為 Ijen Geothermal Power Plant(也稱 PLTP Ijen；或 Blawan-Ijen)，位於東爪哇省(East Java)Bondowoso 區域，由 PT Medco Power Indonesia(屬 Medco Energi)與 Ormat Technologies 聯合組成的子公司 PT Medco Cahaya Geothermal(MCG)共同開發經營。

伊真地熱電廠由「Medco Power」和 Ormat Technologies 共同擁有，於 2025 年 2 月 7 日正式進入商業營運期間(COD)，初始裝置容量為 35 MW，總規劃裝置容量為 110 MW。

作為東爪哇省首個地熱發電廠，其發電量將根據為期 30 年的購電協議(PPA)輸送至爪哇電網。是印尼國家電力公司(PT PLN)十年電力供應業務計劃(RUPTL)的一部分，該電廠由 83 座輸電塔和一條 150kV 輸電線路支撐，預計將增強爪哇-峇里島電力系統的穩定性，並為約 85,000 戶家庭供電。

1. 伊真地熱能電廠發展歷史

Ijen 地熱電廠是印尼能源轉型的重要案例，雖然目前容量有限，但技術先進、象徵性強，加上政策與市場利多，擁有極大成長空間。主要風險仍在於資源持續性、政策穩定性，以及擴張計畫的執行力。以下為重點歸納：

(1)電力供應與擴容

- A 第一階段 35 MW 的電力輸出已經商業運轉，為 Java 電網提供電力。
- B 未來第二階段預計將擴展額外容量(例如第 2 期計畫將增至約 55 MW)以達到整體 110 MW 的目標。

(2)環境效益

- A 支持印尼政府在再生能源(New and Renewable Energy, EBT)上的目標：從 2025 年起，提升 EBT 在國內能源構成中的比例。Ijen 是其中的戰略專案之一。
- B 減少溫室氣體排放。報導指出 Ijen 電廠的運作有潛力每年減排約 228,636 至 838,332 噸 CO₂e。

- C 全生命周期上，第一期運作(Unit 1)預計避免 CO₂排放約 7 百萬噸。這是針對單一期運作的長期效益估算。

(3)社會與經濟效益

- A 提供約 85,000 戶家庭的電力供應。
- B 建設期間與運轉期間創造工作機會與帶動地方經濟(直接與間接的就業與商機)。
- C 在技術創新與運營安全方面獲獎。例如在 2025 年 Ijen 電廠獲得「Best IPP Company for Renewable Energy Power Plant in Technological Innovation」獎項；也在施工期間獲得「zero accident」安全記錄。

(4)政策與戰略意義

- A Ijen 是東爪哇(East Java)第一座地熱發電廠，對該省份來說具有標誌性。
- B 與印尼的淨零排放(Net Zero Emission, NZE)目標對齊。專案支援國家在 2060 年(或更早)實現淨零排放的承諾。
- C 電廠也有助於爪哇-峇里(Java-Bali)電網系統的穩定，尤其是在再生能源占比提高與需求成長的背景下。

2. 電廠設計

其規劃總容量 110MW，第一階段約 35 MW 在 2025 年初正式投入營運，有 30 年的購電合約(PPA)，電力供給給 Java-Bali 電網系統，傳輸基礎建設包含 83 座變電塔與一條 150 kV 的輸電線路，用來將電力輸入 Java-Bali 系統；也有助於穩定電網供應。採用 Ormat Energy Converter(OEC)技術；第一階段為雙循環(binary)發電技術，利用蒸氣與鹽水／熱液(steam & brine)來發電，並做到 100% reinjection(將用過的地熱流體回注以維持儲層壓力)以減少資源耗損與環境衝擊。

初期階段的鑽井設施規劃包括 4 個井場(well pads)，預定鑽 6 口生產井(production wells)、2 口注入井(injection wells)，再加一口備用注入井(backup injection)。



圖 19、電廠管線參觀及介紹

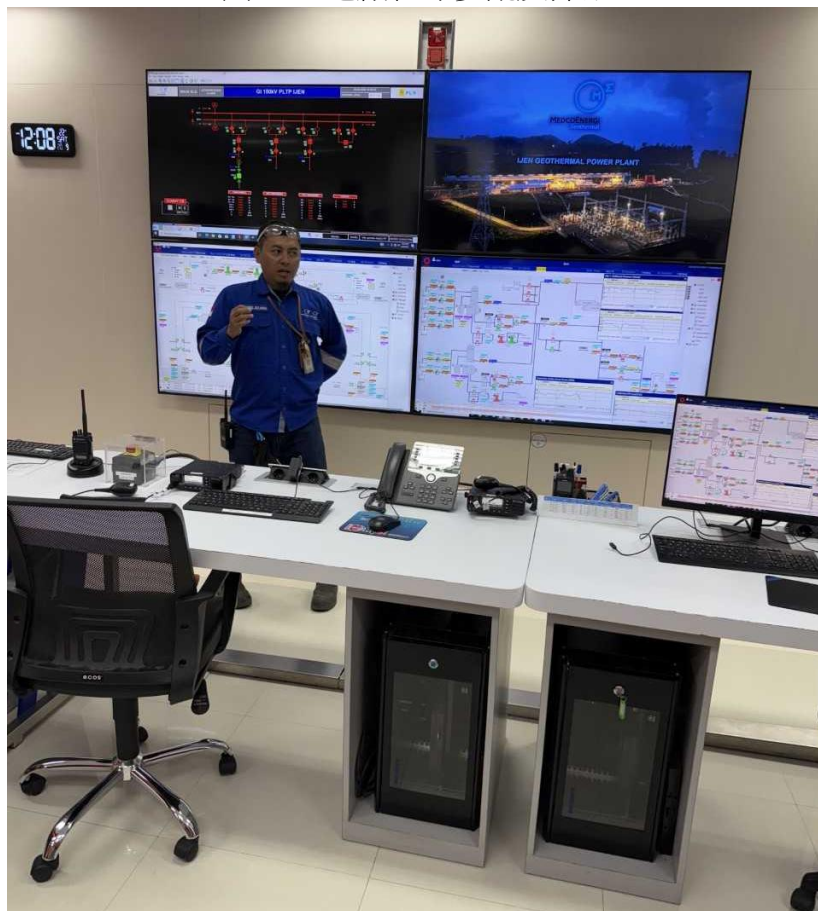


圖 20、電廠操作控制室參觀及介紹



圖 21、電廠生產井場介紹參觀照片

3. 未來計畫未來階段與挑戰

Phase 2 的最後投資決策(FID)預估在 2026 年第一季進行決策，以擴增容量至約 55 MW(加上第一期成為更完整的中間容量)來邁向總 110 MW 的目標。

日後挑戰可能包括地熱儲層的可維性(熱能可持續釋放與資源管理)、設備與運營成本、環境監控(特別是地熱流體排放與重注)、社區與土地使用問題、電網整合、以及再生能源政策／補貼／電價結構等調整。

參、結論與心得建議

印尼位於「環太平洋火山帶」，擁有全球約 40%的地熱資源，開發潛力雄厚，至 2025 年地熱發電開發容量約 2.7GW 居全球第二位，主要地熱場址分布於蘇門答臘、爪哇、蘇拉威西及東努沙登加拉等地。印尼運行的電廠以閃蒸式(flash steam)為主，也有乾蒸氣(dry steam)、雙循環(binary cycle)與混合型電廠。近期發展趨勢包含單閃+雙循環混合，以及嘗試太陽能-地熱混合(solar-geothermal hybrid)。

在政策與法規方面，自 1974 年以來，印尼陸續制定多項法規，重要的修訂包括 2003 年《地熱法》(Law No.27/2003)奠定法律基礎，2014 年修法將地熱開發排除於「採礦」範疇，使得保護區內也可進行開發。政府目標為 2025 年再生能源占比 23%、其中地熱超過 5%。

雖然印尼近期的地熱能源開發在政府高度支持下蓬勃發展，但「高風險、高資本、長週期」仍是印尼的地熱開發主要困境，地熱業者呼籲政府從「能源供應者」角色轉向「投資促進者」。認為若政府能在價格制度與 PPA 標準化上採納建議，將可能大幅提升印尼綠地型(Greenfield)地熱計畫的開發動能。Supreme Energy 的案例證明，透過國際合作(Sumitomo、Inpex、Marubeni 等)與長期策略布局，仍可在高風險環境中成功開發新興地熱場址，對其他開發商具參考價值。

另外相對於先進之美國地熱商業模式，印尼的地熱商業模式有以下幾點潛在問題：

(一)印尼模式偏「保守」

印尼目前多由大型能源或基礎建設公司「兼營地熱」，缺乏專注型與靈活小規模開發，導致開發速度較慢。

(二)缺乏市場競爭機制

美國有 ISO/RTO 制度確保電力市場公平競爭；印尼電力市場仍由國營 PLN 主導，限制了多元投資者進入。

(三)資本與風險分攤不足

美國的 PPA(電力購售協議)與融資模式更成熟；印尼則因電價與政策不確定性，銀行信貸意願不足。

(四)技術創新落差

美國企業積極探索 EGS、鋰萃取、混合應用；印尼仍以傳統高溫資源為主，缺乏低中溫與直接利用的規模化應用。

若印尼能結合美國的市場化機制 + 技術多元化 + 副產品商業模式，將有助於吸引更多投資，並加速達成能源轉型目標。

在技術方面，印尼因具有油氣鑽井工業之基礎，因此轉型到地熱產與相對具有很大優勢，而成熟的高溫鑽井技術是地熱開發成功的關鍵，但有三大趨勢具有政策與技術雙重啟示：

- (一)從「柴油驅動」轉向「電力驅動」→降低營運成本與碳排。
- (二)提升高溫工具壽命與測試能力→降低非生產時間，縮短專案週期。
- (三)建立在地技術能力→可逐步擺脫對外國鑽井承包商的依賴。

透過綜合分析印尼地熱開發的經驗，以印尼近年來積極導入模組化地熱電廠、BESS(Battery Energy Storage System)儲能、區域供電系統，這些正是台灣具技術優勢的領域，未來有機會切入國際市場，方向包含先進模組化中小型地熱電廠、偏遠/離網供電解決方案(地熱+儲能+微電網)等。

從印尼地熱開發的成功經驗，可歸納以下幾點國內可參考的方向：

(一)政策一致性增強投資信心

- 1.明確規劃再生能源比重，並強調地熱作為基載電力的重要性。
- 2.訂定清晰的政策並將改革開發許可申請流程，大幅縮短取得許可時間，對外資與 IPPs 更具吸引力。

(二)地熱投資仍受高成本與風險挑戰，應強化資源探勘與前瞻技術發展

- 1.地質不確定性與鑽井高成本，仍是地熱開發最大瓶頸，應持續強化地熱資源探勘可靠度及更具經濟價值的前瞻技術發展。
- 2.稅務優惠，電價(PPA)彈性，有助於投資回報率提升。

(三)地方發展與能源公平性的兼顧

- 1.將地熱開發與「社區生活」結合，充分完整進行社會溝通，能緩解「能源開發三難困境」(安全性、公平性、永續性)。

(四)產業投資及人才培育

- 1.根據印尼經驗地熱投資與 GDP 成長有直接加乘效應。因此建議持續強化地熱產業投資、在地產業供應鏈結、本土地熱人才培育、創造地熱產業就業機會，以促進經濟正向成長。

附件、參訪交流之國際地熱相關專家名片資訊

