

Estimasi Biaya Proyek Pembangkit Gas di Indonesia dengan Menggunakan Metode Optimasi Berbasis Least Square

Muhammad Idris

Divisi Enjiniring dan Teknologi, PT PLN (Persero)

Email: muhammad.idris@pln.co.id

Received: 20 Juni 2022 | Accepted: 1 September 2022 | Published: 1 Januari 2023

Abstract

Cost estimate is one of the critical phase in the the whole of project's planning activities. It deals with how much the cost would be prepared and expended in the project, especially for the project in the energy transition era. The natural gas, as cleanest fossil fuel, has a strategic role in domestic energy. Therefore, gas-fired power plants are still promising to serve electricity demand. Moreover, the growth of renewable energy is still low. The study aim to provide an overview of project cost estimate for several types of gas-fired power plants in Indonesia based on existing project or manufacturer's data sets. The cost estimate of gas-fired power plants have been calculated by least square method. The findings of the study is the approximation model for each type of gas-fired power plant that use a non-linear equation-power function. The performance criteria of the function have been evaluated by using 3 parameters. Gas turbine and combined cycle power plant have better result of performance criteria than gas engine power plant due to more data sets than gas engine power plant. However, the results can be applied as one of the reference for project cost estimates for budgeting or planning purposes and not recommended for detail estimation in procurement or project execution.

Keywords: Cost, Estimation, Project, Gas-fired power plant, Least square

Abstrak

Estimasi biaya adalah salah satu fase penting dalam rangkaian keseluruhan aktivitas perencanaan sebuah proyek. Hal tersebut terkait dengan seberapa banyak biaya yang harus dipersiapkan dan digunakan di dalam proyek, khususnya untuk proyek-proyek di masa transisi energi. Gas alam, sebagai bahan bakar fosil paling bersih, memiliki peran strategis di dalam pemenuhan energi domestik. Oleh karena itu, peran pembangkit gas masih sangat menjanjikan untuk melayani kebutuhan listrik. Terlebih, pertumbuhan energi terbarukan yang masih rendah. Kajian ini bertujuan untuk memberikan sebuah gambaran estimasi biaya proyek untuk beberapa pembangkit gas di Indonesia berdasarkan data proyek eksisting dan manufaktur. Estimasi biaya proyek pada pembangkit gas telah dihitung menggunakan metode least square. Hasil dari studi ini menunjukkan bahwa model pendekatan untuk setiap jenis pembangkit gas menggunakan persamaan non-linear dalam fungsi pangkat. Selain itu, kriteria kinerja dari fungsi tersebut telah dievaluasi menggunakan 3 parameter. PLTG dan PLTGU memiliki hasil pendekatan yang lebih baik dari PLTMG karena memiliki jumlah data yang lebih besar. Bagaimanapun, hasil tersebut dapat diaplikasikan sebagai salah satu referensi estimasi biaya proyek untuk budgeting atau perencanaan awal proyek dan tidak direkomendasikan untuk estimasi detail pada proses pengadaan atau saat eksekusi proyek.

Kata kunci: Biaya, Estimasi, Proyek, Pembangkit gas, Least square

1. PENDAHULUAN

Dalam sebuah rangkaian perencanaan proyek, perhitungan estimasi biaya adalah salah satu kunci penting sebelum proyek tersebut dieksekusi. Estimasi biaya proyek berkaitan dengan kemungkinan besar biaya yang akan dikeluarkan dari awal hingga selesai dalam melaksanakan sebuah proyek. Estimasi biaya dapat muncul dari masing-masing tahap proyek dengan pendekatan metode yang berbeda-beda. Estimasi biaya yang dilakukan pada saat proses inisiasi atau perencanaan awal akan memiliki perbedaan metode jika dibandingkan dengan estimasi biaya saat proses pengadaan. Begitu juga estimasi biaya saat konstruksi yang dilakukan oleh Kontraktor. Perbedaan itu akan berkaitan erat dengan data yang dibutuhkan dan tujuan penggunaan, dimana akan menghasilkan tingkat akurasi yang berbeda bergantung pada tingkat maturitas dari data proyek.

Dalam era transisi energi di Indonesia, gas alam memiliki peran yang strategis dalam pemenuhan energi dalam negeri. Meskipun termasuk dalam bahan bakar fosil, gas alam adalah bahan bakar fosil yang memiliki karakteristik hasil pembakaran yang paling bersih dibandingkan batubara dan minyak bumi [1]. Terlebih, pertumbuhan energi terbarukan belum dapat menggantikan pembangkit berbahan bakar fosil dalam waktu yang relatif singkat. Sehingga, peran pembangkit gas dapat menjadi alternatif utama dalam era transisi energi.

Tidak banyak kajian-kajian yang menginvestigasi estimasi biaya proyek pembangkit gas, khususnya di Indonesia. Beberapa makalah mengkaji estimasi biaya proyek dengan metode pendekatan yang berbeda-beda. Joo *et al.* [2], melakukan pemodelan multi-regresi untuk mengestimasi biaya dekomisioning pembangkit listrik tenaga nuklir (PLTN). Berbeda dengan [2], Hashemi *et al.* [3] melakukan pemodelan estimasi biaya pada pembangkit listrik dengan menggunakan konsep *hybrid*, yaitu dengan menggabungkan metode jaringan syaraf tiruan (JST) dengan algoritma genetik (AG). Terkait dengan metode-metode pemodelan estimasi biaya, Elmousalami [4] melakukan kajian review beberapa model biaya yang umum digunakan dalam teknik kecerdasan buatan (*artificial intelligence*), seperti *fuzzy logic* (FL), JST, regresi, *case-based reasoning* (CBR), *hybrid*, *diction tree* (DT), *random forest* (RF), *supportive vector machine* (SVM), dan AG. Terkait dengan objek kajian pembangkit, Partridge [5] dalam makalahnya telah menyajikan perbandingan estimasi biaya pada pembangkit energi terbarukan dengan pembangkit konvensional dengan membandingkan pembangkit listrik bertenaga angin, batubara dan gas alam. Davitti [6] mengestimasi biaya proyek untuk pembangkit tenaga air (PLTA) pada negara berkembang, dimana metode yang digunakan adalah multi-regresi.

Gas Turbine World (GTW) Handbook melakukan estimasi biaya PLTG dan PLTGU berdasarkan data *original equipment manufacturer* (OEM) [7–9]. GTW Handbook mengumpulkan data-data tersebut secara berkala berdasarkan peralatan utama dengan menggunakan metode regresi. Namun, estimasi biaya yang dikaji adalah biaya peralatan saja, bukan biaya proyek pembangunan secara keseluruhan, seperti biaya *engineering, procurement, construction* (EPC). Selain untuk kebutuhan perencanaan sebuah proyek, estimasi biaya juga dilakukan untuk kebutuhan kontrol dan pemantauan sebuah proyek yang sedang berjalan [10].

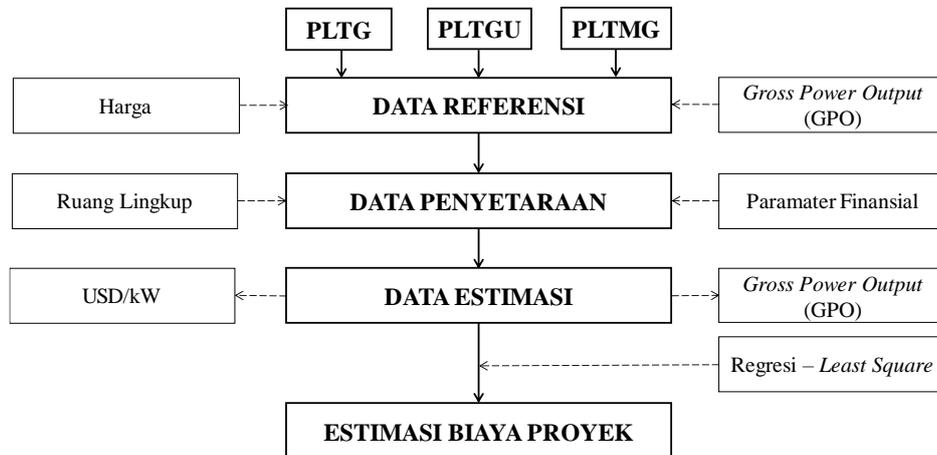
Tujuan dari kajian ini adalah untuk memberikan gambaran estimasi biaya proyek pada beberapa jenis pembangkit gas di Indonesia dengan perhitungan estimasi berdasarkan kumpulan data-data proyek atau OEM yang ada. Pembangkit gas yang dikaji pada makalah ini, meliputi pembangkit listrik tenaga gas (PLTG), gas-uap (PLTGU) dan mesin-gas (PLTMG). Sejauh pengamatan penulis, makalah yang mengkaji perbandingan harga pembangkit gas masih belum banyak dilakukan. Pentingnya mengetahui gambaran estimasi biaya proyek adalah sebagai referensi data bagi perencana proyek untuk melakukan kajian awal kelayakan ataupun untuk keperluan

budgeting, dimana tingkat akurasi masih sangat rendah karena sedikitnya informasi atau definisi dari proyek tersebut.

2. METODE DAN MATERIAL

2.1. Metode

Dalam menghitung estimasi biaya proyek pada kajian ini, ada beberapa tahap pengolahan data yang dilakukan, seperti terlihat pada diagram alir pada Gambar 1. Tahap-tahap pengolahan data yang dilakukan meliputi pengumpulan data, penyetaraan parameter, menghitung estimasi biaya proyek.



Gambar 1. Diagram alir pengolahan data

Pertama, mengumpulkan data referensi harga kontrak atau data manufaktur dan juga nilai *gross power output* (GPO) dari pembangkit gas. Nilai GPO yang digunakan berdasarkan data dari *performance guarantee* atau berdasarkan asumsi kapasitas yang direncanakan (*planned capacity*). Dalam Proses ini diperoleh data harga, GPO dan tahun data tersebut dibuat.

Kedua, menyetarakan data referensi dengan melihat aspek ruang lingkup dan parameter finansial. Penyetaraan parameter finansial dilakukan untuk mengkonversi harga referensi menjadi harga saat ini berdasarkan konversi nilai setiap mata uang yang digunakan ataupun nilai inflasi yang terjadi. Dalam proses ini diperoleh koefisien-koefisien yang akan digunakan dalam perhitungan. Data harga akan dilakukan konversi ke salah satu mata uang yaitu USD.

Ketiga, menghitung data estimasi (kumpulan data harga indeks dalam USD/kW dan GPO dalam MW) dengan mempertimbangkan koefisien-koefisien yang didapatkan dalam proses sebelumnya. Dalam proses ini memperoleh output data biaya estimasi dalam satuan USD/kW dengan cara membagi nilai harga estimasi dengan nilai GPO yang didapat (harga indeks). Data estimasi ini akan menjadi sebaran data dengan fungsi harga indeks dan GPO.

Keempat, data estimasi dilakukan proses optimasi berbasis *least square*. Kemudian, akan diperoleh fungsi pendekatan yang dijadikan formula estimasi biaya proyek.

2.2. Pengumpulan Data dan Asumsi

Data dari berbagai sumber telah dikumpulkan untuk dijadikan pasangan data. Data mentah yang digunakan dari berbagai referensi adalah GPO, nilai kontrak, atau harga indeks. Data-data tersebut akan diolah untuk dibuat model pendekatan. Tabel 1 menjabarkan hasil rekapitulasi data yang diperoleh dari berbagai referensi untuk setia jenis pembangkit gas.

Tabel 1. Data yang digunakan dalam perhitungan estimasi biaya proyek

Jenis Pembangkit	Referensi Data	Data Mentah	Jumlah data	Rentang Kapasitas	Tahun Referensi
PLTG	OEM	Harga indeks peralatan utama	167	~40-1000 MW	2018-2020
PLTGU	OEM	Harga indeks peralatan utama	197	~30-1500 MW	2018-2020
PLTMG	Dokumen Kontrak	GPO, nilai kontrak	34	~10-250 MW	2012-2017

Ada beberapa referensi yang mengatur dan memberikan petunjuk terkait dengan klasifikasi dari suatu estimasi biaya, seperti AACE, ASTM, ANSI, NFP, ASPE dan lain sebagainya. Referensi tersebut memberikan petunjuk dalam pengklasifikasian dari estimasi biaya. Salah satu referensi tersebut yang digunakan adalah mengacu pada *Recommended Practice Association for the Advancement of Cost Engineering (AACE)*. AACE membagi atau mengklasifikasikan beberapa tingkat dari harga perkiraan yang dibuat. Klasifikasi tersebut dikelompokkan berdasarkan perbedaan-perbedaan karakteristik.

Karakteristik ini menunjukkan tingkat definisi proyek (*level of project definition*) berupa maturitas dari pekerjaan desain dan enjiniring yang telah dilakukan. Semakin baik maturitasnya atau semakin dalam pekerjaan desain dan enjiniring yang telah dilakukan, maka akan semakin tinggi tingkat definisi proyeknya dan akan semakin lengkap informasi yang diperoleh tentang lingkup dan spesifikasi dari sistem dan peralatan yang dipasang. Selain itu, karakteristik lain terdiri dari beberapa parameter seperti; penggunaan (*end usage*), metodologi (*methodology*), akurasi yang diinginkan (*expected accuracy range*) dan usaha persiapan (*preparation effort*) [11]. Berdasarkan karakteristik tersebut AACE mengklasifikasikan harga perkiraan menjadi 5 kelas, seperti pada Tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Hasil simulasi optimasi fungsi objektif SSE [11]

Karakteristik	Kelas 5	Kelas 4	Kelas 3	Kelas 2	Kelas 1
Tingkat Definisi	0 – 2%	1 – 15%	10 – 40%	30 – 70%	50 – 100%
Metode	<i>Capacity factored, Parametric models, judgement, analogy</i>	<i>Equipment factored, Parametric models</i>	<i>Semi-detailed unit cost</i>	<i>Detailed unit cost with forced detail take-off</i>	<i>Detailed unit cost with detailed take-off</i>
Akurasi/Variasi	L: -20 to -50% H:+30 - +100%	L: -15 to -30% H: +20 to +30%	L: -10 to -20% H:+10 to +30%	L: -5 to -15% H:+5 to +20%	L: -3 to -10% H:+3 to +15%

Catatan: L= batas bawah, H= batas atas

Semakin kecil angka kelas perkiraan biaya, maturitas pekerjaan enjiniring semakin baik (semakin dalam pekerjaan desain dan enjiniring yang dilakukan), sehingga metode perhitungan biaya dapat dilakukan dengan lebih rinci dan dapat menghasilkan akurasi yang semakin baik. Dalam kajian ini, karena pekerjaan enjiniring belum dilakukan secara detail atau tingkat definisi proyeknya masih

seederhana (tidak matang), maka estimasi biaya proyek yang dihasilkan dalam kajian ini diasumsikan sesuai dengan Kelas 5.

3. PEMODELAN ESTIMASI BIAYA PROYEK

3.1. Model Pendekatan

Penentuan fungsi objektif dilakukan berdasarkan pengumpulan data (GPO dan biaya proyek), kemudian data-data tersebut diuji dengan 3 model koordinat untuk menentukan persamaan pendekatan apa yang paling mendekati, antara lain; persamaan linear (1), persamaan pangkat (2) dan persamaan eksponensial (3).

$$y(x) = ax + b \quad (1)$$

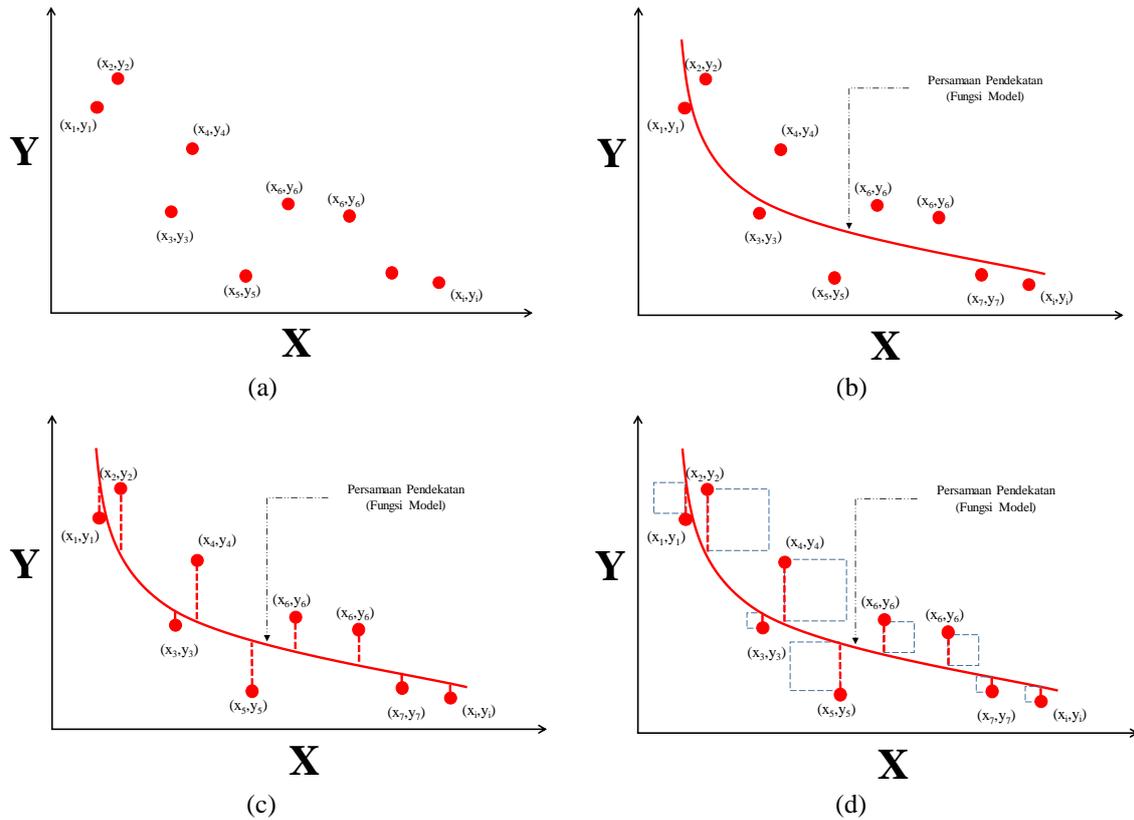
$$y(x) = ax^b + c \quad (2)$$

$$y(x) = ae^{bx} + c \quad (3)$$

Metode kuadrat terkecil atau *least square* merupakan metode yang paling umum digunakan pada proses regresi. Metode ini mencari nilai-nilai konstanta terbaik sehingga akan memberikan jumlah kuadrat deviasi atau penyimpangan sekecil mungkin mungkin. Jumlah kuadrat deviasi atau penyimpangan atau *sum of squared error (SSE)* didekati dengan persamaan (4) sebagai berikut [12],

$$SSE = \sum_{i=1}^k (y(x) - y_i)^2 \quad (4)$$

Dimana $y(x)$ adalah bentuk persamaan pendekatan biaya proyek dengan variabel GPO, a, b, c adalah konstanta. Sedangkan y_i adalah data referensi y yang berjumlah k data. Gambar 2 menggambarkan secara visual proses *least square*. Setiap sebaran titik (titik merah) dievaluasi deviasinya terhadap garis fungsi pendekatan yang dipilih (garis merah). Deviasi data tersebut diabsolutkan dengan mengkuadratkan sehingga disebut *square* (kotak persegi). Kemudian seluruh luas kotak persegi tersebut dijumlahkan dan dievaluasi untuk mendapatkan luas kotak persegi terkecil.



Gambar 2. Proses *least square*; (a) *plotting* data; (b) mencari persamaan pendekatan; (c) mengevaluasi deviasi titik data dengan persamaan pendekatan; (d) Mengabsolutkan (kuadrat) deviasi titik data dengan persamaan pendekatan

Secara konseptual, untuk mencari *SSE* paling kecil adalah dengan meminimumkan persamaan tersebut (fungsi turunan pertama sama dengan nol). Metode ini dapat dilakukan secara analitik dan numerik. Pemilihan metode tersebut bergantung pada persamaan pendekatan yang akan digunakan.

3.2. Kriteria Kinerja (*Performance Criteria*)

Tiga kriteria kinerja yang digunakan; \overline{Dev} , $|\overline{Dev}|$ dan R^2 untuk mengevaluasi keakuratan dari pemodelan yang dibangun dengan menggunakan persamaan (5)-(7) [13].

$$\overline{Dev} = \frac{\sum_{i=1}^k (y(x) - y_i)}{k} \times 100\% \tag{5}$$

$$|\overline{Dev}| = \frac{\sum_{i=1}^k |y(x) - y_i|}{k} \times 100\% \tag{6}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^k (y(x) - y_i)^2}{\sum_{i=1}^k (y(x) - \bar{y}_i)^2} \tag{7}$$

Persamaan (5) menunjukkan deviasi rata-rata dalam satuan %, yaitu perbedaan rata-rata antara nilai pendekatan dengan nilai referensi terhadap jumlah data nilai referensinya. Persamaan (6) menunjukkan bentuk absolut dari persamaan (5). Sedangkan Persamaan (7) menunjukkan kecocokan suai (*goodness of fit*) dari persamaan regresi, yaitu menunjukkan seberapa dekat model regresi

dengan data aktual. Semakin mendekati angka 1, maka model regresi yang dihasilkan semakin dekat dengan data aktual.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari pengujian sebaran data dari 3 jenis pembangkit, maka diperoleh pemodelan yang paling cocok digunakan adalah persamaan non-linear pangkat (*power function*), seperti yang disebutkan pada persamaan (2). Selanjutnya, persamaan (2) disubstitusikan dalam persamaan (4) untuk mendapatkan fungsi objektifnya dengan variabel a, b, c . Kemudian, dilakukan metode optimasi untuk mendapatkan solusi persamaan tersebut. Dengan membangun *general problem statement* dengan fungsi objektif meminimumkan jumlah deviasi absolut, maka didapatkan persamaan (8). Persamaan ini kemudian akan diselesaikan menggunakan metode-metode optimasi [14].

Variabel : $[a, b, c]$ (8)

Fungsi objektif : meminimumkan $SSE = \sum_{i=1}^n (ax^b + c - y_i)^2$

Kendala : $a \geq 0, b \leq 0$

Dalam simulasi optimasi, dilakukan iterasi untuk mendapatkan nilai fungsi objektif dengan jumlah deviasi seminimum mungkin. Dari hasil iterasi tersebut akan diperoleh nilai a, b, c pada saat nilai fungsi objektif paling minimum. Pemilihan metode penyelesaian optimasi tersebut bergantung pada persamaan pendekatan yang akan digunakan. Persamaan fungsi objektif yang memiliki tingkat kesulitan yang rendah, maka dapat diselesaikan secara analitik, yaitu dengan mencari turunan pertama sama dengan nol. Untuk persamaan fungsi objektif yang memiliki tingkat kesulitan yang tinggi, maka dapat diselesaikan secara numerik, yaitu dengan metode numerik pada umumnya (*gradient based* atau stokastik).

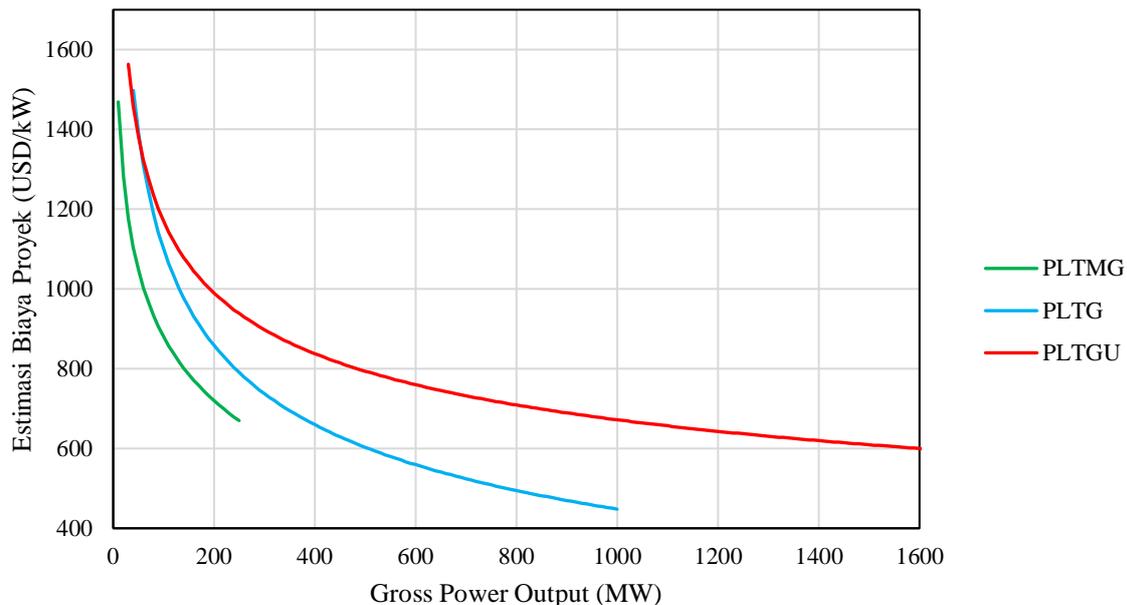
Dari hasil simulasi penyelesaian persamaan (8), maka diperoleh nilai a, b, c pada persamaan (2) untuk setiap jenis pembangkit. Kriteria kinerja juga dihitung untuk mengetahui seberapa dekat fungsi pendekatan dengan data referensi yang digunakan. Hasil simulai tersebut ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil simulasi optimasi fungsi objektif *SSE*

Jenis Pembangkit	Konstanta			Kriteria Kinerja		
	a	b	c	\overline{Dev} (%)	$ \overline{Dev} $ (%)	R^2
PLTG	4922,554	-0,274	-292,514	0,994	8,100	0,918
PLTGU	3545,792	-0,241	0	0,165	5,196	0,941
PLTMG	4857,977	-0,066	-2704,029	2,034	11,940	0,721

Jika hasil persamaan estimasi biaya proyek tersebut dibuat dalam bentuk grafik, maka perbandingan kurva dari ketiga pembangkit tersebut dapat dilihat pada Gambar 3. Gambar tersebut menunjukkan estimasi biaya proyek untuk masing-masing jenis pembangkit gas sesuai dengan rentang data yang dimiliki, dimana PLTG dan PLTGU yang memiliki rentang GPO yang lebar dibandingkan dengan PLTMG. Pada umumnya, PLTMG dirancang untuk kapasitas yang relatif kecil dan menengah (< 300 MW). PLTG dan PLTGU memiliki kapasitas turbin gas yang besar untuk setiap unitnya dibandingkan dengan PLTMG. Untuk PLTMG, rentang GPO hanya berkisar pada

kapasitas 10 – 250 MW, sehingga GPO > 250 MW tidak disarankan untuk diekstrapolasi. Kapasitas terbesar untuk 1 unit mesin gas sebesar ~18 MW, sedangkan kapasitas terbesar untuk 1 unit turbin gas sebesar ~500 MW.



Gambar 3. Kurva estimasi biaya proyek untuk setiap jenis pembangkit gas

PLTG dan PLTGU memiliki kriteria kinerja yang relatif lebih baik dibandingkan dengan PLTMG. PLTG dan PLTGU memiliki referensi data yang relatif sudah setara berdasarkan data kumpulan manufaktur sehingga nilai deviasi yang cenderung lebih rendah dan R^2 yang mendekati 1. Data referensi yang digunakan berdasarkan dari data sebaran kontrak pembangunan proyek-proyek PLTMG, sehingga memungkinkan variasi yang beragam untuk kelas kapasitas yang sama. Semakin banyak data yang digunakan, diharapkan nilai R^2 menjadi lebih baik atau mendekati nilai 1. Penggunaan data ini memiliki Kelas 5, dimana tingkat akurasi yang masih rendah. Sehingga, penggunaan data ini tidak dapat digunakan untuk tahap proyek yang sudah bersifat detail (maturitas tinggi).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kajian mengenai pebandingan estimasi biaya proyek pembangkit gas (PLTG, PLTGU dan PLTMG) telah dilakukan, dimana fungsi pendekatan untuk setiap jenis pembangkit menggunakan persamaan non-linear berupa fungsi pangkat. Kriteria kinerja fungsi pendekatan juga telah dievaluasi dengan menggunakan 3 parameter. PLTG dan PLTGU memiliki kriteria kinerja yang lebih baik PLTMG. Hal itu disebabkan oleh sebaran data PLTG dan PLTGU yang relatif lebih banyak dibandingkan dengan data PLTMG. Selain itu, data PLTMG berdasarkan kontrak proyek PLTMG yang memiliki variasi beragam untuk kapsaitas yang sama. Namun, jika estimasi biaya proyek tersebut dimutakhirkan dengan data-data terbaru, maka besar kemungkinan nilai deviasi semakin lebih rendah dan nilai R^2 akan naik menuju nilai 1. Hasil kajian ini dapat digunakan sebagai salah satu referensi estimasi biaya proyek untuk keperluan budgeting dan bukan untuk proses estimasi yang lebih detail pada proses pengadaan. Dengan mengambil asumsi Kelas 5 terendah, maka tingkat akurasi atau variasi dari pendekatan ini memliki rentang -20% sampai dengan +30%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT PLN (Persero) yang telah memberi dukungan yang membantu pelaksanaan penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mokhatab, S., Mak, J., Valappil, J., and Wood, D., 2014, Handbook of Liquefied Natural Gas.
- [2] Joo, H. Y., Kim, J. W., Jeong, S. Y., and Moon, J. H., 2020, "Decommissioning Cost Estimation of Kori Unit 1 Using a Multi-Regression Analysis Model," *J. Nucl. Fuel Cycle Waste Technol.*, 18(2_spc), pp. 247–260.
- [3] Hashemi, S. T., Ebadati E., O. M., and Kaur, H., 2019, "A Hybrid Conceptual Cost Estimating Model Using ANN and GA for Power Plant Projects," *Neural Comput. Appl.*, 31(7), pp. 2143–2154.
- [4] H., E. H., 2020, "Artificial Intelligence and Parametric Construction Cost Estimate Modeling: State-of-the-Art Review," *J. Constr. Eng. Manag.*, 146(1), p. 3119008.
- [5] Partridge, I., 2018, "Cost Comparisons for Wind and Thermal Power Generation," *Energy Policy*, 112, pp. 272–279.
- [6] Davitti, A., and Multiconsult, U. K., 2018, "Project Cost Modelling for Hydropower Schemes in Developing Countries," *Int. J. Hydropower Dams*, 25(6), pp. 56–64.
- [7] Gas Turbine World, GTW Handbook 2018.
- [8] Gas Turbine World, GTW Handbook 2019.
- [9] Gas Turbine World, GTW Handbook 2020.
- [10] Islam, M. S., Nepal, M. P., Skitmore, M., and Kabir, G., 2019, "A Knowledge-Based Expert System to Assess Power Plant Project Cost Overrun Risks," *Expert Syst. Appl.*, 136, pp. 12–32.
- [11] Christensen, P., Dysert, L. R., Bates, J., Burton, D., Creese, R. C., and Hollmann, J., 2005, "Cost Estimate Classification System-as Applied in Engineering, Procurement, and Construction for the Process Industries," AACE, Inc, 2011.
- [12] Greenspan, D., and Casulli, V., 2018, *Numerical Analysis for Applied Mathematics, Science, and Engineering*, CRC Press.
- [13] Kreyszig, E., 1999, *Advanced Engineering Mathematics*, Wiley.
- [14] Martins, J. R. R. A., and Ning, A., 2021, *Engineering Design Optimization*, Cambridge University Press.