

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan rancangan skenario operasional hidrolik, simulasi perangkat lunak HOMER Pro, dan analisis ekonomi dari ketiga variasi sistem PLTPH, ditarik 5 (lima) kesimpulan yang menjawab rumusan masalah pada penelitian ini:

1. Potensi daya listrik yang diekstraksi sangat bergantung pada konfigurasi debit air operasional. Skenario B (4,0 kW Optimal) membuktikan bahwa sistem mampu mengekstraksi potensi energi maksimal secara masif apabila ketersediaan limpahan debit tidak dibatasi. Sebaliknya, Skenario A (4,0 kW Terbatas) terbukti sangat tidak efisien karena algoritma membatasi jadwal operasinya secara drastis (intermiten) untuk mencegah pengurasan air. Di luar konfigurasi kapasitas besar tersebut, Skenario C (0,5 kW) mampu mengekstraksi daya secara kontinu pada debit konservatif, sementara Skenario D (1,1 kW) secara rasional memaksimalkan energi hidrolik pada debit moderat yang lebih bertenaga.
2. Pemasangan PLTPH memberikan dampak yang langsung pada keseimbangan massa air *groundtank*. Skenario A dan Skenario C (0,5 kW) terbukti sangat aman dan menjaga ekuilibrium volume air secara konstan tanpa menimbulkan risiko luapan berarti. Pada pembebanan Skenario B (4,0 kW) dan Skenario D (1,1 kW) yang mengekstraksi debit lebih besar, dinamika aliran menjadi lebih masif. Meskipun demikian, sirkulasi ini terpantau berada dalam batas aman karena diakomodasi oleh sistem *spillway* (limpahan) terintegrasi. Kontinuitas distribusi air bersih ke asrama dipastikan tidak terganggu dan terhindar dari *pressure drop* ekstrem, dengan catatan diperlukan pemantauan hidrolik presisi untuk memitigasi anomali volume air dalam jangka panjang.
3. Integrasi PLTPH dengan jaringan eksisting (PLN) menobatkan Skenario B (4 kW Optimal) sebagai arsitektur sistem paling superior mutlak. Sistem ini memenangi simulasi karena memadukan utilitas mesin tertinggi (*Capacity Factor* mencapai 83,70%) dengan penyerapan energi absolut tanpa membuang daya (*Excess Electricity* 0%) dan tanpa menimbulkan defisit sama sekali (*Unmet Load* 0%). Skenario A tereliminasi secara teknis karena utilitasnya anjlok ke angka 7,77% (terlalu banyak waktu *idle*). Sementara itu, Skenario D (2,2 kW) dengan *Capacity Factor* 45,31% tampil sebagai konfigurasi alternatif menengah yang stabil dan sangat andal bagi asrama.
4. Integrasi PLTPH dengan jaringan eksisting (PLN) menobatkan Skenario B (4,0 kW Optimal) sebagai arsitektur sistem paling superior mutlak. Sistem ini memenangi simulasi dengan tingkat penyerapan energi absolut tanpa membuang daya (*Excess Electricity* 0%) dan tanpa menimbulkan defisit sama sekali (*Unmet Load* 0%). Skenario A tereliminasi secara teknis karena

utilitasnya anjlok akibat batasan waktu operasi. Sementara itu, Skenario D (1,1 kW) tampil sebagai konfigurasi alternatif menengah yang stabil dan sangat andal bagi kelistrikan asrama.

5. Secara keekonomian siklus hidup 20 tahun, Skenario B (4,0 kW Optimal) adalah rancangan investasi energi hijau yang paling tangguh, prospektif, dan menguntungkan. Konfigurasi ini mencetak Biaya Pokok Energi (LCOE) sangat efisien di level Rp 270,11/kWh, lonjakan penghematan *Present Worth* maksimum hingga mencapai Rp 447,08 Juta, rasio ROI sebesar 39,92%, serta kemampuan balik modal (*Discounted Payback Period*) sangat singkat di kisaran 2,22 hingga 2,39 tahun. Skenario D (1,1 kW) dan Skenario C (0,5 kW) sukses membuktikan diri sebagai arsitektur yang layak secara finansial (*feasible*) dengan LCOE yang tetap lebih murah dari tarif dasar PLN. Sebaliknya, Skenario A (4,0 kW Terbatas) secara resmi dinyatakan merugikan (tidak layak) akibat pembengkakan *Net Present Cost* (NPC) dan LCOE yang jauh melampaui tarif langganan jaringan utilitas dasar.

5.2 Saran

Guna menyempurnakan serta mengekspansi ruang lingkup pemodelan sistem energi terbarukan di lingkungan fasilitas akademik pada masa mendatang, direkomendasikan beberapa poin kajian lanjutan sebagai berikut:

1. Mengingat keunggulan absolut Skenario B sangat bergantung pada ketersediaan aliran air yang masif, sangat disarankan untuk mengintegrasikan sensor muka air (*water level sensor*) dan debit berbasis *Internet of Things* (IoT). Sistem kendali cerdas ini nantinya dapat mengatur bukaan katup (valve) menuju turbin secara otomatis; memaksimalkan daya saat air melimpah, dan menghentikan putaran secara instan apabila cadangan air asrama mendekati batas kritis.
2. Kestabilan arsitektur *grid-tied* (tanpa baterai) sangat bergantung pada presisi sinkronisasi fasa dan tegangan. Oleh karena itu, pengelola wajib menetapkan jadwal kalibrasi dan uji fungsi secara berkala pada komponen *Grid Protection Relay* (ComAp MainsPro) dan *Soft Starter*. Hal ini krusial untuk mencegah kegagalan relai yang dapat memicu fenomena *islanding* berbahaya atau penolakan injeksi daya dari utilitas PLN.
3. Rancangan ini menggunakan *Grid-Connected Induction Generator* (GCIG). Meskipun permodelan energi (*energy balance*) terbukti mulus tanpa defisit daya, penelitian fisik selanjutnya perlu melakukan inspeksi transien kelistrikan. Pengujian terhadap *Total Harmonic Distortion* (THD) arus/tegangan dan potensi kedipan (*flicker*) saat aktuasi awal generator perlu diukur secara *real-time* untuk memastikan tidak ada dampak degradasi pada perangkat elektronik sensitif milik penghuni asrama.
4. Desain *free-fall* turbin Pelton menuju tangki penampung harus dipastikan memiliki peredam aliran (*baffle block*) atau filter fisik. Langkah preventif ini

bertujuan untuk mencegah masuknya residu material, kavitasi buih udara yang berlebihan, atau turbulensi ekstrem kembali ke dalam sistem penampungan air bersih asrama akibat putaran mekanis turbin.

