

EVALUASI KINERJA KONSTRUKSI WATER TREATMENT PLANT (WTP) SPAM PERDESAAN BERKELANJUTAN BERBASIS MATERIAL KAYU DAN BAJA DI KABUPATEN KUTAI KARTANEGARA

Evaluation of the Construction Performance of Sustainable Rural Water Treatment Plant (WTP) Drinking Water Supply Systems Based on Wood and Steel Materials in Kutai Kartanegara Regency

Rospati Girik Allo^{1*}, Eris Nur Dirman², Natsar Desi³

^{1,2,3}Fakultas Pascasarjana, Universitas Fajar.

*Email: rospatigirikallo@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kinerja konstruksi menara WTP berbasis material kayu dan baja di Kabupaten Kutai Kartanegara. Metode yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif deskriptif komparatif melalui analisis struktur menggunakan perangkat lunak SAP2000V26.3.0. Objek penelitian terdiri atas menara baja profil WF di Desa Perangat Baru dan menara kayu ulin di Desa Jembayan Dusun Tanjung Laong. Parameter yang dianalisis meliputi deformasi, gaya aksial, momen lentur, gaya geser, serta efektivitas penggunaan material. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kedua struktur masih memenuhi batas aman. Struktur baja memiliki deformasi maksimum 0.308 mm, gaya aksial -56.944 kN, momen lentur 3.239 kNm, dan gaya geser 2.342 kN. Struktur kayu ulin memiliki deformasi maksimum 0.18 mm, gaya aksial 6.124 kN, momen lentur 0.0620 kNm, dan gaya geser 0.180 kN. Material baja menunjukkan kekakuan dan kestabilan yang lebih baik, sedangkan kayu ulin memiliki keunggulan pada aspek keberlanjutan serta pemanfaatan material lokal. Kesimpulannya, baja lebih unggul dari sisi teknis struktur, sedangkan kayu ulin lebih mendukung pembangunan berkelanjutan di wilayah perdesaan. Pemilihan material perlu disesuaikan dengan kebutuhan teknis dan kondisi lokasi.

Kata kunci: Water Treatment Plant, SPAM Perdesaan, Baja, Kayu Ulin, Keberlanjutan

Abstract

This study aims to evaluate the construction performance of WTP towers made of timber and steel materials in Kutai Kartanegara Regency. The research employed a comparative descriptive quantitative approach through structural analysis using SAP2000V26.3.0. The objects of the study consisted of a WF steel tower located in Perangat Baru Village and an ironwood tower located in Jembayan Village, Tanjung

Laong Hamlet. The analyzed parameters included deformation, axial force, bending moment, shear force, and material effectiveness. The results showed that both structures still met the allowable safety limits. The steel structure had a maximum deformation of 0.308 mm, axial force of -56.944 kN, bending moment of 3.239 kNm, and shear force of 2.342 kN. The ironwood structure had a maximum deformation of 0.18 mm, axial force of -6.124 kN, bending moment of 0.0620 kNm, and shear force of 0.180 kN. Steel demonstrated better stiffness and stability, while ironwood showed advantages in sustainability aspects and the use of local materials. In conclusion, steel is superior in terms of structural technical performance, whereas ironwood is more supportive of sustainable development in rural areas. Material selection should be adjusted to technical requirements and site conditions.

Keywords: Water Treatment Plant, Rural SPAM, Steel, Ironwood, Sustainability.

PENDAHULUAN

Air merupakan unsur utama dalam kehidupan manusia yang mutlak diperlukan untuk memenuhi kebutuhan primer dan menjaga kelangsungan hidup yang higienis. Konstitusi dan regulasi nasional telah meletakkan tanggung jawab pemenuhan kebutuhan vital ini di pundak pemerintah pusat dan pemerintah daerah, terutama dalam meningkatkan aksesibilitas dan kualitas air bersih bagi masyarakat perdesaan yang kerap menghadapi kendala geografis dan infrastruktur. Sebagaimana yang diamanatkan dalam Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air, negara menjamin hak setiap individu untuk mendapatkan air bagi kebutuhan pokok minimal sehari-hari guna memenuhi kehidupan yang sehat, bersih, dan produktif. Penjabaran operasional dari amanat ini diatur lebih spesifik melalui pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM), yang didefinisikan sebagai kesatuan sistem fisik (teknis) dan nonfisik (kelembagaan, manajemen, keuangan, peran masyarakat, serta hukum) yang terintegrasi secara terpadu. Regulasi tersebut juga menegaskan bahwa air baku yang digunakan wajib memenuhi baku mutu yang ditetapkan, di mana pemerintah daerah bertindak sebagai penjamin ketersediaan air baku tersebut dengan membuka ruang kolaborasi bersama badan usaha milik daerah, koperasi, sektor swasta, maupun kelompok swadaya masyarakat.

Di Kabupaten Kutai Kartanegara, urgensi penyediaan air minum yang aman dan berkelanjutan menjadi salah satu prioritas utama dalam agenda pembangunan infrastruktur daerah. Secara hidrologis, wilayah ini memiliki potensi air permukaan yang sangat besar karena berada di dalam lingkup Daerah Aliran Sungai (DAS) Mahakam. Sungai Mahakam bersama anak-anak sungainya menjadi tulang punggung utama pasokan air baku untuk kawasan perkotaan seperti Kecamatan Tenggarong dan sekitarnya, serta skala lokal di perdesaan. Namun, ketergantungan yang tinggi pada air permukaan ini dihadapkan pada tantangan teknis yang kompleks, seperti fluktuasi debit air musiman yang ekstrem, tingginya tingkat kekeruhan (turbiditas) saat musim penghujan, serta ancaman polusi akibat masifnya aktivitas pertambangan dan permukiman di sepanjang bantaran sungai. Untuk mengatasi keterbatasan akses terhadap jaringan perpipaan utama tersebut, masyarakat di beberapa wilayah perdesaan memanfaatkan sumber air alternatif secara komunal, mulai dari pemanfaatan air tanah dangkal, pembuatan sumur bor

dalam (deep wells), hingga pembangunan embung atau waduk kecil sebagai solusi cadangan domestik saat musim kemarau tiba.

Meskipun potensi sumber daya air lokal di Kabupaten Kutai Kartanegara terhitung melimpah, potret empiris di lapangan menunjukkan adanya ketimpangan aksesibilitas yang mencolok antara kawasan perkotaan dan perdesaan. Berdasarkan data mutakhir dari Dashboard SIDSPAMKOT dan SIDSPAMDES Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman Kabupaten Kutai Kartanegara, kawasan perkotaan telah ditunjang oleh 37 unit SPAM yang seluruhnya beroperasi optimal di 20 kecamatan, dengan kapasitas produksi mencapai 2.406,00 liter per detik dan panjang pipa distribusi melebihi 1,6 juta meter. Infrastruktur mapan ini berhasil melayani 325.428 jiwa atau setara dengan tingkat pelayanan administrasi sebesar 41,58 persen. Sebaliknya, kondisi di wilayah perdesaan yang mencakup 98 desa masih sangat memprihatinkan; dari total 80 unit SPAM desa yang dibangun, tercatat hanya 62 unit yang beroperasi aktif sementara 18 unit lainnya dalam kondisi mangkrak atau belum berfungsi. Dengan kapasitas terpasang yang hanya sebesar 128,00 liter per detik dan jaringan pipa sepanjang 134.707 meter, cakupan layanan SPAM perdesaan baru mampu menjangkau 71.252 jiwa, atau hanya menyentuh angka 9,10 persen dari total populasi perdesaan. Rendahnya persentase capaian ini menjadi indikator kuat bahwa akselerasi pembangunan dan pemerataan infrastruktur air bersih di tingkat akar rumput mendesak untuk segera dilakukan.

Dalam arsitektur SPAM perdesaan, keberadaan menara Water Treatment Plant (WTP) memegang peranan yang sangat vital sebagai struktur atas yang menopang unit pengelolaan, filtrasi, dan sistem distribusi air bersih berbasis gravitasi. Sebagai bangunan utilitas tinggi, menara WTP dituntut memiliki keandalan struktural yang mumpuni karena memikul kombinasi beban yang kompleks, mulai dari beban mati struktur, beban hidup volume air yang fluktuatif, hingga beban lingkungan seperti terpaan angin dan guncangan gempa bumi. Kegagalan struktural pada menara WTP tidak hanya akan melumpuhkan total distribusi air bersih pada suatu desa, melainkan juga membawa risiko fatal terhadap keselamatan material dan jiwa masyarakat di sekitarnya. Oleh karena itu, pemilihan material struktur penopang menara menjadi keputusan rekayasa sipil yang sangat krusial guna menjamin kontinuitas pelayanan jangka panjang.

Secara historis, pembangunan menara WTP SPAM di wilayah perdesaan Kutai Kartanegara didominasi oleh penggunaan material kayu lokal. Pemilihan material kayu ini didorong oleh faktor ketersediaannya yang berlimpah di alam, kemudahan metode pengerjaan di lapangan tanpa memerlukan alat berat, efisiensi biaya konstruksi awal, serta nilai keberlanjutan lingkungan yang tinggi. Struktur kayu juga memiliki keunggulan mekanis berupa rasio berat sendiri yang ringan dan fleksibilitas performa yang baik dalam meredam beban lateral akibat gempa bumi. Kendati demikian, material kayu memiliki keterbatasan inheren yang signifikan dari aspek kekuatan jangka panjang, kekakuan, dan durabilitas struktural. Kayu sangat rentan terhadap degradasi biologis seperti serangan rayap, pembusukan oleh jamur, serta mengalami penurunan kapasitas mekanik yang drastis akibat fluktuasi kadar air lingkungan dan pelapukan akibat cuaca tropis yang ekstrem.

Seiring dengan kemajuan teknologi konstruksi dan tuntutan terhadap keandalan infrastruktur publik, penggunaan material baja mulai dipertimbangkan

sebagai alternatif rasional untuk menggantikan peran kayu pada struktur menara WTP SPAM perdesaan. Material baja menawarkan keunggulan teknis berupa kapasitas menahan beban (load-bearing capacity) yang jauh lebih tinggi, homogenitas sifat material yang konsisten, serta perilaku elastisitas yang sangat baik dalam memikul beban lateral ekstrem. Selain itu, kontrol mutu pada struktur baja jauh lebih terukur dan dapat diprediksi secara akurat karena proses perencanaannya telah diatur secara ketat dalam standar nasional yang baku. Namun, adopsi struktur baja di wilayah perdesaan juga tidak lepas dari konsekuensi logistik, seperti tingginya biaya investasi awal material, kebutuhan tenaga kerja dengan kualifikasi dan keterampilan las khusus, serta tingginya risiko korosi akibat paparan kelembapan tinggi di area pengolahan air jika sistem proteksi lapisan anti-karat tidak direncanakan dengan sempurna.

Hingga saat ini, kajian teknis mendalam yang secara khusus membandingkan perilaku mekanis, efisiensi kinerja, dan analisis kekuatan antara struktur kayu dan struktur baja pada aplikasi menara WTP SPAM perdesaan masih sangat terbatas di Indonesia. Mayoritas penelitian terdahulu di bidang teknik sipil masih berfokus pada analisis struktur bangunan gedung bertingkat atau sistem rangka atap komersial, sehingga menyisakan celah penelitian (research gap) pada kategori bangunan utilitas khusus skala perdesaan. Penelitian tesis ini hadir untuk mengisi ruang kosong tersebut dengan melakukan evaluasi teknis dan komparasi performa struktural antara menara WTP berbahan kayu dan baja, dengan mempertimbangkan karakteristik lingkungan dan ketersediaan sumber daya di Kabupaten Kutai Kartanegara. Hasil dari kajian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi desain rekayasa yang presisi, aman, dan efisien bagi pemerintah daerah serta praktisi lapangan dalam mewujudkan keberlanjutan sistem penyediaan air minum di wilayah perdesaan

METODOLOGI.

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan evaluatif, yang bertujuan untuk mengevaluasi kinerja konstruksi Water Treatment Plant (WTP) pada sistem SPAM perdesaan berdasarkan analisis struktur dan biaya konstruksi. Pendekatan kuantitatif digunakan karena penelitian ini melibatkan pengolahan data dalam bentuk angka yang diperoleh dari hasil pengukuran lapangan, pemodelan struktur, serta analisis numerik menggunakan perangkat lunak SAP2000. Penelitian kuantitatif merupakan metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat positivisme, yang digunakan untuk meneliti populasi atau sampel tertentu dengan tujuan menguji hipotesis atau menjawab rumusan masalah melalui analisis data numerik. Dalam konteks penelitian ini, data kuantitatif yang dianalisis meliputi parameter struktur seperti, deformasi (displacement), serta gaya dalam struktur yang diperoleh dari hasil analisis SAP2000.

Secara administratif lokasi penelitian ini dengan menara struktur Baja WF terletak di Desa Perangat Baru, Kecamatan Marangkayu, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur dengan titik koordinat 0°11'56.73"S 117°18'38.64"E dengan ketinggian 84 mdpl. Lokasi Penelitian di Desa Perangat Baru Kecamatan Marangkayu dapat ditempuh dengan kendaraan roda dua maupun roda empat dari Kota Tenggarong sejauh 39 km.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Komparatif Perilaku Mekanis dan Kinerja Struktural Material

Berdasarkan hasil analisis numerik tiga dimensi yang dieksekusi menggunakan program SAP2000 V26.3.0, konstruksi menara Water Treatment Plant (WTP) yang dimodelkan menggunakan dua variasi material alternatif – yakni Kayu Ulin dan Baja Profil WF – menunjukkan performa struktural yang sangat andal dalam memikul beban kerja. Evaluasi kinerja ini dilakukan secara komprehensif dengan meninjau parameter deformasi maksimum, distribusi gaya aksial, gaya geser, serta momen lentur sebagai indikator utama untuk mengukur tingkat keamanan, kekakuan, dan kestabilan struktur. Penilaian parameter-parameter ini sangat krusial dalam rekayasa sipil guna memastikan bahwa struktur atas tidak hanya mampu menahan beban mati dan beban hidup volume air, melainkan juga tetap kokoh saat menerima beban lingkungan seperti tekanan angin dan guncangan gempa di wilayah perdesaan Kabupaten Kutai Kartanegara.

Melalui simulasi pembebanan pada model struktur Kayu Ulin, diperoleh nilai deformasi maksimum yang sangat kecil, yaitu hanya sebesar 0,18 mm yang terdeteksi pada Joint 190 akibat kombinasi pembebanan COMB2. Ketika nilai perpindahan ini dikomparasikan dengan batas lendutan izin yang diatur dalam standar konstruksi kayu – yakni berkisar antara 8,3 mm hingga 12,5 mm – maka eksistensi struktur kayu ini dinyatakan berada pada zona yang sangat aman. Lendutan yang berada jauh di bawah ambang batas toleransi ini mengindikasikan bahwa konfigurasi rangka Kayu Ulin memiliki tingkat kekakuan penampang yang sangat tinggi, sehingga mampu mempertahankan integritas geometrisnya tanpa memicu risiko instabilitas struktural. Kecilnya lendutan ini juga menjamin bahwa seluruh komponen utilitas pengolahan air di atasnya dapat berfungsi optimum tanpa terganggu oleh pergeseran struktural. nuhi kriteria efisiensi informasi yang sangat krusial bagi ekosistem birokrasi modern.

Keandalan struktur Kayu Ulin semakin dipertegas oleh hasil analisis parameter gaya dalam yang menunjukkan bahwa seluruh elemen struktural bekerja jauh di bawah kapasitas batas material. Struktur ini mencatat gaya aksial tekan maksimum sebesar -6,124 kN yang terjadi pada elemen Frame 386 akibat kombinasi COMB2, yang menandakan kemampuan distribusi beban tekan yang merata pada kolom-kolom penopang. Selain itu, gaya geser maksimum yang terjadi relatif rendah, yaitu sebesar 0,180 kN pada Frame 57, beriringan dengan momen lentur maksimum yang hanya menyentuh angka 0,0620 kNm pada Frame 25. Mengingat Kayu Ulin merupakan material kelas kuat I dengan karakteristik mekanis yang luar biasa, nilai-nilai gaya dalam yang kecil ini memberikan margin keamanan yang sangat luas, sekaligus membuktikan bahwa dimensi penampang kayu yang direncanakan memenuhi syarat kekuatan teknis secara paripurna.

Di sisi lain, pemodelan menggunakan material Baja Profil WF menghasilkan karakteristik respons mekanis yang berbeda namun tetap memperlihatkan performa batas yang sangat aman. Struktur baja ini mencatatkan nilai deformasi maksimum sebesar 0,308 mm pada Joint 17 yang dipicu oleh kombinasi pembebanan COMB4. Walaupun secara nominal nilai lendutan baja ini sedikit lebih besar daripada model Kayu Ulin akibat perbedaan konfigurasi geometri dan distribusi berat sendiri, angka tersebut masih berada jauh di bawah batas lendutan izin elastis sebesar 12,5 mm.

Dengan demikian, struktur rangka baja WF ini dapat dikategorikan sebagai sistem penopang yang sangat kaku, stabil, dan memiliki kapasitas redaman yang baik terhadap dinamika beban lateral lingkungan yang bekerja pada menara WTP.

Tabel 1. Analisis Gaya Dalam Struktur Baja (Profil WF)

SAP2000 V26.3.0					
No.	Parameter	Nilai Maksimum	Lokasi Kritis dan Comb	Batas Izin	Ket
1.	Gaya Aksial Maksimum (P)	-56,944 kN	Frame 2 dan COMB2	< Kapasitas aksial profil baja	Sangat Aman
2.	Gaya Geser Maksimum	2,342 kN	Frame 13 dan COMB4	< Kapasitas geser profil baja	Aman
3.	Momen Maksimum	3,239 kNm	Frame 2 dan COMB4	< Kapasitas lentur profil baja	Aman

Pada aspek evaluasi gaya-gaya dalam, komponen Baja Profil WF menunjukkan kapasitas batas yang jauh lebih superior dalam memikul beban berskala besar. Model ini merekam gaya aksial tekan maksimum yang sangat signifikan sebesar -56,944 kN pada Frame 2 melalui kombinasi COMB2, yang mencerminkan beban operasional tinggi yang mampu disalurkan dengan baik oleh penampang baja tanpa mengalami fenomena tekuk (*buckling*). Kinerja geser dan lentur baja juga berada pada tingkat yang sangat kokoh, dengan gaya geser maksimum sebesar 2,342 kN pada Frame 13 serta momen lentur maksimum sebesar 3,239 kNm pada Frame 2 akibat kombinasi COMB4. Seluruh visualisasi gaya dalam ini membuktikan bahwa penampang baja WF menyediakan cadangan kekuatan yang masif, seragam, dan andal untuk diaplikasikan pada infrastruktur utilitas publik jangka panjang.

2. Evaluasi Komprehensif Tingkat Efektivitas dan Implikasi Implementasi Lapangan

Tingkat efektivitas penggunaan material dalam pembangunan menara WTP SPAM perdesaan ini dievaluasi secara multi-kriteria dengan mengintegrasikan parameter kekuatan mekanis, kemudahan metode pelaksanaan (*constructability*), aspek ekonomi lokalitas, serta prinsip keberlanjutan lingkungan. Ditinjau dari parameter deformasi jangka pendek, konfigurasi rangka Kayu Ulin secara mengejutkan memberikan nilai lendutan yang lebih kecil dibandingkan baja, yang menunjukkan efektivitas tinggi dalam membatasi perpindahan struktur akibat berat sendiri yang ringan namun memiliki modulus elastisitas yang tinggi. Kendati demikian, apabila parameter efektivitas diukur dari kapasitas mutlak menahan beban ekstrem dan gaya-gaya dalam berskala besar, Baja Profil WF mutlak menjadi pilihan yang lebih efektif karena homogenitas materialnya mampu mengeliminasi risiko kegagalan struktur mendadak.

Dari dimensi manajemen pelaksanaan konstruksi di lapangan, penggunaan material Baja Profil WF menawarkan tingkat efisiensi waktu yang jauh lebih tinggi dibandingkan material kayu. Keunggulan struktural baja terletak pada standarisasi dimensi pabrikan yang presisi, kemudahan proses fabrikasi, serta sistem sambungan baut atau las yang dapat dirakit secara cepat dan terukur di lokasi proyek. Faktor kecepatan perakitan ini menjadi variabel efektivitas yang sangat krusial ketika pembangunan fasilitas WTP dihadapkan pada target waktu penyelesaian yang ketat demi segera memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat. Sebaliknya, pengerjaan menara menggunakan Kayu Ulin menuntut ketelitian pengerjaan tangan (craftsmanship) yang tinggi, proses pemotongan manual yang membutuhkan waktu lebih lama karena kerasnya densitas kayu, serta tingkat kerumitan yang tinggi dalam mendesain detail sambungan takik atau baut agar tidak memicu konsentrasi tegangan.

Namun, ketika analisis efektivitas digeser pada dimensi ekonomi, geografi, dan kearifan lokal, penggunaan material Kayu Ulin menjadi sangat superior untuk konteks perdesaan di Kabupaten Kutai Kartanegara. Sebagai material endemik Kalimantan yang memiliki ketahanan alami yang sangat tinggi terhadap serangan biologis seperti rayap, jamur, dan kelembapan tinggi, Kayu Ulin memangkas biaya logistik transportasi secara signifikan karena dapat diperoleh langsung dari rantai pasok lokal. Pendayagunaan material lokal ini secara tidak langsung ikut menggerakkan sektor perekonomian daerah dan memberdayakan potensi sumber daya lokal. Hal ini berbanding terbalik dengan material baja yang seluruhnya harus didatangkan dari kawasan industri perkotaan di luar daerah, sehingga berimplikasi pada membengkaknya biaya transportasi logistik menuju lokasi pelosok desa yang sulit dijangkau.

Tingkat efektivitas penggunaan material dalam penelitian ini ditinjau berdasarkan aspek kekuatan struktur, kekakuan, kemudahan pelaksanaan, keberlanjutan, dan kesesuaian terhadap kondisi wilayah perdesaan. Dari aspek deformasi, struktur Kayu Ulin menunjukkan nilai lendutan yang lebih kecil yaitu 0,18 mm, sedangkan Baja Profil WF sebesar 0,308 mm. Hal ini menunjukkan bahwa konfigurasi struktur Kayu Ulin pada model penelitian memiliki respons lendutan yang sangat baik dan cukup efektif dalam menahan perpindahan akibat pembebanan.

Dari aspek kekuatan material, Baja Profil WF memiliki kapasitas yang lebih tinggi dibanding Kayu Ulin. Hal ini terlihat dari kemampuan baja menahan gaya aksial, geser, dan momen yang lebih besar tanpa mengalami kegagalan struktur. Oleh karena itu, untuk bangunan dengan beban besar dan kebutuhan kapasitas tinggi, baja merupakan pilihan yang lebih efektif. Dari aspek pelaksanaan konstruksi, baja lebih unggul karena memiliki proses fabrikasi yang cepat, sambungan lebih presisi, dan pemasangan yang efisien. Sebaliknya, Kayu Ulin memerlukan pengerjaan lapangan yang lebih teliti, terutama pada sambungan dan perlindungan material terhadap cuaca. Dari aspek ekonomi dan lokalitas, Kayu Ulin dapat menjadi pilihan yang efektif apabila tersedia secara lokal dan mudah diperoleh di wilayah Kalimantan. Penggunaan material lokal dapat mengurangi biaya transportasi dan mendukung pemberdayaan sumber daya daerah.

Dari aspek keberlanjutan, kayu merupakan material yang lebih ramah lingkungan dibanding baja karena memiliki jejak karbon lebih rendah, terutama bila berasal dari sumber legal dan dikelola secara lestari. Oleh karena itu, penggunaan Kayu Ulin dapat menjadi solusi konstruksi berkelanjutan pada fasilitas publik di wilayah perdesaan.

Terakhir, dari perspektif pembangunan infrastruktur hijau yang berkelanjutan, penggunaan Kayu Ulin memberikan implikasi ekologis yang jauh lebih ramah lingkungan dibandingkan baja. Kayu bertindak sebagai material penyimpan karbon (carbon sink) yang memiliki jejak karbon (carbon footprint) jauh lebih rendah selama siklus hidupnya, asalkan bersumber dari pengelolaan hutan yang legal dan lestari. Di sisi lain, penggunaan struktur baja –meskipun unggul dari segi umur pakai dan kemudahan daur ulang–memiliki tantangan lingkungan berupa tingginya energi terkandung (embodied energy) saat proses produksi di pabrik, serta risiko korosi yang tinggi di lingkungan perdesaan dengan kelembapan ekstrem yang menuntut perawatan pelapisan anti-karat secara berkala. Melalui komparasi dua pilar besar ini, penelitian menyimpulkan bahwa pemilihan material harus didasarkan pada skala prioritas; baja efektif untuk kebutuhan kekuatan maksimum dan kecepatan durasi kerja, sedangkan Kayu Ulin sangat efektif untuk mewujudkan infrastruktur yang berbasis kearifan lokal, ekonomis, dan berkelanjutan.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai evaluasi kinerja konstruksi Water Treatment Plant (WTP) SPAM Perdesaan Berkelanjutan berbasis material Kayu Ulin dan Baja Profil WF di Kabupaten Kutai Kartanegara, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Kedua material, yaitu Kayu Ulin dan Baja Profil WF, memenuhi persyaratan keamanan struktur berdasarkan hasil analisis SAP2000V26.3.0, karena nilai deformasi dan gaya dalam yang terjadi masih berada di bawah batas izin masing-masing material.
2. Struktur Kayu Ulin menghasilkan deformasi maksimum sebesar 0,18 mm, sedangkan struktur Baja Profil WF sebesar 0,308 mm. Hal ini menunjukkan bahwa pada model penelitian yang dianalisis, struktur Kayu Ulin memiliki respons lendutan yang lebih kecil.
3. Struktur Baja Profil WF memiliki kapasitas kekuatan material yang lebih tinggi dibanding Kayu Ulin, terutama dalam menahan gaya aksial, gaya geser, dan momen lentur, sehingga lebih sesuai digunakan pada struktur dengan beban besar.
4. Kayu Ulin efektif digunakan untuk konstruksi WTP skala kecil hingga menengah, khususnya di wilayah perdesaan yang memiliki ketersediaan material lokal, serta mendukung konsep pembangunan berkelanjutan.
5. Baja Profil WF lebih efektif digunakan untuk konstruksi yang membutuhkan kekuatan tinggi, proses pembangunan cepat, dan potensi pengembangan struktur di masa mendatang.
6. Pemilihan material terbaik tidak hanya ditentukan oleh kekuatan struktur, tetapi juga harus mempertimbangkan aspek biaya, ketersediaan material, kemudahan pelaksanaan, kondisi lingkungan, dan tujuan pembangunan..

DAFTAR PUSTAKA

1. Abduh, Moh. (2021). *Efisiensi rangka atap baja WF dengan baja castella pada bangunan gudang (studi kasus Gudang Serutan Farm Dampit PT Japfa Comfeed Indonesia Tbk)*. Jurnal Teknik, 5(3), 699–703.
2. Abdurachman. (2011). *Kajian mengenai kayu ulin (Eusideroxylon zwageri)*.
3. Aprilia, Lina. (2025). *Morfologi dan kearifan lokal dalam pemanfaatan pohon ulin (Eusideroxylon zwageri) di Desa Batu Meranti*. Al-Kalam: Jurnal Komunikasi, 4(2), 16–29.
4. Badan Standardisasi Nasional. (2013). SNI 7973:2013 *Spesifikasi desain untuk konstruksi kayu*. Jakarta: BSN.
5. Badan Standardisasi Nasional. (2020). SNI 1727:2020 *Beban minimum untuk perancangan bangunan gedung dan struktur lain*. Jakarta: BSN.
6. Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2022). SNI 7973:2022 – *Tata cara perencanaan struktur kayu untuk bangunan gedung*. Jakarta: BSN.
7. Badaruddin, et al. (2021). *Perbandingan struktur kayu dan baja*. Jurnal Konstruksi.
8. Desmaliana, Erma. 2019. “*Kajian Teknis Waktu Dan Biaya Pada Perbandingan Struktur Atap Kayu Dan Struktur Atap Baja Ringan*.” 5(1).
9. Ebenezer, P.. (2022). *Analisis dan desain bangunan bertingkat dua dengan material kayu dan baja tahan gempa menggunakan program SAP2000*.``
10. Harahap, A., et al. (2025). *Perencanaan dan analisis struktur rangka baja pada gedung 3 lantai menggunakan SAP2000 berdasarkan standar SNI*.
11. Hukama, Raihan Daffa. 2023. “*Analisis Kekuatan Struktur Pada Bangunan 8 Lantai Berdasarkan Respon Spektrum SNI 03-1726-2019 Menggunakan SAP2000*.” 08(03): 127–36. doi:10.29244/jsil.8.3.127-136.
12. Ilgin, H. E. (2025). *Faktor-faktor penentu desain efisiensi inti pada bangunan kayu bertingkat tinggi: Analisis tipologi*.
13. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Petunjuk teknis penyelenggaraan sistem penyediaan air minum perdesaan*. Jakarta: Direktorat Jenderal Cipta Karya.
14. MacGinley, T. J., & Choo, B. S. (2017). *Steel Structures: Practical Design Studies*. London: CRC Press
15. Mongkol, J. C., Tangkuman, S., & Rondonuwu, I. (2024). *Perancangan struktur menara lattice untuk turbin angin Darrieus tipe-H daya kecil*. Jurnal Poros Teknik Mesin UNSRAT, 13(1), 71–81.
16. Pattipawaej, O. C. (2015). *Pengembangan sambungan hubungan join balok–kolom kayu dengan perkuatan paku ring-modifikasi*. Jurnal Teknik Sipil, 22(1), 37–48.
17. Pemerintah Kabupaten Kutai Kartanegara. (2022). *Rencana Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum (RISPAM) Kabupaten Kutai Kartanegara*. Tenggarong: Pemerintah Kabupaten Kutai Kartanegara.
18. Poluan, D. S., Pandaleke, R., & Dapas, S. O. (2019). *Respons dinamik struktur rangka baja menara air dengan variasi elemen pengaku lateral*. Jurnal Sipil Statik, 7(3), 367–378.
19. Purnama, A. (2021). *Perbandingan antara konstruksi kayu dengan baja pada rangka atap bangunan*. Jurnal SainTeKa, 2(1), 22–27.

20. Purnama, Ady. 2018. *"Perencanaan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Untuk Perumahan Baiti Jannati Sumbawa."*
21. Prasojo, A. (2024). *Analisis perilaku struktur kayu terhadap beban gempa*. Jurnal Kajian Teknik Sipil, 9(2), 101–110.
22. Republik Indonesia. (2015). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 122 Tahun 2015 tentang Sistem Penyediaan Air Minum*. Jakarta: Sekretariat Negara Republik Indonesia.
23. Republik Indonesia, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2020). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 4 Tahun 2020 tentang Prosedur Operasional Standar Penyelenggaraan Sistem Penyediaan Air Minum*. Jakarta: Sekretariat Negara Republik Indonesia.
24. Riduan., & Dhiaksa. (2020). *Evaluasi kinerja Instalasi Pengolahan Air (IPA) pada Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) di Desa Jejangkit Timur, Kalimantan Selatan*. Jurnal/Prosiding (sesuaikan dengan sumber asli).
25. Smith, I., Landis, E., & Gong, M. (2014). *Fracture and Fatigue in Wood*. Chichester: Wiley.
26. Tanoto, H., Kalangi, J., Tanijaya, R., & Likar, W. (2019). *Analisis kondisi keruntuhan dan beban tekuk kolom profil baja*. Jurnal Teknik, 2(2), 85–96.
27. Wardani, Satria Agung. 2024. *"Manfaat Kayu Ulin."* 2(1): 2–6.
28. Yupa, Y. (2024). *Analisis penggunaan kayu sebagai material struktur bangunan*. Jurnal Teknik Sipil, 13(2), 67–76.
29. Zhang, X., Hu, M., & Guo, H. (2022). *Life cycle assessment of timber structures compared to steel and concrete*. Sustainability, 14(4), 2156.