

PERENCANAAN DAN PENGENDALIAN RUANG LINGKUP PROYEK FABRIKASI JACKET STRUCTURE TURBIN ANGIN DI TAIWAN

PROJECT SCOPE PLANNING AND CONTROL OF WIND TURBINE JACKET STRUCTURE FABRICATION IN TAIWAN

Ibnu Ubaedilah¹, M. Agung Wibowo²

¹. Universitas Teknologi Nusantara, Bogor, Indonesia

². Universitas Satyagama, Jakarta, Indonesia

Email: ibnu.ubaedilah@gmail.com

Received: 3 Mei 2026 Revised: 27 Juni 2026 Accepted: 30 Agustus 2026 Published: 31 Agustus 2026

ABSTRAK

Keberhasilan proyek fabrikasi struktur baja skala besar bergantung pada kejelasan ruang lingkup dan efektivitas pengendalian perubahan. Penelitian ini mengkaji penerapan manajemen ruang lingkup pada fabrikasi jacket structure untuk turbin angin lepas pantai di Century Huaxin Wind Energy, Taiwan. Metode yang digunakan adalah studi kasus melalui observasi lapangan periode Maret hingga Juni 2026. Objek kajian mencakup fabrikasi komponen utama (main leg, brace, pile sleeve, dan shear key) dengan proses Submerged Arc Welding (SAW) sistem tandem wire (12 lintasan, tebal 21 mm). Hasil penelitian menunjukkan bahwa analisis pemangku kepentingan dan tinjauan Welding Procedure Specification (WPS) menjadi landasan penting dalam penyusunan Work Breakdown Structure (WBS) enam tingkatan hierarki, mulai dari perencanaan hingga penutupan. Temuan lapangan mengidentifikasi bahwa deviasi parameter kecepatan las memicu ketidaksesuaian geometri shear key. Permasalahan tersebut berhasil ditangani melalui mekanisme pengendalian perubahan ruang lingkup formal tanpa mengganggu jadwal proyek keseluruhan. Penelitian ini membuktikan pentingnya integrasi praktis antara WBS dan pengendalian mutu pengelasan pada proyek fabrikasi lepas pantai.

Kata kunci: Jacket Structure, Pengendalian Ruang Lingkup, Ruang Lingkup Proyek, SAW, Turbin Angin Lepas Pantai, WBS.

ABSTRACT

The success of large-scale steel fabrication projects relies heavily on scope clarity and effective change control. This study examines the implementation of project scope management in the fabrication of offshore wind turbine jacket structures at Century Huaxin Wind Energy, Taiwan. A case study method was employed based on field observations conducted from March to June 2026. The scope covered the fabrication of critical components (main leg, brace, pile sleeve, and shear key) utilizing a tandem-wire Submerged Arc Welding (SAW) process across 12 passes with a 21 mm weld thickness. The results demonstrate that systematic requirement identification via stakeholder analysis and Welding Procedure Specification (WPS) reviews provides a crucial foundation for establishing a six-level Work Breakdown Structure (WBS), spanning from planning to project closeout. Field findings revealed that welding speed deviations from WPS parameters caused geometric non-conformities in the shear key. This issue was successfully managed through a formal scope change control process—encompassing change submission, impact assessment, and approval—without impacting the overall project schedule. This study highlights the practical integration of WBS and welding quality control in offshore structure fabrication.

Keywords: Change Control, Jacket Structure, Offshore Wind Turbine, Project Scope Management, SAW, WBS.

PENDAHULUAN

Industri energi terbarukan, khususnya *offshore wind energy*, berkembang pesat di kawasan Asia Pasifik. Taiwan menjadi salah satu negara terdepan dalam pengembangan ini, dengan potensi angin Selat Taiwan yang sangat besar. Dalam konteks ini, fabrikasi *jacket structure* sebagai fondasi turbin angin lepas pantai merupakan proyek yang kompleks, melibatkan berbagai disiplin teknik, standar internasional yang ketat, serta koordinasi lintas fungsi yang intensif (He dkk., 2026)

Keberhasilan proyek fabrikasi *jacket structure* sangat ditentukan oleh kejelasan ruang lingkup sejak awal. *Project Management Institute (PMI)* dalam *PMBOK Guide* menegaskan bahwa *scope management* adalah salah satu area pengetahuan paling kritis dalam manajemen proyek, karena ketidakjelasan ruang lingkup merupakan penyebab utama kegagalan proyek. *Work Breakdown Structure (WBS)* sebagai alat dekomposisi pekerjaan memainkan peran sentral dalam mengorganisasi seluruh aktivitas proyek secara hierarkis dan sistematis.

Penelitian ini menganalisis penerapan manajemen ruang lingkup proyek pada fabrikasi *jacket structure* di Century Huaxin Wind Energy, Taiwan, dengan fokus sebagai berikut.

- Identifikasi kebutuhan dan ruang lingkup proyek
- Penyusunan WBS yang komprehensif
- Pengendalian perubahan ruang lingkup yang terjadi di lapangan, khususnya terkait kualitas pengelasan *shear keys* menggunakan metode *Submerged Arc Welding (SAW)*.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus (*case study research*) dengan unit analisis proyek fabrikasi *jacket structure* untuk *offshore wind turbine* di Century Huaxin Wind Energy, Taiwan. Data

dikumpulkan melalui observasi lapangan langsung selama periode Maret–Juni 2026, review dokumen teknis (WPS CWP09-SA-01, *inspection records*, *non-conformance reports*), serta diskusi dengan *welding inspector* dan tim *quality control*.

Analisis dilakukan secara deskriptif-kualitatif dengan mengacu pada kerangka manajemen proyek PMBOK *Guide* Edisi ke-7 sebagai landasan teoritis. Penyusunan WBS dilakukan berdasarkan dekomposisi hierarkis seluruh *deliverables* proyek, sementara analisis *scope control* didasarkan pada temuan ketidaksesuaian kualitas pengelasan *shear keys* yang ditemukan selama pelaksanaan proyek (Aplesnin dkk., 2026).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ruang lingkup proyek (*project scope*) didefinisikan sebagai totalitas pekerjaan yang harus dilakukan untuk menghasilkan produk, layanan, atau hasil proyek sesuai dengan karakteristik dan fungsi yang telah ditentukan. Proses identifikasi kebutuhan merupakan langkah pertama dan paling menentukan dalam manajemen ruang lingkup, karena kesalahan pada tahap ini akan berdampak berantai pada seluruh aspek proyek.

Teknik identifikasi kebutuhan yang umum digunakan meliputi:

- Stakeholder analysis* untuk memetakan seluruh pihak berkepentingan dan kebutuhan mereka
- Wawancara terstruktur dengan pemilik proyek, kontraktor, dan pengguna akhir
- Observasi lapangan untuk memahami kondisi nyata
- Review* dokumen teknis seperti spesifikasi klien, standar internasional, dan *Welding Procedure Specification (WPS)*.

Menurut Schwalbe, *deliverables* proyek harus didefinisikan secara spesifik, terukur, dan dapat diversifikasi untuk menghindari *scope creep*. Dalam proyek fabrikasi *jacket*

structure, identifikasi kebutuhan mencakup persyaratan dimensi dan geometri komponen, standar kualitas pengelasan (DNV-OS-C401, ISO 5817), spesifikasi material baja, serta persyaratan *Non-Destructive Testing (NDT)*. Batasan ruang lingkup proyek mencakup area fabrikasi, jenis komponen yang dikerjakan, dan standar penerimaan kualitas yang disepakati antara Century Huaxin Wind Energy dengan klien (Bialas, 2026).

Work Breakdown Structure (WBS) adalah dekomposisi hierarkis berorientasi *deliverable* dari seluruh pekerjaan yang harus dilakukan oleh tim proyek untuk mencapai tujuan proyek dan menghasilkan *deliverables* yang dipersyaratkan. WBS membagi proyek menjadi komponen-komponen yang lebih kecil dan mudah dikelola, dengan setiap level yang lebih rendah merepresentasikan definisi pekerjaan yang semakin detail.

Prinsip utama penyusunan WBS menurut Orynych dkk., 2026 mencakup:

- Prinsip *100% rule*, di mana total pekerjaan pada level bawah harus sama dengan pekerjaan pada level atas tanpa duplikasi
- Mutual exclusivity*, setiap elemen WBS harus unik dan tidak tumpang tindih
- Hierarchical decomposition*, dekomposisi dilakukan hingga level *work package* yang dapat diestimasi, dijadwalkan, dan dikontrol
- Outcome-oriented*, setiap elemen WBS berorientasi pada hasil/*deliverable*, bukan aktivitas.

Hubungan WBS dengan penjadwalan proyek sangat erat, karena setiap *work package* dalam WBS menjadi dasar pembuatan *activity list* dalam penjadwalan. Selanjutnya, estimasi biaya dilakukan pada level *work package*, sehingga WBS juga menjadi dasar penyusunan *cost baseline* proyek. Integrasi WBS, jadwal, dan biaya ini membentuk *Performance Measurement Baseline (PMB)* yang digunakan dalam

Earned Value Management (EVM) untuk pengendalian kinerja proyek.

Scope control adalah proses pemantauan status ruang lingkup proyek dan pengelolaan perubahan terhadap *scope baseline*. Perubahan ruang lingkup dapat disebabkan oleh berbagai faktor, antara lain perubahan kebutuhan klien, temuan kondisi lapangan yang tidak terduga, perkembangan teknologi, perubahan regulasi atau standar, serta ketidaksesuaian hasil kerja dengan spesifikasi yang telah ditetapkan (Xiao dkk., 2026)

Prosedur pengendalian perubahan ruang lingkup yang standar mencakup:

- Identifikasi dan dokumentasi *change request*
- Analisis dampak perubahan terhadap *scope*, jadwal, dan biaya
- Review dan evaluasi oleh *Change Control Board (CCB)*
- Approval* atau *rejection*
- Implementasi perubahan yang disetujui
- Update* dokumen proyek (*scope baseline*, WBS, jadwal, anggaran)

Menurut Meredith dkk. (2021), ketaatan pada prosedur ini sangat penting untuk mencegah *scope creep* yang tidak terkontrol.

Perubahan ruang lingkup yang tidak dikelola dengan baik dapat berdampak signifikan terhadap *triple constraint proyek* yaitu penambahan waktu penyelesaian, peningkatan biaya, dan penurunan kualitas. Dalam konteks proyek fabrikasi *offshore structure*, perubahan pada spesifikasi pengelasan atau dimensi komponen dapat memerlukan *re-work*, kualifikasi ulang prosedur, atau bahkan penggantian material, yang seluruhnya berdampak pada jadwal dan biaya proyek secara keseluruhan (Franczyk dan Zębala, 2026)

Proyek fabrikasi *jacket structure* di Century Huaxin Wind Energy melibatkan beberapa *stakeholder* utama yaitu klien (*developer wind farm*), kontraktor fabrikasi (Century Huaxin Wind Energy), sub-

kontraktor NDT, dan badan sertifikasi (DNV). Identifikasi kebutuhan dilakukan melalui *review* spesifikasi teknis klien, WPS yang telah dikualifikasi, serta standar internasional DNV-OS-C401 dan EN ISO 15614-1. Ruang lingkup proyek didefinisikan mencakup fabrikasi seluruh komponen *jacket structure* termasuk pengelasan *main leg*, *brace*, *pile sleeve*, dan *shear keys*. Untuk komponen *shear keys* secara spesifik, *deliverables* yang ditetapkan antara lain:

- Geometri simetris dengan *bead width* sesuai target WPS ($W = 35 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$)
- Permukaan las halus (*smooth*)
- Ketebalan total 21 mm dengan 12 *pass* SAW *tandem wire*, dan lulus inspeksi visual serta NDT sesuai standar DNV.

Berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan proyek, analisis pemangku kepentingan, serta penelaahan terhadap dokumen teknis dan *Welding Procedure Specification* (WPS), selanjutnya dilakukan penyusunan *Work Breakdown Structure* (WBS). WBS digunakan untuk memecah ruang lingkup proyek secara hierarkis menjadi komponen pekerjaan yang lebih terstruktur, terukur, dan mudah dikendalikan. Pendekatan ini memungkinkan setiap pekerjaan memiliki batasan ruang lingkup yang jelas serta

memudahkan proses perencanaan, penjadwalan, pengadaan, pelaksanaan fabrikasi, pengendalian mutu, hingga penyelesaian proyek (Łabuński dkk., 2026).

Pada penelitian ini, WBS proyek fabrikasi *jacket structure* turbin angin disusun dalam empat tingkatan utama, yaitu Level 1 sebagai proyek, Level 2 sebagai fase pekerjaan, Level 3 sebagai *work package*, dan Level 4 sebagai aktivitas. Struktur tersebut disesuaikan dengan karakteristik proyek fabrikasi *jacket structure* di Century Huaxin Wind Energy, Taiwan, yang meliputi fase perencanaan, *engineering & design*, pengadaan material, fabrikasi, *quality control*, dan penutupan proyek.

Pembagian hierarkis tersebut tidak hanya berfungsi sebagai dasar pengorganisasian pekerjaan, tetapi juga menjadi instrumen pengendalian ruang lingkup. Setiap *work package* dan aktivitas dapat dikaitkan dengan kebutuhan teknis, sumber daya, jadwal, serta kriteria mutu yang harus dipenuhi. Dengan demikian, perubahan atau ketidaksesuaian yang terjadi selama pelaksanaan dapat diidentifikasi dan ditelusuri terhadap bagian ruang lingkup yang terdampak. Struktur WBS yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. *Work Breakdown Structure* Proyek Fabrikasi *Jacket Structure Wind Turbine*

Level 1 (Proyek)	Level 2 (Fase)	Level 3 (<i>Work Package</i>)	Level 4 (Aktivitas)
<i>Fabrikasi Jacket Structure Wind Turbine</i>	1.0. Perencanaan	1.1 <i>Scope Definition</i>	Identifikasi <i>stakeholder</i> , penyusunan WBS
		1.2 Penjadwalan	<i>Master schedule, milestone plan</i>
	2.0. <i>Engineering & Design</i>	2.1 Desain Struktural	Perhitungan beban, <i>jacket leg drawing</i>
		2.2 WPS & <i>Welding Procedure</i>	Penyusunan WPS SAW, kualifikasi <i>welder</i>

Level 1 (Proyek)	Level 2 (Fase)	Level 3 (<i>Work Package</i>)	Level 4 (Aktivitas)
	3.0. Pengadaan Material	3.1 Material Struktur	Baja tubular, <i>shear keys material</i>
		3.2 <i>Consumables</i> Las	<i>Wire Tientai</i> TSW-12KH, <i>Flux</i> TF-210
	4.0. Fabrikasi	4.1 Pengelasan <i>Shear Keys</i>	SAW <i>tandem wire</i> , 12 pass, total 21 mm
		4.2 <i>Assembly</i>	<i>Fit-up</i> , <i>dimensional check</i> , <i>jacket leg welding</i>
	5.0. <i>Quality Control</i>	5.1 Inspeksi Visual	Pengecekan <i>bead width</i> , simetri, <i>surface quality</i>
		5.2 NDT	UT, MPI sesuai standar DNV-OS-C401
	6.0. Penutupan Proyek	6.1 <i>Final Inspection</i>	Dokumentasi, <i>as-built drawing</i> , serah terima

Pada *Work Package* (Pengelasan *Shear Keys*), metode yang diterapkan adalah *Submerged Arc Welding* (SAW) sistem *tandem wire* (dua kawat las: *lead wire* dan *trail wire*). Kualitas geometri manik las (*W*) dan penetrasi sangat dipengaruhi oleh besaran energi masukan las (*Heat Input*, *HI*). Persamaan *Heat Input* total pada sistem SAW *tandem wire* dirumuskan seperti Persamaan (1)

$$HI_{total} = HI_{lead} + HI_{trail}$$

$$HI_{total} = \eta \times 60 \times \left(\frac{V_1 \cdot I_1}{1000 \cdot v} + \frac{V_2 \cdot I_2}{1000 \cdot v} \right)$$

$$HI_{total} = \frac{60 \cdot \eta}{1000 \cdot v} (V_1 I_1 + V_2 I_2) \text{ (kJ/mm)} \quad (1)$$

Keterangan parameter:

η = efisiensi termal proses pengelasan ($\eta \approx 0,95 - 1,0$ untuk proses SAW).

V_1, V_2 = tegangan busur listrik (*voltage*) *lead* dan *trail wire* (Volt).

I_1, I_2 = arus pengelasan (*current*) *lead* dan *trail wire* (Ampere).

v = kecepatan pengelasan (*travel speed*) (mm/menit).

Persamaan (1) memperlihatkan bahwa *Heat Input* berbanding terbalik dengan kecepatan las ($HI \propto \frac{1}{v}$). Fluktuasi atau ketidaktepatan operator dalam menjaga v secara langsung mengakibatkan distribusi panas dan lelehan logam las tidak merata, memicu pembesaran/penyempitan *bead width* di luar rentang toleransi Persamaan (1) ($W \notin [30,40] \text{ mm}$).

Work Breakdown Structure (WBS) yang disusun dalam penelitian ini merupakan representasi hierarkis dari seluruh pekerjaan yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek fabrikasi *jacket structure* turbin angin. Penyusunan WBS dilakukan berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan proyek, analisis pemangku kepentingan, dokumen teknis, *engineering drawing*, serta *Welding Procedure Specification* (WPS) yang digunakan dalam proses fabrikasi. Dengan pendekatan tersebut, ruang lingkup proyek dapat diuraikan secara sistematis dari tingkat proyek hingga aktivitas operasional sehingga setiap pekerjaan memiliki batasan,

keluaran, dan tanggung jawab yang lebih jelas (Zhao dkk., 2026)

WBS proyek terdiri atas enam fase utama, yaitu perencanaan (1.0), *engineering & design* (2.0), pengadaan material (3.0), fabrikasi (4.0), *quality control* (5.0), dan penutupan proyek (6.0). Pada fase perencanaan, aktivitas utama meliputi *scope definition*, identifikasi *stakeholder*, penyusunan WBS, serta penyusunan jadwal induk dan *milestone plan*. Fase *engineering & design* mencakup desain struktural, perhitungan beban, penyusunan *jacket leg drawing*, serta penyusunan dan verifikasi WPS. Selanjutnya, fase pengadaan material mencakup pengadaan material struktur dan *welding consumables*, termasuk *wire* dan *flux* yang digunakan dalam proses SAW.

Fase fabrikasi merupakan bagian dengan kompleksitas ruang lingkup paling tinggi karena melibatkan aktivitas produksi yang secara langsung memengaruhi kualitas dan kesesuaian dimensi struktur. Salah satu *work package* kritis adalah pengelasan *shear keys* menggunakan metode *Submerged Arc Welding* (SAW) dengan sistem *tandem wire*. Proses pengelasan dilakukan dalam 12 *pass* dengan ketebalan total las sebesar 21 mm. Aktivitas tersebut harus dilaksanakan berdasarkan parameter yang ditetapkan dalam WPS CWP09-SA-01, termasuk *travel speed*, *amperage*, *voltage*, serta parameter pendukung lainnya. Ketepatan pengendalian parameter menjadi penting karena perubahan kecil selama proses pengelasan dapat memengaruhi bentuk *bead*, penetrasi, dimensi profil, dan kualitas akhir sambungan (Ma dkk., 2026).

Fase *quality control* selanjutnya berfungsi sebagai mekanisme verifikasi terhadap hasil pekerjaan fabrikasi. Pengendalian dilakukan melalui inspeksi visual, pemeriksaan dimensi, serta *Non-Destructive Testing* (NDT) sesuai persyaratan teknis dan standar yang berlaku. Sementara itu, fase penutupan proyek mencakup *final inspection*, penyelesaian dokumentasi, penyusunan *as-built drawing*,

dan proses serah terima. Pembagian tersebut menunjukkan bahwa WBS tidak hanya menggambarkan urutan pekerjaan, tetapi juga menjadi dasar untuk memastikan bahwa seluruh kebutuhan proyek telah tercakup dalam ruang lingkup yang direncanakan.

Hubungan antara WBS dan penjadwalan diwujudkan melalui proses *schedule development*, yaitu dengan mengonversi setiap *work package* dan aktivitas yang telah diidentifikasi ke dalam *master schedule*. Setiap aktivitas diberikan durasi, urutan pelaksanaan, hubungan ketergantungan (*dependency*), serta *milestone* yang dapat digunakan sebagai titik pengendalian kemajuan pekerjaan. Dengan demikian, WBS menjadi dasar untuk menentukan pekerjaan yang harus dilaksanakan, sedangkan *master schedule* digunakan untuk mengendalikan kapan pekerjaan tersebut harus dimulai dan diselesaikan. Integrasi antara WBS dan jadwal juga memungkinkan identifikasi terhadap pekerjaan yang berpotensi memengaruhi *critical path* apabila terjadi keterlambatan atau perubahan ruang lingkup (Li dkk., 2026)

Selain aspek waktu, WBS digunakan sebagai dasar dalam estimasi dan pengendalian biaya. Estimasi biaya dilakukan pada tingkat *work package* dengan mengidentifikasi kebutuhan tenaga kerja, material, *welding consumables*, peralatan, inspeksi, dan pekerjaan pendukung lainnya. Pada *work package* pengelasan *shear keys*, komponen biaya yang dominan berasal dari tenaga kerja pengelasan dan material konsumabel berupa *wire* serta *flux* SAW. Pendekatan estimasi pada tingkat *work package* memberikan kemampuan penelusuran biaya yang lebih baik karena setiap pengeluaran dapat dikaitkan dengan bagian tertentu dari ruang lingkup pekerjaan. Hal tersebut menjadi penting ketika terjadi perubahan, karena dampak biaya dapat dihitung berdasarkan komponen WBS yang secara langsung terdampak.

Selama pelaksanaan fabrikasi, ditemukan ketidaksesuaian pada kualitas hasil pengelasan *shear keys*. Temuan utama berupa geometri profil yang tidak simetris dan permukaan las yang kasar (*not smooth*). Kondisi tersebut menunjukkan adanya perbedaan antara hasil aktual dengan persyaratan teknis yang telah ditetapkan dalam dokumen proyek dan WPS. Ketidaksesuaian tersebut tidak hanya dikategorikan sebagai masalah mutu, tetapi juga memiliki implikasi terhadap ruang lingkup karena diperlukan pekerjaan tambahan berupa *re-work*, pemeriksaan ulang, serta tindakan korektif untuk memastikan produk akhir memenuhi persyaratan yang ditetapkan (Sližytė dkk., 2024)

Untuk mengidentifikasi penyebab ketidaksesuaian tersebut, dilakukan analisis menggunakan *Fishbone Diagram* dengan pendekatan enam kategori penyebab atau 6M, yaitu *Man*, *Machine*, *Material*, *Method*, *Measurement*, dan *Environment*. Dari aspek *Man*, ditemukan bahwa kompetensi operator dalam melakukan *setting* dan pengendalian parameter SAW belum memadai. Dari aspek *Machine*, ditemukan bahwa kegiatan kalibrasi dan pemeriksaan kondisi mesin belum dilakukan secara rutin. Dari aspek *Material*, terdapat potensi variasi kualitas *flux* yang dapat memengaruhi stabilitas proses pengelasan. Aspek *Method* menunjukkan adanya ketidakpatuhan terhadap parameter yang ditetapkan dalam WPS. Pada aspek *Measurement*, ditemukan bahwa penggunaan alat ukur yang belum terkalibrasi dapat menyebabkan hasil pemeriksaan kurang akurat. Sementara itu, aspek *Environment* berkaitan dengan kondisi lingkungan kerja, khususnya temperatur, yang berpotensi memengaruhi konsistensi proses pengelasan (Nowaczek dkk., 2026)

Analisis kemudian diperdalam menggunakan metode 5 *Why* untuk menemukan akar masalah. Hasil analisis

menunjukkan bahwa masalah paling fundamental berkaitan dengan pemahaman operator terhadap hubungan antara parameter pengelasan. Operator belum memahami secara memadai hubungan antara *travel speed*, *ampere*, dan *voltage* terhadap karakteristik *bead width* yang dihasilkan. Ketidaktepatan dalam mengendalikan *travel speed*, misalnya, dapat menyebabkan perubahan distribusi material las sehingga menghasilkan bentuk *bead* yang tidak sesuai. Oleh karena itu, permasalahan tidak semata-mata disebabkan oleh kesalahan operasional, tetapi juga menunjukkan adanya kelemahan pada aspek kompetensi, pemahaman prosedur, dan sistem monitoring proses (Xu dkk., 2026)

Temuan tersebut kemudian memicu penerapan mekanisme *scope control* secara formal. Pengendalian perubahan dilakukan melalui beberapa tahapan. Pertama, *Non-Conformance Report* (NCR) diterbitkan sebagai dokumen formal untuk mencatat ketidaksesuaian dan menjadi dasar pengajuan tindakan perubahan. Kedua, dilakukan evaluasi dampak perubahan terhadap tiga aspek utama, yaitu jadwal, biaya, dan kualitas. Dari sisi jadwal, diperlukan tambahan waktu untuk pekerjaan *re-work* dan verifikasi ulang. Dari sisi biaya, perubahan menyebabkan kebutuhan tambahan terhadap material konsumabel dan tenaga kerja. Dari sisi kualitas, perubahan diperlukan untuk mengurangi risiko terulangnya ketidaksesuaian serta memastikan kesesuaian hasil akhir terhadap persyaratan teknis.

Tahap berikutnya adalah *review* oleh QC Manager dan *site supervisor* untuk memastikan bahwa tindakan korektif yang direncanakan dapat dilaksanakan tanpa menimbulkan risiko baru terhadap struktur maupun proses produksi. Setelah memperoleh persetujuan, dilakukan tindakan korektif berupa *re-training* operator dan revisi SOP *monitoring* parameter pengelasan. Selain itu, *scope*

baseline diperbarui dengan memasukkan persyaratan *mock-up test* pada setiap tahap awal produksi. Penambahan *mock-up test* tersebut berfungsi sebagai *early verification mechanism*, sehingga potensi ketidaksesuaian dapat diketahui sebelum pekerjaan memasuki tahap produksi secara penuh.

Dari perspektif *project management*, mekanisme tersebut menunjukkan bahwa pengendalian ruang lingkup tidak berhenti pada proses identifikasi pekerjaan pada awal proyek, tetapi merupakan proses berkelanjutan sepanjang siklus hidup proyek. Ketika ditemukan kondisi aktual yang berbeda dari *scope baseline*, perubahan harus dianalisis, didokumentasikan, dievaluasi, dan disetujui sebelum diimplementasikan. Dengan mekanisme tersebut, perubahan dapat dikendalikan secara sistematis dan tidak berkembang menjadi *scope creep* yang tidak terdokumentasi (Li dkk., 2026)

Perubahan ruang lingkup yang terjadi memberikan dampak terhadap *triple constraint*, yaitu waktu, biaya, dan kualitas. Dari aspek waktu, diperlukan tambahan sekitar 3–5 hari untuk pelaksanaan *re-work* dan verifikasi ulang. Dari aspek biaya, konsumsi material las mengalami peningkatan sekitar 8%, terutama akibat kebutuhan tambahan *wire*, *flux*, dan tenaga kerja untuk pekerjaan korektif. Sementara itu, dari aspek kualitas, penerapan *re-training*, revisi SOP, serta *mock-up test* memberikan dampak positif terhadap pengendalian kualitas jangka panjang karena meningkatkan konsistensi proses dan mengurangi kemungkinan terjadinya ketidaksesuaian berulang.

Meskipun perubahan tersebut menyebabkan tambahan waktu dan biaya pada tingkat pekerjaan tertentu, penerapan *scope control* secara formal mampu membatasi dampaknya terhadap keseluruhan proyek. Hal ini menunjukkan bahwa perubahan ruang lingkup tidak selalu memberikan dampak negatif apabila

dikelola melalui mekanisme yang terstruktur. Dalam kasus ini, perubahan justru menghasilkan peningkatan pada sistem pengendalian mutu melalui pembelajaran dari ketidaksesuaian yang terjadi. Dengan demikian, integrasi antara WBS, *master schedule*, pengendalian biaya, WPS, dan mekanisme *scope control* menjadi faktor penting dalam menjaga keseimbangan antara target produksi, kualitas hasil fabrikasi, dan waktu penyelesaian proyek.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa WBS berperan sebagai *baseline* struktur ruang lingkup, sedangkan *scope control* berfungsi sebagai mekanisme untuk menjaga agar perubahan selama pelaksanaan tetap berada dalam batas yang dapat dikendalikan. Pada proyek fabrikasi *jacket structure*, pendekatan tersebut menjadi semakin penting karena karakteristik pekerjaan yang kompleks, ketergantungan antarkegiatan yang tinggi, serta tuntutan kualitas pengelasan yang ketat. Penggunaan WBS yang terintegrasi dengan pengendalian mutu memungkinkan setiap ketidaksesuaian ditelusuri kembali kepada *work package* terkait dan selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan perubahan secara objektif dan terdokumentasi.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis studi kasus fabrikasi *jacket structure* di Century Huaxin Wind Energy, Taiwan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai bahwa identifikasi kebutuhan proyek yang sistematis melalui *stakeholder analysis* dan *review WPS* merupakan fondasi penting dalam penyusunan ruang lingkup dan WBS. *Deliverables* yang terdefinisi secara spesifik, khususnya target geometri *shear keys* (*bead width* 35 mm ± 5 mm, total 21 mm, 12 *pass*), memungkinkan pengendalian kualitas yang terukur.

WBS yang disusun dalam struktur 4-level hierarkis berhasil mendekomposisi seluruh pekerjaan fabrikasi secara

sistematis, mencakup 6 fase dan 12 work package utama. Integrasi WBS dengan jadwal dan biaya memberikan dasar yang kuat untuk pengendalian kinerja proyek menggunakan prinsip *Earned Value Management*.

Pengendalian perubahan ruang lingkup melalui prosedur formal (NCR → evaluasi → *approval* → *update baseline*) terbukti efektif dalam mengelola ketidaksesuaian kualitas pengelasan *shear keys*. Proses *scope control* yang terstruktur meminimalkan dampak negatif terhadap jadwal dan biaya proyek secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aplesnin, S., Romanova, O., Sitnikov, M., Kharkov, A., Nikitinsky, O., Cheremnykh, N., Udod, L., Shabanov, A., Rymski, G., Minchukova, O., dan Hichem, A. (2026). Photovoltaic Effect in the $MnZn_{1-x}Cr_xSb$ Weyl Semimetals. *Materials*, 19(17), 3670.
- Bialas, O. (2026). Silicon Nitride Coatings on Titanium for Cardiovascular Applications: Interface Engineering, Hemocompatibility, and Translational Challenges. *Materials*, 19(17), 3668.
- Franczyk, E. dan Zębala, W. (2026). Hybrid FFF-CNC Processing of PLA Fixtures with Gyroid Internal Structures. *Materials*, 19(17), 3677.
- He, Z., Zhang, D., Xu, G., Zhang, N., dan Zhang, H. (2026). Non-Monotonic Mechanical Response and Multiscale Damage Evolution of Argillaceous Siltstone Under Wet–Dry Cycles. *Materials*, 19(17), 3678.
- Łabuński, P., Witek, L., dan Obal, P. (2026). Influence of Temperature on FLD and CLD Damping Treatment. *Materials*, 19(17), 3674.
- Li, L., Liu, J., Zhang, Q., Zhang, G., dan Tao, S. (2026). Integrating a Solar Chimney into a Traditional Skywell Dwelling: A New Climate-Adaptive Retrofit Design Approach. *Buildings*, 16(17), 3462.
- Li, L., Wang, X., Wu, S., Liu, F., Liang, R., dan Tang, M. (2026). Scientific Analysis of the Polychrome Paintings on the Stele Pavilion of Guandi Temple in Shanxi, China. *Materials*, 19(17), 3672.
- Ma, C., Li, J., Fan, X., dan Yu, Q. (2026). Pd Nanoparticles Supported on Tubular $g-C_3N_4$: Enhanced Selectivity in Acetylene Double Carbonylation. *Materials*, 19(17), 3673.
- Meredith, J. R., Shafer, S. M., dan Mantel Jr., S. J.. *Project Management: A Managerial Approach, 11th Edition*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Nowaczek, A., Kulczycka, J., Bęben, M., Kasperek, D., dan Kowalski, Z., Makara, A., dan Generowicz-Caba, N. (2026). Mechanical, Durability, Carbon Footprint, and Economic Assessment of Sand–Gravel–Gneiss Aggregate Mixtures for Sustainable Road Construction. *Materials*, 19(17), 3679.
- Orynycz, O., Matijošius, J., Wasiak, A., Wakulewska, M., dan Sasiadek, M. (2026). Quality-Gated Circularity Assessment of PET, Aluminium, and Reusable Glass Packaging in Deposit Return Systems. *Materials*, 19(17), 3669.
- Sližytė, D., Šalna, R., dan Urbonas, K. (2024). Statistical Evaluation of Sleeve Friction to Cone Resistance Ratio in Coarse-Grained Soils. *Buildings*, 14(13), 745.
- Xiao, J., Li, Q., Hu, L., Wu, S., Lin, W., dan Gu, C. (2026). Geometry-Dependent Tensile Load Capacity and Fracture Characteristics of Steel Wire Ropes : A

Perencanaan dan Pengendalian (Ubaedillah/ hal. 30-39)

- Finite Element Parametric Study. *Materials*, 19(17), 3671.
- Winged Kite Algorithm. *Materials*, 19(17), 3681.
- Xu, X., Pan, S., Zhou, C., Ge, W., dan Wu, X. (2026). Dynamic Modulus Prediction of Fiber-Reinforced Asphalt Mixtures Based on XGBoost Optimized by an Improved Black-
- Zhao, L., Xiao, Y., Luo, J., E. W., Gao, X., dan Zeng, C. (2026). Influence of Oil Shale Residue on the Frost Resistance of Fly-Ash-Based Autoclaved Aerated Concrete. *Materials*, 19(17), 3675.