



Pendekatan Kombinasi *Design Thinking* - *Pdca* dalam Inovasi Sistem Sinkronasi Migrasi Power

(Studi Kasus Implementasi Sparta (*Synchronization Panel Portable Transfer*) di Proyek RDMP RU V Balikpapan)

Nurkholis Alfian^{1*}, Aldhimas Satria Aditama², I Putu Gede Eka Mahaswara³

¹⁻³Praktisi Industri: Kilang Pertamina Balikpapan, Indonesia

*Penulis Korespondensi : Nurkholisalfian.ind@gmail.com

Abstract. *The process of electrical power migration from the Existing Power Plant to the New Power Plant at RDMP RU V Balikpapan carries the risk of system failure that may trigger highly massive financial losses due to the potential Loss of Production Opportunity (LPO). This study aims to describe the development of the SPARTA (Synchron Portable Analyzer Transfer) innovation and analyze its effectiveness in supporting on-stream power migration without interruption. The methodology used is the integration of Design Thinking innovation management into the Plan-Do-Check-Act (PDCA) cycle to produce a human-centered and technically reliable solution. The evaluation results based on PQDSME parameters indicate that the implementation of SPARTA successfully ensured 100% Zero Downtime. Technically, this tool provides phase angle accuracy of $< 5^\circ$ with a preparation time 75% faster compared to conventional methods. Economically, this innovation reduced investment costs by 89% and provided protection for highly significant production asset values. In addition, work risks decreased from the High Risk category to the Low/Moderate Risk category, which was associated with an increase in operator morale from a scale of 1.8 to 4.5. This study concludes that the synergy between the psychological aspects of operators and electrical engineering practices is capable of creating a new standard in refinery operational sustainability.*

Keywords: *Design Thinking; PDCA; SPARTA; Power Migration; Zero Downtime.*

Abstrak. Proses migrasi daya listrik dari *Existing Power Plant* ke *New Power Plant* di RDMP RU V Balikpapan memiliki risiko kegagalan sistem yang dapat memicu kerugian finansial yang sangat masif akibat potensi *Loss of Production Opportunity* (LPO). Penelitian ini bertujuan untuk memaparkan pengembangan inovasi SPARTA (*Synchron Portable Analyzer Transfer*) dan menganalisis efektivitasnya dalam mendukung migrasi daya secara on-stream tanpa interupsi. Metodologi yang digunakan adalah integrasi manajemen inovasi *Design Thinking* ke dalam siklus *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) untuk menghasilkan solusi yang berpusat pada manusia (*human-centered*) dan andal secara teknis. Hasil evaluasi berdasarkan parameter PQDSME menunjukkan bahwa implementasi SPARTA berhasil menjamin 100% Zero Downtime. Secara teknis, alat ini memberikan akurasi sudut fasa $< 5^\circ$ dengan waktu persiapan 75% lebih cepat dibandingkan metode konvensional. Secara ekonomi, inovasi ini menekan biaya investasi sebesar 89% dan memberikan perlindungan terhadap nilai aset produksi yang sangat signifikan. Selain itu, risiko pekerjaan turun dari kategori *High Risk* menjadi *Low/Moderate Risk*, yang berelasi dengan peningkatan morale operator dari skala 1,8 menjadi 4,5. Penelitian ini menyimpulkan bahwa sinergi antara aspek psikologis operator dan rekayasa keteknikan listrik mampu menciptakan standar baru dalam keberlanjutan operasional kilang.

Kata kunci: Design Thinking; PDCA; SPARTA; Migrasi Daya; Zero Downtime.

1. LATAR BELAKANG

Sektor industri hilir minyak dan gas bumi merupakan pilar utama dalam menjaga ketahanan energi nasional. PT Pertamina (Persero) melalui Refinery Unit (RU) V Balikpapan saat ini sedang melakukan transformasi besar melalui proyek *Refinery Development Master Plan* (RDMP) untuk meningkatkan kapasitas pengolahan dan kualitas produk (Pratama dkk, 2022). Salah satu tahapan paling krusial dalam proyek strategis ini adalah migrasi daya pada sistem kelistrikan dari pembangkit listrik eksisting ke *New Power Plant*. Transisi ini menuntut

keandalan tinggi karena sistem kelistrikan kilang merupakan jantung operasional yang tidak boleh terinterupsi guna menjaga stabilitas produksi.

Masalah utama yang dihadapi dalam migrasi daya ini adalah tingginya risiko pemadaman total (*total blackout*) atau *plant shutdown* jika menggunakan metode konvensional. Metode konvensional sering kali memerlukan penghentian aliran listrik sementara untuk melakukan sinkronisasi dan perpindahan beban. Namun, bagi kilang minyak, interupsi daya sekecil apa pun dapat memicu kegagalan sistem kontrol pada unit sensitif seperti *Uninterruptible Power Supply* (UPS) Essential dan peralatan listrik penting lainnya. Dampak kegagalan ini sangat masif, dengan potensi kerugian ekonomi akibat terhentinya produksi (*Loss of Production Opportunity*) hingga triliunan rupiah dari plant CDU IV dan turunannya yang stop produksi selama beberapa hari saja. Selain aspek finansial, risiko teknis berupa Ketidaktepatan sinkronisasi pada parameter tegangan, frekuensi, dan sudut fasa juga dapat menimbulkan torsi transien yang dapat mengakibatkan kerusakan mekanis permanen pada poros generator maupun peralatan pengaman listrik seperti *circuit breaker* (Grainger & Stevenson, 2016), sebuah risiko yang diantisipasi secara ketat dalam migrasi daya RDMP RU V Balikpapan (Universitas Pertamina, 2023).

Resiko kerugian yang besar dari akibat terhentinya produksi (*Loss of Production Opportunity*) membuat perlunya cara agar proyek migrasi daya dapat dilakukan tanpa menghentikan produksi kilang. Berdasarkan analisis akar masalah menggunakan diagram *Root Cause Analysis* (RCA) yakni *Fishbone*, ditemukan bahwa apabila migrasi daya dilakukan *on-stream* atau tanpa menghentikan produksi, maka perlunya kajian dalam akan hal ini. Salah satu kendala migrasi daya secara *on-stream* disebabkan oleh ketiadaan alat sinkronisasi portabel yang mampu menjembatani dua pembangkit berbeda karakter tanpa mengubah konfigurasi permanen gardu induk. Migrasi daya perlu dilakukan pada beberapa substation lama (*existing*) sehingga memerlukan fleksibilitas alat yang dapat digunakan diberbagai lokasi substation listrik. Di sisi lain, terdapat aspek manusia yang sering terabaikan dalam pengembangan alat; operator di lapangan menghadapi beban kognitif dan kecemasan tinggi akibat risiko *human error* pada penentuan *timing* sinkronisasi manual. Sebagian besar literatur sebelumnya hanya berfokus pada solusi teknis murni (*technology-centered*), namun kurang mempertimbangkan interaksi pengguna dalam kondisi tekanan proyek yang tinggi.

Untuk menutup kesenjangan tersebut, penelitian ini menerapkan pendekatan *Design Thinking* (DT) yang diintegrasikan dengan siklus *Plan-Do-Check-Action* (PDCA). Pendekatan DT memastikan bahwa solusi yang dirancang tidak hanya unggul secara teknis, tetapi juga ergonomis, aman, dan memitigasi risiko kesalahan manusia. Dari pendekatan ini, lahir

inovasi SPARTA (*Synchronous Portable Analyzer Transfer*). SPARTA dirancang sebagai arsitektur sinkronisasi portabel yang memungkinkan terjadinya *bumpless transfer* melalui penyelarasan vektor tegangan (V), frekuensi (f), dan sudut fasa (θ) secara otomatis dan akurat. Diharapkan perpindahan daya tanpa kedip ini di tengah dinamisnya lingkungan proyek RDMP dapat menjadi solusi migrasi daya secara *on-stream*. Keunggulan utama sistem ini terletak pada portabilitasnya yang tinggi dan kemampuannya untuk melakukan sinkronisasi dua sumber daya berbeda secara akurat tanpa mengubah konfigurasi permanen gardu induk yang sedang beroperasi.

Tujuan dari artikel ilmiah ini adalah untuk memaparkan proses pengembangan SPARTA dan menganalisis efektivitasnya dalam mendukung migrasi daya *on-stream* di Proyek RDMP Balikpapan. Evaluasi dilakukan berdasarkan parameter PQDSME (*Productivity, Quality, Delivery, Safety, Morale, Environment*) untuk membuktikan bahwa integrasi manajemen inovasi berbasis manusia dan keteknikan listrik dapat menjamin keberlanjutan operasional dengan target *Zero Downtime*.

2. KAJIAN PUSTAKA

Stabilitas Sistem Tenaga dan Mekanisme Sinkronisasi Elektrikal

Stabilitas sistem tenaga listrik secara komprehensif didefinisikan sebagai kemampuan integral dari suatu sistem transmisi dan distribusi untuk mempertahankan sinkronisme antar mesin pembangkit serta menjaga keseimbangan operasional setelah terpapar oleh gangguan, baik yang bersifat kecil maupun transien besar (Kundur, 1994). Dalam menjaga integritas jaringan tersebut, mekanisme sinkronisasi elektrikal menjadi prosedur mutlak yang harus dipenuhi sebelum menghubungkan dua sumber daya listrik yang terpisah agar tidak terjadi arus sirkulasi yang merusak. Mekanisme ini menuntut keselarasan presisi pada empat parameter utama, yaitu magnitudo tegangan, frekuensi, sudut fasa, dan urutan fasa yang identik (Glover dkk, 2016). Ketidakmampuan sistem dalam mencapai parameter sinkronisasi yang tepat dapat memicu ayunan daya (*power swing*) yang ekstrem, yang pada gilirannya akan mengganggu stabilitas sudut rotor dan berpotensi menyebabkan kegagalan sistem secara masif (Machowski, 2020). Oleh karena itu, penggunaan teknologi *automatic synchronizer* yang responsif menjadi standar industri modern untuk memastikan transisi pembebanan berjalan secara mulus dan aman bagi komponen mekanis generator (IEEE, 2018).

Metodologi Diagnostik melalui *Root Cause Analysis* (RCA)

Metodologi diagnostik melalui *Root Cause Analysis* (RCA) merupakan sebuah pendekatan sistematis yang dirancang untuk mengidentifikasi faktor-faktor mendasar penyebab terjadinya suatu kegagalan atau insiden, melampaui sekadar gejala yang terlihat di permukaan (Rooney dkk, 2004). Dalam pelaksanaannya, RCA bertujuan untuk menemukan titik kegagalan dalam proses atau sistem agar tindakan korektif dapat dilakukan secara efektif guna mencegah pengulangan kejadian serupa di masa depan (Latino dkk, 2019). Berbagai instrumen analisis sering digunakan dalam metodologi ini, seperti Diagram *Ishikawa* (tulang ikan) untuk memetakan hubungan sebab-akibat serta teknik *Five Whys* yang secara iteratif mengeksplorasi lapisan penyebab hingga mencapai akar permasalahan teknis maupun organisasional (Ohno, 1988). Integrasi RCA dalam manajemen sistem industri modern memungkinkan organisasi untuk beralih dari pola pemecahan masalah yang bersifat reaktif menuju strategi pencegahan yang proaktif dan berkelanjutan (ReVelle. 2004).

***Human-Centered Design* (HCD)**

Filosofi *Human-Centered Design* (HCD) menempatkan karakteristik, keterbatasan, dan kebutuhan manusia sebagai fokus utama dalam proses perancangan sistem guna meminimalisir potensi kesalahan manusia (*human error*) (Norman, 2013). Pendekatan ini mengakui bahwa kesalahan sering kali bukan disebabkan oleh kecerobohan individu, melainkan akibat dari desain sistem yang tidak selaras dengan kognisi manusia, sehingga mitigasi dilakukan dengan menciptakan antarmuka yang intuitif dan toleran terhadap kesalahan (*error-tolerant*) (ISO, 2019). Dalam konteks penelitian ini, HCD menerapkan prinsip desain yang memungkinkan pengguna mendeteksi kesalahan secara dini dan melakukan koreksi sebelum dampak fatal terjadi (Vicente, 2004). Dengan mengintegrasikan pemahaman psikologi kognitif ke dalam rekayasa sistem, HCD secara proaktif mengubah struktur tugas yang kompleks menjadi alur kerja yang lebih sederhana dan aman bagi operator (Wickens et al., 2004).

Pendekatan *Design Thinking* (DT) dan siklus *Plan-Do-Check-Action* (PDCA)

Pengembangan inovasi dan pemecahan masalah dengan cara kreatif dapat hadir dari tiap individu di perusahaan. Menurut Brown (2009) design thinking adalah pendekatan inovatif yang berorientasi pada manusia diadopsi dari metode perancangan untuk menyatukan kebutuhan individu, potensi teknologi, dan persyaratan yang diperlukan demi keberhasilan suatu program.

Metode design thinking yang umum digunakan berasal dari Stanford D. School dikenal sebagai lembaga akademik terkemuka yang memberi perhatian penting dalam bidang pengajaran design thinking. DT menurut d.school memiliki lima tahap sebagai berikut: *empathize, define, ideate, prototype, dan test* (Doorley, 2018)

- a. *Empathize* (Empati) : Tahap awal untuk memahami pengguna secara mendalam. Tim desain berusaha melihat dunia dari perspektif pengguna guna merasakan pengalaman, tantangan, dan kebutuhan mereka demi menciptakan solusi yang relevan dan "manusiawi" dapat memakai filosofi *Human-Centered Design* (HCD).
- b. *Define* (Definisi) : Proses merumuskan masalah secara jelas dan spesifik. Informasi yang didapat pada tahap empati dianalisis untuk mengidentifikasi masalah utama yang akan dicarikan solusinya.
- c. *Ideate* (Ideasi) : Tahap menghasilkan ide kreatif sebanyak mungkin sebagai bahan solusi. Fokus utamanya adalah keberagaman ide tanpa melakukan penilaian atau penyaringan terlalu dini.
- d. *Prototype* (Prototipe) : Mengubah ide-ide yang dihasilkan menjadi bentuk konkret atau fisik yang dapat diuji. Prototipe ini berfungsi sebagai representasi solusi yang akan diuji coba untuk menemukan kekurangan dan menyempurnakan kualitas produk.
- e. *Test* (Uji Coba) : Tahap akhir untuk mengevaluasi efektivitas prototipe dengan melibatkan pengguna langsung. Hasil uji coba ini memberikan umpan balik penting untuk memperbaiki produk, memvalidasi ide, dan memastikan solusi akhir sesuai dengan tujuan.

Sedangkan PDCA menjadi metode yang sering digunakan pada industri dengan mengakomodir tahapan manajemen empat langkah (*Plan, Do, Check, Act*) yang digunakan secara berulang untuk pengendalian dan perbaikan berkelanjutan pada proses, produk, atau layanan (Samuel & Farrer, 2025).

- a. *Plan* (Perencanaan): Tahapan ini berfokus pada penyelidikan masalah secara mendalam untuk menemukan akar penyebab (*root cause*) menggunakan metode *Five Whys*. Setelah masalah diprioritaskan, tim menyusun rencana aksi yang selaras dengan tujuan organisasi, yang mencakup daftar tindakan detail, data yang perlu dikumpulkan, penanggung jawab, serta parameter keberhasilan yang terukur.
- b. *Do* (Pelaksanaan): Pada tahap ini, rencana yang telah disusun mulai diimplementasikan melalui proyek uji coba (*pilot project*) sambil terus memantau dampaknya. Proses ini melibatkan pengumpulan data, dokumentasi hambatan, serta mempertimbangkan faktor-

faktor manajerial seperti distribusi sumber daya, manajemen strategi, dan standarisasi proses operasional untuk mendapatkan pembelajaran lapangan.

- c. *Check* (Pemeriksaan): Data dan informasi yang diperoleh dari tahap pelaksanaan dianalisis dan dibandingkan dengan data dasar (*baseline*) untuk mengevaluasi efektivitas tindakan. Evaluasi ini sering kali menggunakan alat visualisasi statistik seperti diagram Pareto, histogram, atau *control charts* guna memastikan apakah target perbaikan yang terukur telah tercapai.
- d. *Act* (Tindakan): Tahap akhir ini merupakan pengambilan keputusan berdasarkan hasil evaluasi, di mana terdapat tiga pilihan tindakan: *Adopt* (mengadopsi solusi secara permanen jika berhasil), *Adapt* (menyesuaikan rencana dan mengulang siklus jika hasil belum maksimal), atau *Abandon* (membatalkan rencana dan kembali ke tahap perencanaan awal jika tidak ditemukan peningkatan sama sekali).

Sinergi antara *Design Thinking* dan siklus PDCA memungkinkan perusahaan/organisasi/tim untuk tidak hanya menciptakan solusi yang inovatif melalui pemahaman empati pengguna, tetapi juga menjamin keberlanjutan solusi tersebut melalui kontrol kualitas yang ketat. Dalam kerangka ini, *Design Thinking* berperan dalam fase penemuan masalah, sementara PDCA memastikan eksekusi solusi berjalan secara sistematis dan terukur (Luchs, 2015). *Design Thinking* berperan pada fase awal untuk mendefinisikan masalah melalui pemahaman mendalam terhadap kebutuhan manusia, yang kemudian memberikan input kreatif bagi tahap Plan dalam siklus Sinergi ini memungkinkan solusi yang dihasilkan tidak hanya bersifat inovatif secara desain, tetapi juga teruji secara sistematis melalui mekanisme evaluasi berulang (*Check*) dan standarisasi (*Action*) yang ketat PDCA (Onyemelukwe dkk, 2025).

Berikut adalah hubungan antar fasenya, sebagai berikut:

- a. Fase Penemuan (*Empathize & Define* ➔ *Plan*)
- b. Tahap *Empathize* dan *Define* dalam *Design Thinking* menjadi fondasi bagi tahap Plan dalam PDCA. Sebelum membuat rencana aksi, tim menggunakan empati untuk memahami masalah pengguna, sehingga rencana (*Plan*) yang disusun bukan sekadar asumsi teknis, melainkan solusi yang benar-benar menjawab akar masalah.
- c. Fase Pengembangan (*Ideate & Prototype* ➔ *Do*)
- d. Tahap *Ideate* menghasilkan berbagai ide kreatif yang kemudian dikerucutkan menjadi *Prototype*. Dalam siklus PDCA, pembuatan prototipe ini adalah bagian dari *Do*

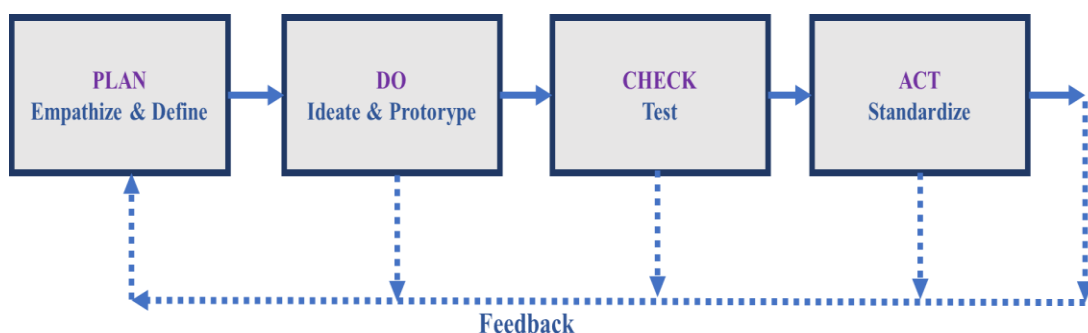
(Pelaksanaan skala kecil). Tujuannya adalah menguji ide di lapangan tanpa harus mengambil risiko besar pada sistem utama.

- e. Fase Evaluasi (*Test* → *Check*)
- f. Tahap *Test* dalam Design Thinking sejalan dengan *Check* pada PDCA. Di sini, data dari hasil uji coba prototipe dianalisis. Tim memeriksa apakah solusi tersebut bekerja secara teknis (*Check*) dan apakah pengguna merasa terbantu dengan solusi tersebut (*Test*).
- g. Fase Standarisasi (Implementasi → *Act*)
- h. Jika hasil pengujian valid, tahap *Act* dalam PDCA mengambil peran untuk menstandarisasi solusi tersebut menjadi prosedur tetap (SOP). Jika dalam tahap Design Thinking masih ditemukan kekurangan, siklus akan kembali ke tahap Ideate atau Plan untuk penyempurnaan lebih lanjut.

Dengan menggabungkan fleksibilitas DT dalam mengeksplorasi ide dan ketegasan PDCA dalam efisiensi operasional, perusahaan/organisasi/tim dapat memitigasi risiko kegagalan implementasi sekaligus meningkatkan kualitas solusi secara berkelanjutan (Liedtka & Ogilvie, 2011).

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian tindakan (*action research*) yang bersifat aplikatif dengan menggabungkan pendekatan kualitatif dan kuantitatif. Metodologi yang digunakan adalah integrasi antara kerangka kerja *Design Thinking* (DT) yang berfokus pada solusi berbasis manusia (*Human-Centered Design*) dan siklus *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) untuk menjamin standarisasi serta perbaikan berkelanjutan di lingkungan industri vital (Onyemelukwe dkk, 2025).



Gambar 1. Penjelasan *Feedback*.

Proses penelitian dilaksanakan melalui lima tahapan utama yang dipetakan ke dalam siklus PDCA untuk mencapai target *Zero Downtime* pada Proyek RDMP RU V Balikpapan:

- a. Fase PLAN (*Empathize & Define*):
- b. *Empathize*: Melakukan observasi dan wawancara mendalam dengan operator, engineer dan teknisi listrik untuk mengidentifikasi penderitaan pengguna (*user pains*) terkait risiko migrasi daya
- c. *Define*: Menyusun analisis akar masalah menggunakan diagram *Root Cause Analysis* (RCA) *Fishbone* guna mengisolasi variabel penyebab dominan pada kategori Manusia, Alat, Metode, dan Material.
- d. Fase DO (*Ideate & Prototype*):
- e. *Ideate*: Melakukan sesi brainstorming untuk merancang arsitektur SPARTA yang mampu melakukan sinkronisasi parameter elektrik (ΔV , Δf , $\Delta \theta$) secara portabel
- f. *Prototype*: Melakukan perakitan unit fisik SPARTA yang *handy, compact, portable* dan *automatic synchronise* untuk memitigasi *human error*.
- g. Fase CHECK (*Test*):
- h. *Test*: Melakukan uji coba lapangan pada proses migrasi daya sesungguhnya. Data diukur secara kuantitatif berdasarkan stabilitas frekuensi (f) dan tegangan (V) selama transisi beban berlangsung.
- i. Fase ACT (*Standardize*):
- j. Melakukan formalisasi prosedur operasional baru berbasis hasil uji coba yang sukses untuk diimplementasikan secara luas di unit operasional lainnya.

Keberhasilan inovasi ini diukur menggunakan parameter PQDSME dengan fokus utama pada:

- a. Kualitas Teknis: Tercapainya kondisi sinkron dengan deviasi frekuensi $\Delta f \approx 0$ Hz dan perbedaan sudut fasa $\Delta \theta < 5^\circ$ saat manuver penutupan breaker.
- b. Dampak Ekonomi: Efektivitas mitigasi kerugian finansial yang dihitung berdasarkan nilai *Loss of Production Opportunity* (LPO).
- c. Aspek Moral: Penurunan beban kognitif dan tingkat kecemasan operator yang diukur melalui kuesioner pasca-implementasi.

Data yang diperoleh dari tahap pengujian dianalisis secara deskriptif komparatif, yaitu membandingkan performa sistem sebelum penggunaan SPARTA (metode konvensional berbasis RCA) dengan performa sistem sesudah implementasi SPARTA (metode HCD). Analisis dilakukan untuk membuktikan bahwa integrasi DT-PDCA secara signifikan meningkatkan keandalan sistem tenaga listrik selama fase migrasi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menguraikan hasil implementasi inovasi SPARTA yang dikembangkan melalui integrasi sistematis antara siklus PDCA (*Plan-Do-Check-Act*) dan metodologi *Design Thinking*. Pendekatan ini diaplikasikan untuk menjawab tantangan kritikal dalam proses migrasi daya di RDMP RU V Balikpapan, di mana metode konvensional sebelumnya berisiko memicu kerugian *Loss of Production Opportunity* (LPO) yang tinggi. Analisis berikut menyajikan detail teknis dari fase empati terhadap kendala lapangan hingga standarisasi alat yang terbukti berhasil menjamin *Zero Downtime*.

Fase PLAN: Menyelami Masalah (*Empathize & Define*)

Fase awal dalam siklus PDCA ini diintegrasikan dengan tahap *Empathize* dan *Define* dari metodologi *Design Thinking* untuk memastikan bahwa solusi yang dirancang berakar pada kebutuhan nyata di lapangan.

Tahap *Empathize* (Empati terhadap Pengguna)

Tim melakukan pendekatan humanis untuk memahami beban kerja dan kekhawatiran personel operasional di *substation* selama proses migrasi daya. Temuan lapangan menunjukkan:

- a. Kekhawatiran Operator: Personel merasa terbebani secara psikologis saat melakukan sinkronisasi manual karena risiko kegagalan yang cukup besar.
- b. Pengukuran Morale: Berdasarkan survei awal, tingkat kepercayaan diri operator berada pada skor 1,8 dari 5 (Skala Likert), yang mengindikasikan adanya kecemasan tinggi terhadap potensi *human error*.
- c. Risiko Operasional: Metode konvensional mengharuskan pemadaman sementara (asinkron), yang dinilai tidak efektif untuk menjaga kontinuitas kilang.

Tahap *Define* (Penetapan Masalah)

Setelah memahami kendala pengguna, tim melakukan analisis data teknis untuk merumuskan masalah secara spesifik.

- a. Analisis Risiko Finansial: Potensi kerugian akibat *Loss of Production Opportunity* (LPO) jika terjadi *blackout* atau *shutdown plant* selama migrasi diperkirakan mencapai triliunan rupiah.
- b. Identifikasi Akar Masalah (*Fishbone Diagram*): Penelusuran masalah dikelompokkan ke dalam empat kategori utama: *Method*, *Tool*, *Man*, dan *Material*.
 - a. Alat (*Tool*): Tidak ada alat untuk sinkronisasi khusus antar power plant (New – Eksisting) atau Inter-plant synchronization.
 - b. Metode (*Method*): Belum tersedianya teknik sinkronisasi antar pembangkit berbeda untuk migrasi daya.
 - c. Material (*Material*): Belum terdefinisinya material pendukung untuk skenario migrasi daya secara on-stream.
 - d. Manusia (*Man*): Kurangnya pengalaman operator dalam melakukan sinkronisasi antar pembangkit yang berbeda
- c. Analisis Pareto (Prioritas Masalah): Berdasarkan perhitungan *Risk Priority Number* (RPN), faktor Alat (*Tool*) menjadi kontributor dominan sebesar **47,5%** dengan nilai RPN mencapai 315.

Tabel 1. menunjukkan hasil analisis akar penyebab masalah menggunakan metode Failure Mode and Effect Analysis (FMEA).

No	Akar Penyebab Masalah	SEV	OCC	DET	RPN	RPN Kumulatif	% Relatif	% Kumulatif
1	Tidak ada alat untuk sinkronisasi khusus antar power plant (New – Eksisting)	9	7	5	315	315	47,5	47,5
2	Belum tersedianya teknik sinkronisasi antar pembangkit berbeda untuk migrasi power	9	6	4	216	531	32,6	80,1
3	Belum terdefinisinya material pendukung untuk skenario migrasi on-stream	6	4	4	96	627	14,5	94,6
4	Kurangnya pengalaman personel dalam melakukan sinkronisasi antar pembangkit yang berbeda	4	3	3	36	663	5,4	100,0

Penetapan Sasaran (*Goal Setting*)

Berdasarkan pendefinisian tersebut, tim menetapkan target keberhasilan sebagai berikut:

- Teknis: Menjamin *Zero Downtime* selama proses migrasi beban dari *Existing Power Plant* ke *New Power Plant*.
- Ekonomi: Menghindari potensi kerugian finansial senilai triliunan rupiah akibat gangguan kelistrikan.
- HSSE: Menurunkan tingkat risiko pekerjaan dari kategori *High Risk* (skala 16) menjadi *Low/Moderate*.

Fase DO: Inovasi Solusi (*Ideate & Prototype*)

Pada fase ini, hasil dari pendefinisian masalah di tahap PLAN dieksekusi melalui proses kreatif *Ideate* dan perwujudan fisik dalam bentuk *Prototype*. Fokus utama adalah menciptakan alat yang andal namun tetap fleksibel (portabel) untuk menjawab tantangan migrasi daya.

Tahap *Ideate* (Eksplorasi dan Seleksi Ide)

Tim melakukan sesi *brainstorming* untuk mencari solusi teknis yang paling layak secara ekonomi dan operasional. Terdapat dua opsi utama yang dipertimbangkan:

- Opsi Konvensional (Modifikasi Permanen): Menambahkan relay sinkronisasi dan sistem kontrol permanen pada setiap kubikel gardu induk (*substation*) atau Pembelian panel sinkron *dedicated* untuk semua *substation*.
- Opsi Inovasi (SPARTA): Merancang satu unit panel sinkronisasi portabel yang dapat digunakan secara bergantian di berbagai titik migrasi (*plug-and-play*).

Tabel 2. Perbandingan Alternatif Solusi untuk Penyebab Masalah Alat Sinkronisasi.

No	Selected Root Cause	Alternative Solution	Cost Estimate	Duration Implementation	Low Effort – High Impact	Solusi Terpilih
1	ALAT	Pasang synchronizing relay permanen pada beberapa tie CB di Substation (7 Substation)	Rp. 804.170.500	12 Bulan	High effort – High Impact	NO
2	ALAT	Pembelian panel sinkron dedicated ke pihak ketiga	Rp. 203.350.000	3 Bulan	High effort – High Impact	NO
3	ALAT	Pabrikasi panel sinkron portable (SPARTA)	Rp. 87.450.000	1 Bulan	Low Effort – High Impact	YES

Berdasarkan perbandingan tersebut, tim memilih untuk mengembangkan SPARTA karena menawarkan efisiensi biaya sebesar 89% dan waktu pengerjaan 91% lebih cepat.

Tahap *Prototype* (Perancangan Alat SPARTA)

Prototipe SPARTA dirancang dengan mengutamakan aspek keamanan (*safety*) dan kemudahan penggunaan (*user-friendly*). Alat ini mengintegrasikan beberapa komponen kunci:

- a. Sistem Visualisasi: Menggunakan *Synchoscope* ISKRA Q0214 untuk memantau perbedaan tegangan, frekuensi, dan sudut fasa secara *real-time*
- b. Logika Kontrol: Pemanfaatan *Auxiliary Relay* yang dikonfigurasi untuk memungkinkan sinkronisasi otomatis ketika parameter kedua pembangkit telah selaras.
- c. Interface Pengguna: Dilengkapi dengan *Auto-Manual Selector Switch*. Mode otomatis dirancang untuk memitigasi *human error* (kesalahan operator dalam menekan tombol *close breaker* pada saat fasa tidak tepat)
- d. Mobilitas: Desain panel yang ringkas (*handy*) dan menggunakan kabel kontrol *multicore* dengan konektor cepat, sehingga memudahkan mobilisasi antar gardu induk (*Substation*) tanpa perlu mengubah kabel internal permanen.

Mekanisme Kerja Solusi

Berbeda dengan metode manual yang mengandalkan insting operator, SPARTA bekerja dengan prinsip "Gerbang Pengaman".

- a. Koneksi: Alat dihubungkan ke titik pengukuran (*Potential Transformer*) dari kedua sumber listrik (Lama dan Baru).
- b. Monitoring: Alat membaca selisih parameter listrik.
- c. Eksekusi: Jika operator memilih mode Auto, panel SPARTA hanya akan mengirimkan perintah "*Close Breaker*" jika deviasi sudut fasa sudah berada di bawah 5°, Jika kondisi belum aman, sistem secara otomatis akan mengunci (*interlock*) perintah penutupan sakelar untuk mencegah ledakan atau kerusakan mekanis pada pembangkit.

Fase *CHECK*: Validasi dan Verifikasi (*Test*)

Pada fase ini, prototipe SPARTA diuji secara intensif untuk memvalidasi performa teknis dan keandalannya di lapangan. Tahap ini selaras dengan langkah *Test* pada metodologi *Design Thinking*, di mana solusi diuji langsung oleh pengguna dalam kondisi kerja yang nyata.

Pengujian Fungsional (*Functional Test*)

Validasi dilakukan melalui serangkaian uji coba. SPARTA dinyatakan laik pakai oleh perusahaan *External* (Sucofindo) yang dimana telah diperiksa dan diuji secara berkala. Alat

juga telah dilakukan pengujian sinkronisasi *on-stream* secara langsung pada jaringan 6.6 KV *New Power Plant* dan *Existing Power Plant*. Fokus pengujian mencakup:

- Akurasi Pembacaan: Memastikan indikator pada *Synchronoscope* SPARTA sinkron dengan alat ukur standar yang terpasang pada gardu induk (*substation*) telah sesuai.
- Verifikasi Logika Otomatis: Menguji apakah sistem *interlock* bekerja dengan benar, yaitu hanya mengizinkan perintah penutupan *breaker* (*Close*) ketika parameter fasa benar-benar selaras.
- Uji Konektivitas: Memastikan kabel kontrol *multicore* dengan konektor cepat dapat terpasang dengan stabil pada berbagai tipe kubikel tanpa menimbulkan *loose contact*.

Analisis Perbandingan Performa

Data hasil pengujian menunjukkan peningkatan signifikan pada parameter kunci dibandingkan dengan metode manual yang digunakan sebelumnya:

Tabel 3. Perbandingan Parameter Teknis Sebelum dan Sesudah Implementasi SPARTA.

No	Parameter Teknis	Metode Manual (Sebelum)	Implementasi SPARTA (Sesudah)
1	Deviasi Sudut Fasa	Toleransi lebar ($> 10^\circ$)	Sangat Presisi ($< 5^\circ$)
2	Deviasi Tegangan	$\pm 5\%$	$\pm 2,5\%$
3	Waktu Persiapan	120 Menit	30 Menit
4	Respon Eksekusi	Tergantung insting/kecepatan operator	Otomatis dan Real-time
5	Risiko Human Error	Tinggi (Kesalahan penentuan waktu klik)	Minimal (Sistem Terkunci Otomatis)

Hasil Implementasi Lapangan

Setelah melalui tahap uji fungsional, SPARTA diimplementasikan secara penuh pada proses migrasi beban di unit-unit kritis RDMP RU V Balikpapan.

- Bumpless Migration*: Seluruh proses sinkronisasi dan migrasi daya pada unit strategis seperti Plant CDU IV dan Pre Flash berjalan secara *bumpless* (tanpa interupsi/kedip listrik)
- Zero Downtime*: Keberhasilan migrasi daya yang dilakukan pada Plant CDU IV dan Pre Flash ini memastikan tercapainya target 100% *Zero Downtime*, yang berarti operasional kilang tetap produktif selama proses transisi energi berlangsung.
- Stabilitas Frekuensi: Penggunaan SPARTA memungkinkan penggabungan dua sistem pembangkit yang berbeda karakter tanpa menyebabkan fluktuasi frekuensi yang membahayakan peralatan elektronik kilang.

Validasi pada fase ini membuktikan bahwa SPARTA bukan hanya sekadar alat bantu teknis, melainkan solusi yang mampu meningkatkan standar keamanan operasional sekaligus menjaga keandalan sistem kelistrikan kilang secara keseluruhan

Fase ACT: Standardisasi dan Dampak Luas (Standardize)

Fase terakhir dalam siklus PDCA ini bertujuan untuk melembagakan hasil inovasi agar menjadi standar operasional baru yang berkelanjutan dan dapat direplikasi di masa depan.

Standardisasi Teknis dan Operasional

Untuk menjaga konsistensi performa alat SPARTA, tim melakukan langkah-langkah standarisasi sebagai berikut:

- a. Penerbitan TKPA: Penyusunan dokumen Tata Kerja Penyelenggaraan Alat (TKPA) sebagai panduan resmi pengoperasian panel sinkron portabel di lingkungan RDMP RU V Balikpapan (Telah Terbit)
- b. SOP Kerja: Pembuatan instruksi kerja yang rinci untuk proses pemasangan (*plug and play*) guna memastikan aspek keselamatan kelistrikan tetap terjaga meskipun alat dipindahkan antar gardu induk (*Substation*) yang berbeda (Telah Terbit).
- c. Diseminasi Pengetahuan: Pelaksanaan sesi sharing knowledge kepada tim pemeliharaan listrik dan operator kilang untuk memastikan keberlanjutan kompetensi dalam menangani sistem sinkronisasi otomatis (Telah Dilakukan).

Analisis Dampak Luas (Evaluasi PQDSME)

Keberhasilan implementasi SPARTA memberikan dampak signifikan yang diukur melalui parameter PQDSME (*Productivity, Quality, Cost, Delivery, Safety, Morale, Environment*):

- a. *Productivity & Delivery*: Proses migrasi daya menjadi lebih efisien dengan waktu persiapan yang relatif cepat hanya 30 menit. Hal ini mempercepat jadwal penyelesaian proyek migrasi energi secara keseluruhan.
- b. *Quality*: Menjamin 100% *Zero Downtime* pada unit-unit produksi kritis selama masa transisi dari pembangkit lama ke pembangkit baru.
- c. *Cost* (Ekonomi): Memberikan perlindungan finansial yang masif dengan mencegah potensi kerugian yang besar.
- d. *Safety* (HSSE): Berhasil menurunkan tingkat risiko operasional secara drastis dari skor 16 (*High Risk*) menjadi skor 4 (*Low/Moderate Risk*) berdasarkan evaluasi FMEA.
- e. *Morale*: Meningkatkan indeks kepercayaan diri personel operasional dari skala Likert 1,8 menjadi 4,5, yang menunjukkan hilangnya kecemasan teknis saat melakukan manuver listrik
- f. *Environment*: Dengan mencegah terjadinya unplanned shutdown, inovasi ini secara langsung berkontribusi pada pengurangan pembuangan gas sisa ke flare, sehingga mendukung aspek keberlanjutan lingkungan

Keberlanjutan Inovasi

Integrasi *Design Thinking* dalam fase ini memastikan bahwa solusi yang diciptakan tidak hanya menyelesaikan masalah teknis sesaat, tetapi juga memberikan nilai tambah bagi perusahaan melalui efisiensi biaya dan peningkatan standar keselamatan kerja di industri migas. SPARTA kini diposisikan sebagai aset strategis yang siap digunakan kembali untuk kebutuhan pemeliharaan (*turnaround*) atau gangguan sistem kelistrikan di masa mendatang.

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hasil dan pembahasan mengenai implementasi inovasi SPARTA di RDMP RU V Balikpapan, dapat ditarik beberapa kesimpulan utama. Inovasi SPARTA terbukti mampu menjamin 100% Zero Downtime selama proses migrasi daya on-stream. Alat ini memberikan akurasi sinkronisasi yang sangat presisi dengan deviasi sudut fasa di bawah 5°, sehingga melampaui standar keamanan metode manual konvensional. Integrasi antara siklus PDCA dan pendekatan Design Thinking juga berhasil menciptakan solusi yang berpusat pada manusia (*human-centered*), di mana tahapan empati terbukti krusial dalam merancang antarmuka alat yang mampu memitigasi risiko human error secara signifikan. Selain itu, penggunaan SPARTA memberikan perlindungan finansial yang sangat signifikan bagi perusahaan dengan mencegah potensi kerugian operasional berskala masif akibat penghentian unit produksi secara tidak terencana (*Loss of Production Opportunity*). Secara ekonomi, inovasi ini juga memberikan penghematan biaya investasi yang sangat besar dibandingkan solusi permanen, dengan waktu penyediaan alat yang jauh lebih singkat sehingga mempercepat jadwal penyelesaian proyek migrasi energi. Dari aspek keselamatan kerja, implementasi alat ini berhasil menurunkan tingkat risiko manuver listrik dari kategori risiko tinggi (*High Risk*) menjadi risiko rendah (*Low/Moderate Risk*), yang berdampak langsung pada peningkatan kepercayaan diri dan ketenangan kerja operator lapangan secara drastis. Di sisi lain, dengan menjamin kelancaran transisi beban tanpa interupsi, inovasi ini turut berkontribusi dalam mencegah aktivitas flaring yang berlebihan sehingga mendukung komitmen perusahaan terhadap aspek keberlanjutan lingkungan.

Disarankan agar penggunaan SPARTA diformalisasikan sebagai standar operasional tetap (SOP) untuk seluruh proses sinkronisasi kelistrikan portabel di lingkungan kilang guna memastikan konsistensi, keamanan, dan keandalan operasional. Selain itu, solusi ini juga memiliki potensi besar untuk direplikasi pada unit operasi kilang lainnya maupun proyek petrokimia lain yang menghadapi tantangan migrasi daya serupa, sehingga dapat membantu

memitigasi risiko finansial strategis secara korporat sekaligus meningkatkan efektivitas dan keberlanjutan operasional perusahaan.

DAFTAR REFERENSI

- Brown, T. (2009). *Change by design: How design thinking transforms organizations and inspires innovation*. HarperBusiness.
- Doorley, S., Holcomb, S., Klebahn, P., Segovia, K., dan Utley, J. (2018), *Bootcamp bootleg*. d.school. Entry from: <https://dschool.stanford.edu/resources/design-thinking-bootleg>.
- Glover, J. D., Sarma, M. S., & Overbye, T. (2016). *Power system analysis and design*. Cengage Learning.
- Grainger, J. J., & Stevenson, W. D. (2016). *Power System Analysis*. McGraw-Hill Education.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). (2017). *IEEE Guide for Interconnection of Electric Power Sources to the Electric Power System*. IEEE Std 1547.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). (2018). *IEEE Std 1547-2018: Standard for interconnection and interoperability of distributed energy resources with associated electric power systems interfaces*. IEEE.
- ISO. (2019). *ISO 9241-210:2019 Ergonomics of human-system interaction — Part 210: Human-centred design for interactive systems*. International Organization for Standardization.
- Kundur, P. (1994). *Power system stability and control*. McGraw-Hill Education.
- Latino, R. J., Latino, K. C., & Latino, M. A. (2019). *Root cause analysis: Improving performance for bottom-line results* (5th ed.). CRC Press.
- Liedtka, J., & Ogilvie, T. (2011). *Designing for growth: A design thinking tool kit for managers*. Columbia University Press.
- Luchs, M. G. (2015). A brief introduction to Design Thinking. Dalam M. G. Luchs, S. Swan, & A. Griffin (Eds.), *Design Thinking: New Product Development Essentials from the PDMA*. John Wiley & Sons.
- Machowski, J., Bialek, J. W., & Bumby, J. R. (2020). *Power system dynamics: Stability and control*. John Wiley & Sons.
- Norman, D. (2013). *The design of everyday things: Revised and expanded edition*. Basic Books.
- Ohno, T. (1988). *Toyota production system: Beyond large-scale production*. Productivity Press.
- Onyemelukwe, Ifeoma & Ferreira, José & Ramos, Ana Luísa & Direito, Inês. (2025). Human Energy Management System (HEMS) for Workforce Sustainability in Industry 5.0. Sustainability. 17. 10.3390/su17146246.
- Pratama, A., dkk. (2022). Pembangunan infrastruktur Refinery Development Master Plan di Balikpapan sebagai sarana ketahanan energi dan revitalisasi ekonomi nasional. *LITRA: Jurnal Hukum Lingkungan Tata Ruang dan Agraria*, 1(2). [ResearchGate](#)
- ReVelle, J. B. (2004). *Quality essentials: A reference guide for continuous improvement*. ASQ Quality Press.

- Rooney, J. J., & Vanden Heuvel, L. N. (2004). Root cause analysis for beginners. *Quality Progress*, 37(7), 45–53.
- Samuel, S., & Farrer, H. (2025). Integrating the PDCA cycle for continuous improvement and academic quality enhancement in higher education. *Journal of Comparative & International Higher Education*, 17(2), 115–124. doi.org
- Universitas Pertamina. (2023). *Studi analisis kestabilan transien dan mekanisme pelepasan beban akibat lepasnya generator pada sistem kelistrikan RDMP RU V Balikpapan*. Repository Universitas Pertamina.
- Vicente, K. J. (2004). *The human factor: Revolutionizing the way we live with technology*. Vintage Canada.
- Wickens, C. D., Lee, J. D., Liu, Y., & Gordon-Becker, S. E. (2004). *An introduction to human factors engineering* (2nd ed.). Pearson Prentice Hall.