

Evaluasi Intensitas Kontribusi Komponen Teknologi pada Kawasan Sains dan Teknologi Menggunakan *Ordinal Priority Approach*

Rizal Kurniawan¹, Udisubakti Ciptomulyono²

^{1,2} Departemen Teknik Sistem dan Industri, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Jalan Raya ITS, Sukolilo, Surabaya 60111

Email: k.rizal.8749@gmail.com, udisubakti@ie.its.ac.id

ABSTRAK

Kawasan Sains Teknologi (KST) atau *Science and Technology Park* (STP) di Indonesia menghadapi tantangan keterbatasan sumber daya, sehingga memerlukan strategi prioritas internal yang tepat sasaran. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan menetapkan urutan prioritas pengembangan komponen kapabilitas internal KST berdasarkan pendekatan teknometrik. Kerangka kerja *Technology Component System Framework* (TCSF) digunakan untuk mengklasifikasikan sistem teknologi KST ke dalam lima komponen (*Technoware*, *Humanware*, *Inforware*, *Orgaware*, dan *Cysnetware*). Evaluasi multi-kriteria dilakukan menggunakan metode *Ordinal Priority Approach* (OPA) berbasis *linear programming* untuk mengakomodasi 3 unsur pengambilan keputusan termasuk hierarki *expert* di dalam KST. Hasil pengolahan data menunjukkan bahwa komponen *Humanware* mendominasi sebagai prioritas utama dengan nilai intensitas kontribusi sebesar 0,4054. Komponen *Technoware* (0,1874), *Orgaware* (0,1780), dan *Inforware* (0,1772) berada pada tingkatan tengah dengan nilai kontribusi relatif seimbang, sementara *Cysnetware* memiliki tingkat prioritas terendah (0,0520). Temuan ini mengonfirmasi teori siklus hidup organisasi di mana pengembangan *human capital* harus dibangun sebagai fondasi utama sebelum pemenuhan infrastruktur fisik dan digital. Konfigurasi bobot yang dihasilkan dapat menjadi panduan dan acuan prioritas alokasi sumber daya bagi pengelola KST maupun pembuat kebijakan dalam perencanaan pengembangan kawasan menuju fase operasional penuh.

Kata kunci: Kawasan Sains Teknologi, Kapabilitas Internal, Teknometrik, *Ordinal Priority Approach*, Pembobotan Prioritas, *Humanware*

ABSTRACT

Science and Technology Parks (STPs) or Kawasan Sains Teknologi (KST) in Indonesia face resource constraint challenges, thus requiring a targeted internal capability prioritization strategy. This study aims to evaluate and establish the priority order for developing KST internal capability components based on a technometric approach. The Technology Component System Framework (TCSF) is used to classify the KST technology system into five components (Technoware, Humanware, Inforware, Orgaware, and Cysnetware). Multi-criteria evaluation was conducted using the linear programming-based Ordinal Priority Approach (OPA) method to accommodate 3 decision-making elements, including the expert hierarchy within KST. Data processing results show that the Humanware component dominates as the main priority with a contribution intensity value of 0.4054. The Technoware (0.1874), Orgaware (0.1780), and Inforware (0.1772) components are in the middle tier with relatively balanced contribution values, while Cysnetware has the lowest priority level (0.0520). These findings confirm the organizational life-cycle theory in which human capital development must be built as the primary foundation before fulfilling physical and digital infrastructure. The resulting weight configuration can serve as a guide and benchmark for resource allocation priorities for KST managers and policymakers in planning regional development towards full operational phase.

Keywords: *Science and Technology Park, Internal Capabilities, Technometrics, Ordinal Priority Approach, Priority Weighting, Humanware*

Pendahuluan

Kawasan sains teknologi (KST) atau *science and technology park* (STP) merupakan bagian penting dari pembangunan nasional Republik Indonesia sebagai platform pengembangan sistem inovasi regional dan nasional [1, 2]. KST berperan untuk mendorong pengembangan sains, dan teknologi, serta hilirasi produk inovasi dari laboratorium ke pasar [3]. Meskipun demikian, banyak KST di Indonesia yang belum memberikan dampak optimal akibat ketidakpastian lingkungan eksternal serta kompleksitas tata kelola internal [4]. Di sisi lain, karakteristik ekonomi Indonesia memiliki keterbatasan pada minimnya sumber daya dan pendanaan R&D [3]. Di tengah tantangan dan keterbatasan ini, KST perlu membangun kapabilitas internalnya secara tepat guna

dan mandiri [4]. Oleh karena itu, identifikasi dan prioritas kebutuhan komponen teknologi KST menjadi krusial agar alokasi sumber daya yang terbatas dapat difokuskan pada aspek yang paling esensial.

Pengembangan KST melalui proses panjang mulai dari persiapan hingga dapat berkontribusi pada pengembangan industri regional dan nasional. Hal ini berkaitan erat dengan aspek pengambilan keputusan multi-kriteria. Meskipun keberhasilan KST diukur dalam indikator-indikator dampak inovasi, KST sebagai sebuah institusi terdiri atas berbagai komponen penyusun. Sejak KST mulai menjadi bagian dari RPJMN, [5] telah mengidentifikasi enam komponen utama yang harus ada dalam pembangunan/pengembangan KST. Komponen-komponen tersebut meliputi: 1) tempat, 2) pengelola yang profesional, 3) penyedia jasa training/workshop, 4) inkubator bisnis untuk mengelola start-up, 5) industri sebagai tenant, dan 6) lembaga penelitian sebagai sumber inovasi. Peraturan tentang pendirian KST [6] menjelaskan syarat multiaspek yang perlu tersedia sebelum KST dibangun yaitu: 1) tersedia sumber teknologi; 2) tersedia sumber daya manusia; 3) tersedia sumber pendanaan; 4) tersedia lahan/tempat; dan 5) bidang fokus yang akan dikembangkan. Terakhir, penilaian maturitas KST [7] juga mempertimbangkan multi-komponen peran dalam sistem inovasi yang sudah bersifat operasional meliputi: 1) mampu menjalankan riset secara berkelanjutan; 2) berhasil menumbuhkan perusahaan-perusahaan pemula (start-up); 3) efektif dalam menarik minat industri untuk berlokasi di kawasan tersebut; dan 4) memanfaatkan layanan teknologi yang ditawarkan dalam pengembangan perusahaan berbasis teknologi dan perusahaan rintisan berbasis riset perguruan tinggi. KST selalu dituntut untuk memenuhi peran majemuk baik dalam hal kapabilitas, output, maupun dampak yang diberikan. Hal ini juga berlaku pada literatur model pengembangan KST [8, 9]. Variasi ini menunjukkan mekanisme pengambilan keputusan multi-kriteria menjadi penting dalam proses pengembangan KST.

Saat ini KST belum berdampak secara maksimal pada pengembangan inovasi dan industri nasional. Pembangunan KST di Indonesia memiliki permasalahan sistemik di berbagai sektor yang disebabkan karena ketidakpastian kondisi eksternal seperti pandemi dan perubahan lembaga yang menaungi [10, 4]. Oleh karena itu KST perlu membangun kapabilitas internal agar dapat beroperasi mandiri [4]. Hal ini tidak mudah dilakukan karena terdapat banyak aspek yang dituntut dari KST dan perlu dibangun. Pembangunan KST perlu dilakukan secara tepat guna mengingat karakteristik ekonomi berkembang yang memiliki sumber daya terbatas untuk R&D [3]. Permasalahan ini menjadi semakin serius karena KST akan mengkonsumsi semakin banyak pendanaan seiring dengan pertumbuhan tingkat maturitas [11]. Oleh karena itu, identifikasi dan prioritas kebutuhan kapabilitas internal KST perlu dibahas secara mendalam agar alokasi sumber daya yang terbatas dapat difokuskan pada komponen-komponen yang paling krusial.

Penentuan prioritas pengembangan kapabilitas internal tidak dapat dilakukan secara intuitif atau perspektif tunggal pada permasalahan keterbatasan sumber daya dan kompleksitas komponen teknologi KST. Meskipun literatur KST telah banyak membahas indikator keberhasilan eksternal, masih terdapat kesenjangan berupa ketiadaan pendekatan kuantitatif yang mengevaluasi prioritas kapabilitas internal berdasarkan intensitas kontribusi teknologi. Oleh karena itu, penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut melalui integrasi kerangka Technology Component System Framework (TCSF) dan metode Ordinal Priority Approach (OPA) sebagai kontribusi keilmuan utama dalam manajemen teknologi KST. Kerangka TCSF yang dikembangkan oleh Sharif [12] merupakan model teknometrik yang membagi sistem teknologi menjadi 5 komponen seperti yang dijelaskan pada Tabel 1. Pendekatan ini digunakan karena bersifat universal dan dapat disesuaikan berdasarkan konteks, dan telah diaplikasikan pada berbagai sektor industri. Taksonomi ini memungkinkan untuk mengevaluasi prioritas pengembangan KST dengan intensitas kontribusi komponen teknologi.

Tabel 1. Definisi Komponen Sistem Teknologi pada KST

Nama Komponen	Definisi	Penjelasan dalam Konteks KST
<i>Technoware (T)</i>	Komponen teknologi yang terwujud dalam objek fisik (fasilitas) dan bertujuan meningkatkan kapasitas manusia dalam bekerja, meliputi alat, mesin, kendaraan, struktur, material, dan bahan kimia.	Peralatan riset, inovasi, <i>prototyping</i> , pengujian, fabrikasi, dll. [13]
<i>Humanware (H)</i>	Komponen teknologi yang terwujud dalam diri manusia dan mencakup keahlian (skill), talenta, kecerdikan, kreativitas, dan ketangkasan.	Pimpinan KST, staf operasional, riset, inovasi, inkubasi dan layanan lainnya [14]
<i>Inforware (I)</i>	Komponen teknologi yang terwujud dalam bentuk dokumen (informasi) mengenai utilisasi teknologi dalam pekerjaan.	Informasi layanan, pengembangan inovasi, tenant, dan komersialisasi [15]
<i>Orgaware (O)</i>	Komponen teknologi yang terwujud dalam institusi atau organisasi (kerangka kerja) yang berlandaskan pada integrasi sistematis dan koordinasi aktivitas serta sumber daya organisasi untuk mencapai tujuan.	Tata kelola kawasan, organisasi, layanan, dan pendanaan [16]
<i>Cysnetware (C)</i>	Komponen teknologi yang terwujud dalam bentuk ruang siber (komunikasi berbasis internet).	Platform kolaborasi pengembangan produk antar <i>tenant</i> dan pusat penelitian [17]

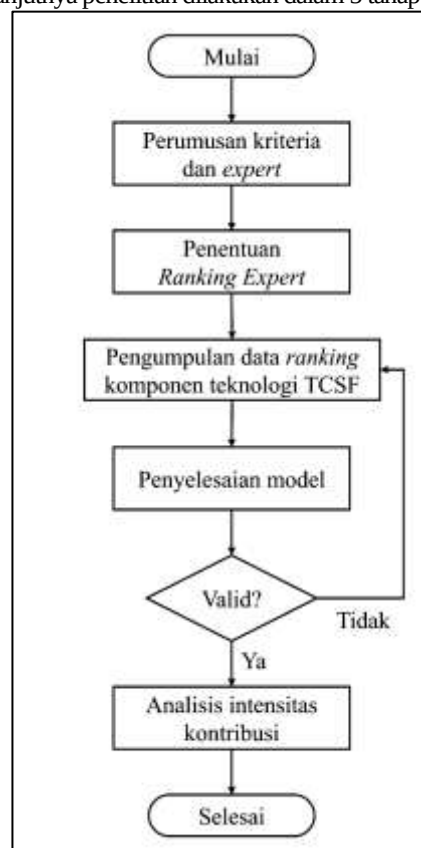
Dalam rangka penyusunan prioritas pengembangan, penelitian ini menggunakan pendekatan pengambilan keputusan multi-kriteria. Pendekatan ini memungkinkan pengambilan keputusan secara lebih objektif dengan mempertimbangkan banyak aspek, termasuk *conflicting criteria* dan *trade-off* [18]. Metode MCDM yang digunakan dalam penelitian ini adalah

Ordinal Priority Approach (OPA) berbasis *linear programming* [19]. Metode ini memiliki kelebihan yaitu menggunakan pengurutan ordinal yang minim beban kognitif pengambil keputusan, apabila dibandingkan dengan metode MCDM konvensional seperti AHP atau BWM yang membutuhkan matriks perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) berulang. Lebih lanjut, OPA mampu mengakomodasi struktur hierarki atau jabatan para *expert* KST secara matematis dalam formulasi *linear programming*-nya, suatu fitur unggulan yang tidak dimiliki secara bawaan oleh TOPSIS maupun AHP biasa [19]. Pada literatur manajemen dan pendukung pengambilan keputusan, OPA sudah diaplikasikan dalam banyak penelitian untuk menyelesaikan permasalahan alokasi sumber daya strategis [20, 21]. Evaluasi ini diterapkan pada studi kasus sebuah KST yang sedang menuju fase operasional penuh di tahun 2027 setelah dirintis sejak tahun 2016.

Penelitian ini hadir untuk mengisi kesenjangan pada evaluasi dengan mengimplementasikan kerangka teknometrik TCSF dan metode OPA di KST. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah yang memperkaya literatur manajemen teknologi dan pengambilan keputusan strategis KST yang sudah ada. Konfigurasi bobot atau intensitas kontribusi komponen teknologi yang dihasilkan dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pengelola KST dalam perencanaan pengembangan.

Metode Penelitian

Bab Metode Penelitian akan menjelaskan metodologi yang dilakukan selama proses penelitian. Persiapan dilakukan dengan perumusan permasalahan dan tujuan penelitian. Penelitian ini hanya mencakup 2 dari 3 unsur pengambilan keputusan yaitu *expert* dan kriteria. Selanjutnya penelitian dilakukan dalam 5 tahap seperti yang dijelaskan pada Gambar 1.



Gambar 1. Metodologi penelitian

Perumusan kriteria

Kriteria yang digunakan pada penelitian ini adalah 5 komponen teknologi berdasarkan taksonomi TCSF [12] seperti yang telah dijelaskan pada Tabel 1. Penelitian ini akan fokus pada evaluasi kepentingan antar komponen teknologi sebagai kriteria dalam pengambilan keputusan.

Penentuan ranking expert

Ranking diperlukan apabila setiap expert yang terlibat memiliki kepentingan pendapat yang berbeda. Dasar dalam penentuan *ranking* antara lain adalah posisi pada struktur organisasi, pengalaman, pendidikan, dll. Pada penelitian ini peringkat *expert* disusun berdasarkan struktur organisasi, secara berurutan yaitu: Direktur, Senior Manajer, dan Manajer. Dengan demikian akan terdapat 3 nilai bobot yang diinterpretasikan sebagai level kepentingan pendapat.

Pengumpulan data ranking kriteria

Data primer diperoleh melalui penyebaran kuesioner terstruktur kepada para *expert* yang telah ditentukan. Pada penelitian ini *expert* yang dilibatkan adalah para pengelola KST. Setiap pengelola diminta untuk memberikan angka ordinal 1 – 5 sebagai peringkat pada masing-masing komponen teknologi berdasarkan pendapat tingkat kepentingannya. Peringkat 1 adalah komponen teknologi yang paling penting, dan sebaliknya peringkat 5 adalah komponen teknologi yang paling tidak diprioritaskan.

Penyelesaian model

Penyelesaian model linear programming perlu dilakukan untuk memperoleh nilai bobot yang optimal dalam memodelkan kondisi sesungguhnya. Instrumen pengolahan data yang digunakan adalah OPA Solver versi MATLAB Online [22]. Instrumen versi MATLAB dipilih karena lebih fleksibel karena script yang digunakan dapat diatur sesuai kebutuhan. Data/parameter peringkat *expert* (PE_m) dan peringkat komponen (r''_{jm}) disusun menjadi matriks agar dapat dimasukkan ke dalam script MATLAB. Penelitian ini hanya menggunakan dua parameter yaitu *expert* dan *criteria* (tanpa *alternative*), sehingga perlu dilakukan penyesuaian yaitu kolom input *criteria* diisi satu *criteria*, dan kolom input *alternative* diperlakukan sebagai kolom input *criteria* yang sebenarnya.

Model *linear programming* yang digunakan pada metode OPA untuk perhitungan intensitas kontribusi komponen teknologi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Max } Z'' \\ & \text{S. t:} \\ & Z'' \leq PE_m \left(r''(\beta_{jm}^{r''} - \beta_{jm}^{r''+1}) \right) \quad \forall m \text{ dan } r'' \\ & Z'' \leq PE_m |J| |\beta_{jm}^{r''}| \quad \forall m \\ & \sum_{m=1}^{|M|} \sum_{j=1}^{|J|} \beta_{jm} = 1 \\ & \beta_{jm} \geq 0 \quad \forall m, j \\ & \text{Where } Z'': \text{Unrestricted in sign} \end{aligned} \quad (1)$$

di mana:

- J : Himpunan komponen {1, 2, 3, 4, 5} untuk komponen {T, H, I, O, C}
- M : Himpunan *expert* yang menjadi narasumber
- r''_{jm} : Peringkat komponen j
- PE_m : Peringkat *expert* m
- β_j : Bobot kontribusi komponen j

Kemudian, ekstraksi nilai bobot kontribusi komponen dilakukan setelah memperoleh nilai koefisien setiap *expert* dengan persamaan sebagai berikut:

$$\beta_j = \sum_{m=1}^{|M|} \beta_{jm} \quad (2)$$

Analisis dan kesimpulan

Analisis dilakukan berdasarkan interpretasi hasil yang telah diperoleh dari penyelesaian model LP. Kemudian, diambil kesimpulan berdasarkan tujuan penelitian serta implikasinya bagi pengelola KST, peneliti, maupun pemerintah.

Hasil Dan Pembahasan

Bab Hasil dan Pembahasan akan menjelaskan hasil pengumpulan data, pengolahan data, hingga analisis yang telah dilakukan pada penelitian ini. Pengumpulan data telah dilakukan pada Bulan Juni 2026 dan melibatkan 8 *expert* sebagai narasumber, yang merupakan keseluruhan pejabat struktural pada STP objek amatan. Terdapat 7 set data peringkat yang dinyatakan valid. Tabel 2 menunjukkan data ordinal ranking komponen teknologi KST sebagai kriteria hasil pengumpulan data. Data ordinal *ranking expert* dan kriteria yang telah diperoleh kemudian disusun dalam bentuk matriks untuk menjadi input pada proses pengolahan data menggunakan MATLAB. Tabel 3 merupakan bobot pendapat masing-masing *expert* yang dihasilkan berdasarkan posisi dalam struktur organisasi.

Tabel 2. Hasil pengumpulan data *ranking* alternatif

Nomor Narasumber	Peringkat Komponen teknologi				
	T	H	I	O	C
<i>Expert 1</i>	2	1	4	3	5
<i>Expert 2</i>	1	2	4	5	3
<i>Expert 3</i>	3	1	4	2	5

Nomor Narasumber	Peringkat Komponen teknologi				
	T	H	I	O	C
<i>Expert 4</i>	2	1	4	3	5
<i>Expert 5</i>	3	1	2	4	5
<i>Expert 6</i>	4	1	2	3	5
<i>Expert 7</i>	4	2	3	1	5

Tabel 3. Bobot pendapat expert

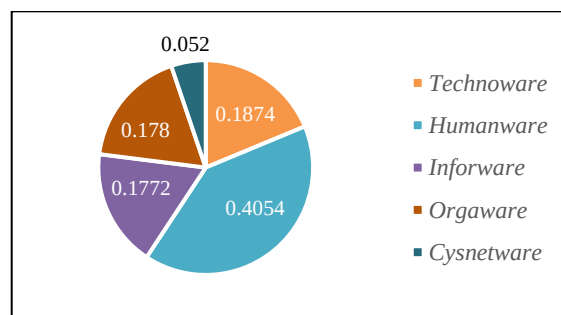
Narasumber	Bobot Pendapat
1	0,1026
2	0,1026
3	0,0769
4	0,1026
5	0,3077
6	0,1538
7	0,1538

Penyelesaian model LP menghasilkan nilai bobot masing-masing komponen teknologi, atau yang biasa disebut dengan intensitas kontribusi. Nilai ini merepresentasikan seberapa penting dan berpengaruh sebuah komponen teknologi pada sistem teknologi KST. Nilai intensitas kontribusi telah direkap dan diurutkan berdasarkan peringkat ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Intensitas kontribusi komponen teknologi hasil pengolahan data OPA

Peringkat	Komponen	Intensitas Kontribusi (β_j)	Selisih dengan Peringkat Selanjutnya
1	<i>Humanware</i>	0,4054	0,2180
2	<i>Technoware</i>	0,1874	0,0094
3	<i>Orgaware</i>	0,1780	0,0008
4	<i>Inforware</i>	0,1772	0,1252
5	<i>Cysnetware</i>	0,0520	-

Komponen *Humanware* (*H*) memiliki intensitas kontribusi yang paling tinggi dengan nilai 0,4054 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4. Hal ini menunjukkan bahwa Komponen *Humanware* (*H*) merupakan komponen paling penting dan paling berpengaruh di KST studi kasus. Nilai ini relatif cukup besar karena hampir mendekati setengah dari keseluruhan intensitas kontribusi. Terdapat 5 expert yang menempatkan *Humanware* (*H*) di prioritas pertama pengembangan KST saat ini. Selain itu, nilai intensitas kontribusi Komponen *Humanware* (*H*) memiliki jarak yang cukup jauh dari komponen paling penting kedua yaitu Komponen *Technoware* (*T*) dengan intensitas kontribusi sebesar 0,1874. Jarak antara nilai intensitas kontribusi Komponen *Humanware* (*H*) dan *Technoware* (*T*) sebesar 0,2180 menunjukkan dominasi Komponen *Humanware* (*H*) terhadap komponen teknologi yang lain. Dominasi *Humanware* ($\beta = 0,4054$) menunjukkan bahwa keunggulan KST pra-operasional bukan terletak pada kelengkapan mesin/gedung (*Technoware*), melainkan keahlian kapabilitas pengelolanya. Strategi KST harus mengedepankan rekrutmen talenta, peningkatan keterampilan perancangan program inkubasi, serta fasilitasi jejaring inovasi (*triple/quadruple helix*). Tanpa *Humanware* yang kapabel, fasilitas fisik yang mahal berisiko menjadi aset mangkrak (*underutilized*).



Gambar 2. Intensitas kontribusi komponen teknologi KST

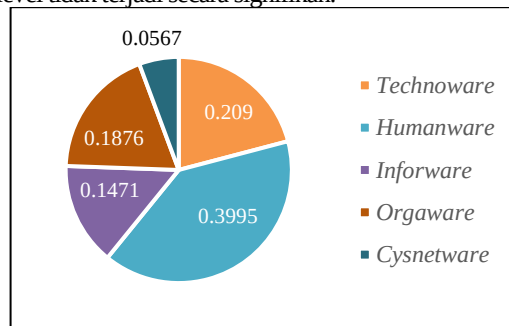
Dominasi intensitas kontribusi Komponen *Humanware* (*H*) dan kondisi KST objek amatan yang masih belum operasional secara penuh mengkonfirmasi teori siklus kepentingan komponen teknologi yang dijelaskan oleh [23]. Organisasi pada awal siklus hidup akan fokus membangun kompetensi (*Humanware* (*H*)) kemudian bergeser ke *Technoware* (*T*), *Inforware* (*I*), dan terakhir *Orgaware* (*O*). Kondisi ini menjelaskan bahwa KST perlu mengembangkan *human capital* terlebih dahulu, dengan tetap mempersiapkan pengembangan komponen-komponen lain. Dalam konteks

KST, pengelola awal perlu membangun jejaring pengetahuan yang kuat dengan perguruan tinggi, industri, dan pemerintah [16].

Komponen-komponen teknologi yang berada pada peringkat tengah yaitu *Technoware (T)*, *Orgaware (O)*, dan *Inforware (I)* memiliki selisih antar nilai intensitas yang tidak signifikan. Nilai intensitas kontribusi antar peringkat memiliki jarak secara berurutan yaitu 0,0094 dan 0,0008. Hal ini menunjukkan bahwa ketiga komponen ini memiliki kepentingan yang sama, sehingga pengembangan antar komponen perlu diprioritaskan secara seimbang. Meskipun demikian, KST tetap perlu berorientasi untuk menata kapabilitas internalnya melalui perencanaan yang matang sejak awal [24]. Layanan-layanan strategis yang disediakan oleh KST perlu diatur dengan jelas agar pengembangan berjalan secara efektif [25].

Di sisi lain, Komponen *Cysnetware (C)* memiliki intensitas kontribusi yang paling rendah dengan nilai 0,0520. Nilai ini juga terpaut cukup jauh dari peringkat sebelumnya yaitu sebesar 0,1252. Posisi ini menunjukkan bahwa tidak ada urgensi untuk mengutamakan pengembangan Komponen *Cysnetware (C)*, sehingga pengelola KST sebaiknya memprioritaskan pengembangan 4 komponen utama saja. Namun demikian, komponen ini tetap perlu diperhatikan karena KST harus mengoptimalkan aliran pengetahuan di dalam kawasan [17] yang tidak hanya bisa dicapai oleh infrastruktur fisik.

Pengolahan data dilakukan kembali tanpa membedakan bobot *expert* berdasarkan struktur organisasi sebagai bentuk analisa sensitivitas. Pada pengolahan data ini, semua *expert* memiliki bobot 1/7 atau 0,1429. Hasil yang diperoleh ditunjukkan pada Gambar 3. Nilai intensitas kontribusi komponen *Humanware* dan *Inforware* mengalami penurunan, dan komponen lain mengalami kenaikan. Tidak ada perubahan yang signifikan, sehingga tidak ada perubahan urutan peringkat prioritas komponen teknologi. Hal ini menandakan bahwa secara umum terdapat kesepakatan pendapat antar level hirarki dan perbedaan kepentingan opini antar level tidak terjadi secara signifikan.



Gambar 3. Intensitas kontribusi komponen tanpa bobot *expert*

Simpulan

Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi pada prioritas pengembangan komponen-komponen KST berdasarkan kerangka kapabilitas internalnya. Metode pengambilan keputusan multi-kriteria OPA telah diimplementasikan pada sebuah studi kasus KST dengan berbasis taksonomi TCSF. Dari segi prioritas, *Humanware (H)* merupakan komponen yang paling penting dengan intensitas kontribusi 0,4054, kemudian diikuti *Technoware (T)*, *Orgaware (O)*, dan *Inforware (I)* memiliki intensitas relatif sama. *Cysnetware (C)* merupakan komponen yang tidak perlu diprioritaskan karena memiliki intensitas hanya 0,0520. Penelitian ini telah berkontribusi pada implementasi metode pengambilan keputusan multi-kriteria dalam prioritas pengembangan KST. Penelitian ini membatasi pemodelan OPA pada 2 dimensi (*expert* dan kriteria) tanpa memasukkan dimensi alternatif. Implikasinya, model ini menghasilkan bobot kepentingan komponen secara generik tanpa menilai kesiapan spesifik dari program tindakan/aset riil yang ada di KST. Sebagai rekomendasi, pengelola KST dapat menggunakan nilai intensitas kontribusi komponen ini sebagai referensi prioritas pengembangan pada fase pra-operasional seperti pada objek amatan. Pembangunan *human capital* dari KST perlu diprioritaskan sebagai pondasi utama kapabilitas internal pada fase awal. Secara praktis, alokasi anggaran dan daya dukung pengelola KST pada fase pra-operasional hendaknya dialokasikan secara proporsional mengacu pada bobot intensitas kontribusi: ~40% difokuskan pada pengisian/pelatihan *Humanware*, ~54% dibagi seimbang untuk infrastruktur *Technoware*, *Orgaware*, dan *Inforware*, serta ~5% untuk *Cysnetware*. Hal ini membantu pengelola menghindari penyaluran modal yang tidak tepat sasaran pada fasilitas siber/infrastruktur mahal sebelum SDM siap. Penelitian selanjutnya disarankan untuk: (1) Mengaplikasikan pemodelan komparatif OPA pada KST dengan tingkat maturitas berbeda (pra-operasional vs operasional penuh); (2) Melibatkan perspektif stakeholder eksternal seperti tenant startup dan industri; serta (3) Mengintegrasikan OPA dengan metode optimasi kuantitatif (seperti Goal Programming) untuk alokasi anggaran riil KST.

Daftar Pustaka

- [1] S. W. Soenarso, D. Nugraha and E. Listyaningrum, "Development of Science and Technology Park (STP) in Indonesia to Support Innovation-Based Regional Economy: Concept and Early Stage Development,"

World Technopolis Review, vol. 2, no. 1, pp. 32-42, 2013.

- [2] M. N. Sharif, "Industrial technology innovation management for sustained prosperity: True stories revealing the complexity of replicating South Korean success," *Technological Forecasting & Social Change*, 2021.
- [3] UNESCAP, "Establishing Science and Technology Parks: A Reference Guidebook for Policymakers in Asia and the Pacific," United Nations Publication, 2019.
- [4] ASTPI, "Rekomendasi Penguatan Lembaga Science Technology Park Berdasarkan Hasil Rapat Anggota ASTPI," Surabaya, 2024.
- [5] T. A. K. BAPPENAS, "Studi Pengembangan Technopark di Indonesia: Survey terhadap 10 Embrio Technopark di Indonesia," Kementerian Perencanaan Pembangunan Nasional, Jakarta, 2015.
- [6] Kementerian Riset Teknologi Dan Pendidikan Tinggi, *Peraturan Menteri Riset, Teknologi, Dan Pendidikan Tinggi Republik Indonesia Nomor 25 Tahun 2019 tentang Standar Nasional Pendidikan Tinggi*, 2019.
- [7] Kementerian Riset Teknologi dan Pendidikan Tinggi, "Laporan Kinerja Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi Tahun Anggaran 2019," Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, Jakarta, 2020.
- [8] L. Lecluyse, M. Knockaert and A. Spithoven, "The contribution of science parks: a literature review and future research agenda," *The Journal of Technology Transfer*, vol. 44, pp. 559-595, 2019.
- [9] J. d. A. Ribeiro, M. B. Ladeira, A. F. de Faria and M. W. Barbosa, "A reference model for science and technology parks strategic performance management: An emerging economy perspective," *Journal of Engineering and Technology Management*, 2021.
- [10] S. Ningrum and N. Runiawati, "An Overview of the Development of STPs in Indonesia," in *Proceedings of the 3rd International Conference on Administrative Science, Policy, and Governance Studies*, 2020.
- [11] C. Mondal, M. Al-Kfairy and R. B. Mellor, "Developing Young Science and Technology Parks: Recent Findings from Industrial Nations Using the Data-Driven Approach," *Sustainability*, vol. 15, p. 6226, 2023.
- [12] M. N. Sharif, "Technological innovation governance for winning the future," *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 79, pp. 595-604, 2012.
- [13] W. K. B. Ng, R. Appel-Meulenbroek, M. Cloudt and M. Arentze, "Exploring science park location choice: A stated choice experiment among Dutch technology-based firms," *Technological Forecasting & Social Change*, vol. 182, p. 121796, 2022.
- [14] C. Toth and A. Hary, "A Comprehensive Model for Innovation Ecosystems," *Triple Helix*, vol. 11, pp. 170-191, 2024.
- [15] S. Ullah, A. Sami, T. Ahmad and T. Mehmood, "Why choose technology parks for business location in Pakistan," *Innovation and Management Review*, vol. 20, no. 4, pp. 365-379, 2023.
- [16] E. Cadorin, M. Klofsten and H. Löfsten, "Science Parks, talent attraction and stakeholder involvement: an international study," *Journal of Technology Transfer*, vol. 46, p. 1-28, 2021.
- [17] A. Caloffi, A. Colovic, V. Rizzoli and F. Rossi, "Innovation intermediaries' types and functions: A computational analysis of the literature," *Technological Forecasting and Social Change*, vol. 189, p. 122351, 2023.
- [18] U. Ciptomulyono, *Pengambilan Keputusan Multi Kriteria: Konsep Dasar Teknik dan Terapannya*, Surabaya: ITS Press, 2024.
- [19] Y. Ataei, A. Mahmoudi, M. R. Feylizadeh and D.-F. Li, "Ordinal Priority Approach (OPA) in Multiple Attribute Decision-Making," *Applied Soft Computing*, vol. 86, 2020.
- [20] D. Pamucar, M. Dobrodolac, V. Simic, D. Lazarevic and O. F. Gorçün, "An interval rough improved ordinal priority approach-based decision support system to redesign postal and logistics networks," *Technology in Society*, vol. 81, p. 102845, 2025.
- [21] A. Mahmoudi, M. Abbasi and X. Deng, "A novel project portfolio selection framework towards organizational resilience: Robust Ordinal Priority Approach," *Expert Systems With Applications*, vol. 188, p. 116067, 2022.
- [22] A. Mahmoudi, "OPA Solver: A Solver for Multiple-Criteria Decision Analysis," 7 6 2022. [Online]. Available: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/106890-opa-solver-a-solver-for-multiple-criteria-decision-analysis>.
- [23] R. Smith and N. Sharif, "Understanding and acquiring technology assets for global competition," *Technovation*, vol. 27, pp. 643-649, 2007.

- [24] C. Toth, B. Fehervolgyi, Z. C. Kovács and A. Háy, "Contribution of Certain Enablers to Success Criteria of Science and Technology Parks," *Periodica Polytechnica Social and Management Sciences*, vol. 33, no. 2, 2025.
- [25] M. Klofsten, H. Löfsten and A. Albahari, "A typology approach to understanding the diversity of Science Parks," *Technovation*, vol. 145, p. 103267, 2025.
- [26] Presiden Republik Indonesia, *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2015 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional Tahun 2015-2019*, 2015.
- [27] N. A. Muhammad, Muhyiddin, A. Faisal and I. A. Anindito, "The Study of Development of Science and Technopark (STP)," *The Indonesian Journal of Dev. Planning*, pp. 14-31, 2017.
- [28] Presiden Republik Indonesia, *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 106 Tahun 2017 tentang Kawasan Sains dan Teknologi*, 2017.
- [29] M. Anton-Tejon, A. Barge-Gil, C. Martinez and A. Albahari, "Science and technology parks and their heterogeneous effect on firm innovation," *Journal of Engineering and Technology Management*, vol. 73, p. 101820, 2024.
- [30] I. Makhdoom, J. Lipman, M. Abolhasan and D. Challen, "Science and Technology Parks: A Futuristic Approach," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 31981-32021, 2022.
- [31] UNIDO, "A New Generation of Science and Technology Parks, UNIDO's Strategic Approach to Fostering Innovation and Technology for Inclusive and Sustainable Industrial Development," United Nations Industrial Development Organization, 2021.