

Implementasi *Multi-Method Modeling* untuk Mendukung Keterpaduan Perencanaan Pembangunan di Sub DAS Srep, Kabupaten Kudus

Ignatius Sriyana *¹, Wied Wiwoho Winaktoe ²

¹Departemen Teknik Sipil, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

²Land and Water Management, UNESCO-IHE,
Delft, The Netherlands

Abstrak

Tata kelola pembangunan yang lemah terindikasi menjadi penyebab ancaman bencana kelangkaan air di Indonesia pada tahun 2045. Tata kelola tersebut khususnya terkait keterpaduan pengelolaan Daerah Aliran Sungai (DAS). Penelusuran terhadap praktik mutakhir komunitas Internasional menunjukkan bahwa multi-method modeling menjadi rekomendasi untuk diaplikasikan. Tujuan riset ini adalah menerapkan multi-method modeling yang didukung oleh eksaminasi hubungan kausal terhadap parameter pembentuk sub kriteria klasifikasi DAS dan merestrukturisasi hasil-hasil tersebut melalui DPSIR. Adapun lokasi kajian berada di Sub DAS Srep, Jawa Tengah dan dataset merupakan data-data yang diperoleh melalui dokumen kajian sub DAS Srep, Indeks Desa Membangun, dan survey pada periode 2015-2020. Hasil riset menunjukkan bahwa (1) sub terdapat sub kriteria yang menjadi prasyarat atau penentu keberhasilan sub kriteria klasifikasi DAS lainnya; (2) informasi hubungan eksogenik yang diformulasi secara saintifik dapat membantu sektor-sektor mengetahui posisinya dan hubungannya terhadap sektor lainnya agar dapat bersinergi secara substantif maupun ketepatan dalam jadwal pelaksanaan. Hal ini dapat memperjelas akar masalah, meningkatkan keterpaduan perencanaan dan mereduksi kelemahan kordinasi dan tumpang-tindih kegiatan; (3) analisis secara isolatif tidak sensitif terhadap dampak yang ditimbulkan pada parameter atau sub kriteria lain dalam DAS.

Kata kunci: DAS; Model Multi-Metode; Dinamika Sistem; DPSIR; Srep

Abstract

[Title: Implementation of Multi-Method Modeling to Support Integrated Development Planning in the Srep Sub-Watershed, Kudus Regency] Under developed governance is indicated to be the cause of the water scarcity disasters in Indonesia in 2045. This governance is particularly related to the integration of watershed management. An investigation into the latest practices of the international community shows that multi-method modeling is promising proposed solution. The aim of this research is to apply multi-method modeling which is supported by examining causal relationships on the parameters forming sub-criteria for watershed classification and restructuring these results through DPSIR. The study location is in the sub-watershed of Srep, Central Java and the dataset is data obtained through the sub-watershed of Srep' report, the Developing Village Index, and surveys in the 2015-2020 period. The research results show that: (1) there are sub-criteria that are prerequisites or determinants of the success of other watershed classification sub-criteria, (2) information on exogenic relationships that is formulated scientifically can help sectors know their position and relationship with other sectors so that they can synergize substantively and implement their program on schedule. This can clarify the root cause of the problem, increase planning integration and reduce weaknesses both in coordination and overlapped activities, increase planning integration and reduce weaknesses in coordination and overlapped activities; (3) the practice of isolated analysis not sensitive to the impact on other sub-criteria or parameters in the watershed; hence it needs to be improved.

^{*)} Penulis Korespondensi.
E-mail: sriyana@live.undip.ac.id

Keywords: Watershed; Multi-Method; System Dynamics; DPSIR; Srep

1. Pendahuluan

Perpres RI No. 59/2017, pasal 2, ayat 2 menyebutkan bahwa Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB) atau *Sustainable Development Goals (SDGs)* bertujuan, antara lain, menjaga kualitas lingkungan hidup serta pembangunan yang inklusif; dan terlaksananya tata kelola yang mampu menjaga peningkatan kualitas kehidupan dari satu generasi ke generasi berikutnya. Pada sisi lain, Indonesia pada tahun 2045 diprediksi akan mengalami bencana kelangkaan air sebesar 9,69 %. Kelangkaan air tersebut akibat rencana penurunan luas lahan hutan, yakni rencana perluasan lahan pertanian dan perhutanan sosial dari 50 % pada tahun 2000, menjadi 38 % pada tahun 2045 (Bappenas, 2020).

Bencana tersebut, selain diakibatkan oleh faktor alam dan antropogenik juga diakibatkan pelaksanaan tata kelola proses pembangunan yang lemah. Tata kelola yang lemah tersebut akibat tidak membangun kemitraan untuk mencapai tujuan padahal lokasi pelaksanaan pembangunan wilayahnya sama, yakni di Daerah Aliran Sungai (DAS) atau *watershed*.

DAS adalah unit pengelolaan ideal, yang mewakili pendekatan multidisiplin untuk pengelolaan sumber daya, diarahkan untuk mendukung sumber daya alam seperti tanah, air, dan mitigasi bencana alam untuk pembangunan

berkelanjutan (Sriyana, 2018). Pengelolaan DAS di Indonesia dilakukan melalui Rencana Pengelolaan DAS (RPDAS) sebagaimana PP No. 37/2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (PDAS) (PP 37/2012, 2012; Setiawan et al., 2015). Pedoman Penyusunan RPDAS Terpadu (RPDAST) muncul sebagai upaya perencanaan yang komprehensif untuk mengakomodasikan berbagai pemangku kepentingan suatu DAS. Komprehensivitas tersebut tercermin kriteria/sub kriteria DAS yang difungsikan sebagai: (1) perhitungan klasifikasi DAS sebagaimana Tabel 1 (Kementerian Kehutanan, 2014); dan (2) evaluasi daya dukung DAS sebagaimana Tabel 2 (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2014). Kedua tabel tersebut memiliki kriteria/sub kriteria DAS yang sama dan berfungsi sebagai perangkat keterpaduan antar sektor.

Penyelenggaraan pengelolaan DAS hingga saat ini mengalami kritik terkait: (1) perencanaan yang belum terpadu dan tumpang tindih kegiatan (Sudaryanti et al., 2021); (2) inefektivitas pendekatan partisipatif (Paimin et al., 2012); (3) insufisiensi untuk menganalisis keterkaitan faktor penyebab masalah DAS (Latifah, 2012); dan (4) secara umum RPDAST belum efektif (Pambudi, 2019). Mempertimbangkan bahwa (1) tabel kriteria/sub kriteria DAS merupakan satu-satunya perangkat legal yang

Tabel 1. Kriteria/sub kriteria klasifikasi DAS

No.	Kriteria/Sub Kriteria Lahan	Bobot	Nilai	Kelas	Kualifikasi	Skor	Hasil Perhitungan (3 x 7)
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	Lahan						
	a. Persentase Lahan kritis	40					
	b. Persentase Penutupan Vegetasi	20	8%	5-10%	Rendah	0,75	15
	c. Indeks erosi (IE)	10	50 %	40-60%	Sedang	1,00	10
		10	0,8	0,5-1,0	Rendah	0,75	7,5
2.	Tata Air	20					
	a. Koefisien rejim aliran	5	11	10-15	Sedang	1,00	5
	b. Koefisien aliran	5	0,25	0,2-0,3	Rendah	0,75	3,75
	c. Muatan sedimen	4	17 (mm/th)	15-20	Tinggi	1,25	5
	d. Banjir	2	1 kali	1x/5th	Rendah	0,50	1
	e. Indeks penggunaan air	4	1	0,75-1	Tinggi	1,00	4
3.	Sosial ekonomi dan kelembagaan	20			Sedang		
	a. Tekanan penduduk terhadap lahan	10	1,25 ha/kk	1-2ha/kk	Rendah	1,00	10
	b. Tingkat kesejahteraan penduduk	7	7%	5-10%	Tinggi	0,75	5,25
	c. Keberadaan dan penegakan norma	3	Tdk ada norma	4	Rendah	1,25	3,75
			prokonserv.		Tinggi		
4.	Asset/nilai investasi bangunan air	10					
	a. Keberadaan kota	5	Kota kecil	kt .kecil	Rendah	0,75	3,75
	b. Nilai investasi bangunan air	5	Rp. 57,8 M	Rp 45-60 m	Sedang	1,25	6,25
5.	Kebijakan pembangunan wilayah	10					
	a. Kawasan lindung	5	60%	45-70%		0,75	3,75
	b. Kawasan budi daya	5	40 %	30-45%		1	5,00
Jumlah Nilai Tertimbang							89

diorientasikan untuk mengakomodasi komprehensivitas dan keterpaduan dan (2) hasil tabel kriteria/sub kriteria DAS mempengaruhi seluruh rangkaian materi pokok RPDAST sebagaimana Gambar 1 (Kementerian Kehutanan, 2009) maka suatu tinjauan terhadap tabel tersebut merupakan langkah penting untuk menemukan solusi.

Persoalan yang dialami pengelolaan DAS di Indonesia pada prinsipnya terjadi pula pada komunitas internasional sehingga upaya penyelesaian di tingkat tersebut dapat menjadi inspirasi lokal. Secara global, pengelolaan DAS (*watershed management*) telah berkembang dari (1) pengelolaan sumber daya air (*water resource management*) dan siklus hidrologi menuju (2) pendekatan integratif terhadap pengelolaan elemen biologi, fisik, sosial dalam lansekap suatu DAS (Wang et al., 2016) (Ffolliott et al., 2002). Pada lokus pertama, komunitas internasional memformulasi *Integrated Water Resources Management (IWRM)* sebagai pendekatan holistik untuk mengintegrasikan sosial, ekonomi dan proses-proses lingkungan (Nikolic & Simonovic, 2015). Metode pengintegrasian dilakukan melalui model *system dynamics (SD)*, *spatial system dynamics (SSD)*, *Geographic Information System (GIS)*, *cellular automata (CA)*, *agent-based model (ABM)*, and a combined *Driver-Pressure-State-Impact-Response (DPSIR)*, *Analytical*

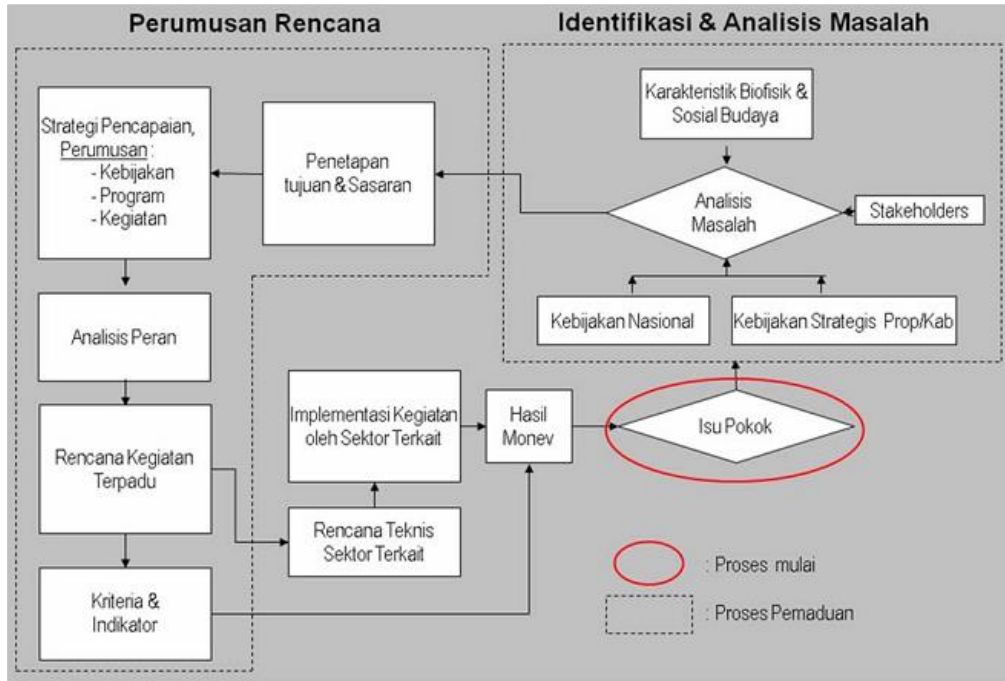
Network Process (ANP) dan *SD* (Siwailam et al., 2019). Pada lokus kedua, model analisis yang dikembangkan meliputi *system dynamic modeling*, *watershed simulation modelling*, *watershed decision-making systems*, *stakeholder analysis modeling* (Davenport & Seekamp, 2013; Mutekanga et al., 2013; Qi & Altinakar, 2013; Wang et al., 2016) dan *DPSIR* (Mosaffaie et al., 2021).

2. Metode Penelitian

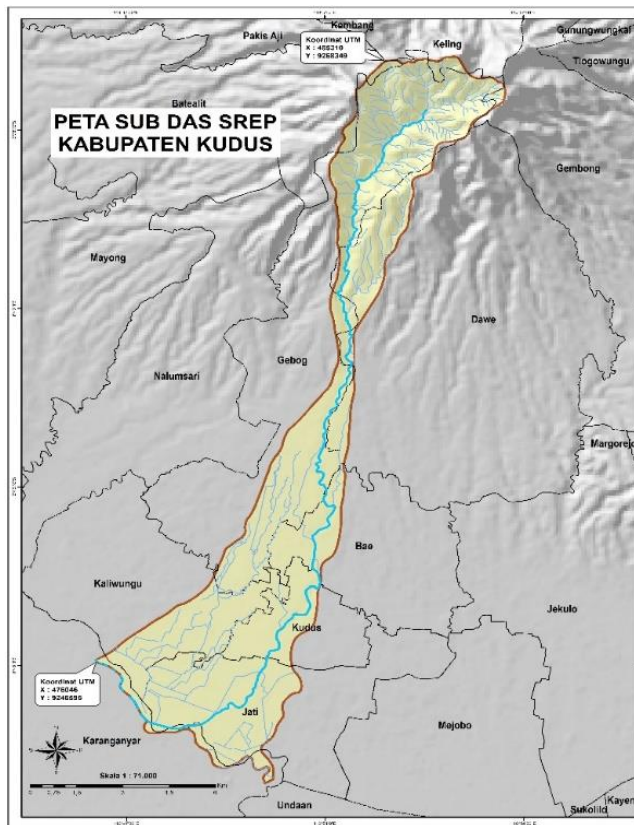
Tampak bahwa di tingkat praktik internasional, berbagai parameter DAS yang awalnya dikalkulasi terpisah mulai diintegrasikan melalui beragam model (Ghbn, 2016), khususnya *system dynamics (SD)*. *SD* mampu untuk menyajikan sistem secara komprehensif secara kuantitatif, mengakomodasi partisipasi pihak yang terlibat (Harms et al., 2023), mengidentifikasi umpan-balik (*feedback*) yang mempengaruhi perilaku sistem, dan menghasilkan kebijakan pengendalian yang lebih baik (Tangirala et al., 2003). Namun demikian, *SD* kurang sensitif terhadap (1) perubahan parameter ruang (*spatial*) sehingga perlu dikombinasi dengan *GIS*; dan (2) interaksi di tingkat individu, khususnya terkait sosial-ekonomi, sehingga perlu didukung *ABM* (Nikolic & Simonovic, 2015). Utilisasi minimal tiga model tersebut membentuk *multi-method modeling* (Nikolic & Simonovic, 2015). Penelitian ini menerapkan *multi-*

Tabel 2. Kriteria/sub kriteria monev daya dukung DAS

Kriteria/Sub Kriteria	Bobot		Nilai	
	%	%	Terendah	Tertinggi
A. Kondisi Lahan	40		20	60
1. Persentase lahan kritis		20	10	30
2. Persentase penutupan vegetasi		10	5	15
3. Indeks erosi		10	5	15
B. Kondisi Tata Air	20		10	30
1. Koefisien regim aliran (KRA)		5	2,5	7,5
2. Koefisien aliran tahunan (KAT)		5	2,5	7,5
3. Muatan Sedimen		4	2	6
4. Banjir		2	1	3
5. Indeks Penggunaan Air		4	2	6
C. Kondisi Sosial Ekonomi	20		10	30
1. Tekanan Penduduk		10	5	15
2. Tingkat Kesejahteraan penduduk		7	3,5	10,5
3. Keberadaan dan penegakan peraturan		3	1,5	4,5
D. Investasi Bangunan	10		5	15
1. Klasifikasi kota		5	2,5	7,5
2. Klasifikasi nilai bangunan air		5	2,5	7,5
E. Pemanfaatan Ruang Wilayah	10		5	15
1. Kawasan Lindung		5	2,5	7,5
2. Kawasan Budidaya		5	2,5	7,5
			50	150



Gambar 1. Proses Penyusunan RPDAST



Gambar 2. Delineasi Sub DAS Srep

method modeling sebagai upaya mengatasi persoalan keterpaduan dan derivasinya dalam RPDAST.

2.1. Lokasi

Lokasi kajian Sub DAS Srep, yang terletak terletak di Kabupaten Kudus, Provinsi Jawa Tengah. Adapun titik koordinat hulu yaitu X=485310, Y=9268349 dan koordinat hilir yaitu X=476046, Y=9246595.

2.2. Langkah riset berbasis *multi-method modeling*

Sub DAS Srep berada pada tahap penyusun kebijakan, program, kegiatan sehingga pada tahap ini sebagai langkah awal menggunakan Tabel kriteria/sub kriteria klasifikasi DAS (Kementerian Kehutanan, 2014). Selanjutnya, langkah-langkah lainnya mencakup menetapkan sumber-sumber data. Basis data inisial diperoleh melalui dokumen Kajian Karakteristik DAS Serang Tahun 2021 (BPDASHL Serang Jratun, 2021) dan hasil survey lapangan. Langkah berikutnya adalah menetapkan sumber-sumber data untuk ekstrapolasi. Hal ini dilakukan mengingat bahwa RPDAST berlaku jangka Panjang untuk 15 tahun (Kementerian Kehutanan, 2009) dan ditinjau 1 kali per 5 tahun kecuali terjadi bencana (PP 37/2012, 2012). Oleh karena itu diperlukan informasi mengenai tren sub-kriteria DAS, yang dapat diperoleh melalui dokumen Kajian Karakteristik DAS Serang Tahun 2021 (BPDASHL Serang Jratun, 2021) dan dokumen Indeks Desa Membangun (IDM) 2015-2020.

Langkah selanjutnya adalah menetapkan model-model yang diutilisasi dalam *multi-method modeling*,

Tabel 3. Restrukturisasi Sub Kriteria DAS

A	Kondisi Lahan	D	P	S ₁	S ₂	I	R	Multi-method
1	Persentase lahan kritis (PLK)							G, SD
2	Persentase penutupan vegetasi (PPV)							G, SD
3	Indeks erosi							G, SD
B	Kondisi Tata Air	D	P	S₁	S₂	I	R	Multi-method
1	Koefisien Regim Aliran (KRA)							G, SD
2	Koefisien aliran tahunan (KAT)							G, SD
3	Muatan sedimen							G, SD
4	Banjir							G, SD
5	Indeks Penggunaan Air (IPA)							G, SD
6	Pertumbuhan penduduk*							SD
C.	Kondisi Sosial Ekonomi	D	P	S₁	S₂		R	Multi-method
1	Tekanan Penduduk							ABM, SD
2	Tingkat Kesejahteraan penduduk							ABM, SD
3	Keberadaan dan penegakan peraturan							ABM
D.	Investasi Bangunan	D	P	S₁	S₂		R	
1	Klasifikasi kota							G, SD
2	Klasifikasi nilai bangunan air							
E.	Pemanfaatan Ruang Wilayah	D	P	S₁	S₂		R	Multi-method
1	Kawasan Lindung							G, SD
2	Kawasan Budidaya							G, SD
3	Luas Permukiman*							G, SD

Legenda

- : garis keterkaitan atau kontribusi eksogenik
- SD : *System dynamics*
- G : *Geographic Information System (GIS)*
- ABM : *Agent-based Model*
- * *hidden parameter* yang dimunculkan untuk konstruksi *causal-loop* dalam SD

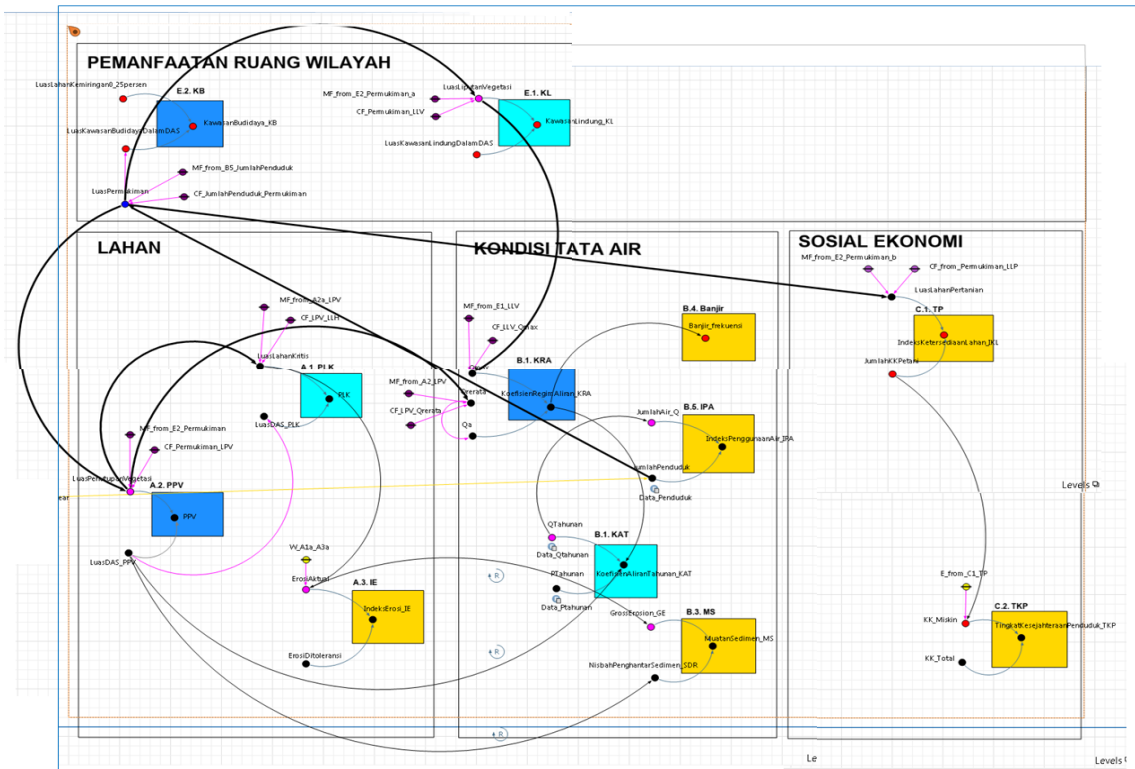
yakni SD, GIS, ABM (Tabel 3). Secara umum, GIS dan ABM berperan sebagai perangkat analisis yang hasilnya menjadi input ke dalam SD. Langkah ini diikuti dengan mengidentifikasi *causal loop diagram*. Hal ini dilakukan melalui: (1) eksaminasi terhadap rumus-rumus pembentuk sub kriteria klasifikasi DAS dan (2) kategorisasi sub kriteria/parameter pembentuk rumus ke dalam format DPSIR (Tabel 3). DPSIR pada awalnya berupa kerangka-kerja *Pressure-State-Response (PSR)* (O.E.C.D., 1993) dan the *Driver-State-Response (DSR)* (UN Division for Sustainable Development, 2001), yang kemudian menjadi DPSIR dan diadopsi oleh European Environmental Agency (EEA) in 1995 (Gabrielson & Bosch, 2003). DPSIR digunakan untuk menunjukkan hubungan *cause-effect* antara lingkungan dan sistem antropogenik. Pengertian mengenai DPSIR dapat diilustrasikan sebagai berikut: *drivers* (faktor pemicu) dapat berupa pembangunan sosial, ekonomi atau lingkungan. Kondisi ini memunculkan *pressures* (faktor penekan) terhadap lingkungan tertentu. Pressures tersebut menyebabkan perubahan status lingkungan (*state*). Selanjutnya, hal tersebut menimbulkan *impact* (dampak) yang dapat mengarah pula kepada *Response* (tanggapan) tertentu. *Response* tersebut dapat pula

menjadi umpan balik terhadap *drivers, pressures, states, impacts* (Smeets & Weterings, 1999).

Langkah berikutnya adalah memformulasi *system dynamics (SD)* model tahap sebelumnya. Adapun langkah terakhir adalah melakukan simulasi menggunakan data inisial dan tren untuk memproduksi Tabel Jadwal Kritis DAS per Kriteria/Sub Kriteria selama 15 tahun mendatang.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasar tahap eksaminasi parameter-parameter dalam rumus-rumus pembentuk sub kriteria DAS dan reposisi sub kriteria berdasar DPSIR maka dapat diidentifikasi 2 *hidden parameter* yang perlu disajikan secara eksplisit, yakni (1) parameter jumlah penduduk yang membentuk sub kriteria Indeks Penggunaan Air (IPA, B.5); dan (2) parameter luas permukiman, yang belum tercantum dalam rumus-rumus perhitungan sub kriteria klasifikasi DAS. Selain itu, perlu diformulasi hierarki state agar *causal-loop* dapat menjadi jelas sehingga terbentuklah *State 1* dan *State 2* berdasar rumus penyusun sub kriterianya (Tabel 3). Hasil-hasil potensi *causal loop* dapat disajikan sebagai berikut. Pada kriteria kondisi lahan, dapat diidentifikasi *causal loop* sebagai



Gambar 3. Kriteria/sub Kriteria Sub DAS Srep dalam format *system dynamics* (SD)

berikut: (1) parameter luas permukiman mempengaruhi parameter luas penutup vegetasi (LPV) yang berada dalam sub kriteria persentase penutupan vegetasi (PPV, A.2), (2) luas penutup vegetasi dalam PPV (A.2), mempengaruhi parameter Lahan Kritis yang berada dalam Kriteria Persentase Lahan Kritis (PLK, A.1), (iii) Parameter Luas Lahan Kritis (LLK) mempengaruhi parameter Erosi Aktual dalam kriteria Indeks Erosi (IE, A.3), (iv) Parameter Erosi Aktual yang berada dalam kriteria IE, mempengaruhi parameter *Gross Erosion* dalam kriteria Muatan Sedimen (B.3).

Pada Kriteria Kondisi Tata Air, dapat diidentifikasi *causal loop* sebagai berikut: (1) Parameter Luas Liputan Vegetasi (LLV) mempengaruhi parameter Q_{Max} yang berada pada sub kriteria Koefisien Regim Aliran (KRA, B.1), (2) Sub kriteria KRA (B.1) mempengaruhi sub kriteria banjir (B.4), (3) parameter Q rata-rata, yang berada dalam sub kriteria KRA (B.1), mempengaruhi parameter Q tahunan, yang berada dalam sub kriteria Koefisien Aliran Tahunan (KAT, B.2), (4) parameter Q rata-rata, yang berada dalam sub kriteria KRA, (B.1), mempengaruhi sub Kriteria Muatan Sedimen (B.3).

Pada kriteria kondisi sosial ekonomi, dapat diidentifikasi *causal loop* sebagai berikut: (1) Parameter Luas Permukiman mempengaruhi parameter Luas Lahan Pertanian (LLP) yang berada dalam Indeks Ketersediaan Lahan (IKL, C.1), (2) Parameter Jumlah KK Petani yang

berada dalam IKL (C.1) mempengaruhi parameter KK Miskin yang berada dalam kriteria Tingkat Kesejahteraan Penduduk (TKP, C.2).

Pada kriteria Pemanfaatan Ruang Wilayah dapat diidentifikasi *causal loop* sebagai berikut: (1) Tata Guna Parameter Jumlah Penduduk, dalam sub kriteria Indeks Penggunaan Air (IPA, B.5), mempengaruhi sub kriteria Luas Permukiman (E.3)., (2) Parameter Luas Permukiman (E.3) mempengaruhi parameter Luas Liputan Vegetasi (LLV) yang berada pada sub kriteria Kawasan Lindung (E.1), (3) Sub kriteria Luas Permukiman (E.3) mempengaruhi parameter Luas Kawasan Budidaya dalam DAS yang berada dalam sub kriteria Kawasan Budidaya (E.2).

Selanjutnya hasil-hasil pada Tabel 3 diformulasi ke dalam *system dynamics* (Gambar 3) sebagai model untuk memsimulasikan kondisi DAS 15 tahun mendatang. Hal ini dilakukan melalui (1) penetapan nilai inisial yang diperoleh melalui Kajian Karakteristik DAS Serang Tahun 2021 (BPDASHL Serang Jratun, 2021) dan penambahan efek dari tren per parameter, yang diperoleh melalui tahap ekstrapolasi data historis sub kriteria DAS dan IDM.

Hasil simulasi tersebut disajikan sebagai Tabel Jadwal Kritis DAS per Kriteria/Sub Kriteria (Tabel 4) yang menunjukkan kondisi DAS sejak tahun ke-1 (2020) hingga 15 tahun mendatang jika intervensi kebijakan,

program, kegiatan berada dalam intensitas yang sama atau tanpa perubahan yang signifikan. Sejumlah hasil

penting yang ditemukan (Tabel 4) diantaranya adalah bahwa luas permukiman selama 15 tahun ke depan

Tabel 4. Jadwal Kritis DAS per Kriteria/Sub Kriteria selama 15 tahun

Kriteria/Sub Kriteria	DPSIR						Tahun ke																
	D	P	S ₁	S ₂	I	R	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
A. Kondisi Lahan																							
1 PLK																							
2 PPV																							
3 Indeks erosi																							
B. Kondisi Tata Air																							
1 KRA																							
2 KAT																							
3 Muatan sedimen																							
4 Banjir																							
5 IPA																							
6 Pertumbuhan penduduk*																							
C. Kondisi Sosial Ekonomi																							
1 Tekanan Penduduk																							
2 Tingkat Kesejahteraan penduduk																							
3 Keberadaan dan penegakan peraturan																							
D. Investasi Bangunan																							
1 Klasifikasi kota																							
2 Klasifikasi nilai bangunan air																							
E. Pemanfaatan Ruang Wilayah																							
1 Kawasan Lindung																							
2 Kawasan Budidaya																							
3 Luas Permukiman*																							

Legenda

- : Periode jangka menengah (5 Tahun)
- : Sangat buruk
- : Buruk
- : Sedang
- : Baik
- : Sangat baik
- : Belum memiliki kategorisasi kelas yang diatur dalam Pedoman RPDAS
- : Efektivitas program intervensi belum terformulasi

* : Hidden parameter yang dimunculkan untuk konstruksi causal-loop dalam SD

k : Kritis secara eksogenik

→ : garis keterkaitan atau kontribusi eksogenik

diperkirakan masih < 40% (Direktorat Jenderal Penataan Ruang Departemen Pekerjaan Umum, 2007) sehingga kondisi ini masih dapat ditoleransi. Namun demikian, dampak hubungan kausal luas permukiman terhadap IKL, yang membentuk sub kriteria Tekanan Penduduk (C.1), mengakibatkan IKL mengalami kritis sejak tahun ke 7. Oleh karena itu Luas Permukiman perlu dikendalikan sebelum mencapai tahun ke 7. Hubungan kausal antara IKL (C.1) yang mempengaruhi TKP (C.2) memiliki waktu kritis yang berbeda sejak tahun ke 1 dan 7 sehingga simultan sejak tahun 1.

4. Kesimpulan

Penerapan *multi-method modeling* terhadap kriteria/sub kriteria klasifikasi DAS menemukan bahwa kebutuhan *system dynamics* terhadap *causal loop* menyebabkan eksaminasi terhadap hubungan antar parameter dalam rumus pembentuk sub kriteria dan penerapan DPSIR. Langkah ini menyebabkan sub kriteria Klasifikasi DAS mengalami restrukturisasi yang menunjukkan bahwa sub kriteria – sub kriteria tersebut saling mempengaruhi secara eksogenik. Hal ini berarti bahwa terdapat sub kriteria yang menjadi prasyarat atau penentu keberhasilan sub kriteria lainnya. Selain itu, tabel Jadwal kritis DAS per Kriteria/Sub Kriteria selama 15 tahun menunjukkan posisi sub kriteria dalam konteks *causal loop* atau eksogenik yang menjadi dasar koordinasi antar sektor-sektor dalam mencapai keterpaduan tujuan-tujuan kolektif di level DAS. Informasi hubungan eksogenik yang dapat membantu sektor-sektor mengetahui posisinya dan hubungannya terhadap sektor lainnya agar dapat bersinergi secara substantif maupun ketepatan dalam jadwal pelaksanaan. Hal ini dapat memperjelas akar masalah, meningkatkan keterpaduan perencanaan dan mereduksi kelemahan koordinasi dan tumpang-tindih kegiatan. Implementasi *multi-method modeling* melalui *system dynamics* memunculkan *hidden parameter*, yakni luas permukiman yang memiliki pengaruh eksogenik yang cukup ekstensif. Hal lain yang ditemukan adalah bahwa analisis secara isolatif tidak sensitif dampak yang ditimbulkan pada parameter atau sub kriteria lain dalam DAS. Oleh karena itu penyempurnaan terhadap tata cara pemanfaatan Tabel Kriteria/Sub Kriteria Klasifikasi DAS seyogianya mengadopsi *multi-method modeling* dan termasuk pula DPSIR.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada BBWS Pemali Juana, Pemerintah Provinsi Jawa Tengah, Pemerintah Kabupaten Kudus, seluruh kecamatan yang tercakup dalam DAS Gelis Srep sampai ke Pemerintah Desa yang telah berkenan untuk membantu dalam informasi dan data penelitian ini, dan PT. Djarum Foundation, yang telah mendanai pelaksanaan penelitian secara keseluruhan, dan kepada

semua pihak yang telah membantu untuk penyelesaian penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Bappenas. (2020). *Peraturan Presiden Nomor 18 Tahun 2020 tentang Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional Tahun 2020-2024*. <https://jdih.bappenas.go.id/peraturan/detailperaturan/1037>
- BPDASHL Serang Jratun. (2021). *Laporan Akhir Penyusunan Karakteristik DAS Wilayah DAS Serang BPDASHL Pemali Jratun (Kajian Karakteristik DAS Serang Tahun 2021)*. Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Dan Hutan Lindung Serang Jratun.
- Davenport, M. A., & Seekamp, E. (2013). A multilevel community capacity model for sustainable watershed management. *Soc Nat Resour Int J*, 26(9), 1101–1111.
- Direktorat Jenderal Penataan Ruang Departemen Pekerjaan Umum. (2007). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor: 41/PRT/M/2007 tentang Pedoman Kriteria Teknis Kawasan Budidaya*. Direktorat Jenderal Penataan Ruang Departemen Pekerjaan Umum. <https://pu.go.id/pustaka/biblio/peraturan-menteri-pekerjaan-umum-nomor-41prtm2007-tentang-pedoman-kriteria-teknis-kawasan-budidaya/4LKG3>
- Ffolliott, P. F., Baker, M. B., Edminster, C. B., Dillon, M. C., & Kora, K. L. (Eds.). (2002). *Land stewardship through watershed management, perspective for 21st Century*. Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- Gabrielson, P., & Bosch, P. (2003). Environmental indicators: Typology and use in reporting. In *Internal Working Paper* (pp. 1–20). European Environmental Agency.
- Ghbn, N. (2016). *Dynamic Modeling for Municipal Climate Change Adaptive Measures and Integrated Watershed Management*. World Environmental and Water Resources Congress.
- Harms, J. Z., Malard-Adam, J. J., Adamowski, J. F., Sharma, A., & Nkwasa, A. (2023). Dynamically coupling system dynamics and SWAT+ models using Tinamit: Application of modular tools for coupled human–water system models. *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 27, 1683–1693.
- Kementerian Kehutanan. (2009). *Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.39/menhut-ii/2009 Tahun 2009 Tentang Pedoman Penyusunan Rencana Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Terpadu*. Kementerian Kehutanan.

- <https://peraturan.go.id/id/permenhut-no-p-39-menhut-ii-2009-tahun-2009>
- Kementerian Kehutanan. (2014). *Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.60/menhut-ii/2014 Tahun 2014 Tentang Kriteria Penetapan Klasifikasi Daerah Aliran Sungai*. Kementerian Kehutanan. <https://peraturan.go.id/id/permenhut-no-p-60-menhut-ii-2014-tahun-2014>
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2014). *Peraturan Menteri Kehutanan Nomor P.61/Menhut-II/2014 tentang Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. <https://jdih.menlhk.go.id/new2/home/portfolio/Details/61/2014/5>
- Latifah, S. (2012). Analisis Akar Masalah Dalam Perencanaan Pengelolaan Das Terpadu Palung. *Jurnal Wana Tropika*, 2(1).
- Mosaffaie, J., Jam, A. S., Tabatabaei, M. R., & Kousari, M. R. (2021). Trend assessment of the watershed health based on DPSIR framework. *Land Use Policy*, 100.
- Mutekanga, F. P., Kessler, A., Leber, K., & Visser, S. (2013). The use of stakeholder analysis in integrated watershed management. *Mt Res Dev*, 33(2), 122–131.
- Nikolic, V. V., & Simonovic, S. P. (2015). Multi-method Modeling Framework for Support of Integrated Water Resources Management. *Environmental Processes*, 2(3), 461–483. <https://doi.org/10.1007/s40710-015-0082-6>
- O.E.C.D. (1993). OECD core set of indicators for environmental performance reviews. *OECD Environmental Directorate Monographs*, 83.
- Paimin, P., B., I., Purwanto, I., & R, D. (2012). *Sistem Perencanaan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi.
- Pambudi, A. S. (2019). Watershed Management in Indonesia: A Regulation, Institution, and Policy Review. *The Indonesian Journal of Development Planning*, III(2).
- Peraturan Pemerintah (PP) Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. (2012). <https://peraturan.bpk.go.id/Details/5249>
- Qi, H., & Altinakar, M. (2013). Integrated watershed management with multi-objective land-use optimizations under uncertainty. *J Irrig Drain Eng*, 139(3), 239–243.
- Setiawan, B., Idris, M. H., & Markum, S. (2015). *Teori dan Praktik Pengelolaan DAS Terpadu*. Fauna & Flora International-Indonesia Programme (FFI-IP) dan RA Visindo.
- Siwailam, M., Abdelsalam, H., & Saleh, M. (2019). Integrated DPSIR-ANP-SD framework for Sustainability Assessment of Water Resources System in Egypt. *International Journal of Academic Management Science Research (IJAMSR)*, 3(ue 3), 1–12.
- Smeets, E., & Weterings, R. (1999). Environmental indicators: Typology and overview. *Technical Report*, 25, 1–20.
- Sriyana, I. (2018). Evaluation of watershed carrying capacity for watershed management (a case study on Bodri watershed, Central Java, Indonesia). *MATEC Web of Conferences*, 195, 05003,.
- Sudaryanti, S., Soemarno, M., & Bagyo Yanuwadi, B. (2021). Perencanaan Pengelolaan Terpadu Daerah Aliran Sungai: Landasan Berfikir Ekosistem Akuatik Berkelanjutan .The Indonesian Green. *Technology Journal*, 10(2).
- Tangirala, A. K., K., A., Teegavarapu, R., & Ormsbee, L. (2003). Modeling adaptive water quality management strategies using system dynamics simulation. *Environ Inform Arch*, 1, 245–253.
- UN Division for Sustainable Development. (2001). *Indicators of sustainable development: Framework and Methodologies*. Department of Economic and Social Affairs United Nation. https://www.un.org/esa/sustdev/csd/csd9_indi_bp3.pdf
- Wang, G., Mang, S., & Cai, H. (2016). Integrated watershed management: Evolution, development and emerging trends. *J. For. Res*, 27, 967–994.