

Perlindungan dan Pengelolaan Sumber Daya Pantai Tanjung Pinang yang Berkelanjutan

R.T.Nalarsih

Departemen Teknik Sipil, Universitas Veteran Bantara, Sukoharjo, INDONESIA
nalarsih@gmail.com

N. Yuwono

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, INDONESIA
nuryuwono@yahoo.com

W. W. Winaktoe

Institute for Water Education (IHE)-UNESCO, Delft, NETHERLAND
motogaeri@gmail.com

INTISARI

Indonesia sangat terkenal dengan Benua Maritim sehingga Sumber Daya Pantai sangat membutuhkan pengelolaan secara berkelanjutan, penelitian mengambil lokasi di Bintan Tanjung Pinang Kepulauan Riau, perkembangan kota sangat pesat, di wilayah berdekatan dengan laut membutuhkan perlindungan dari erosi serta abrasi, peningkatan ekologi, ekonomi, sosial, dan jumlah penduduk merupakan kontributor besar, sehingga dihadapkan pada kebutuhan air bersih. Tujuan penelitian menghasilkan model seawall Pantai Kawal, model simulasi hidraulik air bersih dengan *software* EPANET, model Analisis *System-Dynamic* untuk mengidentifikasi dan mensimulasikan efek dari dinamika yang akan mempengaruhi sistem suplai sehingga antisipasi dapat dilakukan sesuai dengan rencana. Eksperimen di Laboratorium 2D di Balai Dinamika Pantai Yogyakarta dengan *software* Mike 21, dihasilkan model *seawall curved* dengan *block* yang dipasang hanya di area yang terindikasi gelombang tinggi yang mengakibatkan abrasi dan erosi, model *Epanet* dihasilkan bahwa pemenuhan kebutuhan air bersih Bintan-Kawal dilakukan dengan cara pengembangan kapasitas 260 lt/dtk secara periodik per lima tahun telah sesuai perencanaan, model simulasi hidraulik jaringan air bersih untuk pelayanan diambil dari Bendungan Busung untuk SPAB Kawal, simulasi Model *System-Dynamic* antara ketersediaan air dan *demand*, bahwa volume Bendung Busung lebih besar dari *supply area* yang akan dikembangkan dengan *demand* pada $q = 600$ lt/dtk, didapatkan model perlindungan dan pengelolaan sumber daya air yang *sustainability*.

Kata kunci: pantai, *curved seawall*, *hidraulik*, *system-dynamic*, *sustainability*

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Wilayah Kabupaten Bintan terdiri dari pulau-pulau besar dan kecil, umumnya merupakan daerah landai di bagian pantai. Ketinggian wilayah pada pulau-pulau berkisar antara 0-50 m di atas permukaan laut.

Menjadi wilayah strategis pembangunan yaitu perlindungan daerah pantai dari abrasi, terutama pada pulau kecil dan wilayah wisata. Guna mendorong pembangunan wilayah pesisir dan wilayah tertinggal.

Ruang wilayah Kabupaten Bintan memiliki potensi daya alam yang sangat besar dan beragam. Sehingga sangat perlu diarahkan secara bijaksana dengan menerapkan prinsip-prinsip berkelanjutan, terintegrasi, dan saling mendukung. Dewasa ini pembangunan berkembang ke arah pesisir pantai, hal ini merupakan

dampak dari pertumbuhan penduduk yang tinggi, sehingga membutuhkan permukiman, kemudian terjadi kegiatan ekonomi, sosial dan tentu saja peningkatan kebutuhan air bersih. Disisi lain terjadi kegiatan ekologi dan wisata meningkat yang berdampak pada perubahan tata guna wilayah pantai, disaat pantai sudah tidak bisa melindungi dirinya sendiri maka terjadi kerusakan erosi dan abrasi.

Lokasi penelitian diambil di Pantai Kawal, yang dikenal dengan sebutan Pantai Tri Kora salah satu pantai yang ada di Bintan, Tanjung Pinang, wilayah pantai ini sangat cepat perkembangannya, karena merupakan wilayah perkembangan perekonomian, perdagangan dan wisata bahari.

Kerusakan pantai yang terjadi di Pantai Kawal, yang dikenal dengan Pantai Trikora adalah berupa abrasi dan erosi, dikarena tingginya gelombang, khususnya

saat gelombang pasang, apalagi seperti sekarang ini gelombang dalam kondisi iklim ekstrim.

Pemodelan fisik untuk membuat simulasi fenomena hidrodinamika merupakan pendekatan yang paling efektif dalam penelitian struktur seawall pelindung pantai sebagai fasilitas peredam gelombang di coastal area.

Fenomena yang terjadi dalam karakteristik gelombang di depan struktur seawall merupakan hal yang sangat penting yaitu untuk mengidentifikasi karakteristik gelombang, sehingga untuk mendapatkan informasi besarnya angka gelombang sebagai suatu acuan kinerja seawall yang handal yaitu koefisien refleksi terkecil yang dihasilkan dari dua design seawall.

1.2 Karakteristik Pantai Kawal Bintan

Pantai Kawal terletak di sebelah timur Pulau Bintan, dimana wilayah pantai tersebut memiliki karakteristik topografi jenis pantai landai, dan substrat dasar merupakan pasir berlumpur, dengan kedalaman 20 m berada pada jarak 6,29 km dari garis pantai (Suhana et al 2019).

Pantai Kawal sering terjadi abrasi, sementara perlindungan pantai Kawal hanya menggunakan terumbu karang. Lokasi Pantai Kawal atau yang biasa disebut Trikora, sesuai Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

1.3 Sumber Daya Air di Wilayah Pantai

Pulau Bintan memiliki DAS yang potensial adalah DAS Jago di Kecamatan Bintan Utara seluas 135,8 km². Dan DAS Kawal seluas 93 km², dengan pemanfaatan saat ini 60 lt/dtk.

Waduk pada kondisi minim untuk supply Empung Waduk Kawal, penurunan kuantitas sumber air baku

dan rendahnya waktu pengoperasian IPA, kerusakan reservoir merupakan permasalahan penting.

1.4 Karakteristik Eksisiting Pelindung Pantai Kawal

1.4.1 Seawall

Apabila perlindungan pantai secara lamiah tidak ada, maka dapat dilakukan perlindungan pantai secara buatan (*artificial*), guna melindungi pantai secara buatan dapat dilakukan melalui lima cara salah satunya adalah perkuatan pantai dengan tembok laut atau revetment sehingga tahan terhadap gempuran gelombang, Nur Yuwono [2].

Besarnya efektifitas suatu seawall ditunjukkan koefisien refleksi yang dihasilkan kecil, dimana besar koefisien refleksi (K_r) adalah parameter dari refleksi gelombang yang didefinisikan sebagai perbandingan tinggi gelombang terpantul (H_r) dan tinggi gelombang datang (H_i) menurut Sila Dharma, IGB., 1994.

$$K_r = \frac{H_r}{H_i} = \frac{H_{maks} - H_{min}}{H_{maks} + H_{min}} \quad (1)$$

Menurut Triatmodjo, 1999 gelombang yang membentur suatu rintangan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Suatu bangunan yang mempunyai sisi miring dan terbuat dari tumpukan batu dapat menyerap energi gelombang lebih banyak dibanding dengan bangunan tegak dan masif, seperti Tabel 1.

Tabel1. Koefisien Refleksi

Building type	Coefficient of reflection (C_r)
Vertical wall with a peak on the water	0,70 – 1,00
Vertical wall with the top of the submerged	0,50 – 0,70
Piles of stone hypotenuse	0,30 – 0,50
Piles of concrete blocks	0,30 – 0,50
Vertical buildings with damper	0,05 – 0,20

Pada bangunan *vertical*, halus, dan dinding tidak permeabel, gelombang akan dipantulkan seluruhnya. Berdasarkan tes model, koefisien refleksi untuk berbagai tipe bangunan yang dilakukan Triatmodjo B diperlihatkan pada Table 1. Pada bangunan type vertical wall with apeak on the water memiliki Koefficient refleksi (K_r) sebesar 0,70 hingga 1,00 dan seterusnya.

Menurut Yuwono, (2003), bahwa pemantul gelombang lengkung lebih efektif dalam memantulkan gelombang kembali ke laut, menggunakan tinggi gelombang rencana (H_d) sebagai variabel yang mewakili besar kelengkungan,

menghasilkan pedoman perancangan dipakai pusat kelengkungan di titik $1,5 H_d$ di atas DWL.

Yuwono, dkk, 2011, mengadakan penelitian model fisik berupa *seawall*, diletakkan di daerah laut dangkal, menggunakan beberapa variabel, diantaranya sudut bawah 40° dan sudut ekuivalen 60° , kekasaran pada bidang miring, menggunakan bahan *blocks* penghancur energi gelombang dengan dimensi $4 \times 4 \times 4$ cm, dengan parameter nilai Koefisien seret (K_D) sebesar 1,4. Menghasilkan struktur *seawall* lengkung *non overtopping* dilengkapi *blocks* diatas kemiringan, dihasilkan bahwa model lebih efektif dalam mereflesi gelombang yaitu memiliki kinerja *non overtopping*, dimana gelombang tidak melimpas ke belakang bangunan *seawall*, sehingga semua gelombang datang direfleksikan kembali ke laut.

Nalarsih, dkk (2015), melakukan penelitian perlindungan pantai Maron Semarang dengan pendekatan model fisik. Model *design* dinding laut ada 2 (dua), *Curved Seawall* untuk Maron (CSM), kedua model menggunakan kedalaman air 40 cm, kelandaian dinding laut 30° . Model A menggunakan lengkung $1H_d$ dan model B $1,5H_d$. Hasil pengujian model B, menghasilkan Koefisien refleksi (K_r) lebih kecil yaitu 0,199. Model b lebih efektif dalam merefleksikan gelombang.

(Nalarsih dkk, 2017) mengadakan penelitian pelindung pantai Canggu Bali, menggunakan pendekatan model desain dinding laut (*seawall*) lengkung, dengan 2 (dua) model, model pertama disebut *Curved Seawall pre* Canggu (CS_pC), dengan kemiringan 38° , reflektor melengkung 20cm, model kedua disebut *Curved Seawall for* Canggu (CS_fC), besar sudut 30° , reflektor lengkung 15cm, kedua model menggunakan *bloks revetment* dimensi $4,8 \times 4,8 \times 2,4$ cm, dimensi lebar melintang 80cm, tinggi 240cm. ketinggian air (d) 40cm, pasang tinggi 100cm. Kriteria yang digunakan sebagai indikator adalah Koefisien refleksi (K_r).

Menghasilkan besar Koefisien refleksi (K_r) model ke 1 (satu) adalah 0,56272 dan koefisien refleksi besar (K_r) model untuk dua (2) adalah 0,16923, dapat disimpulkan bahwa model kedua lebih efektif dalam kinerjanya mereduksi gelombang.

1.4.2 Sumber Daya Air Berkelanjutan

Sumber Daya Air di wilayah pesisir, khususnya di daerah Pantai Kawal, agar dalam menjamin penyediaan air minum dapat berlangsung secara berkesinambungan (*sustainable*), dalam penelitian ini dikerjakan dengan *software Epanet* (*Environmental Protection Agency Network*) dan dianalisis dengan *System-Dynamic Multi-Komponen*.

1.4.3 Analisis Epanet

Epanet (*Environmental Protection Agency Network*) untuk membuat simulasi hidraulik dengan output yang dihasilkan dari program *Epanet* antara lain debit yang mengalir dalam pipa (lt/dtk), tekanan air dari masing-masing titik/*node/junction* yang dapat dipakai sebagai analisa dalam menentukan operasi instalasi, pompa dan reservoir.

Menentukan alternatif strategis manajemen sistem jaringan pipa distribusi air bersih, penentuan alternatif sumber atau instalasi, apabila terdapat banyak sumber atau instalasi. Sebagai simulasi dalam penentuan alternatif pengoperasian pompa dan melakukan pengisian reservoir maupun injeksi ke system distribusi. *Output* dari pemodelan ini adalah debit air bersih yang mengalir sepanjang jaringan pipa (lt/dtk), tekanan air pada setiap *node* atau *junction*, sehingga digunakan untuk menganalisa penentuan operasional instalasi, pompa, dan reservoir.

1.4.4 Analisis Sistem Dinamik

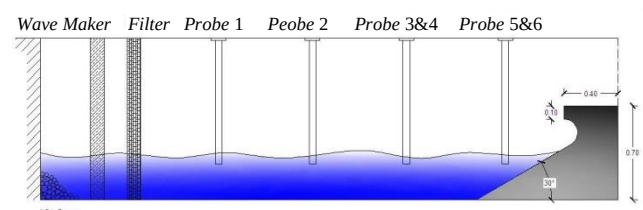
System-Dynamic Multi-Komponen bertujuan mengintegrasikan semua informasi (dokumen, kebijakan, dan faktor) sedemikian sehingga tujuan-tujuan Rencana Induk Sistem Perpipaan Air bersih (RISPAM) dalam menjamin penyediaan air minum dapat berlangsung secara berkesinambungan (*sustainable*).

Jika RISPAM berkonsetrasi pada upaya mendesain sistem suplai air minum maka *System-Dynamics Multi-Komponen* berkonsetrasi pada identifikasi dan mensimulasikan efek dari dinamika yang akan mempengaruhi sistem suplai tersebut sehinggaantisipasi dapat dilakukan mengiringi rencana-rencana pengembangan RISPAM (Winaktoe, 2019).

2 METODE ANALISIS DAN PEMBAHASAN

2.1 Pelindung Pantai *Curved Seawall* dan Hasil

Penelitian eksperimental dilakukan di *flume* gelombang Balai Pengkajian Dinamika Yogyakarta, Indonesia. Model *seawall* yang dibuat *composite cor* lengkung sesuai besar diameter yang digunakan yaitu 10 cm dan 12,5 cm. Pada model kedua bidang kemiringan diberi *block* kayu ukuran $4,8 \text{ cm} \times 4,8 \text{ cm} \times 4,8 \text{ cm}$. Agar lebih jelas sesuai dengan Gambar 2.



Gambar 2. Model Peletakan *Seawall*

Dengan asumsi *slope* struktur stabil. *Probe* yang digunakan adalah 6, diletakkan tepat di depan model *seawall* probe 5 dan 6, 1,2 m berikutnya probe 4 dan 3, 3m berikutnya probe 2, 1 m berikutnya probe 1.

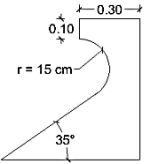
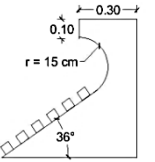
Pada Gambar 2, dimensi *flume* dan karakteristik gelombang yang digunakan untuk penelitian ini adalah:

- Panjang Saluran gelombang 50 m
- Lebar 2 m
- Kedalaman 1,6 m
- Kedalaman air yang digunakan 0,4 m
- Gelombang yang digunakan adalah regular
- Tinggi gelombang yang digunakan 0,4 – 0,3 m,
- Periode gelombang 1,
- Tipe model impermeabel dan blok,
- Dimensi yang digunakan model *seawall* lebar 1,85 m x 2,5 m
- Dimensi block 0.10 m x 0,05 m x 0,05 m
- Sudut datang gelombang tegak lurus

Pekerjaan laboratorium dimulai dengan persiapan peralatan, pengaturan model, peletakan *block* sebagai kekasaran lereng, pengaturan *probe* perekam tinggi gelombang, pemasangan kamera, dan *recorder cable* pada saluran gelombang untuk merekam data.

Penentuan kedalaman yang direncanakan, periode gelombang, kalibrasi sensor, berikutnya *running data*. Hasil pengolahan data *software MIKE 21*, hasil analisis dirangkum dalam Tabel 2.

Tabel2. Hasil Besar Koefisien Refleksi

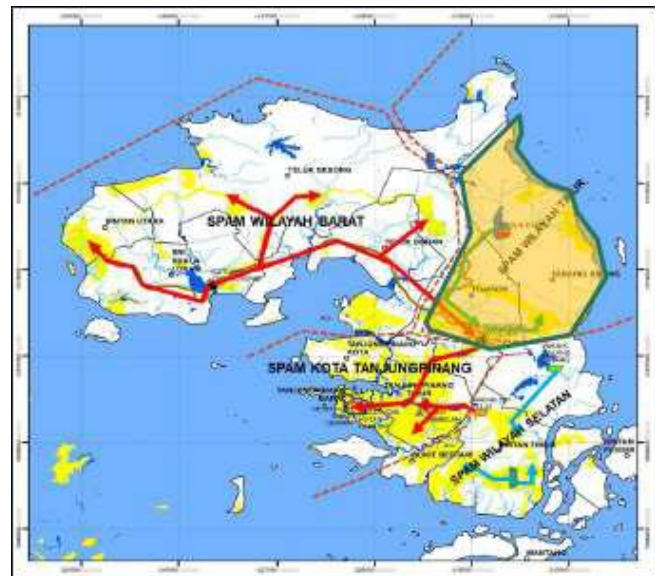
Model	Tinggi Gelombang				
	Hmaks	Hmin	Hr	Hi	Kr
	3,21	0,95	2,26	4,16	0,543
	2,52	0,9	1,62	3,42	0,474

Berdasarkan Tabel 2, pada model pertama dengan nama SCnB, menghasilkan tinggi gelombang maksimum (H_{maks}) sebesar 3,21 m kemudian tinggi gelombang $H_{minimum}$ (H_{min}) sebesar 0,95 m, berdasarkan persamaan 1 dihasilkan tinggi gelombang refleksi adalah 2,26 m dan tinggi gelombang incident adalah 4,16 m, sehingga dihasilkan Koefisien refleksi (K_r) sebesar 0,543.

Model kedua atau SCwB menghasilkan tinggi gelombang maksimum (H_{maks}) sebesar 2,52 m kemudian tinggi gelombang $H_{minimum}$ (H_{min}) sebesar 0,9 m, berdasarkan persamaan 1 dihasilkan tinggi gelombang refleksi adalah 1,62 m dan tinggi gelombang incident adalah 3,42 m, sehingga dihasilkan Koefisien refleksi (K_r) sebesar 0,474.

2.2 Epanet Analisis dan Hasil

Zonasi pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Pulau Bintan khususnya dimana lokasi wilayah Pantai Kawal berada, yaitu Kabupaten Bintan wilayah Timur seperti di Gambar 3.



Gambar 3. Lokasi Penelitian di Wilayah Bintan Timur

Gambar 3 menunjukkan jaringan air bersih dari Sistem Penyediaan Air Bersih (SPAB) dari Waduk Kawal menuju ke wilayah Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Wilayah Barat dan Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) Tanjung Pinang, dimana indikator merah berarti distribusi air mampu memenuhi kebutuhan air bersih pengguna, perhitungan pertumbuhan penduduk di Kecamatan Bintan Timur, dihitung dengan Persamaan 2 dan 3, berikut ini dengan hasil sesuai dengan Tabel 3.

$$a = (1/n)[(\sum Y) - (b) \cdot (\sum \ln X)] \quad (2)$$

$$b = (\sum Y \cdot \ln x) - (1/n)(\sum \ln X)(\sum Y) / (\sum \ln X^2) - (1/n) \cdot (\sum \ln X)^2 \quad (3)$$

Tabel3. Proyeksi Penduduk di Kecamatan Bintan Timur

Tahun Proyeksi	x	a	b	lnx	Pn
2017	2	41.911,75	796,83	0,6931	42,464
2020	5	41.911,75	796,83	1,6094	43,194
2025	10	41.911,75	796,83	2,3026	43,747
2027	12	41.911,75	796,83	2,4849	43,892
2030	15	41.911,75	796,83	2,7082	44,07

Setelah diketahui rekapitulasi proyeksi penduduk, maka dihitung kebutuhan air penduduk seperti pada Tabel 4.

Tabel4. Proyeksi kebutuhan air di Kec. Bintang Timur

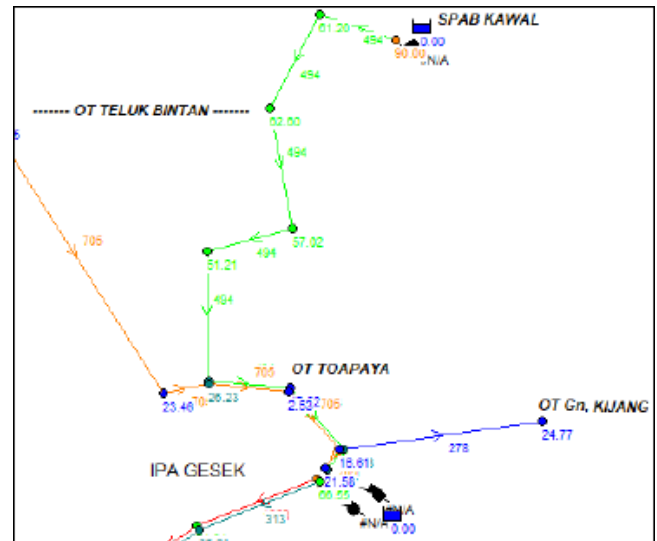
Uraian	Satuan	Tahun			
		2020	2025	2027	2030
Jumlah Penduduk	Jiwa	42374	42844	43194	43747
Tingkat Pelayanan	%	100	100	100	100
Penduduk Terlayani	Jiwa	42374	42844	43194	43747
SR : HU	%	70:30:00	71:30:00	72:30:00	73:30:00
Penduduk dilayani dengan SR	Jiwa	29662	29991	30236	30623
Penduduk dilayani dengan HU	Jiwa	12712	12853	12958	13124
Konsumsi unit SR	1/org/hr	130	130	130	130
Konsumsi unit HU	1/org/hr	30	30	30	30
Kebutuhan Air SR	1/hari	2203448	2227888	2246088	227484
Kebutuhan Air HU	1/hari	381366	385596	388746	393723
I. Kebutuhan Air Domestik	1/hari	1584814	2613484	2634834	266856
II. Kebutuhan Air Non Domestik	1/hari	300	300	300	300
III. Jumlah Kebutuhan I +II	1/hari	2585114	2613784	2635134	266886
IV. Kehilangan Air 20%	1/hari	517023	522757	527027	533773
V. Kebutuhan Air rata-rata III+ IV	1/hari	3102137	3136541	3162161	320264
VI. Kebutuhan Hari Maksimum	1/hari	3412350	3450195	3478377	352290
Faktor Hari Maksimum 1,1					4
VII. Kebutuhan Jam Puncak	1/hari	3877671	3920676	3952701	400330
Faktor Jam Puncak 1.25					1
VIII. Kebutuhan Air rata-rata	ltr//dtk	44.8805	45.3782	45.7489	46.3345

Berdasarkan Tabel 4, dihasilkan kebutuhan air rata-rata 46,3345 lt/dtk, dapat diprediksi pengembangan kapasitas untuk kebutuhan air sebesar 60 lt/dtk, sesuai dengan Tabel 5.

Tabel5. Rekapitulasi Pengembangan Air Baku

Rekap Air Baku		Pengembangan Kapasitas (lt/dtk)			
SPAM Bintang-Kawal		Tersedia	2020-2025	2026-2030	2031-2035
		200	260	260	260
Prosentase cakupan pelayanan Sistem Regional dengan pengembangan 260 lt/dtk secara periodik		-	95%	88%	*82%

Hasil pemetaan jaringan menggunakan Epanet sebagai berikut pada Gambar 4.



Gambar 4. Simulasi Epanet di Wilayah Pantai Kawal

Berdasarkan analisis *Epanet* dihasilkan bahwa pemenuhan kebutuhan air bersih Bintang-Kawal dengan cara pengembangan kapasitas per lima tahun mendatang sesuai dengan perencanaan.

2.3 Analisis Sistem Dinamik dan Hasil

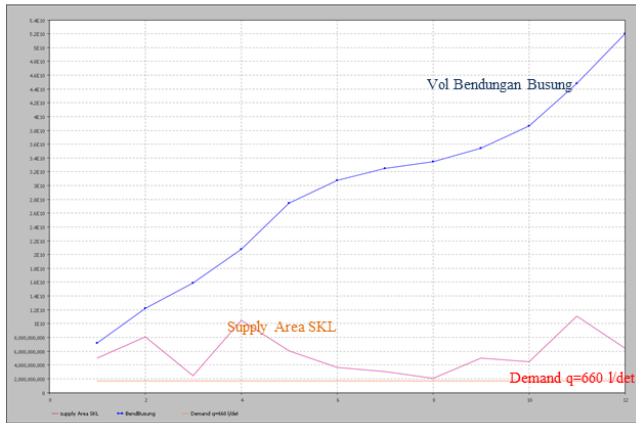
Lokus Kajian SPAM Bintang-Kawal dianalisis dengan *System-Dynamics* Multi-Komponen bertujuan untuk mengidentifikasi dan mensimulasikan efek dari dinamika yang akan mempengaruhi sistem suplai setiap wilayah tersebut sehingga antisipasi dapat dilakukan sesuai dengan rencana.

Penelitian berdasarkan data volume bendungan yang akan dikembangkan, suplay area, dan *demand* sebesar 260 lt/dtk secara periodik dalam format *system-dynamics*, jaringan distribusi air minum hanya akan dapat disimulasikan jika *stock* atau volume waduk Kawal ditetapkan nilainya sesuai Gambar 5.



Gambar 5. Simulasi System-Dynamics Multi-Komponen

Berdasarkan *forecasting* maka diperkirakan suplai air dari DAS dalam administrasi Seri Kuala Lobam sebesar 5.096.831.548 l/bulan. Sementara ketersediaan air per wilayah Bintan Timur dengan luas 46.100 Ha, ketersediaan air 264.723.239 m³/tahun dan ketersediaan air bila dihitung perbulan 22.060.269.917 lt/bln.



Gambar 6. Grafik Simulasi Model System-Dynamics

Hasil Simulasi Model *System-Dynamics* dengan skenario dampak terhadap ketersediaan air profil SPAM Regional Bintan-Kawal menunjukkan bahwa kapasitas pengambilan (600 l/det) dan distribusinya (*demand*) per Kecamatan dan Kota diketahui dengan total distribusi 660 l/det, dinyatakan memenuhi kebutuhan yang direncanakan.

3 KESIMPULAN

Hasil penelitian dapat disimpulkan:

1. Model perlindungan pantai Kawal yang paling cocok adalah *seawall* dengan *block*, dipasang hanya di area yang terindikasi tinggi terjadi abrasi dan erosi.
2. Model *Epanet* bahwa pemenuhan kebutuhan air bersih Bintan-Kawal dengan cara pengembangan kapasitas per lima tahun telah sesuai perencanaan.
3. Model *System-Dynamics* Multi-Komponen dengan Skenario Dampak terhadap Ketersediaan Air Profil SPAM Regional Bintan-Kawal bahwa dinyatakan memenuhi perencanaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kami sampaikan kepada bapak Eka selaku Ketua Pelaksana Proyek SPAM di Bintan-Tanjung Pinang, Konsultan Hegardaya Bandung yang telah mengijinkan kami sebagai tenaga ahli dan mengijinkan kami menggunakan data penelitian ini.

REFERENSI

Nalarsih, 2015 "A Seawall Design with a Revetment and the Wave Reflector to Protect Coast and Maintain

the Position of Maron Coast Line Semarang" 2015 2nd International Conference on Geological and Civil Engineering. Singapore. The Engineering & Technology Digital Library, and indexed by Ei Geobase (Elsevier), Ulrich's.

Nalarsih, 2017 "Innovation Design Roughness on Slope to Reduce Storms at Curved Seawall In Canggus Beach Bali" terideks scopus ISSN 03772969 Tahun 2017, Pakistan Academy of Sciences Journals.

Sila Dharma, 1994, " *Unjuk Kerja Terumbu Buatan (artificial Reef) sebagai Peredam Energi Gelombang*", Tesis, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Suhana MP, Nurjaya IW, Natih NMN. 2018. "Karakteristik gelombang laut pantai timur Pulau Bintan Provinsi Kepulauan Riau". Tahun 2005-2014. *Dinamika Maritim*. 6 (2): 16-19.

Triatmodjo Bambang, 1999, " Perencanaan Bangunan Pantai", Jurusan Teknik Sipil dan Lingkungan FT UGM, Yogyakarta.

Winaktoe, 2019 " *Analisis System-Dynamic Multi Komponen*" Tahun 2019, Tanjung Pinang, Indonesia.

Yuwono, 1992, *Dasar-dasar Perencanaan Bangunan Pantai*, Lab. Hidrolika dan Hidrologi, PAU IT Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.

Yuwono, 2003 "Konstruksi *Seawall* dengan Buis Beton dan Reflektor" Penelitian, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.

Yuwono, Bobby P., Putra ,AT., Indriyani, M. 2011, "Model Revetment Inovatif dan Ekonomis" , Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.