

Bab IV Hasil dan Pembahasan

IV.1 Gambaran Umum Waduk Saguling

Waduk Saguling telah beroperasi sejak tahun 1984 dengan kapasitas 4 x 175 MW. Isi efektif waduk sekitar 611,5 juta m³ dengan produksi rata-rata tahunan $\pm$ 2.156 GWH. Bendungan ini memiliki tipe urugan batu dengan inti kedap air. Panjang puncak bendungan sebesar 301,40 m pada elevasi 650,50 m (Indonesia Power, 2019).

Waduk Saguling berfungsi sebagai reservoir PLTA Saguling dalam sistem kelistrikan se-Jawa dan Bali, selain itu untuk memikul beban puncak juga berfungsi sebagai pengatur frekuensi sistem energi listrik yang dihasilkan dari PLTA Saguling yang disalurkan melalui GITET Saguling dan diinterkoneksi ke sistem melalui SUTET 500 KV untuk selanjutnya melalui GI-GI dan Gardu Distribusi yang kemudian di distribusikan ke konsumen (Indonesia Power, 2019).

Seiring dengan berjalannya waktu Waduk Saguling tidak sesuai lagi dengan peruntukan awalnya yaitu sebagai reservoir PLTA Saguling. Waduk Saguling juga kini digunakan dalam sektor pangan dengan pembudidayaan ikan jaring terapung dan pariwisata. Dengan kemajemukan fungsi Waduk Saguling ini, kegiatan-kegiatan baik di dalam waduk maupun di sekitarnya akan memberikan pengaruh terhadap kualitas perairan waduk. Air dapat digunakan sesuai peruntukannya apabila kualitasnya memenuhi persyaratan. Jika suatu badan air mengalami penurunan kualitas air, maka perairannya tidak dapat digunakan sesuai peruntukannya. Menurunnya kualitas air tersebut disebabkan oleh masuknya zat pencemar yang berasal dari limbah. Limbah yang masuk ke dalam badan air tidak dapat diuraikan oleh organisme perairan, sehingga menyebabkan pencemaran air.

Ditinjau dari letak Waduk Saguling yang merupakan bagian dari DAS Citarum, waduk ini menampung berbagai jenis limbah yang terbawa aliran sungai air Sungai Citarum dan anak-anak sungainya. Komposisi senyawa di dalam limbah tergantung dari sumber kegiatan yang terdapat di sepanjang DAS Citarum. Jenis

kegiatan di DAS Citarum Hulu yang berpotensi menimbulkan pencemaran air Waduk Saguling diantaranya kegiatan perindustrian, pemukiman, dan pertanian (Indonesia Power, 2018).

Pencemaran air Waduk Saguling telah menyebabkan penyuburan air (eutrofikasi) sehingga mempercepat pendangkalan perairan. Pencemaran juga akan meningkatkan laju korosi metal yang dapat merusak instalasi pembangkit listrik tenaga air dan menurunkan daya penyediaan energi listrik. Oleh karena itu, pengelolaan perairan waduk sangat diperlukan untuk mencegah menurunnya kualitas air dan fungsi waduk sebagai pembangkit tenaga listrik.

Waduk Saguling sendiri memiliki 12 stasiun lokasi pemantauan rutin. Lokasi-lokasi ini berpotensi terkontaminasi limbah karena aktivitas industri di sekitar waduk alirannya bermuara pada sungai-sungai yang menuju Waduk Saguling. **Gambar IV.1** merupakan lokasi-lokasi stasiun Waduk Saguling, **Tabel IV.1** merupakan data kedalaman perairan Waduk Saguling, dan **Tabel IV.2** merupakan data morfologi Waduk Saguling.

Tabel IV.1 Kedalaman Perairan Waduk Saguling

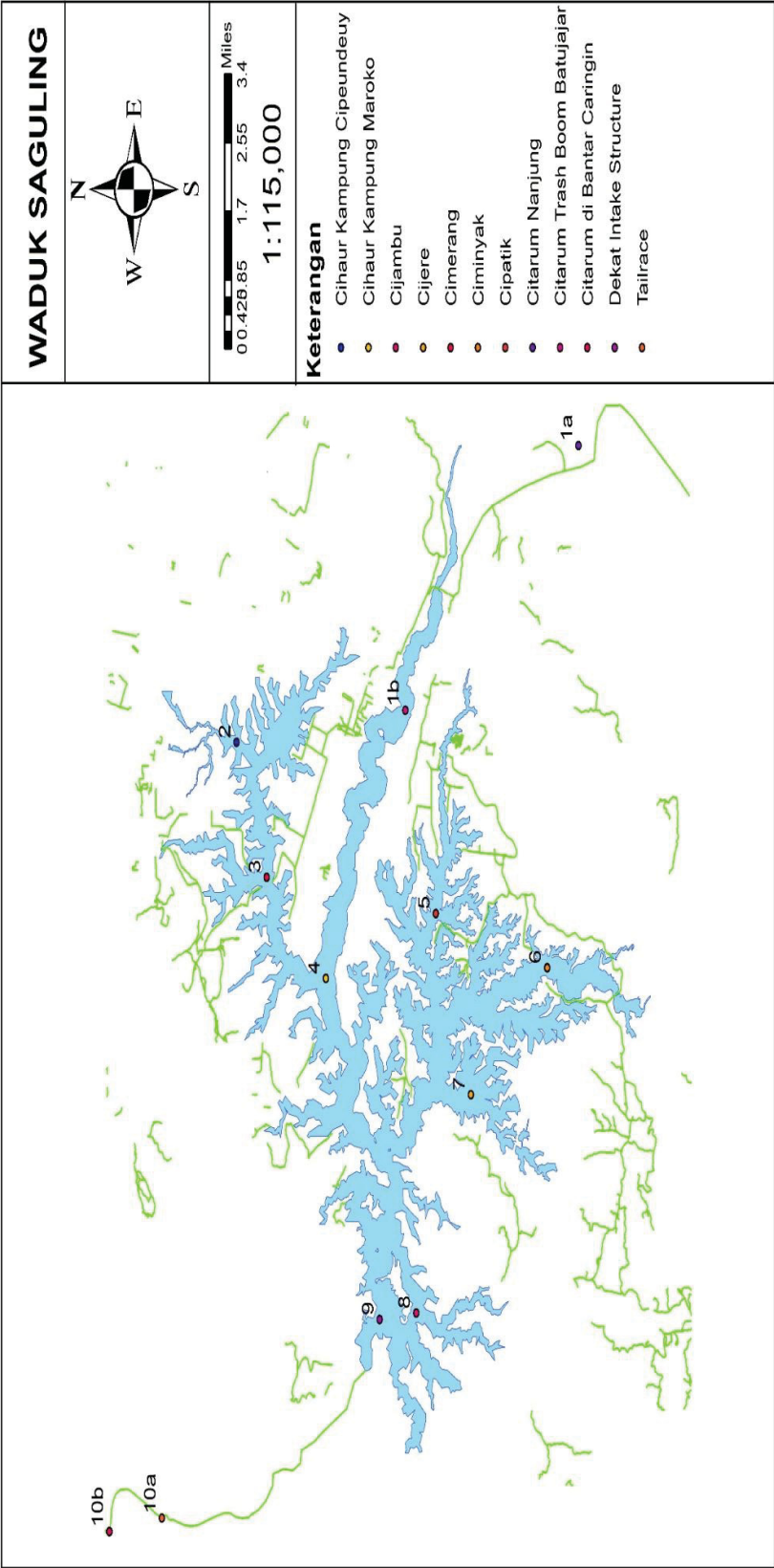
Stasiun	Kemarau	Hujan	Kedalaman (m)			
			Kemarau	Hujan	Kemarau	Hujan
	Permukaan		Tengah		Dekat Dasar	
1a	-0,2	-0,2	0	0	0	0
1b	-0,2	-0,2	-7	-5	-14	-10
2	-0,2	-0,2	-5	-5	-10	-10
3	-0,2	-0,2	-10	-8	-20	-17
4	-0,2	-0,2	-17	-14	-34	-28
5	-0,2	-0,2	-10	-7	-19	-14
6	-0,2	-0,2	-11	-8	-21	-16
7	-0,2	-0,2	-15	-12	-30	-25
8	-0,2	-0,2	-13	-11	-26	-22
9	-0,2	-0,2	-22	-16	-43	-32
10a	-0,2	-0,2	0	0	0	0
10b	-0,2	-0,2	0	0	0	0

Sumber: PT Indonesia Power, 2011-2020

Tabel IV.2 Data Hidromorfologi Waduk Saguling

No	Parameter	Satuan	Nilai
1	Luas waduk ($\pm 643 \text{ m}^2$)	ha	5.607
2	Panjang maksimal	km	18,4
3	Lebar rata-rata	km	3
4	Kedalaman maksimal	m	90
5	Kedalaman rata-rata	m	17,5
6	Panjang garis pantai	km	473
7	Volume maksimal	$\times 10^6 \text{ m}^3$	982

Sumber: Indonesia Power, 2020



Gambar IV.1 Lokasi-lokasi Stasiun Waduk Saguling (Indonesia Power, 2020)

IV.1.1 Stasiun 1A Citarum-Nanjung

Stasiun 1A berada pada koordinat E 107°32'10,7" dan S 06°56'29,8". Lokasi penelitian ini berada pada daerah Citarum-Nanjung. Kondisi lokasi penelitian berada di bawah jembatan yang di sekitar wilayah tersebut terdapat permukiman dan lintas kendaraan bermotor dan bermobil, serta terdapat industri pelapisan logam, tekstil, baterai/pelapis besi, dan lain-lain.

IV.1.2 Stasiun 1B Batujajar

Stasiun 1B berada pada koordinat E 107° 27'08,1" dan S 06° 54'29,1". Dimana aliran yang masuk merupakan aliran dari stasiun 1A. Kegiatan di lokasi dan sekitar stasiun 1B adalah keramba jaring apung, pariwisata, pertanian, dan terdapat banyak tanaman eceng gondok.

IV.1.3 Stasiun 2 Cihaur

Stasiun 2 Cihaur merupakan hilir Sungai Cihaur di Waduk Saguling dengan koordinat E 107° 28'29,2" dan S 06° 53'08,4". Sumber masukan di stasiun ini berbeda dengan stasiun 1A dan 1B karena berbeda aliran. Kegiatan di sekitar stasiun ini berupa keramba jaring apung, pertanian, dominasi tanaman eceng gondok yang melimpah di permukaan, serta terdapat industri tekstil yang dekat dengan perairan waduk yang membuang limbahnya ke badan air sehingga dapat mempengaruhi kualitas air tersebut.

IV.1.4 Stasiun 3 Cimerang

Stasiun Cimerang adalah aliran lanjutan dari stasiun 2. Stasiun ini merupakan titik pertemuan antara Sungai Cihaur dengan Sungai Cimerang di Waduk Saguling dengan koordinat E 107° 27'12,6" dan S 06° 53'13,4". Kegiatan di stasiun ini didominasi oleh keramba jaring apung, berada di sekitar daerah perumahan Kota Baru, dan terdapat banyak tanaman eceng gondok.

IV.1.5 Stasiun 4 Muara Cihaur

Stasiun 4 Muara Cihaur terletak di Muara Maroko dengan koordinat E 107° 25'59,6" dan S 06° 54'13,8". Sumber pencemar di stasiun ini berasal dari

stasiun 3, kegiatan keramba jaring apung, dan pariwisata. Stasiun 4 menjadi pintu masuk air dari sungai Citarum ke Waduk Saguling. Perairan di stasiun ini masih dipengaruhi langsung oleh sumber air dari Sungai Citarum yang telah mengalami pencemaran akibat kegiatan di sekitarnya.

IV.1.6 Stasiun 5 Muara Cipatik

Stasiun 5 Muara Cipatik dengan koordinat E 107° 27'28,9" dan S 06° 56'09,4" merupakan titik dimana daerah Cililin dianggap sebagai sumber pencemar oleh limbah pertanian, domestik, pariwisata, dan didominasi oleh kegiatan keramba jaring apung.

IV.1.7 Stasiun 6 Muara Ciminyak

Stasiun 6 Muara Ciminyak dengan koordinat E 107° 26'05,0" dan S 06° 57'19,8" merupakan sumber aliran yang berbeda dengan stasiun sebelumnya. Stasiun ini merupakan titik dimana aliran Sungai Ciminyak dianggap sebagai sumber pencemar yang berasal dari limbah pertanian dan didominasi oleh kegiatan keramba jaring apung.

IV.1.8 Stasiun 7 Muara Cijere

Stasiun 7 Muara Cijere dengan koordinat E 107° 24'51,19" dan S 06° 56'11,2" merupakan sumber aliran yang berbeda dengan stasiun sebelumnya. Stasiun 7 adalah titik dimana aliran Sungai Cijere dianggap sumber pencemar yang berasal dari limbah pertanian, domestik warga sekitar, dan kegiatan keramba jaring apung.

IV.1.9 Stasiun 8 Muara Cijambu dan Stasiun 9 *Intake Structure*

Stasiun 8 Muara Cijambu dengan koordinat E 107° 22'23,5" dan S 06° 56'04,5" merupakan titik dimana aliran Sungai Cijambu dianggap sumber pencemar yang berasal dari limbah kegiatan antropogenik dan kegiatan keramba jaring apung.

Stasiun 9 *Intake Structure* dengan koordinat E 107° 22'25,9" dan S 06° 54'55,0". Kegiatan di sekitar stasiun ini adalah pertanian, keramba jaring apung, dan lalu lintas yang cukup tinggi.

IV.1.10 Stasiun 10A *Tailrace* dan Stasiun 10B Bantar Caringin

Stasiun 10A *Tailrace* merupakan *outlet* Sungai Citarum Hulu dengan koordinat E 107° 20'57,0" dan S 06° 51'49,8" dengan aliran yang berasal dari stasiun 9. Stasiun 10A ini berada di sekitar perumahan warga setempat.

Stasiun 10B Bantar Caringin juga merupakan *outlet* Sungai Citarum Hulu dengan koordinat E 107° 20'58,0" dan S 06° 51'10,8". Stasiun 10B ini adalah lanjutan dari aliran stasiun sebelumnya dan berada di sekitar perumahan warga setempat yang membuang langsung limbah domestiknya ke Sungai Bantar Caringin.

IV.2 Kuantitas Air Waduk Saguling

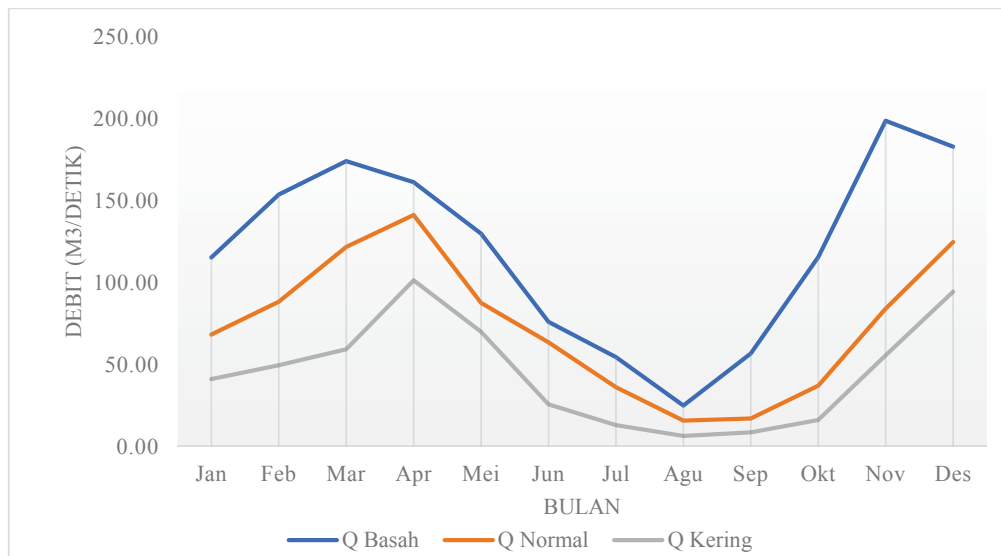
IV.2.1 Debit Waduk Saguling

Debit andalan adalah debit eksisting yang dimiliki suatu DAS. Perhitungan debit andalan Waduk Saguling dihitung dengan menggunakan probabilitas Weibull dari data historik Waduk Saguling, hal ini karena data yang dimiliki memiliki stasiun pengukuran *time series* yang cukup panjang. Analisis kuantitas air Waduk Saguling dilakukan dengan menggunakan metode historis (kontinyu) dan diskrit markov. Diskrit markov dilakukan dengan menggolongkan debit ke dalam 3 kelas debit, yaitu kering, normal, dan basah yang diurutkan mulai dari data debit yang terbesar hingga yang terkecil. Debit diklasifikasikan dari debit input bulanan historis tahun 2012-2020. Debit rerata diskrit berdasarkan kondisi debitnya pada **Tabel IV.3** untuk tahun kering, normal, dan basah (3 kelas).

Tabel IV.3 Debit Rerata Diskrit Waduk Saguling Tahun 2012-2020 (m³/detik)

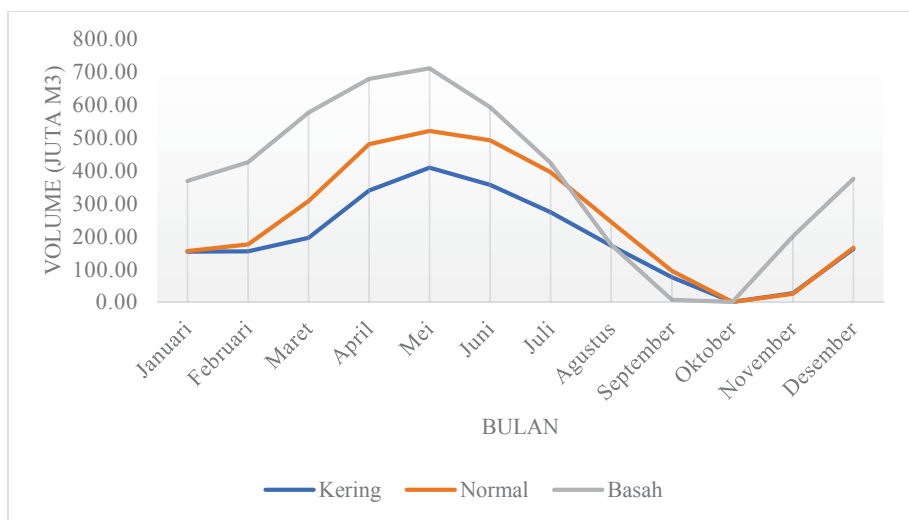
Debit Rerata	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des	Rata-Rata
Basah	115,17	153,41	173,86	161,00	129,51	75,71	54,36	24,76	56,49	115,33	198,39	182,68	120,06
Normal	68,12	88,10	121,48	140,99	87,31	63,39	35,93	15,62	16,93	36,86	83,87	124,42	73,58
Kering	40,96	49,32	59,10	101,12	69,79	25,41	12,83	6,18	8,33	15,95	55,46	94,22	44,89

Dapat dilihat pada **Tabel IV.3** bahwa nilai rata-rata debit paling tinggi berada pada debit tahun basah, normal, dan kering dengan nilai masing-masing adalah 120,06 m³/detik, 73,58 m³/detik, dan 44,89 m³/detik. Data debit tahunan 3 kelas selanjutnya dibuat dalam grafik debit yang ditunjukkan pada **Gambar IV.2**.



Gambar IV.2 Debit Rerata Diskrit Waduk Saguling Tahun 2012-2020

Berdasarkan **Gambar IV.2**, didapatkan bahwa debit input bulanan Waduk Saguling pada tahun kering (3 kelas) memiliki karakteristik yang analog. Adanya pengaturan dan klasifikasi debit Waduk Saguling mempengaruhi kondisi lintasan pedoman Waduk Saguling (volume) berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2010. Jalur lintasan Waduk Saguling berdasarkan klasifikasi tahun 3 kelas pada **Gambar IV.3**.



Gambar IV.3 Jalur Lintasan Pedoman Waduk Saguling Bulan Kering, Normal, dan Basah (3 Kelas) Tahun 2012-2020

Berdasarkan **Gambar IV.3** terdapat fluktuasi volume air Waduk Saguling, dimana titik terendah terjadi pada bulan September-November. Selain itu terdapat perbedaan besaran volume pada masing-masing kelas sehingga analisis kualitas air perlu memperhatikan kondisi volume waduk beserta klasifikasi tahun debit yang sesuai yaitu pada klasifikasi tahun (3 kelas) yang analog.

Analisis debit input dengan diskrit Markov pada penelitian ini menghasilkan tiga kelas yang terdiri dari tahun kering, tahun normal, dan tahun basah. Hasil klasifikasi 3 kelas dapat dilihat pada **Tabel IV.4**.

Tabel IV.4 Klasifikasi Tahun berdasarkan Debit Input Diskrit Waduk Saguling Tahun 2012-2020

Klasifikasi Kelas Diskrit Markov (2012-2020)		
Tahun Kering	Tahun Normal	Tahun Basah
2018	2015	2012
2019	2016	2013
2020	2017	2014

IV.2.2 Adaptasi dan Mitigasi

Perubahan iklim atau cuaca mempengaruhi variable siklus hidrologi di sector bagian atas muka tanah: terutama curah hujan (P). Setelah sampai di permukaan tanah, hujan terdistribusi, fungsi tutupan lahan terinfiltrasi dalam tanah, setelah jenuh maka terjadi limpasan air permukaan. Seiring dampak perubahan iklim terhadap komponen siklus hidrologi dan keberlanjutan sumber air, respon dilakukan dengan dua langkah utama, yaitu adaptasi dan mitigasi.

Adaptasi didasarkan pada ketidakpastian besaran hujan & debit air dalam proses waktu, mengantar para ahli hidrologi dan manajemen sumber air untuk melakukan proses penyesuaian dengan memperhatikan risiko ekonomi fungsi infrastruktur sumber air berdasarkan pada pentingnya fungsi utilitas kawasan terbangun, dengan membangun konsep debit rencana banjir/kekeringan.

Mitigasi adalah upaya mempertahankan keberlanjutan sumber air di daerah aliran sungai. Bentuk konkrit upaya mitigasi terhadap pengendalian air (kuantitas/kualitas) secara *undirect*: penerbitan peraturan atau Undang-Undang pengendalian limpasan atau pencemaran air dan *direct*: insentif dan disentif.

Upaya ini dapat dilakukan dengan perencanaan tata ruang: seperti Keputusan Presiden Nomor 114 Tahun 1999 (Kawasan Konservasi Bopuncur), Undang-Undang Kehutanan Nomor 41 Tahun 1999, pengendalian sumber air berkelanjutan melalui dua cara (Sabar, 2009):

1. *Undirect* (tak langsung): Undang-Undang & Peraturan terkait pengendalian lingkungan air.
 - Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang
 - Undang-Undang Nomor 7 Tahun 2004 tentang Sumber Daya Air
 - Undang-Undang Kehutanan Nomor 41 Tahun 1999 Pasal 18 Ayat 2 yang menyatakan bahwa : ‘..... luas hutan suatu DAS minimal 30% dengan sebaran yang proporsional’.
 - Undang-Undang Lingkungan Hidup / PP Amdal
 - Peraturan Pemerintah Nomor 16 Tahun 2005 tentang Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum
 - Keputusan Presiden Nomor 114 Tahun 1999 tentang Kawasan Konservasi Air dan Tanah Bopuncur
 - SK Gubernur Jawa Barat Nomor 191.1/SK.1624-Bapp/1982. Kawasan Konservasi Air Wilayah Inti Bandung Raya Bagian Utara
 - Sumur resapan di perkarangan rumah (SNI T-06-1990-F)
2. *Direct* (langsung): Insentif dan disentif

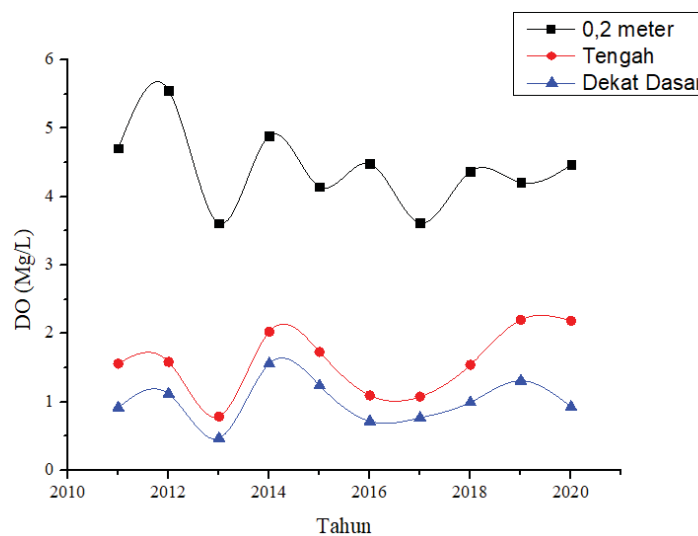
IV.3 Kualitas Air Waduk Saguling

IV.3.1 Oksigen Terlarut

DO merupakan salah satu parameter penentu kualitas badan air. Sumber oksigen terlarut pada perairan dapat berasal dari difusi udara dan fotosintesis. Oksigen terlarut dalam badan air juga dapat mencegah terjadinya reduksi anaerobik dari

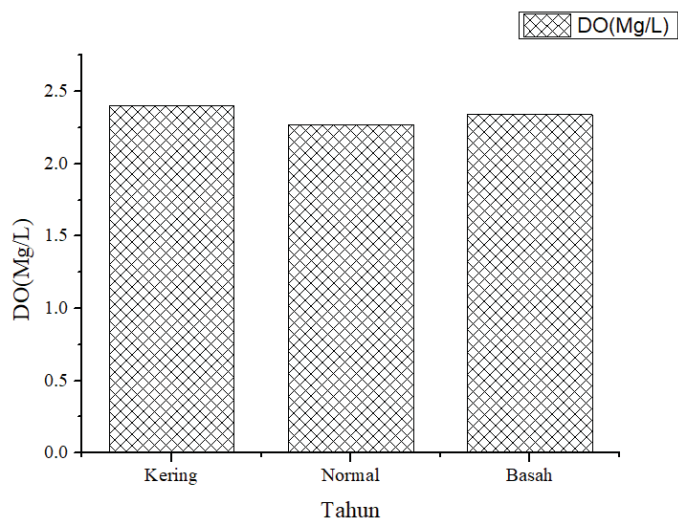
sulfat terlarut menjadi H_2S (Isnaini, 2011). Tren konsentrasi oksigen terlarut pada badan air Waduk Saguling selama 10 tahun terakhir (2011-2020) dapat dilihat pada **Gambar IV.4**.

Berdasarkan **Gambar IV.5** tren konsentrasi DO pada tiga kedalaman dalam 10 tahun terakhir berfluktuatif. Konsentrasi terendah pada kedalaman 0,2 meter, tengah, dan dekat dasar berada pada tahun 2013 yaitu berturut-turut sebesar 3,61 mg/L, 0,78 mg/L, dan 0,47 mg/L. Nilai DO tertinggi berada pada kedalaman permukaan yaitu pada tahun 2012 dengan konsentrasi rata-rata DO 5,56 mg/L dan konsentrasi terendah pada kedalaman dekat dasar tahun 2013 dengan nilai rata-rata 0,47 mg/L.

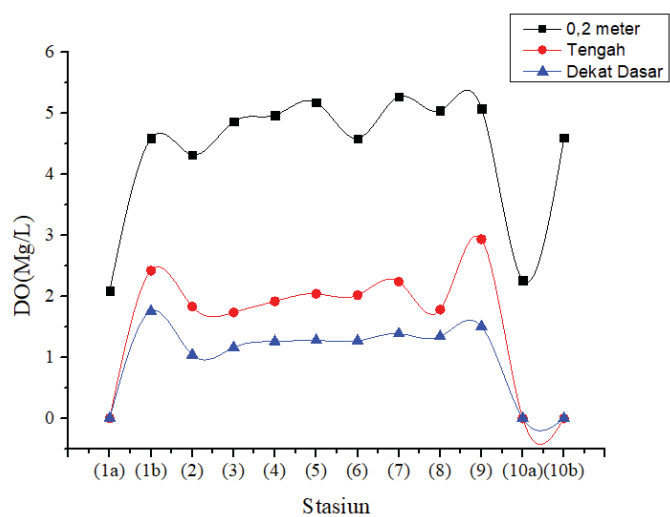


Gambar IV.4 Tren Konsentrasi Oksigen Terlarut

Jika dilihat pada **Gambar IV.5** konsentrasi tertinggi berada pada tahun kering, hal ini bisa disebabkan karena pada tahun kering memiliki cahaya matahari yang cukup banyak dibanding dengan tahun basah. Pada tahun basah kemungkinan memiliki cahaya matahari yang lebih gelap atau cuaca mendung menyebabkan fotosintesis tidak berjalan dengan baik sehingga oksigen yang dihasilkan lebih sedikit. Menurut Effendi (2003) berfluktuasinya kadar oksigen terlarut dalam air baik secara harian atau musiman tergantung pada pencampuran (*mixing*) dan pergerakan (turbulensi) massa air serta aktivitas fotosintesis yang berlangsung.



Gambar IV.5 Tren Konsentrasi Oksigen Terlarut Tahun Kering, Normal, dan Basah



Gambar IV.6 Konsentrasi Oksigen Terlarut per Stasiun

Rata-rata konsentrasi DO pada kedalaman 0,2 meter memenuhi baku mutu kecuali pada stasiun 1a dan 10a tidak memenuhi, sedangkan pada kedalaman tengah dan dekat dasar tidak memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup kriteria mutu kelas II tidak memenuhi standar baku mutu yang telah ditetapkan yaitu 4 mg/L.

Tingginya konsentrasi oksigen terlarut pada kedalaman 0,2 meter dikarenakan pada kedalaman tersebut masih merupakan lapisan epilimnion, dimana lapisan ini masih mendapat cukup cahaya matahari sehingga oksigen diperoleh dari difusi oksigen yang terdapat di atmosfer dan hasil sampingan dari aktivitas fotosintesis. Pada proses fotosintesis, karbondioksida direduksi menjadi karbohidrat dan air mengalami dehidrogenasi menjadi oksigen, seperti yang ditunjukkan dalam persamaan reaksi (IV.1). Rendahnya konsentrasi oksigen terlarut pada kedalaman tengah dan kedalaman dekat dasar disebabkan karena pada lapisan tersebut termasuk lapisan hipolimnion, dimana pada lapisan ini intensitas cahaya yang diterima sangat kecil atau bahkan tidak ada cahaya. Pada zona ini, aktivitas respirasi dan dekomposisi dominan, sedangkan aktivitas fotosintesis sudah tidak ada. Jumlah oksigen terlarut sangat sedikit atau terbentuk suasana anoksik, namun kadar karbondioksida tinggi. Besarnya penetrasi cahaya dan kedalaman yang berada pada badan air saling berkaitan satu sama lain. Dimana semakin tinggi kedalaman suatu badan air, maka cahaya yang diterima akan semakin sedikit (Tebbut, 1992 dalam Effendi 2003).



Gambar IV.7 Konsentrasi Oksigen Terlarut Inlet, Perairan, dan Outlet

Berdasarkan grafik pada **Gambar IV.7** daerah inlet berada pada stasiun 1a dan 1b, daerah perairan berada pada stasiun 4, 5, 6, dan 7, sedangkan daerah outlet

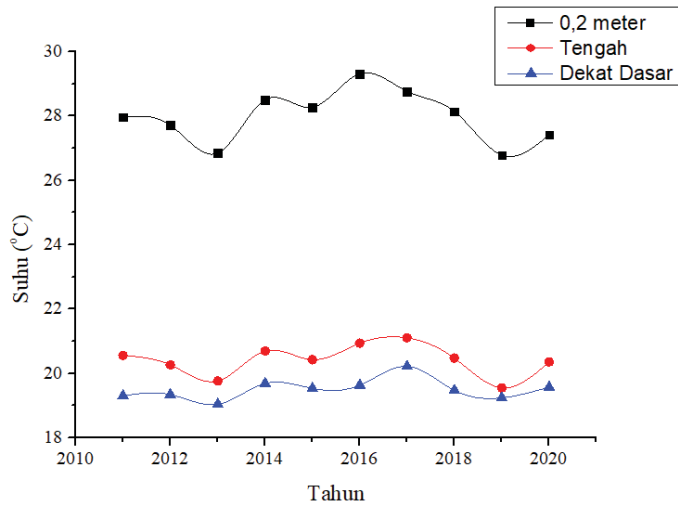
berada pada stasiun 10a dan 10b. Dapat dilihat bahwa konsentrasi oksigen terlarut paling rendah berada pada lokasi pemantauan di inlet yaitu 2,5 mg/L, perairan sebesar 2,8 mg/L, dan outlet sebesar 3,5 mg/L. Nilai DO tertinggi berada pada outlet yang menunjukkan bahwa kualitas air di lokasi tersebut lebih baik dari lokasi pemantauan yang lain. Hal ini disebabkan karena pada lokasi outlet tidak ada keramba jaring apung, maupun industri yang bisa menyebabkan tingginya pencemaran. Rendahnya konsentrasi DO pada inlet dan perairan Waduk Saguling karena pada lokasi ini terdapat KJA, kegiatan domestik, pertanian, perkebunan, dan industri yang cukup banyak, khususnya industri tekstil.

Jika dibandingkan dengan baku mutu PP No 22 Tahun 2021 untuk kelas II minimal nilai DO yang harus ada yaitu sebesar 4 mg/L, maka untuk daerah inlet, perairan, dan outlet tidak memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan karena nilainya di bawah 4 mg/L.

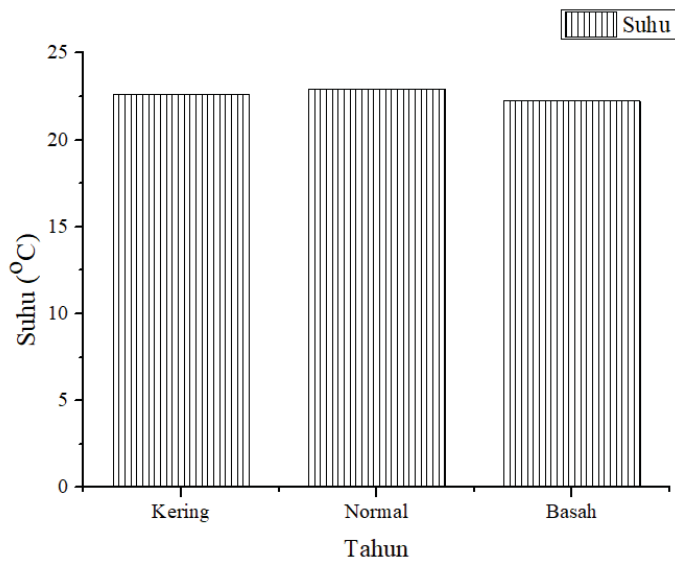
IV.3.2 Suhu

Suhu merupakan parameter fisika yang berperan dalam mengendalikan kondisi ekosistem perairan. Berdasarkan **Gambar IV.8** dapat dilihat tren nilai suhu di perairan Waduk Saguling selama 10 tahun terakhir (2011-2020). Nilai suhu pada kedalaman 0,2 meter selama 10 tahun terakhir berkisar antara 26-29°C. Nilai suhu pada setiap stasiun selama 10 tahun terakhir masih berada pada rentang yang dipersyaratkan. Jika dibandingkan dengan baku mutu PP 22 Tahun 2021 Kelas II berkisar $\pm 3^{\circ}\text{C}$ dari suhu normal (25°C) maka nilai suhu pada kedalaman 0,2 meter masih memenuhi baku mutu. Berbeda dengan nilai suhu di kedalaman tengah dan dekat dasar yang memiliki nilai di bawah 26°C yang artinya tidak memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan.

Berdasarkan grafik pada **Gambar IV.9** nilai suhu tertinggi berturut-turut berada pada tahun normal, kering, dan basah dengan nilai masing-masing $22,92^{\circ}\text{C}$, $22,63^{\circ}\text{C}$, dan $22,23^{\circ}\text{C}$. Rendahnya nilai suhu pada tahun basah disebabkan karena intensitas cahaya matahari yang diserap sedikit sehingga suhunya lebih rendah.

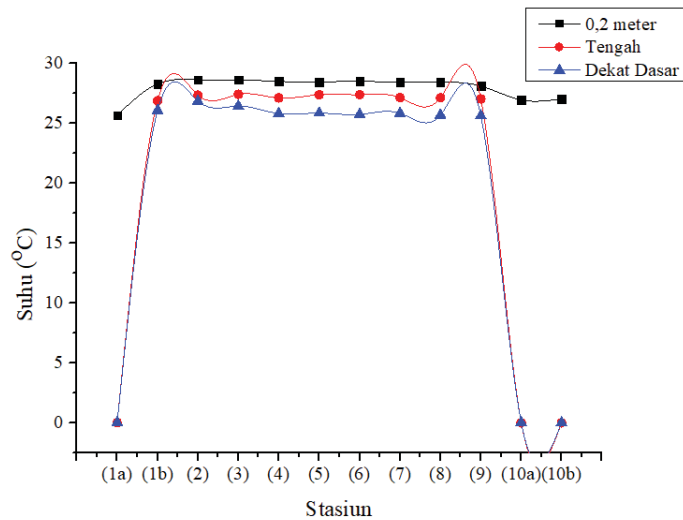


Gambar IV.8 Tren Nilai Suhu

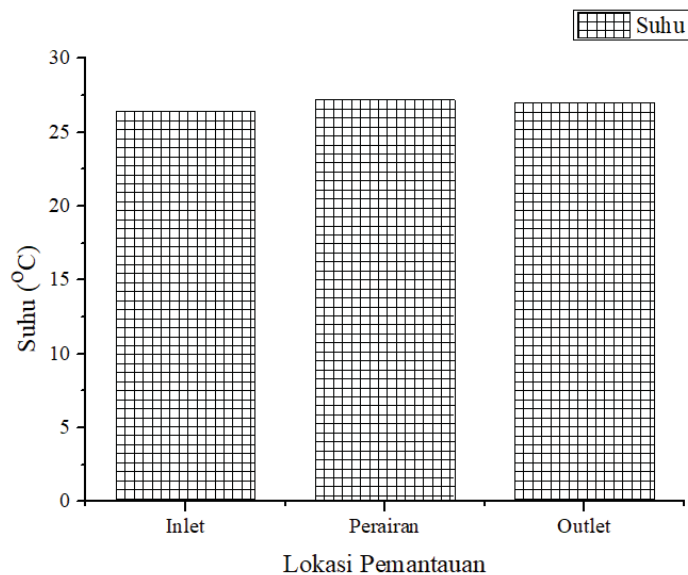


Gambar IV.9 Nilai Suhu Tahun Kering, Normal, dan Basah

Pada kedalaman 0,2 meter merupakan bagian permukaan perairan (epilimnion) yang hangat, dengan suhu relatif konstan atau perubahan suhu secara vertikal sangat kecil. Seluruh massa air pada mintakat ini tercampur dengan baik karena adanya angin dan gelombang. Sedangkan pada kedalaman tengah dan kedalaman dekat dasar atau hipolimnion, suhu pada air lebih dingin, ditandai oleh perbedaan suhu secara vertikal yang relatif kecil. Massa air pada lapisan ini bersifat stagnan, tidak mengalami pencampuran dan memiliki densitas yang lebih besar (Effendi, 2003).



Gambar IV.10 Nilai Suhu per Stasiun



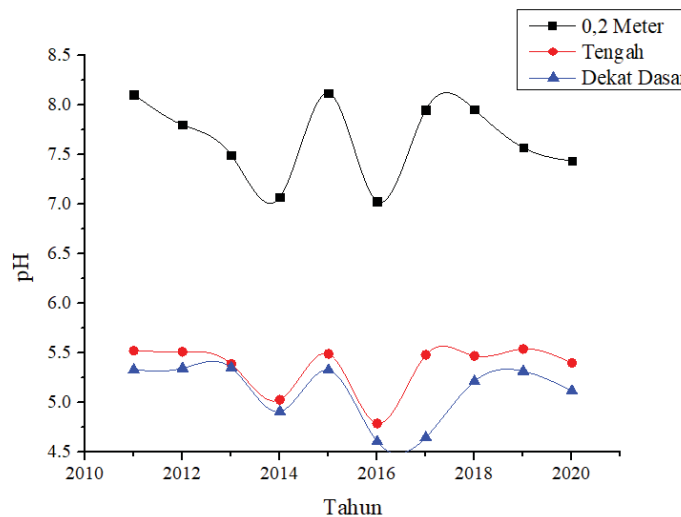
Gambar IV.11 Nilai Suhu Inlet, Perairan, dan Outlet

Dapat dilihat pada **Gambar IV.11** daerah inlet berada pada stasiun 1a dan 1b, daerah perairan berada pada stasiun 4, 5, 6, dan 7, sedangkan daerah outlet berada pada stasiun 10a dan 10b. Nilai suhu pada inlet, perairan, dan outlet berfluktuatif. Perubahan suhu pada masing-masing lokasi pemantauan menyebabkan pola sirkulasi yang khas yang mempengaruhi kehidupan akuatik (Odum, 1993). Suhu berperan dalam mengendalikan ekosistem perairan. Tingginya nilai suhu pada perairan Waduk Saguling menyebabkan terjadinya peningkatan dekomposisi

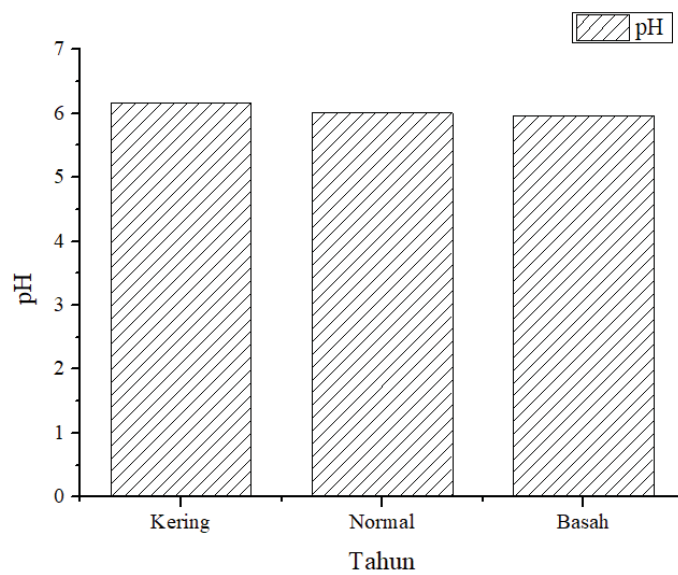
bahan organik oleh mikroba (Effendi, 2003). Peningkatan suhu ini menyebabkan peningkatan kecepatan metabolisme dan respirasi organisme air. Hal tersebut mengakibatkan peningkatan konsumsi oksigen. Peningkatan suhu juga menyebabkan penurunan kelarutan gas dalam air, misalnya oksigen, karbondioksida, nitrogen, dan metana (Haslam, 1995).

IV.3.3 pH

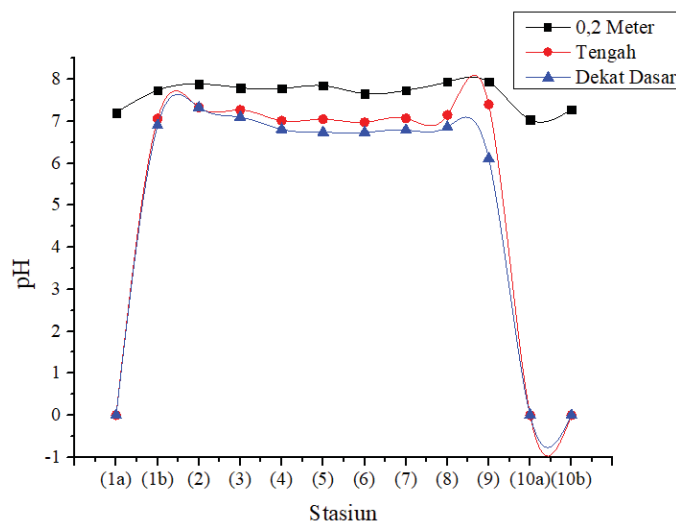
Nilai pH dimanfaatkan untuk menentukan indeks pencemaran air dengan melihat tingkat keasaman atau kebasaan air. Parameter pH pada suatu badan air mempunyai peran yang penting, menurut Effendi (2003) pH dapat mempengaruhi proses biokimiawi perairan dan mempengaruhi toksisitas suatu senyawa kimia. Berdasarkan **Gambar IV.12**, nilai pH pada perairan Waduk Saguling selama 10 tahun terakhir (2011-2020) untuk kedalaman tengah dan dekat dasar telah berada diluar rentang pH yang dipersyaratkan berdasarkan PP 22 Tahun 2021 Kelas II yaitu 6-9. Berdasarkan grafik pada **Gambar IV.13** nilai pH tertinggi berturut-turut berada pada tahun kering, normal, dan basah dengan nilai masing-masing 6,17, 6,01, dan 5,96. Sedangkan nilai pH untuk seluruh stasiun pengamatan selama 10 tahun terakhir masih berada dalam rentang pH yang dipersyaratkan.



Gambar IV.12 Tren Nilai pH



Gambar IV.13 Nilai pH Tahun Kering, Normal, dan Basah

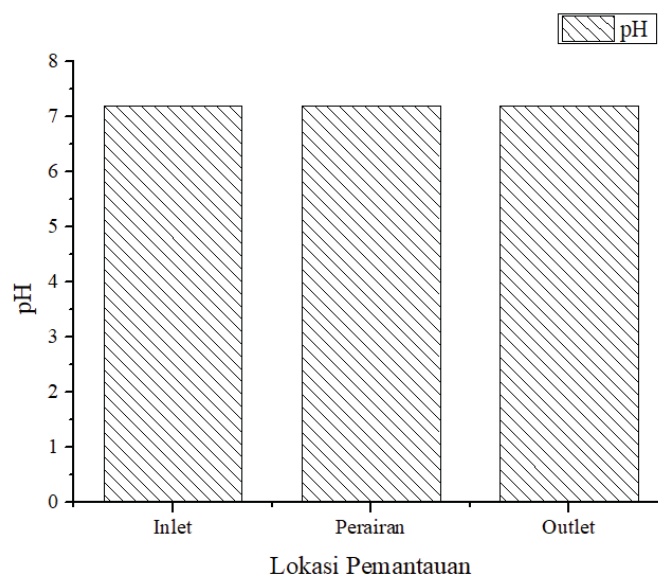


Gambar IV.14 Nilai pH per Stasiun

Pada kedalaman 0,2 meter merupakan lapisan epilimnion yang merupakan lapisan yang paling produktif. Dimana pada lapisan ini mendapat pasokan cahaya matahari yang cukup sehingga proses fotosintesis berlangsung secara optimum. Adanya respirasi dan proses dekomposisi dapat menurunkan nilai pH. Seperti konsentrasi oksigen terlarut, pH dapat berubah berdasarkan kedalaman akibat dari perubahan fotosintesis dan reaksi kimia lainnya. Dari aktivitas biologi ini

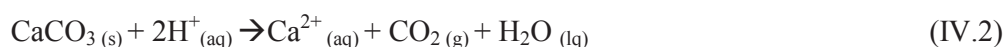
mengandung banyak gas metana dan karbondioksida, namun kadar hidrogen dalam wilayah ini juga tinggi sehingga pH air rendah karena keberadaan asam karbonat (Effendi, 2003).

Nilai pH pada badan air Waduk Saguling mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kedalaman, seperti halnya menurut (Sinaga, 2016) dimana bahwa secara umum nilai pH mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kedalaman suatu perairan. Nilai pH yang semakin menurun pada bagian dasar disebabkan karena meningkatnya aktivitas mikroba untuk menguraikan bahan organik sehingga DO menurun dan CO₂ meningkat (Sastrawijya, 2000).



Gambar IV.15 Nilai pH Inlet, Perairan, dan Outlet

Daerah inlet berada pada stasiun 1a dan 1b, daerah perairan berada pada stasiun 4, 5, 6, dan 7, sedangkan daerah outlet berada pada stasiun 10a dan 10b. Nilai pH pada inlet, perairan, dan outlet Waduk Saguling tidak mengalami fluktuasi yang tinggi. Hal ini disebabkan karena daerah Waduk Saguling merupakan daerah yang mengandung banyak kapur (CaCO₃), sehingga diperkirakan mempunyai nilai alkalinitas yang tinggi (Nugroho, 2008). Hal ini sesuai dengan pernyataan Effendi (2003) bahwa alkalinitas berperan sebagai sistem penyangga (*buffer*) agar perubahan pH tidak terlalu besar. Reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut:

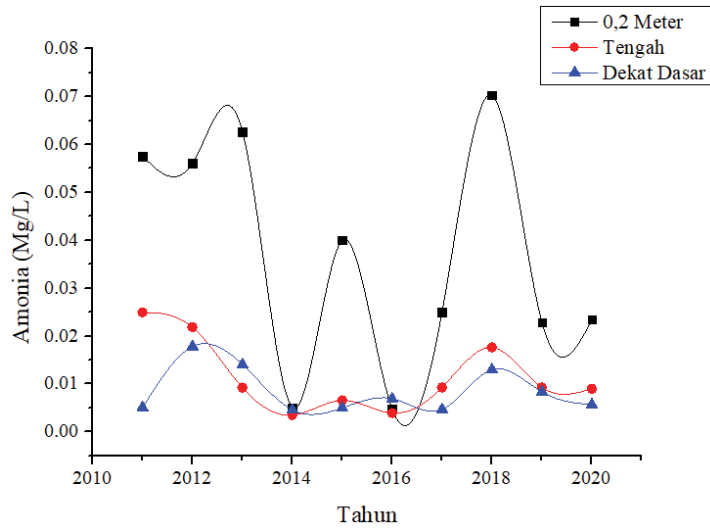


Organisme akuatik seperti ikan dapat hidup dalam suatu perairan dengan nilai pH netral, karena kondisi perairan yang bersifat asam atau basa dapat membahayakan kehidupan organisme akuatik, pH netral pada akuatik berkisar antara 7-8,5. pH yang rendah akan membuat mobilitas logam berat semakin tinggi, sedangkan pH yang tinggi akan menyebabkan konsentrasi ammonia akan sangat toksik bagi organisme (Barus, 2001) dalam (Widhiastuti, 2008).

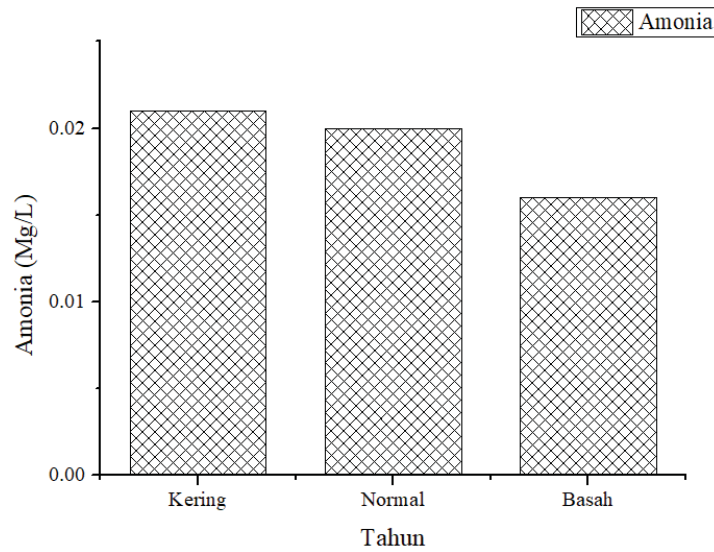
IV.3.4 Amonia (NH_3)

Tren konsentrasi ammonia jika dilihat pada **Gambar IV.16** cenderung menurun dan seluruh stasiun selama 10 tahun terakhir masih memenuhi baku mutu berdasarkan PP 22 Tahun 2021 kelas II yaitu 0,2 mg/L. Tingginya konsentrasi ammonia pada perairan Waduk Saguling disebabkan karena di sekitar waduk terdapat pertanian, keramba jaring apung, dan lalu lintas yang cukup tinggi.

Sumber amonia di perairan adalah pemecahan nitrogen organik (protein dan urea) dan nitrogen anorganik yang terdapat di dalam tanah dan air, yang berasal dari dekomposisi bahan organik oleh mikroba dan jamur. Selain terdapat dalam bentuk gas, ammonia membentuk kompleks dengan beberapa ion logam. Ammonia juga dapat terserap ke dalam bahan-bahan tersuspensi dan koloid sehingga mengendap di dasar perairan. Ammonia di perairan dapat menghilang melalui proses volatilisasi karena tekanan parsial ammonia dalam larutan meningkat dengan semakin meningkatnya pH. Hilangnya ammonia ke atmosfer juga dapat meningkat dengan meningkatnya kecepatan angin dan suhu (Effendi, 2003).

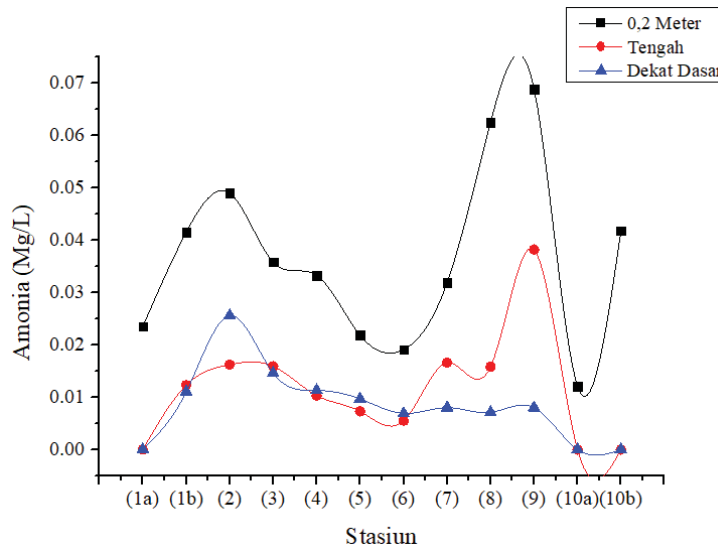


Gambar IV.16 Tren Konsentrasi Amonia



Gambar IV.17 Konsentrasi Amonia pada Tahun Kering, Normal, dan Basah

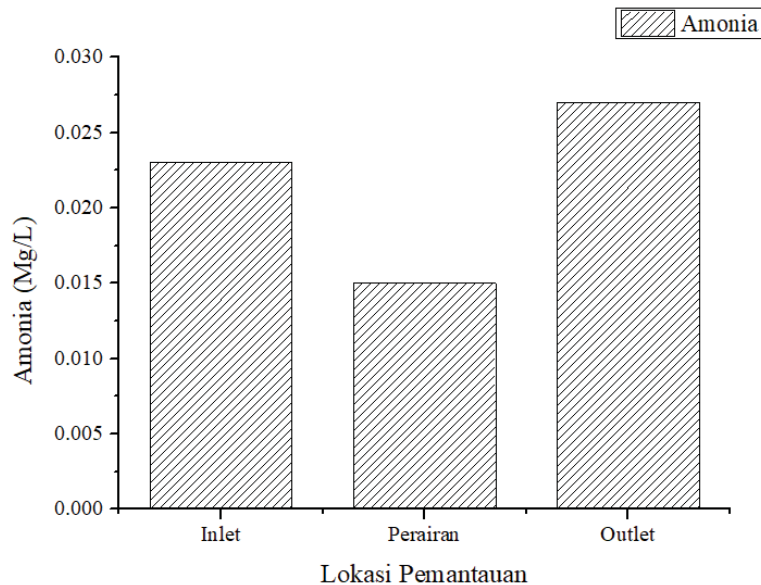
Berdasarkan grafik pada **Gambar IV.17** konsentrasi amonia tertinggi berturut-turut berada pada tahun kering, normal, dan basah dengan nilai masing-masing 0,021 mg/L, 0,020 mg/L, dan 0,016 mg/L.



Gambar IV.18 Konsentrasi Amonia per Stasiun

Konsentrasi ammonia untuk setiap stasiun berfluktuatif. Berdasarkan **Gambar IV.18**, nilai ammonia memiliki pola, dimana semakin bertambahnya kedalaman konsentrasi ammonia menurun. Hal ini dikarenakan pH pada bagian permukaan lebih tinggi dari pH bagian tengah, dan dekat dasar, dimana nilai pH permukaan berkisar antara 7,82-8,13. Menurut Novotny dan Olem (1994) dalam Effendi (2003) menyatakan bahwa pada pH kurang dari 7 sebagian besar ammonia akan mengalami ionisasi, sedangkan pada pH diatas dari 7 ammonia tidak terionisasi yang bersifat toksik dan dihasilkan dalam jumlah lebih besar. Menurut Adiwilaga (2016) menyatakan bahwa NH_3 berkorelasi positif dengan nilai pH pada perairan.

Daerah inlet berada pada stasiun 1a dan 1b, daerah perairan berada pada stasiun 4, 5, 6, dan 7, sedangkan daerah outlet berada pada stasiun 10a dan 10b. Berdasarkan **Gambar IV.19** tingginya konsentrasi ammonia pada lokasi pemantauan outlet Waduk Saguling dikarenakan adanya akumulasi dari inlet dan perairan yang membawa sisa pakan ikan KJA, dan juga dapat berasal dari dekomposisi organik oleh mikroba. Effendi (2003) mengatakan bahwa sumber ammonia juga berasal dari limbah industri dan limpasan pupuk pertanian.



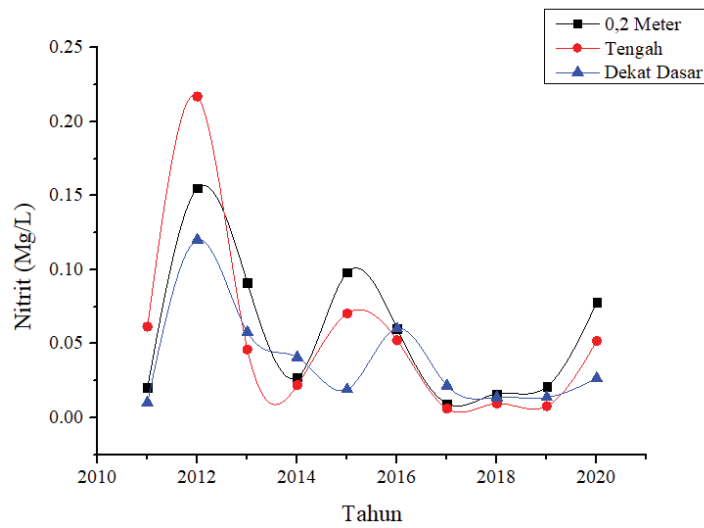
Gambar IV.19 Konsentrasi Amonia Inlet, Perairan, dan Outlet

Ammonia yang bersifat toksis merupakan salah satu parameter yang harus diperhatikan mengingat salah satu peruntukan perairan Waduk Saguling sebagai budidaya perikanan KJA. Ikan sendiri tidak dapat bertoleransi jika kadar ammonia pada air tinggi, karena keberadaan ammonia dapat mengganggu proses pengikatan oksigen oleh darah yang akhirnya dapat menyebabkan sufokasi. Kadar ammonia yang dapat ditoleransi oleh ikan tidak lebih dari 0,2 mg/L (Effendi, 2003). Kadar ammonia yang tinggi mengakibatkan peningkatan konsumsi oksigen, mengakibatkan kerusakan pada insang, dan menurunkan kapasitas transport oksigen oleh darah (Boyd, 1982).

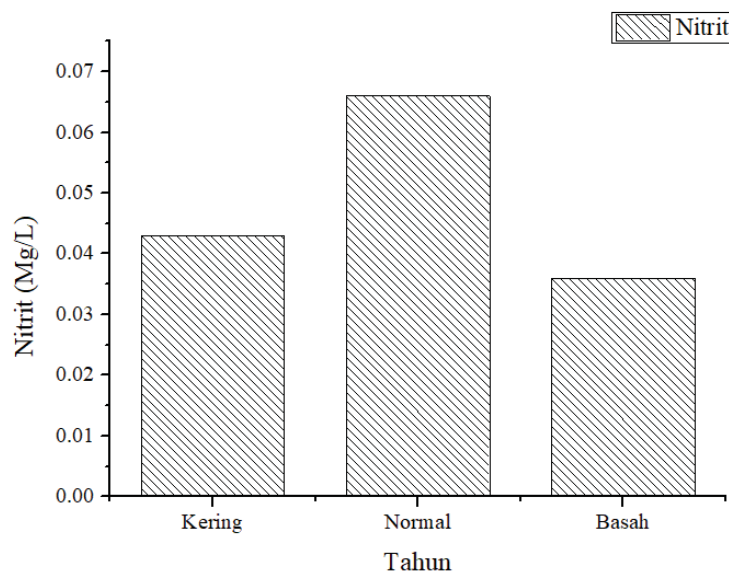
IV.3.5 Nitrit (NO_2) dan Nitrat (NO_3)

Nitrit merupakan zat nutrisi yang dibutuhkan oleh tumbuhan untuk tumbuh dan berkembang, namun nitrit merupakan senyawa nitrogen beracun yang biasanya ditemukan dalam jumlah yang sangat sedikit (Morganof, 2007). Nitrit merupakan bentuk peralihan antara ammonia dan nitrat serta nitrat dan gas nitrogen yang biasa dikenal dengan proses nitrifikasi dan denitrifikasi (Effendi, 2003). Nitrit (NO_2) biasanya ditemukan dalam jumlah yang sangat sedikit, lebih sedikit daripada nitrat, karena bersifat tidak stabil dengan keberadaan oksigen. Hal ini

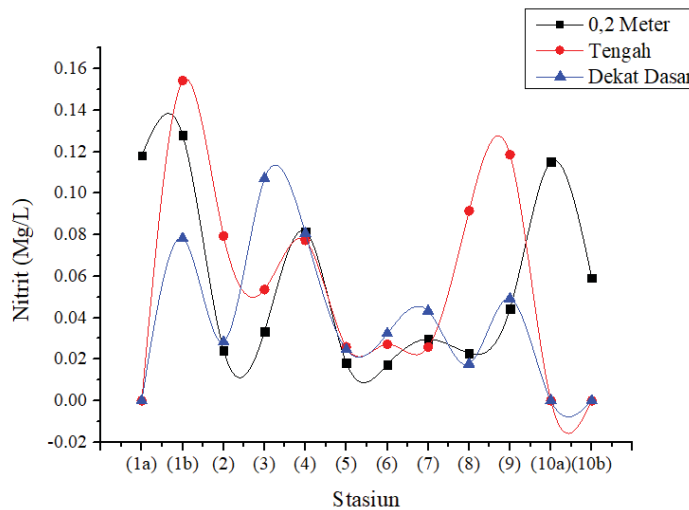
sesuai dengan pendapat Sawyer (2003) bahwa di perairan konsentrasi nitrit jarang yang melebihi 1 mg/L karena sifatnya yang tidak stabil. Berdasarkan **Gambar IV.20** dapat dilihat bahwa tren konsentrasi nitrit tertinggi berada pada tahun 2012 dan terendah berada pada tahun 2017. Pada **Gambar IV.21** dapat dilihat konsentrasi nitrit tertinggi berturut-turut berada pada tahun normal, kering, dan basah dengan nilai masing-masing 0,066, 0,043 mg/L, dan 0,036 mg/L.



Gambar IV.20 Tren Konsentrasi Nitrit

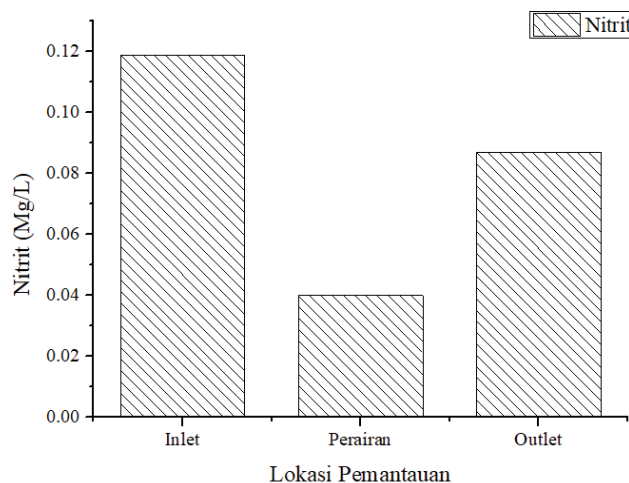


Gambar IV.21 Konsentrasi Nitrit pada Tahun Kering, Normal, dan Basah



Gambar IV.22 Konsentrasi Nitrit per Stasiun

Daerah inlet berada pada stasiun 1a dan 1b, daerah perairan berada pada stasiun 4, 5, 6, dan 7, sedangkan daerah outlet berada pada stasiun 10a dan 10b. Konsentrasi nitrit di inlet, perairan, dan outlet Waduk Saguling berfluktuatif dan semuanya di bawah 1 mg/L. Nilai nitrit tertinggi terletak pada inlet, yaitu stasiun 1a dan 1b, serta nilai terendah terletak pada wilayah perairan. Pada wilayah inlet memiliki nilai yang tinggi karena berhubungan dengan bahan organik yang berasal dari KJA serta kondisi aliran sungai yang dekat dengan aktivitas penduduk. Konsentrasi nitrit yang cenderung menurun ke arah tengah waduk menunjukkan masa tinggal air dalam waduk yang tinggi karena letak outlet jauh dari inlet.

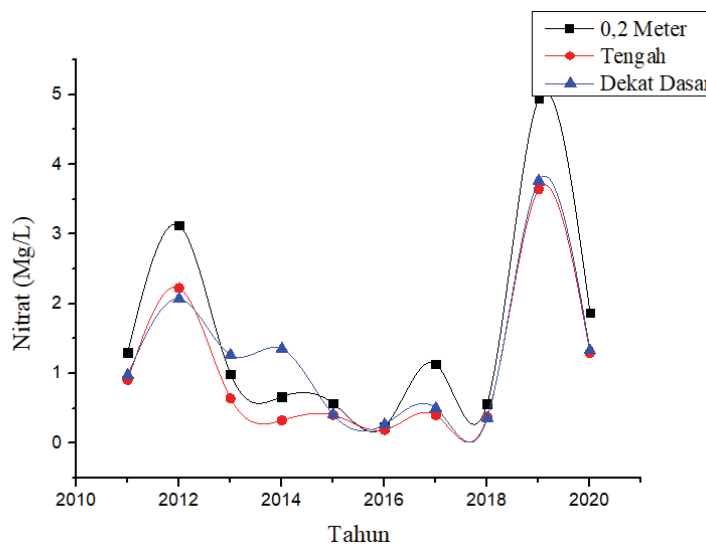


Gambar IV.23 Konsentrasi Nitrit Inlet, Perairan, dan Outlet

Pada perairan, konsentrasi nitrit dijumpai dalam konsentrasi yang lebih rendah dari konsentrasi nitrat. Hal ini disebabkan karena bentuk senyawa nitrit yang bersifat tidak stabil dan akan segera teroksidasi jika kandungan oksigen terlarut mencukupi. Konsentrasi nitrit yang tinggi akan sangat membahayakan kegiatan budidaya. Ketika nitrit terabsorpsi oleh ikan akan diikat oleh hemoglobin darah, sehingga mengganggu penyerapan oksigen oleh hemoglobin (Boyd, 1982).

Menurut Effendi (2003), kadar nitrit pada perairan relatif kecil, lebih kecil daripada nitrat karena segera dioksidasi menjadi nitrat. Kadar nitrit lebih dari 0,05 mg/L dapat menyebabkan toksik bagi organisme perairan. Perairan alami mengandung nitrit sekitar 0,001 mg/L dan sebaiknya tidak melebihi 0,06 mg/L. Di perairan, kadar nitrit jarang melebihi 1 mg/L.

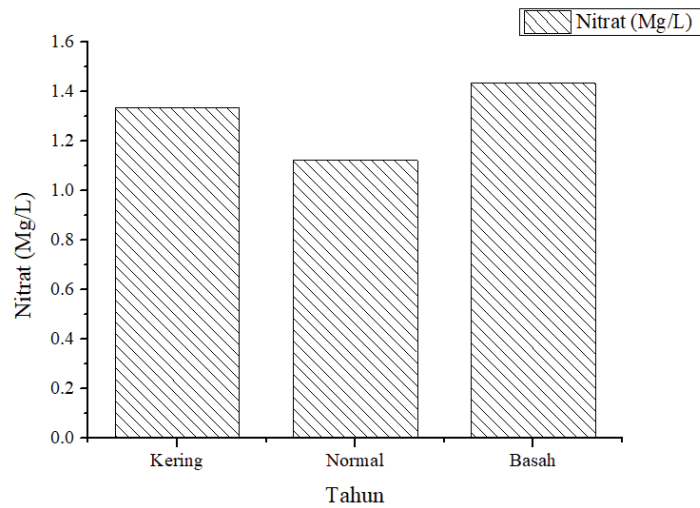
Nitrat adalah bentuk utama nitrogen di perairan alami dan merupakan sumber nutrisi utama bagi pertumbuhan fitoplankton dan tumbuhan air lainnya. Keberadaan senyawa nitrat di perairan sangat dipengaruhi oleh buangan yang berasal dari industri, pertanian, dan domestik.



Gambar IV.24 Tren Konsentrasi Nitrat

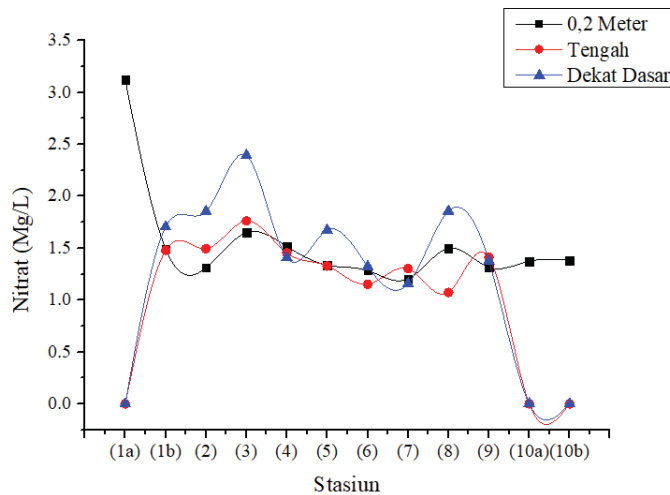
Konsentrasi nitrat dapat dilihat pada **Gambar IV.24**, dimana konsentrasi tertinggi berada pada tahun 2019. Menurut Wetzel (1975) dalam Effendi (2003)

konsentrasi nitrat dapat digunakan untuk mengelompokkan tingkat kesuburan perairan dimana untuk seluruh stasiun Waduk Saguling termasuk perairan mesotrofik karena pada tiga kedalaman memiliki konsentrasi nitrat yang berkisar antara 1-5 mg/L.



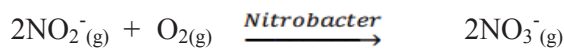
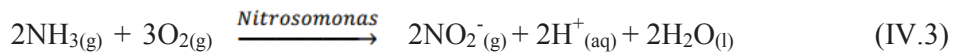
Gambar IV.25 Konsentrasi Nitrat pada Tahun Kering, Normal, dan Basah

Berdasarkan grafik pada **Gambar IV.25** konsentrasi nitrat tertinggi berturut-turut berada pada tahun basah, kering, dan normal dengan nilai masing-masing 1,434 mg/L, 1,334 mg/L, dan 1,123 mg/L.

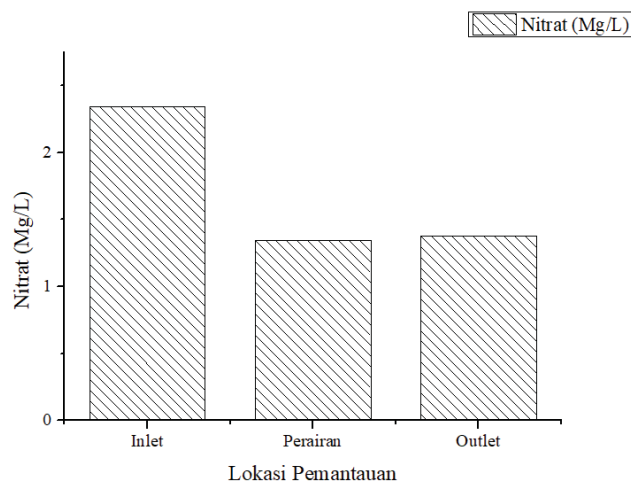


Gambar IV.26 Konsentrasi Nitrat per Stasiun

Konsentrasi nitrit dan nitrat berfluktuatif tiap stasiun dan seiring dengan bertambahnya kedalaman. Hal ini bisa disebabkan telah terjadinya perubahan bentuk akibat proses nitrifikasi. Perubahan bentuk selama proses nitrifikasi sebagai berikut:



(IV.4)



Gambar IV.27 Konsentrasi Nitrat Inlet, Perairan, dan Outlet

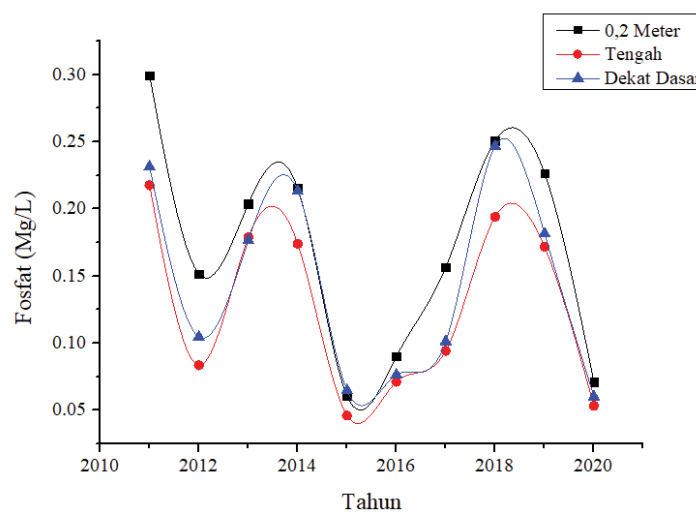
Konsentrasi nitrat di perairan dapat menstimulasi pertumbuhan dan perkembangan organisme perairan apabila didukung oleh ketersediaan nutrisi (Alaerts dan Sartika, 1987). Kadar nitrat yang lebih dari 0,2 mg/L dapat mengakibatkan terjadinya eutrofikasi (pengayaan) perairan, yang selanjutnya menstimulir pertumbuhan alga dan tumbuhan air secara pesat (*blooming*) (Effendi, 2003).

Daerah inlet berada pada stasiun 1a dan 1b, daerah perairan berada pada stasiun 4, 5, 6, dan 7, sedangkan daerah outlet berada pada stasiun 10a dan 10b. Nilai nitrat tertinggi terletak pada wilayah inlet, yaitu stasiun 1a dan 1b, sedangkan nilai nitrat terendah terletak pada wilayah perairan. Pada wilayah inlet nilai tertinggi dipengaruhi oleh masukan dari DAS dan aktivitas masyarakat disekitarnya. Menurut Syamiaz (2015), kandungan nitrat yang cukup tinggi diduga karena pertumbuhan bakteri nitrifikasi yang lebih lambat dari bakteri heterotrof, apabila

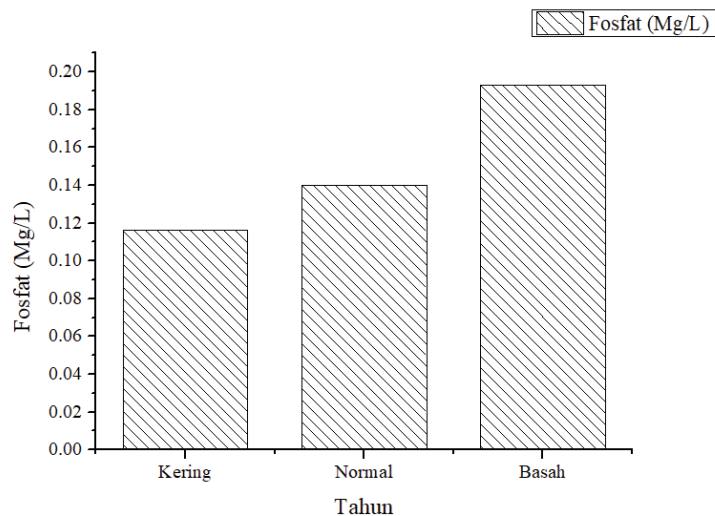
perairan banyak terdapat bahan organik maka pertumbuhan bakteri heterotrof akan melebihi pertumbuhan bakteri nitrifikasi. Menurut Tjahjo dan Suman (2009), salah satu sumber nitrat kemungkinan berasal dari dekomposisi bahan organik dari pengendapan sisa pakan dan feses ikan. Input pakan pada kegiatan budidaya ikan KJA mempunyai kontribusi terhadap pengkayaan nitrat dalam badan air dengan koefisien determinasi sebesar 86% (Ginting, 2011 dalam Sutjinurani, 2016). Pada wilayah perairan berhubungan dengan luas permukaan waduk dan berada dalam zona budidaya ikan. Jika dibandingkan dengan PP 22 Tahun 2021 kelas II konsentrasi nitrat untuk seluruh stasiun masih memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan yaitu 10 mg/L.

IV.3.6 Fosfat

Konsentrasi fosfat jika dilihat pada **Gambar IV.28** cenderung berfluktuatif. Jika dibandingkan dengan PP 22 Tahun 2021 Kelas II, maka kedalaman yang melebihi baku mutu hanya pada beberapa tahun pada kedalaman 0,2 meter dan dekat dasar. Stasiun yang melebihi baku mutu hanya pada kedalaman 0,2 meter yaitu stasiun 1a, kedalaman dekat dasar yaitu stasiun 1b dan 2. Tingginya nilai fosfat pada perairan Waduk Saguling disebabkan oleh keramba jaring apung, banyaknya eceng gondok, serta adanya air buangan penduduk (limbah rumah tangga) berupa deterjen, residu hasil pertanian, dan hancuran bahan organik dan mineral fosfat.

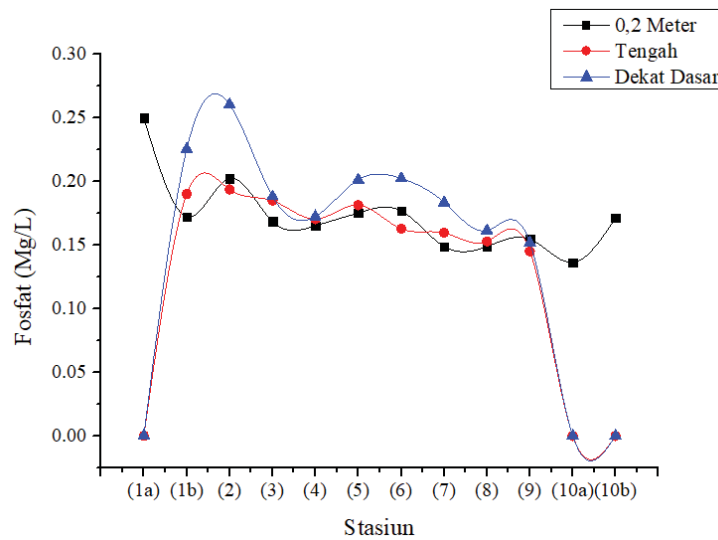


Gambar IV.28 Tren Konsentrasi Fosfat



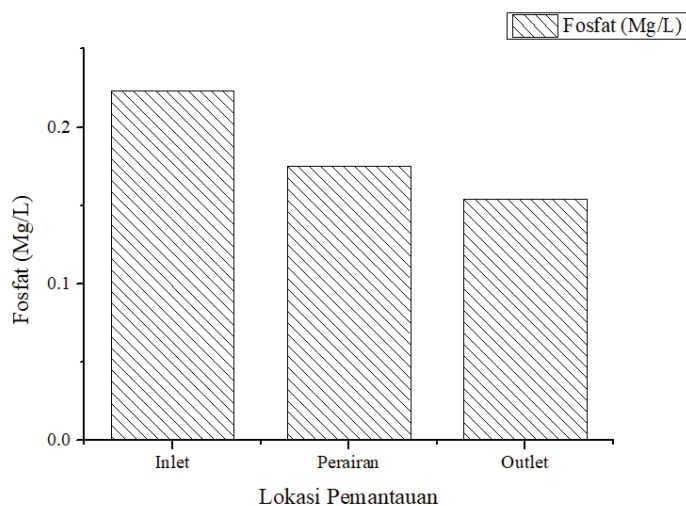
Gambar IV.29 Konsentrasi Fosfat pada Tahun Kering, Normal, dan Basah

Berdasarkan grafik pada **Gambar IV.29** konsentrasi fosfat tertinggi berturut-turut berada pada tahun basah, normal, dan kering dengan nilai masing-masing 0,193 mg/L, 0,140 mg/L, dan 0,116 mg/L. Keberadaan senyawa fosfat dalam ekosistem perairan sangatlah penting karena berfungsi dalam proses pembentukan senyawa protein dan metabolisme bagi organisme. Kandungan fosfat yang terdapat di perairan umumnya tidak lebih dari 0,1 mg/L, kecuali badan air yang menerima limbah dari rumah tangga dan industri tertentu, serta dari daerah pertanian yang mendapat pemopok fosfat (Effendi, 2003). Setiap perubahan konsentrasi fosfat pada ekosistem perairan juga dapat mempengaruhi status trofik dari perairan tersebut, penurunan nutrisi yang masuk menurunkan konsentrasi fosfat di waduk yang juga menurunkan biomassa fitoplankton (Devi dan Siddaraju, 2012 dalam Sutjinurani, 2016). Oleh karena itu, perairan yang mengandung kadar fosfat melebihi kadar normal kebutuhan organisme akuatik akan menyebabkan terjadinya eutrofikasi (Perkins, 1974 dalam Isnaini, 2011).



Gambar IV.30 Konsentrasi Fosfat per Stasiun

Daerah inlet berada pada stasiun 1a dan 1b, daerah perairan berada pada stasiun 4, 5, 6, dan 7, sedangkan daerah outlet berada pada stasiun 10a dan 10b. Dapat dilihat pada **Gambar IV.31** konsentrasi fosfat tertinggi berada pada inlet, perairan, dan outlet. Tingginya fosfat di inlet Waduk Saguling disebabkan karena pada lokasi pemantauan tersebut terdapat keramba jaring apung dan banyak eceng gondok yang menandakan terjadi eutrofikasi karena nutrisi berlebih. Senyawa fosfat digunakan sebagai faktor pembatas kesuburan perairan yang berhubungan erat dengan komposisi fitoplankton (Reynolds dkk, 2001).

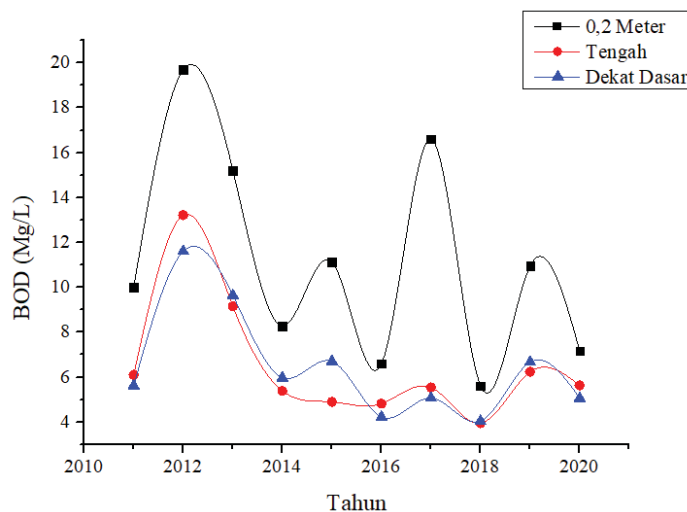


Gambar IV.31 Konsentrasi Fosfat Inlet, Perairan, dan Outlet

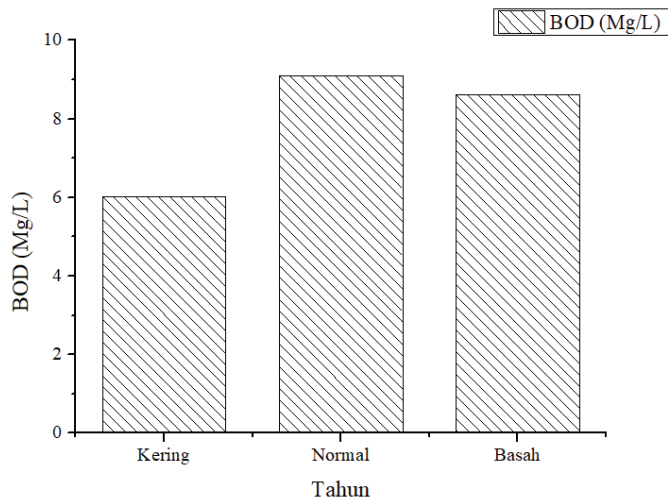
IV.3.7 BOD

Konsentrasi BOD di Waduk Saguling menunjukkan banyaknya nilai oksigen yang digunakan oleh mikroorganisme untuk menguraikan materi organik secara biologi. Berdasarkan **Gambar IV.32** dapat dilihat tren konsentrasi BOD di Waduk Saguling periode 2011-2020 untuk ketiga kedalaman mengalami penurunan. Tren konsentrasi BOD jika dibandingkan dengan tren konsentrasi DO mempunyai tren yang sama, hal ini terjadi karena sejalan dengan meningkatnya nilai BOD, maka nilai DO akan mengalami penurunan.

Berdasarkan **Gambar IV.32** konsentrasi BOD tertinggi berada pada kedalaman permukaan yaitu pada tahun 2012 dengan konsentrasi rata-rata BOD 19,712 mg/L dan konsentrasi terendah pada kedalaman tengah tahun 2018 dengan nilai rata-rata BOD 3,945 mg/L. **Gambar IV.33** menggambar konsentrasi BOD pada tahun kering, normal, dan basah. Nilai tertinggi berada pada tahun normal, basah, dan kering, dengan nilai berturut-turut 9,092 mg/L, 8,610 mg/L, dan 6,019 mg/L. Jika dibandingkan dengan baku mutu PP 22 Tahun 2021 Kelas II, konsentrasi BOD di Waduk Saguling selama 10 tahun terakhir telah melebihi baku mutu yang dipersyaratkan yaitu 3 mg/L.



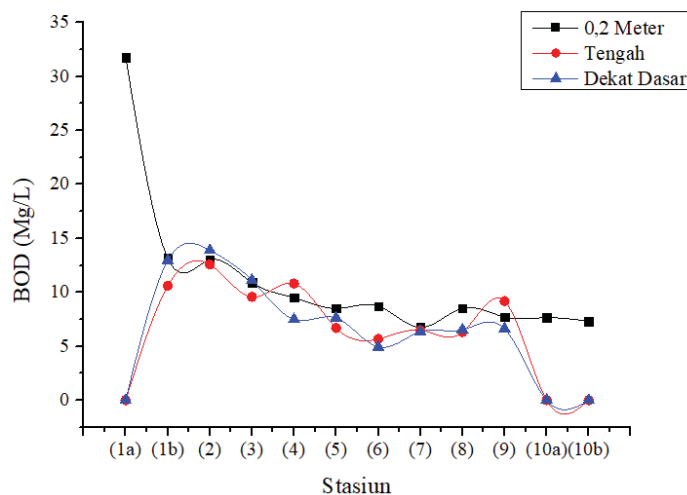
Gambar IV.32 Tren Konsentrasi BOD



Gambar IV.33 Konsentrasi BOD pada Tahun Kering, Normal, dan Basah

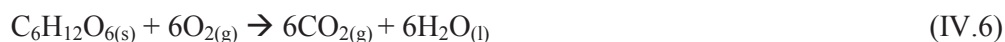
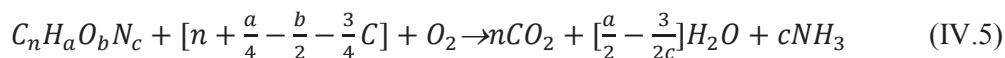
Berdasarkan **Gambar IV.34** dapat dilihat bahwa konsentrasi BOD di Waduk Saguling berfluktuatif untuk setiap stasiun. Konsentrasi BOD tertinggi berada pada stasiun 1a permukaan dengan nilai 31,777 mg/L dan terendah berada pada stasiun 6 kedalaman dekat dasar sebesar 4,946 mg/L. Tingginya konsentrasi BOD pada stasiun 1a dapat disebabkan di stasiun ini terdapat buangan dari kegiatan domestik, pertanian, perkebunan jagung dan palawija, serta banyak industri khususnya industri tekstil. Tingginya nilai BOD pada stasiun 1a juga diikuti dengan rendahnya nilai DO pada stasiun ini.

Konsentrasi BOD pada stasiun 1a hingga 10b jika dibandingkan dengan baku mutu PP No 22 Tahun 2021 Kelas II sebesar 3 mg/L, maka rata-rata konsentrasi BOD untuk semua stasiun dan kedalaman telah melebihi baku mutu.

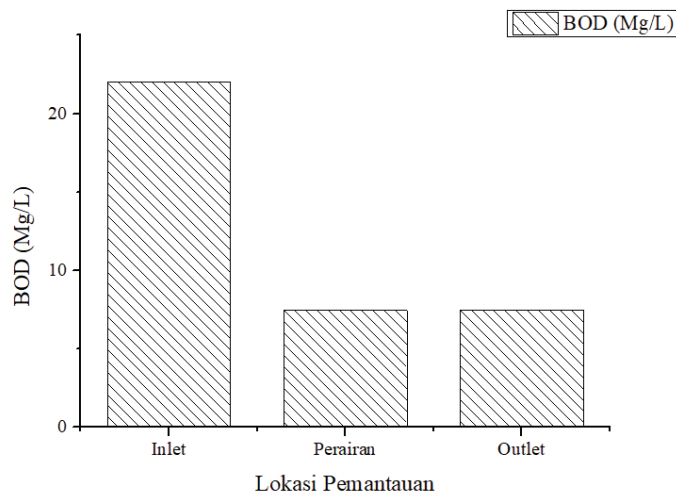


Gambar IV.34 Konsentrasi BOD per Stasiun

Konsentrasi BOD pada **Gambar IV.34** dapat dilihat berfluktuatif seiring bertambahnya kedalaman, dimana seharusnya menurut literatur bahwa nilai BOD seharusnya meningkat dengan bertambahnya kedalaman. Penelitian dari (Ukpong, 2006) menyatakan bahwa nilai BOD akan meningkat seiring dengan bertambahnya kedalaman, meningkatnya konsentrasi BOD ini disebabkan karena menurut Effendi (2003) kedalaman dekat dasar atau zona hypolimnion merupakan tempat terjadinya dekomposisi bahan organik secara dominan, sedangkan aktivitas fotosintesis sudah tidak ada. Reaksi dekomposisi secara aerob dapat dilihat sebagai berikut (Sawyer, 2003):



Semakin rendahnya nilai BOD di dekat dasar bisa disebabkan karena menurut (Laporan IP, 2020) mungkin terjadi akibat pada musim hujan seringkali air yang masuk ke dalam waduk mengalami *underflow* (masuk ke bagian bawah kolom air), sehingga meningkatkan pergerakan arus air di bagian bawah kolom air, sehingga materi organik tersapu dan berkorelasi dengan rendahnya nilai BOD. Selain itu, rendahnya suhu di bagian dasar waduk dibandingkan dengan suhu air sungai, mengakibatkan air sungai masuk ke bagian dasar waduk dan mengakibatkan pengenceran pada bagian dasar waduk.



Gambar IV.35 Konsentrasi BOD Inlet, Perairan, dan Outlet

Daerah inlet berada pada stasiun 1a dan 1b, daerah perairan berada pada stasiun 4, 5, 6, dan 7, sedangkan daerah outlet berada pada stasiun 10a dan 10b. Dapat dilihat pada **Gambar IV.35** konsentrasi BOD tertinggi berada pada daerah inlet dengan nilai 22,006 mg/L dan terendah pada daerah perairan dengan nilai 7,462 mg/L. Tingginya konsentrasi BOD pada daerah inlet bisa disebabkan karena stasiun 1a dan 1b merupakan stasiun masuknya air dari aliran Sungai Citarum, dimana Sungai Citarum sendiri sudah termasuk cemar berat yang mempunyai masukan limbah dari domestik, industri, perkebunan, maupun pertanian. Menurut Soetrisno (2010) terdapat 394 industri di sekitar DAS Citarum. Jika dibandingkan dengan baku mutu PP No 22 Tahun 2021 Kelas II, maka konsentrasi BOD di Waduk Saguling tidak memenuhi baku mutu yang dipersyaratkan yaitu 3 mg/L.

IV.4 Status Trofik Waduk Saguling

Penentuan status trofik berdasarkan parameter total nitrogen dan total fosfat, disesuaikan dengan kriteria status trofik danau berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 28 Tahun 2009. Kondisi kualitas air danau/waduk diklasifikasikan berdasarkan eutrofikasi yang disebabkan adanya peningkatan kadar unsur hara dalam air. Faktor pembatas sebagai penentu eutrofikasi adalah unsur Fosfat (P) dan Nitrogen (N). Pada umumnya rata-rata tumbuhan air mengandung Nitrogen dan Fosfat masing-masing 0,7% dan 0,09%

dari berat basah. Fosfat membatasi eutrofikasi jika kadar Nitrogen lebih dari delapan kali kadar Fosfat. Nitrogen membatasi proses eutrofikasi jika kadarnya kurang dari delapan kali kadar Fosfat (UNEP-IETC/ILEC, 2001).

Tabel IV.5 Kriteria Status Trofik Danau

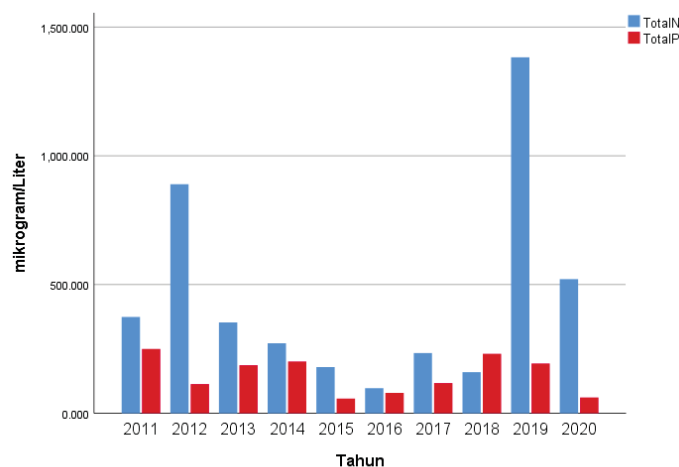
Status Trofik	Kadar Rata-rata Total-N (μ /L)	Kadar Rata-rata Total-P (μ /L)
Oligotrof	≤ 650	< 10
Mesotrof	≤ 750	< 30
Eutrof	≤ 1900	< 100
Hipereutrof	> 1900	≥ 100

Sumber: Permen LH No 28 Tahun 2009

Tabel IV.6 Status Trofik Waduk Saguling 10 Tahun Terakhir (2011-2020)

Tahun	Total-N (μ /L)	Total-P (μ /L)	Status Trofik	
			N	P
2011	373,852	249,611	Oligotrofik	Hipereutrofik
2012	889,528	113,139	Eutrofik	Hipereutrofik
2013	352,561	186,417	Oligotrofik	Hipereutrofik
2014	271,750	200,806	Oligotrofik	Hipereutrofik
2015	179,296	57,056	Oligotrofik	Eutrofik
2016	97,398	79,194	Oligotrofik	Eutrofik
2017	233,796	117,250	Oligotrofik	Hipereutrofik
2018	159,445	230,611	Oligotrofik	Hipereutrofik
2019	1382,759	193,222	Eutrofik	Eutrofik
2020	520,852	61,361	Oligotrofik	Eutrofik

Status kesuburan Waduk Saguling mengalami perubahan dari waktu ke waktu, karena adanya dinamika kualitas perairan yang dipengaruhi oleh musim dan beban pencemaran (Suryono dkk, 2008). **Tabel IV.6** menunjukkan variasi status kesuburan Waduk Saguling secara temporal. Status kesuburan tertinggi untuk total N berada pada tahun 2019 dengan status eutrofik, terendah pada tahun 2016 dengan status oligotrofik. Status kesuburan tertinggi untuk total P berada pada tahun 2011 yaitu hipereutrofik dan terendah pada tahun 2015 yaitu eutrofik.

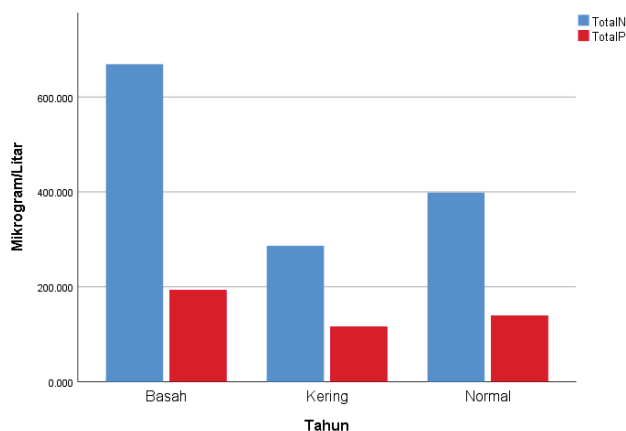


Gambar IV.36 Kadar Total-N dan Total-P di Waduk Saguling

Tabel IV.7 Status Trofik 3 Kelas Waduk Saguling

Total-N (μ/L)			Total-P (μ/L)		
Tahun Kering	Tahun Normal	Tahun Basah	Tahun Kering	Tahun Normal	Tahun Basah
286,531	398,644	669,023	116,343	139,799	193,481

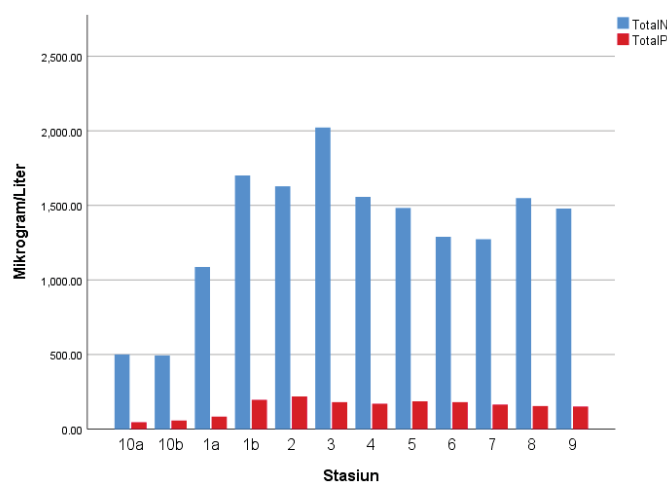
Berdasarkan **Tabel IV.7** dapat dilihat bahwa status trofik tertinggi untuk kadar Total-N dan Total-P tertinggi berada pada tahun basah dengan nilai masing-masing 669,023 μL dan 193,481 μL , sedangkan terendah berada pada tahun kering senilai 286,531 μL dan 116,343 μL .



Gambar IV.37 Kadar Total-N dan Total-P 3 Kelas di Waduk Saguling

Tabel IV.8 Status Trofik Waduk Saguling per Stasiun

Stasiun	Total-N (μ /L)	Total-P (μ /L)	Status Trofik	
			N	P
1a	1087,17	83,33	Eutrofik	Eutrofik
1b	1700,22	195,97	Eutrofik	Hipereutrofik
2	1627,81	218,90	Eutrofik	Hipereutrofik
3	2022,10	180,53	Hiperutrofik	Hipereutrofik
4	1557,20	169,40	Eutrofik	Hipereutrofik
5	1482,60	186,03	Eutrofik	Hipereutrofik
6	1289,20	180,70	Eutrofik	Hipereutrofik
7	1272,83	164,00	Eutrofik	Hipereutrofik
8	1548,57	154,37	Eutrofik	Hipereutrofik
9	1478,40	150,57	Eutrofik	Hipereutrofik
10a	500,27	45,43	Oligotrofik	Eutrofik
10b	494,10	57,17	Oligotrofik	Eutrofik

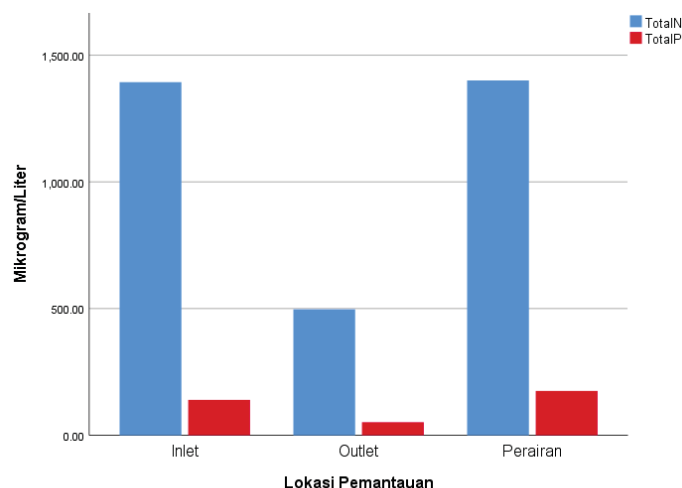
**Gambar IV.38** Kadar Total-N dan Total-P di Stasiun Pemantauan Waduk Saguling

Dapat dilihat pada **Tabel IV.8** bahwa Waduk Saguling berdasarkan kadar total N yang memiliki status eutrofik berada pada stasiun 1a, 1b, 2, 4, 5, 6, 7, 8, dan 9. Untuk stasiun yang berstatus hipereutrofik adalah stasiun 3, serta stasiun 10a dan 10b berstatus oligotrofik. Jika dilihat berdasarkan kadar total P, status trofik Waduk Saguling dominan berada pada kategori hipereutrofik, yang berstatus eutrofik hanya pada stasiun 1a, 10a, dan 10b. Stasiun dengan status hipereutrofik mengindikasikan bahwa perairan mengandung unsur hara dengan kadar yang

sangat tinggi, status ini menunjukkan air telah tercemar berat oleh peningkatan kadar Nitrogen dan Fosfat. Beberapa stasiun pemantauan yang memiliki status oligotrof mengandung unsur hara dengan kadar rendah, status ini menunjukkan kualitas air masih bersifat alamiah belum tercemar dari sumber unsur hara Nitrogen dan Fosfat, sehingga statusnya perlu dipertahankan. Status yang berkategori eutrofik mengandung unsur hara dengan kadar yang tinggi, hal ini menunjukkan air telah tercemar oleh peningkatan kadar Nitrogen dan Fosfat.

Tabel IV.9 Status Trofik Waduk Saguling Inlet, Perairan, dan Outlet

Lokasi Pemantauan	Total-N (μ/L)	Total-P (μ/L)	Status Trofik	
			N	P
Inlet	1393,69	139,65	Eutrofik	Hiperutrofik
Perairan	1400,46	175,03	Eutrofik	Hiperutrofik
Outlet	497,18	51,30	Oligotrofik	Eutrofik



Gambar IV.39 Kadar Total-N dan Total-P di Inlet, Perairan, dan Outlet

Dapat dilihat pada **Tabel IV.9** status kesuburan tertinggi untuk total N dan P terjadi di wilayah perairan dengan nilai masing-masing 1400,46 μ/L dan 175,03 μ/L dengan status eutrofik dan hipereutrofik. Nilai terendah berada pada wilayah outlet dengan nilai masing-masing 497,18 μ/L dan 51,30 μ/L dengan status oligotrofik dan eutrofik. Hal ini menunjukkan bahwa eutrofikasi berada pada perairan Waduk Saguling yang berada pada wilayah yang padat KJA dengan

kandungan bahan organik tertinggi. Bahan organik tersebut kemudian terdekomposisi menjadi nutrisi anorganik (*bioavailable nutrient*) yang segera dimanfaatkan oleh fitoplankton (Wetzel 2001, Nomosatyo & Lukman, 2012).

IV.5 Daya Tampung Beban Pencemar Air

Daya tampung beban pencemar di Waduk Saguling mengacu pada Peraturan Menteri Negara dan Lingkungan Hidup Nomor 28 Tahun 2009. Pembatasan kegiatan KJA yang dilakukan oleh Pemerintah Provinsi Jawa Barat Nomor 41 Tahun 2002 tentang Pengembangan dan Pemanfaatan Lahan Pertanian dan Kawasan Waduk. Kebijakan tersebut membatasi KJA sebanyak 12000 unit. Daya tampung beban pencemaran air untuk kegiatan budidaya ikan di KJA bergantung pada morfologi waduk (volume air dan luas perairan waduk) dan hidrologi (debit air keluar waduk) serta status trofik kualitas airnya.

IV.5.1 Morfologi dan Hidrologi Waduk Saguling

Berdasarkan data Indonesia Power tahun 2020, luas genangan (A) Waduk Saguling sebesar 5607 Ha. Volume air (V) diperoleh dengan mengali kedalaman rata-rata dengan luas waduk. Pada tahun 2020 kedalaman rata-rata waduk (Z) adalah 17,5 m. Nilai kedalaman rata-rata waduk akan mempengaruhi nilai volume maksimum. Nilai volume maksimum pada tahun 2020 adalah $982 \times 10^6 \text{ m}^3$. Berdasarkan penelitian Sutjinurani (2017), terjadi penurunan volume dari tahun ke tahun yang diduga akibat dari peningkatan sedimentasi. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Sardi dkk (2008), bahwa peningkatan sedimentasi pada waduk pada akhirnya berakibat pengurangan volume efektif waduk. Pengaruh sedimentasi terhadap volume waduk dapat menyebabkan berkurangnya tingkat operasional waduk.

Nilai debit keluar (Q_o) menunjukkan realisasi pola operasi waduk pada tahun tertentu, nilai debit keluar akan mempengaruhi laju penggantian air dan waktu tinggal air. Nilai debit keluar Waduk Saguling pada tahun 2020 sebesar $85,455 \text{ m}^3/\text{detik}$.

Laju penggantian air (ρ) menggambarkan pergantian air waduk dalam kurun waktu satu tahun. Laju penggantian air Waduk Saguling pada tahun 2020 sebesar 0,087. Laju penggantian air atau waktu tinggal air yang lama akan berpengaruh terhadap kandungan bahan organik di waduk, sehingga bahan organik yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman air akan terus terakumulasi karena adanya penambahan bahan organik yang masuk yang lebih besar dibandingkan dengan bahan organik yang keluar mengingat inlet sungai yang masuk ke Waduk Saguling banyak. Berikut data morfologi dan hidrologi Waduk Saguling.

Tabel IV.10 Morfologi dan Hidrologi Waduk Saguling

No	Parameter	Satuan	Nilai
A Morfologi dan Hidrologi			
1	Luas perairan waduk*	Ha	5607
	Kedalaman rata-rata waduk*	m	17,5
	Volume air waduk*	juta m ³	982
2	Jumlah debit air keluar waduk*	m ³ /detik	85,455
	Laju penggantian air waduk	juta m ³ /tahun	2694,909
	Waktu tinggal	tahun ⁻¹	0,087
		tahun	11,491

Keterangan: *Indonesia Power, 2020

Morfologi dan hidrologi waduk sangat mempengaruhi daya dukung waduk, khususnya karakteristik kegiatan perikanan, laju penggantian air atau waktu tinggal air, yang tergantung pada volume air dan debit air keluar danau. Waduk yang memiliki waktu tinggal kurang dari 20 hari mempunyai kemampuan pencampuran air sehingga plankton tidak dapat tumbuh. Waduk yang memiliki waktu tinggal antara 20 hari sampai 300 hari menyebabkan terjadinya proses stratifikasi. Apabila waktu tinggalnya lebih dari 300 hari akan terjadi stratifikasi yang stabil serta dapat terjadi akumulasi unsur hara dan pertumbuhan plankton yang menjurus kepada proses eutrofikasi (KLHK, 2008 dalam Sutjinurani, 2017).

IV.5.2 Daya Tampung Beban Pencemar Air Keramba Jaring Apung

Kegiatan keramba jaring apung membuat perubahan pada perairan Waduk Saguling, dimulai dari berubahnya konsentrasi hara, konsentrasi oksigen terlarut,

konsentrasi metabolik toksik, serta tumbuh suburnya organisme penyebab penyakit (Beveridge, 1984).

Budidaya ikan menggunakan keramba diduga menyebabkan masuknya bahan organik terutama fosfat yang cukup besar ke badan air, sehingga semakin banyak jumlah keramba yang aktif beroperasi maka jumlah bahan organik yang masuk juga akan semakin banyak. Pengaruh lain yang juga harus diwaspadai adalah terjadinya umpan balik negatif yang dapat membatasi jumlah unit budidaya yang secara langsung membatasi produksi ikan.

Tingginya konsentrasi fosfat (Total P) mengindikasikan bahwa bahan organik yang masuk ke perairan juga tinggi. Fosfat yang ada di perairan waduk menjadi elemen utama dalam penetapan status kualitas waduk karena keberadaannya pada air waduk sangat sedikit, sehingga sedikit penambahan fosfat ke perairan akan langsung menyebabkan terjadinya penyuburan tanaman perairan dan pencemaran kualitas air (Mylavarapu, 2011). Fosfat merupakan unsur penentu pertumbuhan bagi fitoplankton dan organisme lain di dalam perairan. Hal itu terjadi karena pada kondisi fosfat yang rendah maka fitoplankton tidak dapat memanfaatkan nitrogen dengan baik, sehingga pertumbuhan dan kelimpahannya akan menurun (Wardoyo, 1981 dalam Samudra dkk, 2013 dalam Sutjinurani, 2017). Mengurangi sumber pencemar fosfat yang masuk merupakan faktor dominan dalam pengendalian kualitas air waduk untuk mencegah terjadinya eutrofikasi (Antasch, 2009).

Perbandingan fosfat terhadap biomassa jauh lebih bervariasi daripada nitrogen terhadap biomassa organisme perairan, sehingga fosfat merupakan faktor pembatas pada ekosistem danau (Horne dan Goldman, 1994). Permasalahan fosfat di waduk dianggap lebih penting dibandingkan dengan nitrogen karena nitrogen utamanya terikat dalam bentuk bahan organik sedimental, sehingga nitrogen merupakan zat yang pertama harus terurai, sedangkan fosfat terikat dan terakumulasi dalam bentuk anorganik (Sondergaard, 2007). Pembatasan fosfat dapat dilakukan dengan cara mengurangi jumlah keramba yang telah melewati

ambang batas serta manajemen pemberian pakan ikan yang baik dan tepat (Rismawati, 2010 dalam Sutjinurani, 2017). Prediksi total P dari kegiatan KJA di Waduk Saguling dapat dilihat pada **Tabel IV.11**.

Tabel IV.11 Prediksi Total P dari Aktivitas KJA di Waduk Saguling

No	Parameter	Satuan	Nilai	Keterangan
1 Petak				
	Jumlah petak	petak	32.284 ^a	
	Petak aktif	petak	22.599	70% dari jumlah petak ^b
	Masa pemeliharaan	bulan	3 - 7	
	Musim tanam	kali/tahun	6	
2 Pakan				
	Rata-rata	kg/petak	1.400 ^c	
	Jumlah pakan	ton/tahun	189.829.920	20% dari jumlah pakan ^d
	Jumlah pakan terbuang	ton/tahun	37.965.984	
3 Produksi				
	Produksi ikan	kg/petak/musim	7.000 ^e	
	Total produksi	ton/tahun	949.149.600	
4 Total P				
	Total P dari pakan	ton P/ton pakan	3.265.074,6	86 kg dari jumlah pakan ^f
	Total P dari ikan	ton P/ton ikan	3.227.108,6	3,4 kg dari jumlah produksi ikan ^f
	Jumlah Total P	ton P/tahun	6.492.183,3	

Keterangan: a. Indonesia Power, 2020; b. Haryanto dkk, 2014; c. Insan, 2009; d. McDonald, 1996 dan Sukimin, 2008; e. Pusakantara, 2012; f. Rismawati, 2010

Berdasarkan data Indonesia Power tahun 2020, jumlah KJA di Waduk Saguling sebanyak 32.284 petak dan sebanyak 70% dalam status beroperasi (Pusakantara, 2012). Ikan yang dipelihara rata-rata adalah ikan mas dan ikan nila dengan masa pemeliharaan 3-7 bulan. Pakan yang diberikan untuk setiap jaring per musim tanam rata-rata 1.400 kg (Insan, 2009), apabila dalam satu tahun dilakukan musim tanam sebanyak enam kali, dengan jumlah petak aktif sebanyak 22.599 petak, maka total pakan yang diperlukan dalam satu tahun adalah sebanyak 189.829.920 ton dan apabila pakan yang akan terbuang sebesar 20% (McDonald, 1996 dan Sukimin, 2008), maka pakan komersial yang terbuang ke dalam perairan per tahun adalah sebanyak 37.965.984 ton.

Apabila produksi ikan untuk setiap jaring permusim tanam rata-rata 7.000 kg (Pusakantara, 2012) maka total produksi per tahun adalah sebanyak 949.149.600 ton. Apabila jumlah total P dari jumlah pakan dalam ton sebesar 86 kg dan dari jumlah produksi ikan dalam ton sebesar 3,4 kg (Rismawati, 2010), maka total P yang dihasilkan dari sisa pakan dan produksi ikan adalah sebesar 3.265.074,6 ton dan 3.227.108,6 ton. Total P yang dibuang ke perairan dari sisa pakan dan produksi ikan adalah sebesar 6.492.183,3 ton.

Konversi pakan atau *Feed Conversion Ratio* (FCR) merupakan perbandingan antara bobot pakan yang dikonsumsi dengan pertambahan berat atau banyaknya pakan yang dibutuhkan untuk menghasilkan 1 ton ikan. Semakin tinggi nilai FCR maka jumlah limbah fosfat dari sisa pakan yang terlepas ke perairan semakin tinggi. Nilai konversi pakan yang dominan digunakan pembudidaya di Waduk Saguling adalah 2 (Pusakantara, 2012). Nilai tersebut dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor diantaranya metode pemberian pakan, jenis pakan yang digunakan, kualitas pakan, jenis pakan, dan kondisi lingkungan.

Besarnya beban limbah fosfat pada akuakultur ditentukan oleh konversi pakan (Yosmaniar, 2011 dalam Sutjinurani, 2017). Pemberian pakan dalam jumlah berlebihan akan meningkatkan biaya produksi bila ditinjau dari segi ekonomi dan akan menyebabkan turunnya kualitas air akibat pencemaran dari segi lingkungan. Pada akhirnya pemberian pakan yang tidak efisien dapat menyebabkan masuknya bahan organik yang berlebihan ke perairan dan mengakibatkan terjadinya eutrofikasi.

Nilai daya tampung beban pencemaran fosfat untuk Waduk Saguling berdasarkan perhitungan rumus Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 28 Tahun 2009 dengan menggunakan nilai baku mutu air kelas II berdasarkan Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021 adalah sebesar 38.364.608 ton. Prinsip pemanfaatan perairan waduk didasarkan pada prinsip daya dukung perairan dan kapasitas asimilasi lingkungan perairan terhadap buangan atau limbah budidaya (Sukadi dkk, 2007 dalam Insan, 2009 dalam Sutjinurani, 2017). Daya dukung

perairan adalah tingkat produksi ikan maksimal yang dapat dihasilkan dari perairan tersebut secara berkelanjutan (Schmittou, 1991). Nilai daya tampung produksi ikan maksimum Waduk Saguling yang dapat ditampung oleh ekosistem secara berkelanjutan berdasarkan perhitungan rumus Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No 28 Tahun 2009 adalah sebesar 1.277.966,244 ton ikan dengan jumlah KJA maksimal sebanyak 10.657 petak dengan luasan KJA $7 \times 7 \text{ m}^2$ dan jumlah pemberian pakan per tahun sebesar 2.555.932,488 ton pakan. Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah KJA saat ini telah melampaui daya dukung Waduk Saguling. Berikut merupakan hasil perhitungan daya tampung beban pencemaran air pada Waduk Saguling.

Tabel IV. 12 Hasil Perhitungan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Waduk Saguling

No	Parameter	Simbol	Satuan	Nilai	Keterangan
A Morfologi dan Hidrologi					
1	Luas perairan waduk	A	Ha	5.607	Indonesia Power, 2020
	Kedalaman rata-rata waduk	Z	m	17,5	Indonesia Power, 2020
	Volume air waduk	V	juta m^3	982	$Z = 100 \times V/A$
2	Jumlah debit air keluar waduk	Q_o	m^3/detik juta m^3/tahun	85,455 2.694,909	Indonesia Power, 2020
	Laju penggantian air waduk	ρ	tahun^{-1}	0,087	$\rho = Q_o/V$
	Waktu tinggal	T_w	tahun	11,491	$1/\rho$
B Alokasi beban pencemaran unsur P					
3	Syarat kadar P total maks sesuai dengan jenis ikan yang dibudidayakan	[Pstd]	mg/m^3	1.000	PP 22 Tahun 2021 kelas III
	Kadar parameter P total hasil pemantauan waduk	[Pi]	mg/m^3	200	Data sekunder, 2011-2020
	Alokasi beban P total budidaya ikan	[Pd]	mg/m^3	800	$[Pd] = [Pstd] - [Pi]$
C Daya tampung beban pencemaran air parameter P pada waduk					
4	Daya tampung limbah P per satuan luas waduk	L	$\text{mg P}/\text{m}^2 \text{ tahun}$	6.842,270	$L = [Pd] Z \cdot \rho / (1-R)$
	P total yang tinggal bersama sedimen	R	-	0,822	$R = 1 / (1 + 0,747 \rho^{0,507})$
5	Jumlah daya tampung limbah P pada perairan waduk	L_a	$\text{Kg P}/\text{tahun}$	38.364.608,23	$L_a = L \times A$
			ton P/tahun	38.364,608	

D Daya tampung beban pencemaran air limbah budidaya ikan

No	Parameter	Simbol	Satuan	Nilai	Keterangan
6	Daya tampung P total limbah ikan per satuan luas waduk	L _{ikan}	mg P/m ² tahun	38.427,877	L _{ikan} = [P] Z. rho / (1-R _{ikan})
	Proporsi P total yang larut ke sedimen setelah ada KJA, x = 0,5	R _{ikan}	-	0,968	R _{ikan} = x + [(1-x) R]
7	P total limbah ikan pada perairan waduk	La _{ikan}	Kg P/tahun	215.465.108,8	La _{ikan} = L _{ikan} x A
			ton P/tahun	215.465,109	
E Pakan dan limbah P budidaya ikan KJA					
8	P total yang masuk waduk dari limbah ikan	PLP	kg P/ton ikan	168,6	PLP = FCR x P _{pakan} - P _{ikan}
F Jumlah budidaya perikanan					
9	Jumlah produksi ikan KJA Jumlah pakan ikan KJA	LI	ton ikan/tahun	1.277.966,244	LI = La _{ikan} / PLP
		LP	pakan/tahun	2.555.932,488	LP = LI x FCR
10	Jumlah keramba eksisting		petak	32.284	
	Jumlah keramba maksimum		petak	10.657	Jumlah produksi 3,6 ton/petak tahun
	Luasan keramba		m ²	522.184,95	Luasan petak 7 x 7 m ²
		ha	52,22		

Tabel IV. 13 Hasil Analisis Daya Tampung Beban Pencemaran dan Daya Dukung Waduk Saguling berdasarkan 3 Kelas Diskrit Markov

Parameter	Satuan	Nilai		
		Tahun Kering	Tahun Normal	Tahun Basah
Kadar parameter total P hasil pemantauan ($[P]_i$)	mg/m ³	200	200	200
Alokasi beban total P budidaya ikan ($A[P]_d$)	mg/m ³	800	800	800
Daya tampung total-P limbah ikan per satuan luas danau (L_{ikan})	g P/m ² tahun	36.076	38.496	41.112
Jumlah daya tampung total-P limbah ikan pada perairan danau (La_{ikan})	Kg P/tahun	202.280.186	215.848.564	230.517.125
Daya dukung waduk (produksi ikan maksimum)	ton/tahun	1.199.764	1.280.241	1.367.243
Jumlah KJA maksimum	petak	8.384	10.723	13.281

Berdasarkan hasil analisis pada **Tabel IV.13**, dapat diketahui bahwa pada tahun kering jumlah daya tampung beban pencemaran yang ditunjukkan oleh La_{ikan} memiliki nilai terendah yaitu 36.076 g P/m^2 tahun. Kemudian daya dukung waduk pada tahun kering memiliki nilai terendah yaitu $1.199.764 \text{ ton/tahun}$ dengan jumlah keramba maksimum 8.384 petak. Pada tahun normal jumlah daya tampung beban pencemaran yang ditunjukkan oleh La_{ikan} memiliki nilai sebesar 38.496 g P/m^2 tahun. Kemudian daya dukung waduk pada tahun normal memiliki nilai sebesar $1.280.241 \text{ ton/tahun}$ dengan jumlah keramba maksimum 10.723 petak. Tahun basah memiliki nilai jumlah daya tampung beban pencemaran yang ditunjukkan oleh La_{ikan} dengan nilai tertinggi sebesar 41.112 g P/m^2 tahun. Kemudian daya dukung waduk pada tahun basah memiliki nilai tertinggi yaitu $1.367.243 \text{ ton/tahun}$ dengan jumlah keramba maksimum sebanyak 13.281 petak. Sehingga dapat disimpulkan bahwa jumlah keramba pada Waduk Saguling untuk setiap tahun kering, normal, dan basah telah melampaui jumlah idealnya.

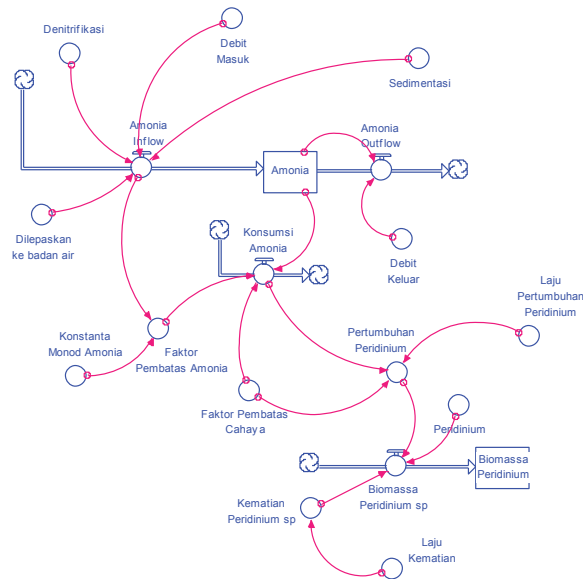
IV.6 Rekapitulasi Data untuk Pemodelan

Model utama sistem tergambar pada **Gambar IV.43**. Gambar tersebut dapat dilihat perspektif yang digunakan dalam mendeskripsikan variabel yang mempengaruhi eutrofikasi di badan air Waduk Saguling. Variabel dalam submodel satu dengan yang lainnya saling berinteraksi satu sama lain sehingga membentuk *loop* tertutup yang merupakan salah satu kelebihan metode sistem dinamik. Pemodelan atau simulasi ini berdasarkan beberapa asumsi, yaitu: (1) model tersebut berada dalam kondisi tetap atau stabil (*steady state*), yang berarti selama waktu estimasi tidak terjadi perubahan-perubahan pada faktor yang bekerja dalam kompartemen, atau perubahan-perubahan yang terjadi tetap konstan sepanjang waktu; (2) model tersebut dianggap suatu system yang tertutup (*closed system*), yang berarti selama waktu estimasi tidak ada pengaruh faktor lain selain parameter yang digunakan dalam pemodelan tersebut. Data parameter yang digunakan merupakan data hasil monitoring atau yang terukur pada pos stasiun pemantauan Indonesia Power.

IV.6.1 Input Submodel Amonia

Data yang dimasukkan dalam *stock flow* submodel ammonia adalah:

3. Konsentrasi ammonia inflow
4. Konsentrasi ammonia outflow
5. Konstanta monod ammonia (0,01)
6. Jumlah Peridinium *sp* (2.001.450)
7. Laju pertumbuhan Peridinium *sp* (0,25)
8. Laju kematian Peridinium *sp* (0,3)



Gambar IV.40 Model Eutrofikasi Amonia Waduk Saguling

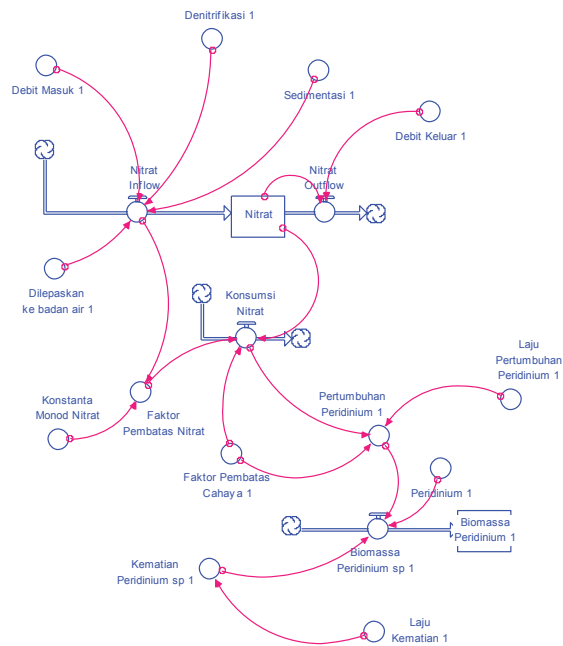
Data yang dimasukkan dalam *stock flow* submodel nitrat adalah:

1. Konsentrasi nitrat inflow
2. Konsentrasi nitrat outflow
3. Konstanta monod nitrat (0,01)
4. Jumlah Peridinium *sp* (2.001.450)
5. Laju pertumbuhan Peridinium *sp* (0,25)
6. Laju kematian Peridinium *sp* (0,3)

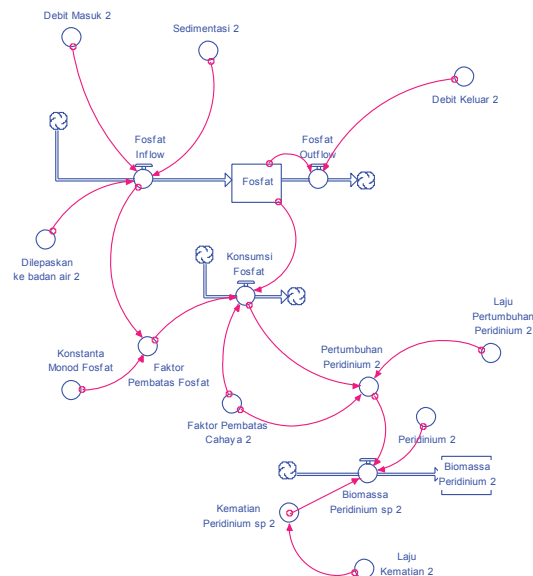
Sama halnya seperti **Gambar IV.40**, **Gambar IV.41** menunjukkan konsentrasi nitrat, fosfat, dan biomassa Peridinium *sp*. Data yang dimasukkan dalam *stock flow* adalah sebagai berikut:

Data yang dimasukkan dalam *stock flow* submodel fosfat adalah:

1. Konsentrasi fosfat inflow
2. Konsentrasi fosfat outflow
3. Konstanta monod fosfat (0,005)
4. Jumlah Peridinium *sp* (2.001.450)
5. Laju pertumbuhan Peridinium *sp* (0,25)
6. Laju kematian Peridinium *sp* (0,3)



Gambar IV.41 Model Eutrofikasi Nitrat Waduk Saguling



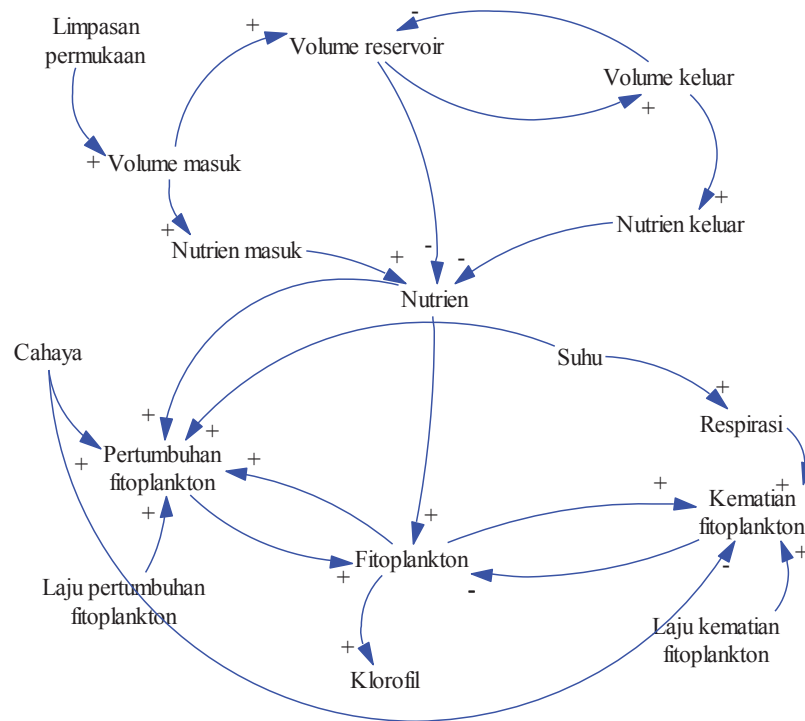
Gambar IV.42 Model Eutrofikasi Fosfat Waduk Saguling

IV.7 Pemodelan Eutrofikasi

Pemodelan eutrofikasi dilakukan dengan menggunakan *software* model dinamis Stella. *Software* Stella digunakan agar dapat melihat proyeksi eutrofikasi berdasarkan data sekunder nutrisi *time series* di badan air Waduk Saguling, sehingga dapat diketahui dinamika perubahan nutrisi dan biomassa fitoplankton pada waktu mendatang.

IV.7.1 Formulasi dan Strukturisasi Model Dinamis Eutrofikasi

Strukturisasi dan formulasi model merupakan pembangunan struktur model dan penyatuan formulasi eutrofikasi di Waduk Saguling. Penyatuan formulasi ini perlu dilakukan untuk mendapatkan formulasi yang terintegrasi sehingga dapat diketahui dinamika perubahan eutrofikasi waduk yang disebabkan oleh variabel-variabel penyusunnya. Berikut struktur model atau *causal loop diagram* eutrofikasi di Waduk Saguling.



Gambar IV.43 Model Utama Proses Eutrofikasi Waduk Saguling

Dapat dilihat gambaran utama dari *causal loop* yang telah dibuat. Model tersebut nantinya akan dibuat sederhana menggunakan *stock flow*, sehingga diharapkan dapat dilihat konsep secara holistik dari sistem yang diteliti. Data yang digunakan dalam model adalah data rata-rata tahun 2011.

1V.7.2 Verifikasi dan Validasi Model

Verifikasi dan validasi bertujuan untuk mengetahui apakah model dapat *running* atau terdapat *error*. Verifikasi dan validasi sekaligus berguna untuk membandingkan struktur model beserta perilakunya apakah sudah representatif terhadap sistem sebenarnya.

IV.7.2.1 Verifikasi Model

Verifikasi model merupakan tahapan untuk menentukan apakah model simulasi merepresentasikan model konseptual dengan tepat. Verifikasi model dilakukan dengan memeriksa *error* pada model dan meyakinkan bahwa model berfungsi

sesuai dengan logika pada obyek sistem. Verifikasi juga perlu dilakukan dengan memeriksa formulasi (*equations*), model dan memeriksa unit (satuan) variabel dari model. Jika tidak terdapat *error* pada model, maka dapat dikatakan model sudah terverifikasi. Berdasarkan hasil simulasi model, program sudah berjalan dengan baik, tanpa terjadi *error* pada unit maupun formulasi.

IV.7.2.2 Validasi Model

Validasi merupakan tahap dalam mengevaluasi apakah model yang dibuat representative dengan keadaan nyata. Beberapa cara dapat dilakukan untuk validasi model sistem dinamik eutrofikasi di Waduk Saguling, antara lain:

Uji Perilaku Model

Uji perilaku model dilakukan dengan membandingkan data simulasi dengan data sebenarnya hasil simulasi model. Rata-rata nilai pada data aktual dengan data hasil simulasi untuk menemukan rata-rata *error* yang terjadi menggunakan persamaan IV.5. Model sistem dinamik eutrofikasi di Waduk Saguling disimulasikan selama 20 tahun. Untuk validasi perilaku model, digunakan data konsentrasi amonia, nitrat, dan fosfat simulasi dan dibandingkan dengan data konsentrasi amonia, nitrat, dan fosfat aktual selama 10 tahun terakhir (2011-2020). Uji perilaku model dilakukan dengan menggunakan *Root Mean Square Error* (RMSE). Apabila hasil RMSE mendekati “0” maka menunjukkan bahwa model dengan data aktual dan simulasi sangat sesuai.

$$RMSE = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{n} \quad (IV.5)$$

Dengan :

RMSE = Nilai *Root Mean Square Error*

O_i = Nilai aktual pada waktu t

S_i = Nilai simulasi model pada waktu t

n = Frekuensi aktual

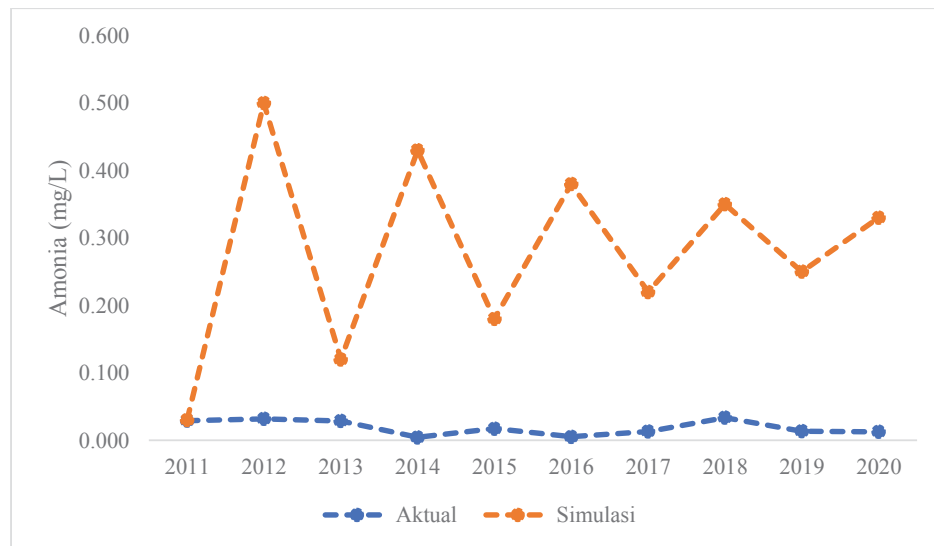
Kalibrasi Amonia

Berdasarkan hasil perhitungan **Tabel IV.14**, nilai RMSE yang didapatkan untuk parameter amonia adalah 0,296 yang berarti dalam kategori sangat tepat. Nilai

RMSE yang menunjukkan ketepatan kalibrasi memberikan informasi bahwa nilai konsentrasi amonia pada model sangat valid secara kuantitatif terhadap data konsentrasi nutrisi data acuan.

Tabel IV. 14 Hasil Validasi Model Dinamis Amonia Aktual dan Amonia Simulasi

Validasi RMSE			
Tahun	Konsentrasi Amonia		$ y' - y ^2$
	Aktual	Simulasi	
2011	0,029	0,03	0,000
2012	0,032	0,50	0,219
2013	0,029	0,12	0,008
2014	0,004	0,43	0,181
2015	0,017	0,18	0,027
2016	0,005	0,38	0,140
2017	0,013	0,22	0,043
2018	0,034	0,35	0,100
2019	0,013	0,25	0,056
2020	0,013	0,33	0,101
Total			0,875
RMSE			0,296



Gambar IV.44 Hasil Kalibrasi Amonia antara Nilai Aktual dan Nilai Model

Berdasarkan **Gambar IV.44** dapat dilihat bahwa konsentrasi ammonia antara nilai aktual dan model menunjukkan pola yang sama yaitu berfluktuatif. Hasil kalibrasi

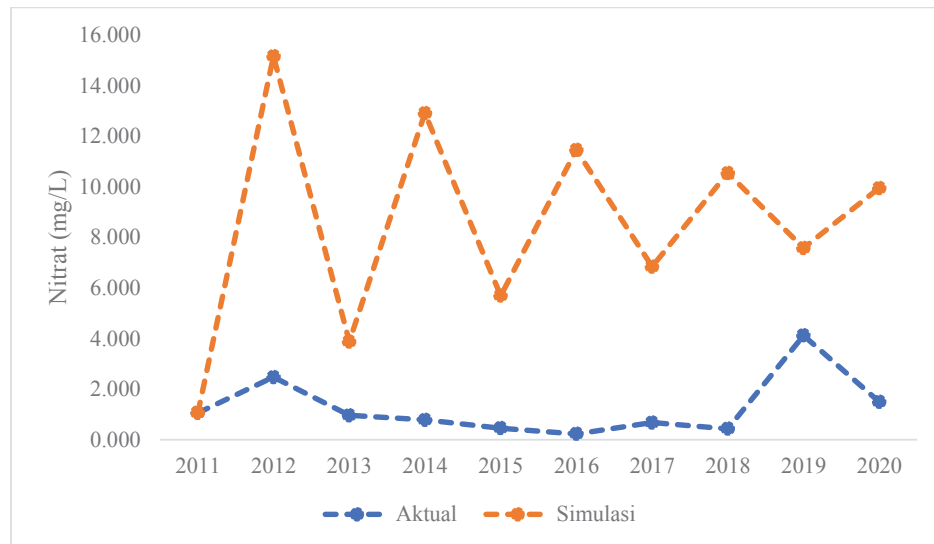
menunjukkan bahwa konsentrasi tertinggi pada konsentrasi aktual berada pada tahun 2018 senilai 0,034 mg/L dan konsentrasi tertinggi pada hasil simulasi berada pada tahun 2012 sebesar 0,50 mg/L.

Kalibrasi Nitrat

Nilai RMSE yang didapatkan untuk parameter nitrat adalah 8,329 yang berarti hasil dari kalibrasi antara data aktual dan data prediksi masih mendekati kondisi syarat minimum, sehingga model dapat diterima dan dapat digunakan untuk analisis selanjutnya.

Tabel IV. 15 Hasil Validasi Model Dinamis Nitrat Aktual dan Nitrat Simulasi

Tahun	Validasi RMSE		
	Konsentrasi Nitrat		$ y' - y ^2$
	Aktual	Simulasi	
2011	1,062	1,06	0,000
2012	2,473	15,16	160,969
2013	0,964	3,88	8,503
2014	0,781	12,91	147,117
2015	0,458	5,69	27,372
2016	0,229	11,46	126,127
2017	0,676	6,84	37,996
2018	0,432	10,54	102,182
2019	4,121	7,58	11,968
2020	1,498	9,95	71,441
Total			693,675
RMSE			8,329



Gambar IV.45 Hasil Kalibrasi Nitrat antara Nilai Aktual dan Nilai Model

Berdasarkan **Gambar IV.45** dapat dilihat bahwa konsentrasi nitrat antara nilai aktual dan model menunjukkan pola yang sama yaitu berfluktuatif. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa konsentrasi tertinggi pada konsentrasi aktual berada pada tahun 2019 senilai 4,121 mg/L dan konsentrasi tertinggi pada hasil simulasi berada pada tahun 2012 sebesar 15,16 mg/L.

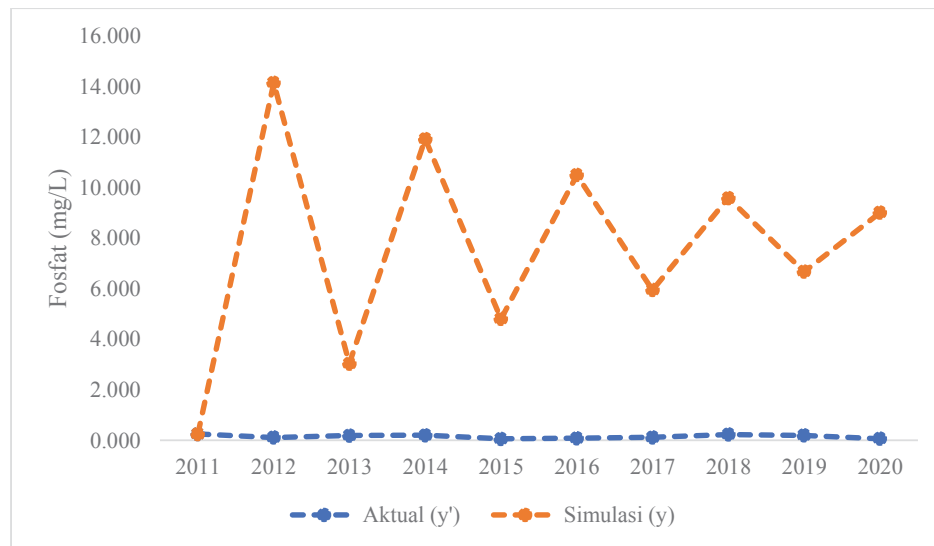
Kalibrasi Fosfat

Hasil kalibrasi antara data prediksi dan data input dari data sekunder berdasarkan parameter fosfat menunjukkan nilai RMSE sebesar 8,460. Pola data aktual dan model pada grafik berfluktuatif, namun data hasil kalibrasi masih mendekati dengan kondisi syarat minimum sehingga data dapat digunakan untuk analisis selanjutnya.

Tabel IV. 16 Hasil Validasi Model Dinamis Fosfat Aktual dan Fosfat Simulasi

Tahun	Validasi RMSE		
	Konsentrasi Fosfor		$ y' - y ^2$
	Aktual (y')	Simulasi (y)	
2011	0,250	0,25	0,000
2012	0,113	14,13	196,472
2013	0,186	3,03	8,086
2014	0,201	11,91	137,105

2015	0,057	4,8	22,496
2016	0,079	10,49	108,385
2017	0,117	5,94	33,904
2018	0,231	9,58	87,411
2019	0,193	6,67	41,949
2020	0,061	9	79,899
Total			715,707
RMSE			8,460



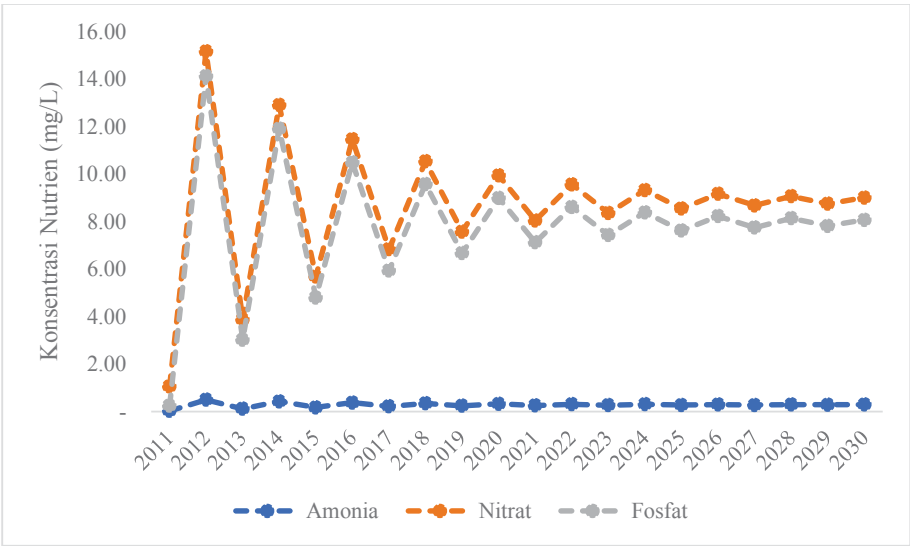
Gambar IV.46 Hasil Kalibrasi Fosfat antara Nilai Aktual dan Nilai Model

1V.7.3 Hasil Pemodelan Eutrofikasi

Pemodelan sistem dinamik menggunakan *software STELLA* akan menghasilkan *output* berupa tabel dan grafik. *Output* dapat ditampilkan setelah model berhasil dibangun dan simulasi berhasil dijalankan atau *running* serta tidak terjadi *error* saat proses *running*. Hasil simulasi pengaruh konsentrasi nutrisi terhadap sistem dinamik biomassa *Peridinium sp* dapat dilihat pada penjelasan berikut. Pemodelan ini dijalankan dalam rentang waktu 20 tahun dari tahun 2011 sampai tahun 2030. Pemodelan sistem 10 tahun pertama (tahun 2011 sampai tahun 2021) digunakan untuk melakukan validasi data. Berikut merupakan hasil simulasi model pada beberapa subsistem model.

Tabel IV. 17 Hasil Simulasi Model Dinamis Konsentrasi Amonia, Nitrat, dan Fosfat di Waduk Saguling

Tahun Proyeksi	Tahun	Konsentrasi (mg/L)		
		Amonia	Nitrat	Fosfat
1	2011	0,03	1,06	0,25
2	2012	0,50	15,16	14,13
3	2013	0,12	3,88	3,03
4	2014	0,43	12,91	11,91
5	2015	0,18	5,69	4,80
6	2016	0,38	11,46	10,49
7	2017	0,22	6,84	5,94
8	2018	0,35	10,54	9,58
9	2019	0,25	7,58	6,67
10	2020	0,33	9,95	9,00
11	2021	0,26	8,05	7,13
12	2022	0,31	9,57	8,62
13	2023	0,27	8,36	7,43
14	2024	0,31	9,33	8,39
15	2025	0,28	8,55	7,62
16	2026	0,30	9,17	8,23
17	2027	0,28	8,68	7,75
18	2028	0,30	9,07	8,14
19	2029	0,29	8,75	7,82
20	2030	0,3	9,01	8,07

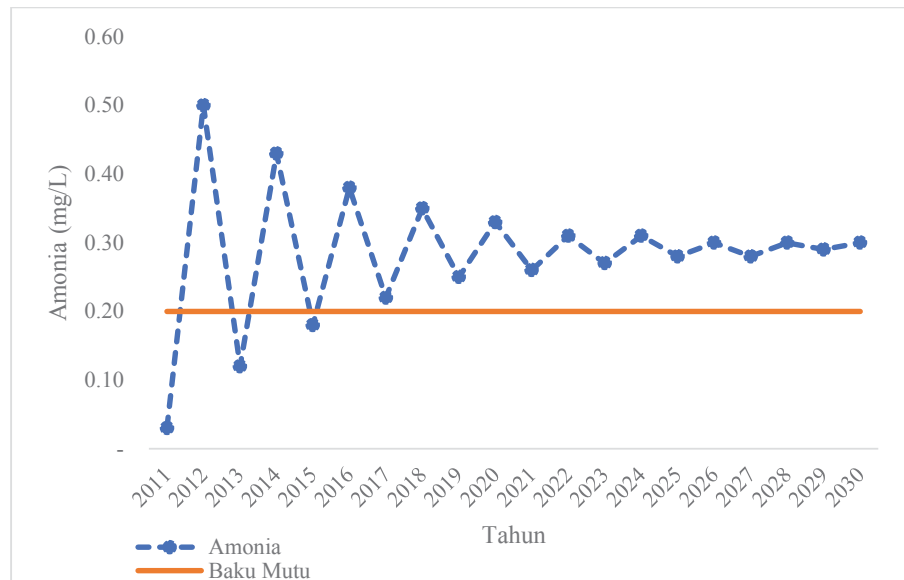


Gambar IV.47 Simulasi Model Amonia, Nitrat, dan Fosfat

Dapat dilihat pada **Gambar IV.47** konsentrasi ammonia, nitrat, dan fosfat selama 20 tahun berfluktuatif dari tahun ke tahun, dengan hasil simulasi menunjukkan bahwa konsentrasi nutrisi paling besar berturut-turut adalah konsentrasi nitrat, fosfat, dan ammonia.

IV.7.3.1 Sistem Ammonia

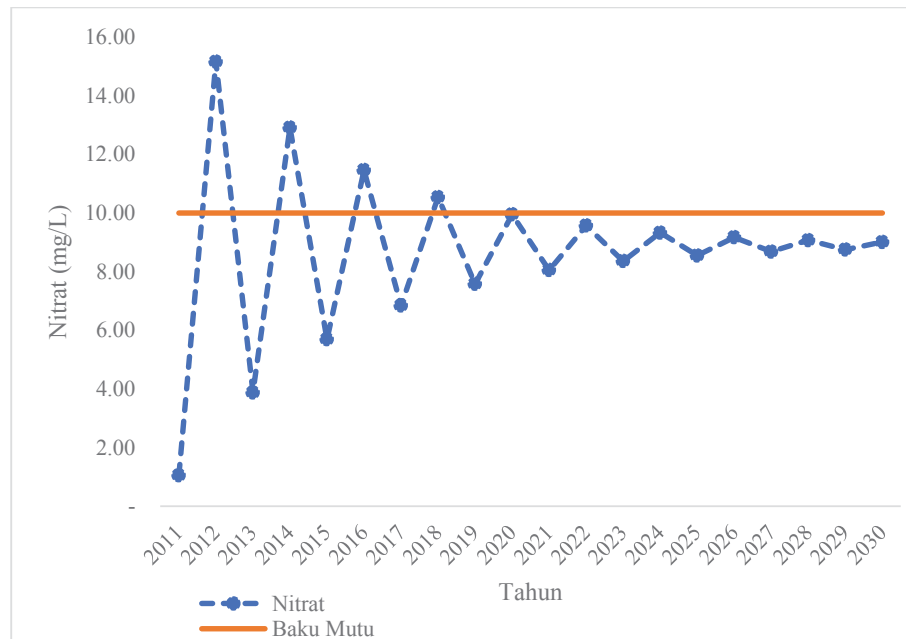
Hasil simulasi model ammonia pada **Gambar IV.48** menunjukkan bahwa konsentrasi ammonia berfluktuatif dari tahun ke tahun selama 20 tahun. Nilai tertinggi berada pada tahun 2012 dengan konsentrasi sebesar 0,50 mg/L dan terendah pada tahun 2011 senilai 0,03 mg/L. Ammonia yang masuk ke dalam Waduk Saguling ini dalam bentuk bebas melalui pupuk, hasil ekskresi ikan, dan hasil penguraian senyawa bernitrogen oleh mikroba. Peningkatan atau pemekatan konsentrasi ammonia disebabkan karena adanya akumulasi konsentrasi ammonia di air dan sedimen dari tahun ke tahun. Keberadaan ammonia dalam air dan jangka waktu yang lama dapat menyebabkan berkurangnya daya ikat oksigen dalam butir-butir darah, hal ini akan menyebabkan nafsu makan ikan menurun (Effendi, 2003). Pescod (1973) menyarankan agar kandungan ammonia dalam suatu perairan tidak lebih dari 1 mg/L, yaitu agar kehidupan ikan menjadi normal. Berdasarkan hasil simulasi terlihat bahwa kandungan ammonia di Waduk Saguling sudah cukup membahayakan bagi kehidupan ikan. Jika dibandingkan dengan baku mutu PP 22 Tahun 2021 Kelas II maka konsentrasi ammonia selama 20 tahun hanya tahun 2011, 2013 dan 2015 yang berada di bawah baku mutu yang dipersyaratkan yaitu 0,2 mg/L.



Gambar IV.48 Simulasi Model Amonia

IV.7.3.2 Sistem Nitrat

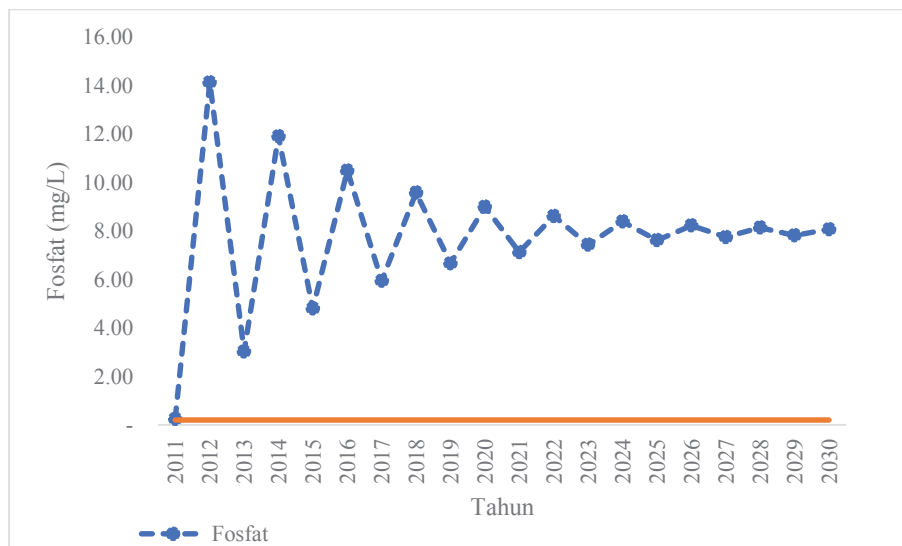
Simulasi model nitrat di Waduk Saguling dapat dilihat pada **Gambar IV.49**, hasil simulasi menunjukkan bahwa konsentrasi nitrat dari tahun ke tahun selama 20 tahun berfluktuatif. Nilai tertinggi berada pada tahun 2012 dengan nilai 15,16 mg/L dan terendah pada tahun 2011 sebesar 1,06 mg/L. Nitrat di perairan tidak toksik terhadap ikan, namun tidak dimanfaatkan dalam jumlah yang berlebihan dan konsentrasi nitrat yang tinggi dapat menyebabkan keracunan. Konsentrasi nitrat yang semakin tinggi disebabkan karena adanya pencemaran oleh pupuk nitrogen, yang terbawa aliran sungai dari luar waduk termasuk ammonia anhidrat seperti sampah organik hewan atau manusia, yang dapat meningkatkan kadar nitrat dalam air. Konsentrasi yang disarankan untuk pertumbuhan ikan adalah 10 mg/L (Peraturan Pemerintah No 22 Tahun 2021), hasil simulasi terlihat bahwa kandungan nitrat di Waduk Saguling sudah cukup membahayakan bagi kehidupan ikan. Jika dibandingkan dengan baku mutu PP 22 Tahun 2021 Kelas II maka konsentrasi nitrat selama 20 tahun hanya tahun 2012, 2014, 2016, dan 2017 yang melebihi baku mutu yang dipersyaratkan yaitu 10 mg/L.



Gambar IV.49 Simulasi Model Nitrat

IV.7.3.3 Sistem Fosfat

Keberadaan fosfat di suatu perairan sering digunakan sebagai faktor kunci dalam menentukan tingkat kesuburan perairan (Klessig, 1990). Dapat dilihat pada **Gambar IV.50** kandungan fosfat berfluktuatif dengan nilai tertinggi berada pada tahun 2012 yaitu 14,13 mg/L dan terendah berada pada tahun 2011 sebesar 0,25 mg/L. Hal ini disebabkan oleh semakin bertambahnya sumber masukan fosfat yang berasal dari kegiatan-kegiatan di luar perairan waduk seperti pertanian, pemukiman, industri. Pemekatan konsentrasi fosfat ini juga erat hubungannya dengan tinggi muka air waduk yang semakin meningkat serta masuknya sumber bahan pencemar yang banyak ke perairan tersebut. Berdasarkan kadar fosfat pada klasifikasi tingkat tropik Carlson (Cooke & Harvey, 1990), perairan Waduk Saguling telah mencapai kesuburan tingkat hipereutrofik. Jika dibandingkan dengan baku mutu PP 22 Tahun 2021 Kelas II maka konsentrasi fosfat selama 20 tahun telah melebihi baku mutu yang dipersyaratkan yaitu 0,2 mg/L.



Gambar IV.50 Simulasi Model Fosfat

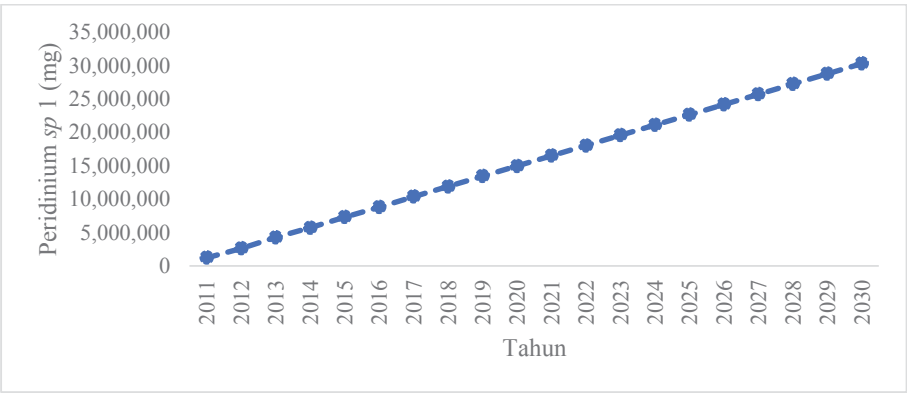
IV.7.3.4 Substistem Biomassa *Peridinium sp*

Hasil simulasi biomassa *Peridinium sp* jika dilihat pada **Tabel IV.18** cukup berbeda tiap tahun. Terjadinya perbedaan biomassa *Peridinium* dapat disebabkan adanya perubahan kondisi lingkungan akibat perbedaan musim dan tingkat aktivitas KJA yang terjadi di perairan Waduk Saguling. Menurut Basmi (1998) dalam Mujiyanto (2011), terdapat dua faktor yang berpengaruh terhadap perubahan komunitas fitoplankton, yaitu faktor waktu sebagai hasil adanya perubahan musim selama setahun (*annual variation*), dan perbedaan kedalaman sebagai hasil adanya stratifikasi fisik-kimia.

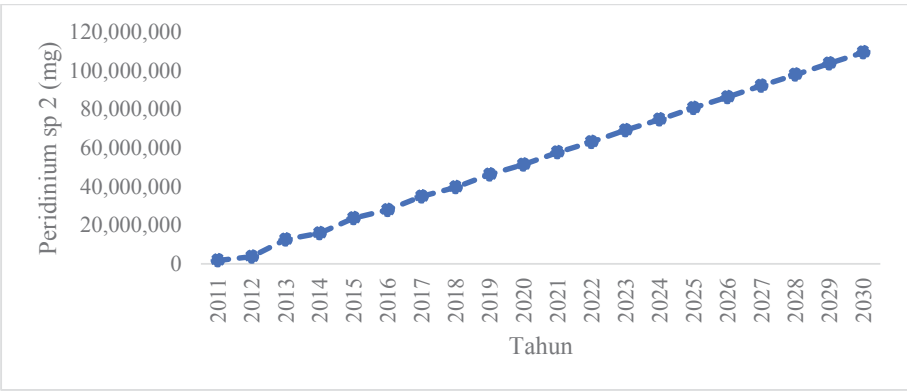
Tabel IV. 18 Hasil Simulasi Model Dinamis Biomassa *Peridinium sp* di Waduk Saguling

Tahun	Biomassa <i>Peridinium</i> (mg)		
	Biomassa <i>Peridinium</i> 1	Biomassa <i>Peridinium</i> 2	Biomassa <i>Peridinium</i> 3
2011	1.224.753	1.734.598	1.334.066
2012	2.631.985	3.651.676	2.850.612
2013	4.268.236	12.524.840	11.217.392
2014	5.721.273	15.833.135	14.103.985
2015	7.320.881	23.593.324	21.374.727
2016	8.803.232	27.791.998	25.138.150
2017	10.379.388	34.839.885	31.707.429

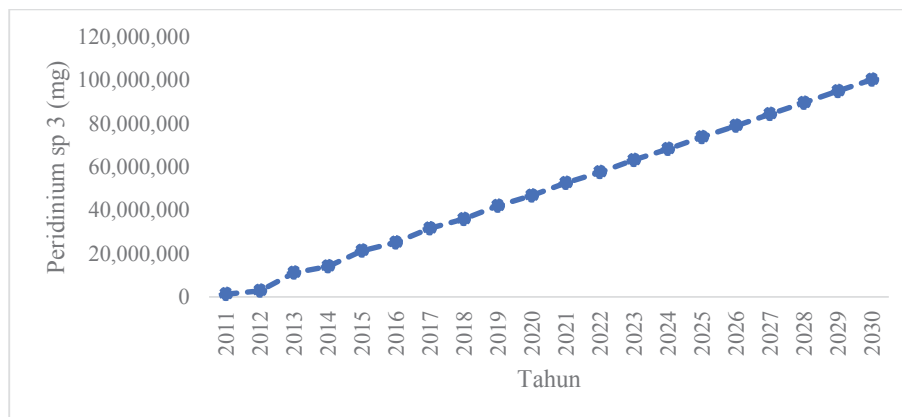
Tahun	Biomassa Peridinium (mg)		
	Biomassa Peridinium 1	Biomassa Peridinium 2	Biomassa Peridinium 3
2018	11.880.500	39.608.401	36.032.022
2019	13.441.648	46.200.414	42.152.364
2020	14.954.767	51.333.629	46.836.107
2021	16.506.309	57.633.882	52.669.129
2022	18.027.113	63.000.506	57.582.728
2023	19.572.507	69.114.033	63.231.866
2024	21.098.229	74.630.037	68.292.573
2025	22.639.689	80.624.059	73.824.024
2026	24.168.558	86.235.667	78.978.880
2027	25.707.500	92.153.206	84.435.012
2028	27.238.384	97.826.000	89.650.123
2029	28.775.714	103.694.591	95.058.051
2030	30.307.888	109.406.544	100.311.725



Gambar IV.51 Simulasi Biomassa Peridinium *sp* yang dipengaruhi oleh Amonia



Gambar IV.52 Simulasi Biomassa Peridinium *sp* yang dipengaruhi oleh Nitrat



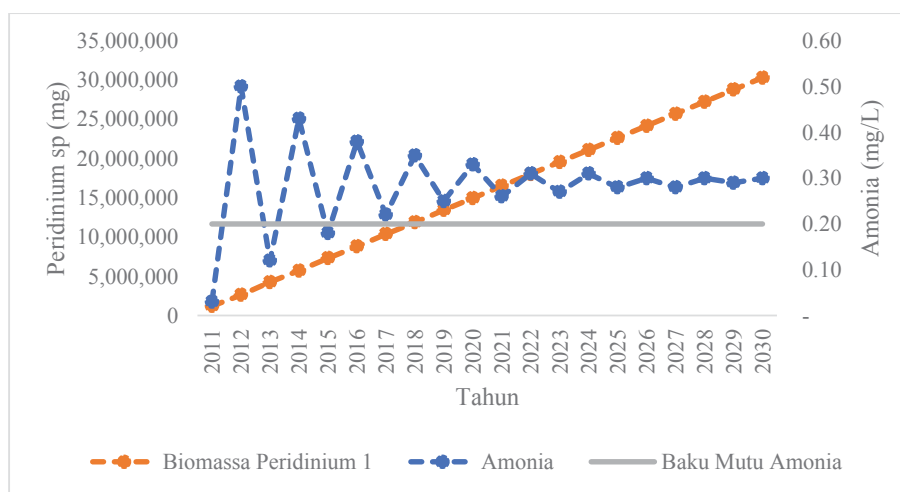
Gambar IV.53 Simulasi Biomassa *Peridinium sp* yang dipengaruhi oleh Fosfat

Gambar IV.51, **Gambar IV.52**, dan **Gambar IV.53** merupakan simulasi biomassa *Peridinium sp* yang masing-masing dipengaruhi oleh konsentrasi ammonia, nitrat, dan fosfat. Variasi kelimpahan fitoplankton ini juga dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan keberadaan dari aktivitas di sekitar perairan serta perubahan dari parameter kualitas lingkungan perairan. Sachlan (1982) dalam Mujiyanto (2011) menjelaskan bahwa distribusi fitoplankton di suatu perairan baik spasial maupun temporal mempunyai variasi yang beranekaragam. Pergerakan fitoplankton sangat pasif terbawa arus dan melayang pada kolom air. Arus maupun angin yang terjadi di suatu perairan juga akan menyebabkan perbedaan distribusi plankton. Aliran air yang terjadi di Waduk Saguling diantaranya bersumber dari berbagai anak sungai sehingga alirannya cenderung menyebar mengarah ke outlet Waduk Saguling. Basmi (1998) menjelaskan bahwa aliran massa air membawa konsentrasi fitoplankton dan menyebarkan ke seluruh perairan.

IV.7.3.5 Hubungan Amonia dan Biomassa *Peridinium sp*

Hubungan ammonia dan biomassa *Peridinium sp* dapat dilihat pada **Gambar IV.54**, biomassa fitoplankton tidak berbanding lurus dengan konsentrasi nutrisi ammonia. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, pertumbuhan biomassa fitoplankton semakin meningkat selama 20 tahun sedangkan konsentrasi ammonia berfluktuatif. Menurut Kartamihardja (2003), kelimpahan fitoplankton berkaitan erat dengan kandungan unsur hara nitrogen perairan.

Konsentrasi tertinggi ammonia dan biomassa *Peridinium sp* berada pada tahun 2012 dan 2030 dengan nilai berturut-turut 0,50 mg/L dan 30.307.888 mg. Tingginya biomassa *Peridinium sp* yang merupakan dinoflagelata mencirikan perairan yang kaya nutrisi. Penelitian Hodgkiss (1997) menyimpulkan bahwa input badan sungai dari area hutan yang kaya dengan humus dan asam fulvik akan menstimulasi *blooming* dinoflagelata, seperti yang terjadi di Waduk Saguling karena dipengaruhi oleh masukan massa air dari sungai yang membawa senyawa ammonia, selain itu aktivitas kegiatan masyarakat di sekitar waduk dapat menambah beban masukan berupa kandungan unsur hara pada perairan yang secara langsung akan mempengaruhi biomassa dinoflagelata. Dapat dilihat hasil simulasi yang telah dilakukan bahwa konsentrasi ammonia berpengaruh pada biomassa *Peridinium sp*, konsentrasi ammonia di Waduk Saguling berada di atas baku mutu yang dipersyaratkan. Pada tahun 2021 dan 2022 terdapat kemungkinan terjadinya peledakan populasi dinoflagelata akibat dari beban kandungan nitrat berlebih.



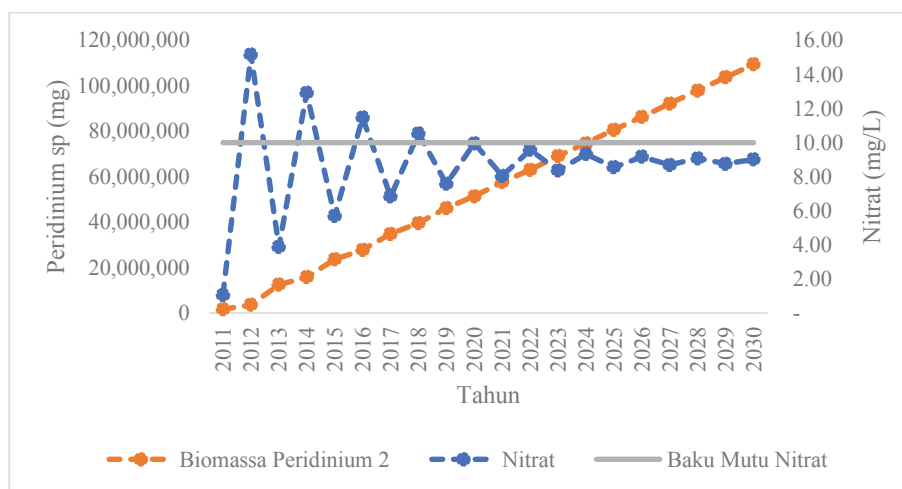
Gambar IV.54 Simulasi Model Amonia dan Biomassa *Peridinium sp*

IV.7.3.6 Hubungan Nitrat dan Biomassa *Peridinium sp*

Hubungan nitrat dan biomassa *Peridinium sp* dapat dilihat pada **Gambar IV.55**, biomassa fitoplankton tidak berbanding lurus dengan konsentrasi nitrat. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, pertumbuhan biomassa fitoplankton semakin meningkat selama 20 tahun sedangkan konsentrasi nitrat berfluktuatif.

Menurut Kartamihardja (2003), kelimpahan fitoplankton berkaitan erat dengan kandungan unsur hara nitrogen perairan dimana unsur nitrogen termasuk nitrat merupakan unsur pembatas pertumbuhannya. Unsur N sebagai faktor pembatas pertumbuhan fitoplankton secara alami, bila dalam jumlah yang berlebih maka keduanya bisa menjadi penentu terjadinya pertumbuhan fitoplankton yang sangat pesat (*blooming*) (Henderson-Seller dan Markland, 1987).

Konsentrasi tertinggi nitrat dan biomassa *Peridinium sp* berada pada tahun 2012 dan 2030 dengan nilai berturut-turut 15,16 mg/L dan 190.406.544 mg. Tingginya biomassa *Peridinium sp* yang merupakan dinoflagelata mencirikan perairan yang kaya nutrisi. Penelitian Hodgkiss (1997) menyimpulkan bahwa input badan sungai dari area hutan yang kaya dengan humus dan asam fulvik akan menstimulasi *blooming* dinoflagelata, seperti yang terjadi di Waduk Saguling karena dipengaruhi oleh masukan massa air dari sungai yang membawa senyawa nitrat, selain itu aktivitas kegiatan masyarakat di sekitar waduk dapat menambah beban masukan berupa kandungan unsur hara pada perairan yang secara langsung akan mempengaruhi biomassa dinoflagelata. Dapat di lihat hasil simulasi yang telah dilakukan bahwa konsentrasi nitrat berpengaruh pada biomassa *Peridinium sp*, konsentrasi nitrat di Waduk Saguling berada di atas baku mutu yang dipersyaratkan. Hasil simulasi **Gambar IV.55** pada tahun 2021 terdapat kemungkinan terjadinya peledakan populasi dinoflagelata akibat dari beban kandungan nitrat berlebih.

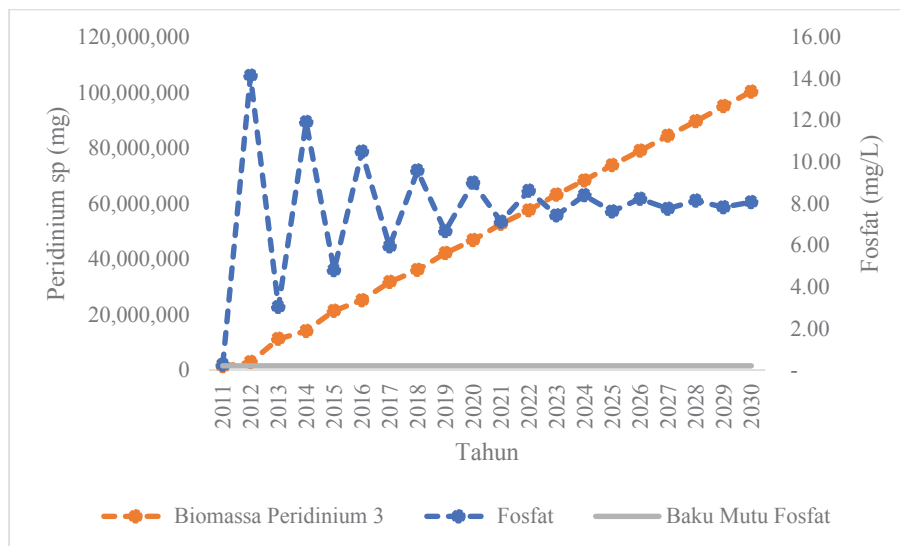


Gambar IV.55 Simulasi Model Nitrat dan Biomassa *Peridinium sp*

IV.7.3.7 Hubungan Fosfat dan Biomassa *Peridinium sp*

Hubungan fosfat dan biomassa *Peridinium sp* dapat dilihat pada **Gambar IV.56**, biomassa fitoplankton berbanding lurus dengan konsentrasi nutrisi fosfat. Berdasarkan hasil simulasi yang dilakukan, pertumbuhan biomassa fitoplankton semakin meningkat selama 20 tahun sedangkan konsentrasi fosfat berfluktuatif. Nilai fosfat dan biomassa *Peridinium sp* tertinggi berada pada tahun 2012 dan 2030 dengan nilai berturut-turut 14,13 mg/L dan 100.311.725 mg. Biomassa *Peridinium sp* di Waduk Saguling cukup tinggi yang mengindikasikan bahwa perairan tersebut mengalami eutrofikasi yang tinggi. Sama halnya dengan nutrisi ammonia dan nitrat, unsur hara fosfat merupakan unsur pembatas pertumbuhan fitoplankton. Unsur P sebagai faktor pembatas pertumbuhan fitoplankton secara alami, bila dalam jumlah yang berlebih maka keduanya bisa menjadi penentu terjadinya pertumbuhan fitoplankton yang sangat pesat (*blooming*) (Henderson-Seller dan Markland, 1987).

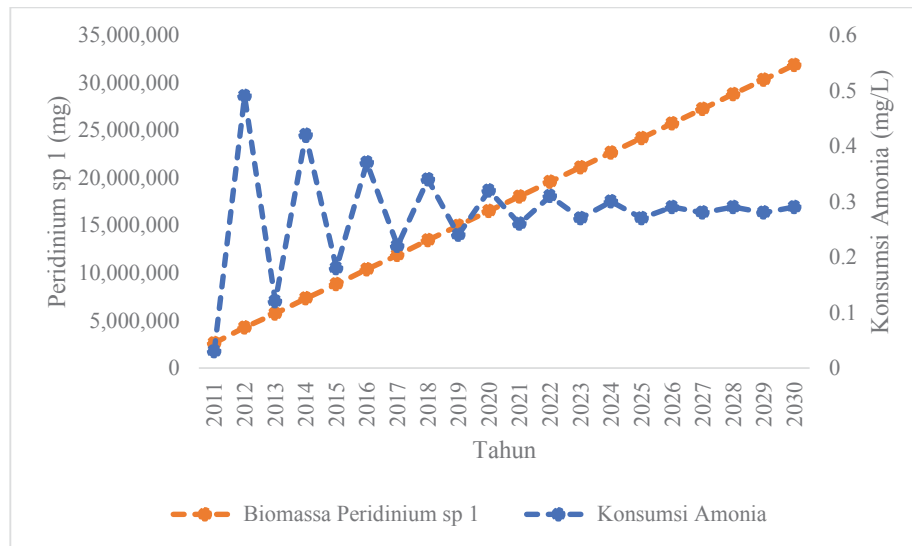
Dapat dilihat hasil simulasi yang telah dilakukan bahwa konsentrasi fosfat berpengaruh pada biomassa *Peridinium sp*, fosfat di Waduk Saguling berada di atas baku mutu yang dipersyaratkan. Hasil simulasi **Gambar IV.56** pada tahun 2021 terdapat kemungkinan terjadinya peledakan populasi dinoflagelata akibat dari beban kandungan fosfat berlebih.



Gambar IV.56 Simulasi Model Fosfat dan Biomassa *Peridinium sp*

IV.7.3.8 Hubungan Biomassa *Peridinium sp* dan Konsumsi Amonia

Hasil simulasi hubungan biomassa *Peridinium sp* dan konsumsi amonia pada **Gambar IV.57** menunjukkan bahwa biomassa *Peridinium sp* tidak berbanding lurus dengan konsumsi ammonia dari tahun ke tahun selama 20 tahun. Biomassa dan konsumsi tertinggi berada pada tahun 2030 dan 2012 dengan nilai masing-masing 31.844.186 mg dan 0,49 mg/L. Tingginya biomassa *Peridinium sp* di Waduk Saguling disebabkan oleh faktor kimia dalam hal ini unsur hara yang terdiri dari amonia yang diperlukan sebagai zat anorganik yang diubah bersama-sama karbondioksida dan air menjadi zat organik melalui proses fotosintesis yang berperan sebagai bahan untuk pertumbuhan dan perkembangan fitoplankton. Berdasarkan simulasi, pada tahun 2021 hingga 2030 biomassa *Peridinium sp* terus meningkat dengan konsumsi ammonia yang sedikit, hal ini karena dinoflagellata memiliki sifat kosmopolit, tahan terhadap kondisi ekstrim, mudah beradaptasi, dan mempunyai daya reproduksi yang sangat tinggi. Selain itu juga dipengaruhi oleh laju pertumbuhan, laju kematian, dan faktor lingkungan berupa cahaya dan suhu, sehingga dengan sisa konsentrasi yang ada, fitoplankton masih dapat bereproduksi dan biomasnya terus meningkat.

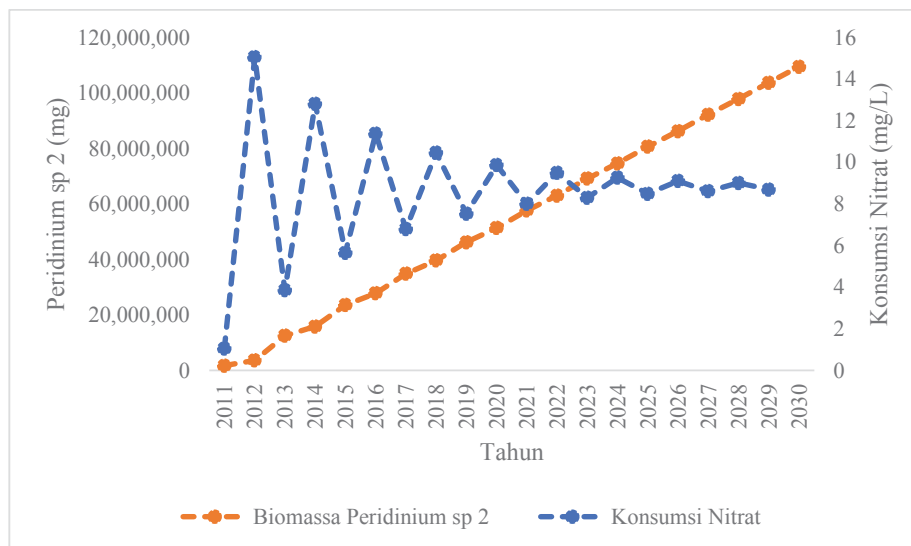


Gambar IV.57 Simulasi Model Biomassa *Peridinium sp* dan Konsumsi Amonia

IV.7.3.9 Hubungan Biomassa *Peridinium sp* dan Konsumsi Nitrat

Hasil simulasi hubungan biomassa *Peridinium sp* dan konsumsi nitrat pada **Gambar IV.58** menunjukkan bahwa biomassa *Peridinium sp* tidak berbanding lurus dengan konsumsi nitrat dari tahun ke tahun selama 20 tahun. Biomassa dan konsumsi tertinggi berada pada tahun 2030 dan 2012 dengan nilai masing-masing 109.406.544 mg dan 15,16 mg/L. Menurut Kartamihardja (2003) kelimpahan dan biomassa fitoplankton berkaitan erat dengan kandungan unsur hara N perairan dimana unsur N umumnya merupakan unsur pembatas pertumbuhannya. Unsur N sebagai faktor pembatas pertumbuhan fitoplankton di perairan alami, bila dalam jumlah berlebih maka bisa menjadi penentu terjadinya pertumbuhan fitoplankton yang sangat pesat (*blooming*) (Henderson-Seller dan Markland, 1987 dalam Dwirastina, 2014). Nontji (2008) menyebutkan bahwa kelas dinoflagellata dapat membentuk kista dan di dasar perairan melakukan istirahat panjang. Setelah melakukan istirahat panjang kemudian dinoflagellata akan tumbuh kembali bahkan sampai terjadi ledakan populasi dan menimbulkan masalah lingkungan. Spesies ini juga menghasilkan toksin dan menyebabkan kematian bagi organisme lain, namun ada beberapa spesies dinoflagellata yang mempunyai peranan penting bagi perikanan, karena merupakan makanan bagi banyak jenis ikan yang memiliki

nilai ekonomi. Tahun 2030 biomassa *Peridinium sp* terus meningkat tanpa konsumsi nitrat, hal ini karena dinoflagellata memiliki sifat kosmopolit, tahan terhadap kondisi ekstrim, mudah beradaptasi, dan mempunyai daya reproduksi yang sangat tinggi. Selain itu juga dipengaruhi oleh laju pertumbuhan, laju kematian, dan faktor lingkungan berupa cahaya dan suhu, sehingga dengan sisa konsentrasi yang ada, fitoplankton masih dapat bereproduksi dan biomasnya terus meningkat.

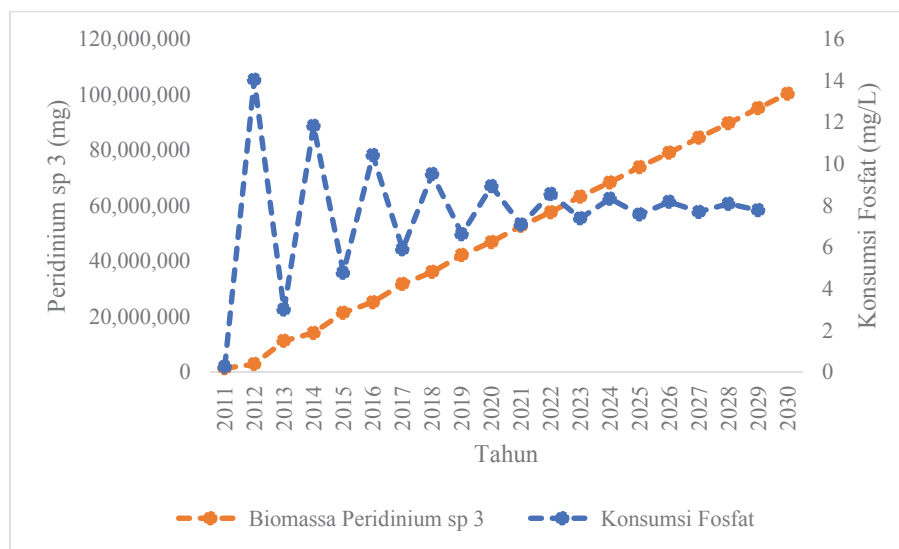


Gambar IV.58 Simulasi Model Biomassa *Peridinium sp* dan Konsumsi Nitrat

IV.7.3.10 Hubungan Biomassa *Peridinium sp* dan Konsumsi Fosfat

Simulasi hubungan biomassa *Peridinium sp* dan konsumsi fosfat pada **Gambar IV.59** menunjukkan bahwa biomassa *Peridinium sp* tidak berbanding lurus dengan konsumsi fosfat dari tahun ke tahun selama 20 tahun. Biomassa dan konsumsi tertinggi berada pada tahun 2030 dan 2012 dengan nilai masing-masing 100.311.725 mg dan 14,13 mg/L. Menurut Kartamihardja (2003) kelimpahan dan biomassa fitoplankton berkaitan erat dengan kandungan unsur hara P perairan dimana unsur P umumnya merupakan unsur pembatas pertumbuhannya. Unsur P sebagai faktor pembatas pertumbuhan fitoplankton di perairan alami, bila dalam jumlah berlebih maka bisa menjadi penentu terjadinya pertumbuhan fitoplankton yang sangat pesat (*blooming*) (Henderson-Seller dan Markland, 1987 dalam Dwirastina, 2014). Berdasarkan hasil simulasi tahun 2021 dapat dilihat bahwa telah terjadi *blooming* *Peridinium sp*, dimana semakin meningkatnya biomassa

fitoplankton ini disebabkan karena kelas fitoplankton ini memiliki laju pertumbuhan yang cepat, toleransi yang tinggi, serta mampu beradaptasi terhadap perubahan lingkungan dan mampu memanfaatkan unsur hara lebih baik untuk pertumbuhan populasinya. Kelas dinoflagellata di dasar perairan melakukan istirahat panjang kemudian dinoflagellata akan tumbuh kembali, sehingga menyebabkan ledakan populasi yang menimbulkan masalah lingkungan. Pada tahun 2030 biomassa *Peridinium sp* terus meningkat tanpa konsumsi fosfat, hal ini karena dinoflagellata memiliki sifat kosmopolit, tahan terhadap kondisi ekstrim, mudah beradaptasi, dan mempunyai daya reproduksi yang sangat tinggi. Selain itu juga dipengaruhi oleh laju pertumbuhan, laju kematian, dan faktor lingkungan berupa cahaya dan suhu, sehingga dengan sisa konsentrasi yang ada, fitoplankton masih dapat bereproduksi dan biomasnya terus meningkat.



Gambar IV.59 Simulasi Model Biomassa *Peridinium sp* dan Konsumsi Fosfat

1V.7.4 Hasil Pemodelan Skenario Eutrofikasi

Pengembangan skenario yang digunakan pada penelitian terdiri dari 3, yaitu:

1. Skenario 1, tanpa skenario
2. Skenario 2, pemberian aerasi dan/atau penggunaan teknologi aerasi
3. Skenario 3, melakukan pemanenan fitoplankton

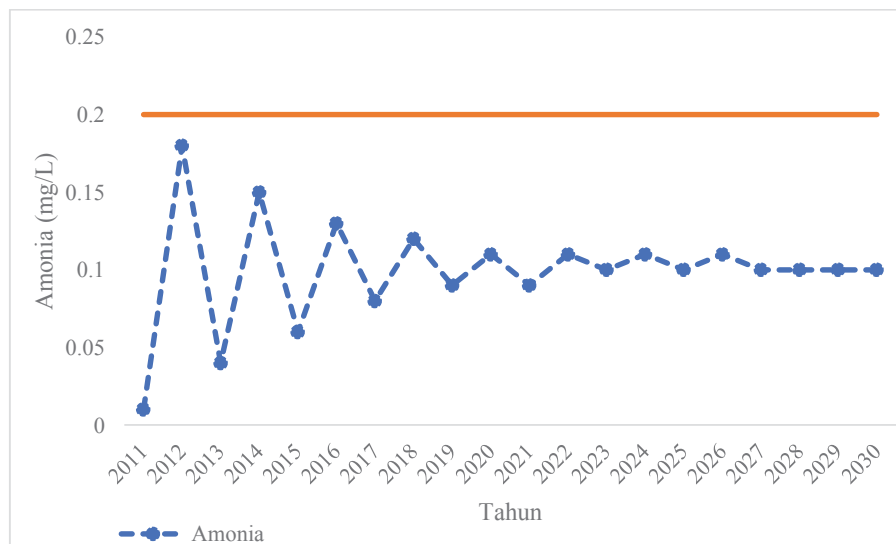
Sementara model sistem yang dipengaruhi oleh skenario adalah konsentrasi ammonia, nitrat, dan fosfat.

IV.7.4.1 Skenario Penggunaan Teknologi Aerasi

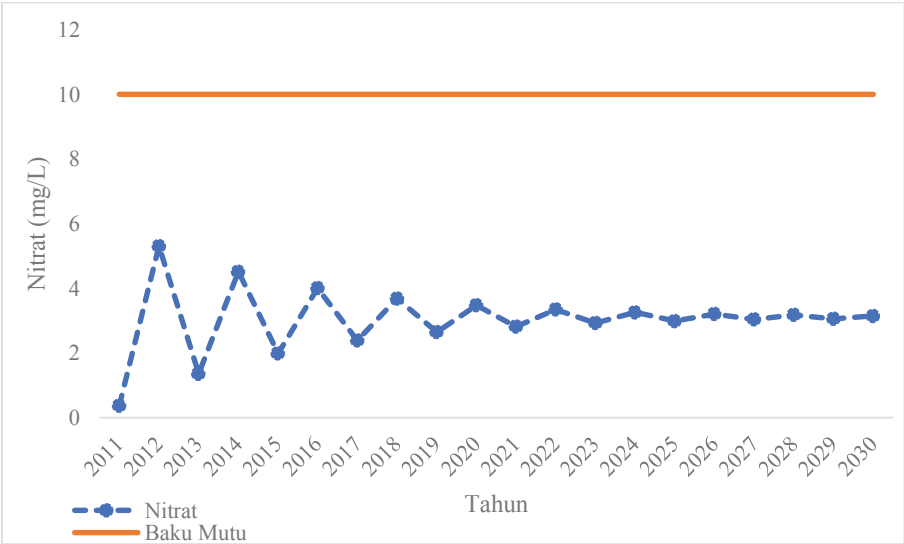
IV.7.4.1.1 Skenario Amonia, Nitrat, dan Fosfat

Skenario kedua menggunakan teknologi aerasi, prinsip kerja dari teknologi ini adalah dengan mengambil air pada lapisan tertentu yang memiliki oksigen rendah. Penambahan oksigen terlarut dilakukan dengan cara mempertemukan air dan udara di atas permukaan perairan. Air yang telah mendapatkan penambahan oksigen, akan dikembalikan pada kedalaman semula. Efisiensi aerator yang digunakan sebesar 65% (Quillen, 2009). Menurut Chain dkk (1952), efisiensi aerasi adalah tergantung pada kontak permukaan air yang akan diaerasi dengan udara. Alat aerasi hypolimnion yang pernah dibuat di Indonesia “Limnotek” dapat meningkatkan rata-rata oksigen terlarut secara signifikan, yaitu menjadi rata-rata lebih besar dari 4 mg/L.

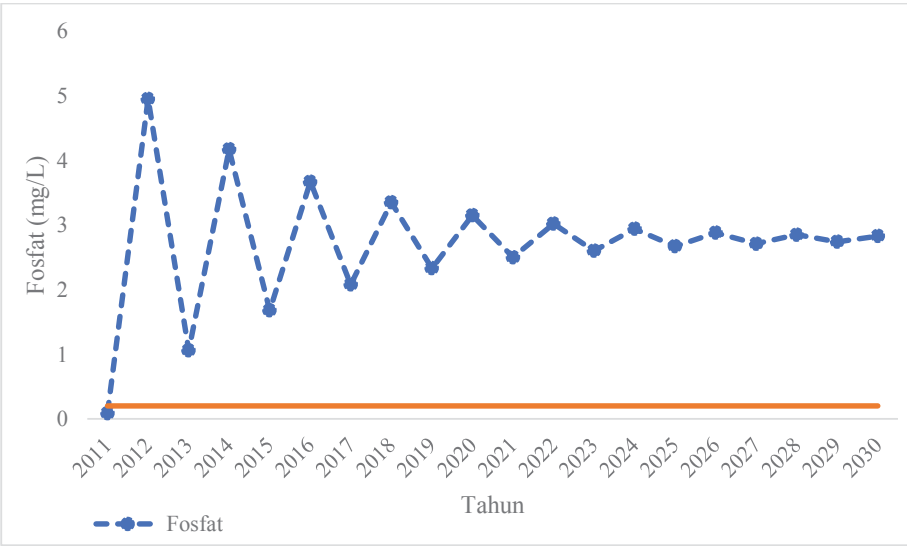
Simulasi pada skenario 2 merupakan simulasi dimana data yang diinput sesuai dengan hasil dari pembentukan model. Simulasi pada skenario 2 dilakukan dengan melakukan input data *inflow* dan *outflow* dari konsentrasi masing-masing nutrisi sehingga didapatkan efisiensi dari adanya penggunaan teknologi aerasi. Hasil skenario ammonia, nitrat, fosfat, dapat dilihat pada **Gambar IV.60** sampai **Gambar IV.62**.



Gambar IV.60 Hasil Simulasi Skenario 2 (Aerator) untuk Amonia



Gambar IV.61 Hasil Simulasi Skenario 2 (Aerator) untuk Nitrat



Gambar IV.62 Hasil Simulasi Skenario 2 (Aerator) untuk Fosfat

Penggunaan aerator ini merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kualitas air Waduk Saguling. Berdasarkan hasil simulasi skenario 2, ketika adanya penggunaan aerator konsentrasi ammonia, nitrat, dan fosfat mengalami penurunan. Konsentrasi ammonia berada di bawah baku mutu PP No 21 Tahun 2021 Kelas II dengan nilai tertinggi berada pada tahun 2012 sebesar 0,18 mg/L dan terendah pada tahun 2011 yaitu 0,01. Konsentrasi nitrat berada di bawah baku mutu dengan nilai tertinggi berada pada tahun 2012 sebesar 5,31 mg/L dan

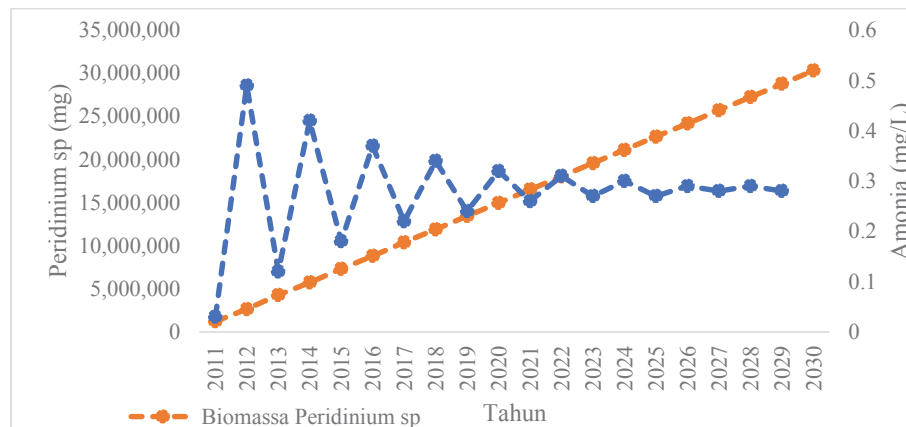
terendah pada tahun 2011 sebesar 0,37 mg/L, serta konsentrasi fosfat masih melebihi baku mutu yang dipersyaratkan kecuali pada tahun 2011 dengan nilai 0,09 mg/L dengan efisiensi aerator yang digunakan sebesar 65%. Penggunaan aerator di Waduk Saguling terlihat menjadi lebih baik daripada sebelum menggunakan aerator, sehingga alat aerasi ini layak digunakan dalam membantu secara teknis pengelolaan kualitas air terutama di daerah KJA. Penggunaan aerator ini juga tidak mengakibatkan perpindahan atau teraduknya massa air sehingga tidak berbahaya pada ikan yang dipelihara di keramba jaring apung. Dapat dilihat pada **Gambar IV.61** selama proses berlangsung terjadi kenaikan nitrat. Kenaikan senyawa nitrat sangat signifikan dan berbanding lurus dengan penyisihan ammonia. Pada prinsipnya, komponen nitrogen di dalam air Waduk Saguling berupa ammonia, dengan diinjeksikannya udara maka perairan akan kaya terhadap oksigen sehingga menyebabkan pertumbuhan bakteri nitrosomonas yang akan mengalami oksidasi menjadi nitrit dan nitrat. Akibatnya, kadar ammonia berkurang sedangkan kadar nitrat akan meningkat.

Setelah penggunaan aerator, konsentrasi fosfat masih melebihi baku mutu PP No 21 Tahun 2021 Kelas II. Hal ini akan menjadi permasalahan di lingkungan, mengingat kelebihan senyawa fosfat di atas 0,1 mg/L akan menyebabkan terjadinya eutrofikasi dalam badan air. Meskipun masalah ini tidak sebesar pencemaran ammonia yang bersifat toksik terhadap organisme akuatik, namun tetap saja perlu dilakukan pencegahan dan pengelolaan lebih lanjut. Salah satu cara mengatasi hal ini dengan melakukan pemanenan fitoplankton.

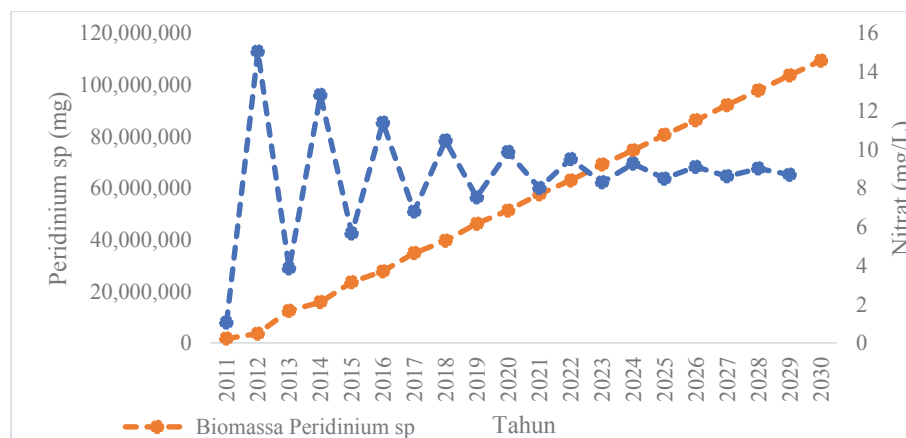
IV.7.4.1.2 Skenario Biomassa *Peridinium sp* dan Konsumsi Nutrien

Dapat dilihat pada **Gambar IV.63**, **Gambar IV.64**, dan **Gambar IV.65** nilai tertinggi untuk *Peridinium sp* berada pada tahun 2030 untuk masing-masing nutrien. Hanya biomassa *Peridinium sp* yang dipengaruhi oleh ammonia yang mengalami penurunan dengan nilai tertinggi adalah 30.304.933 mg. Jumlah biomassa paling banyak berada pada *Peridinium sp* yang dipengaruhi oleh konsentrasi nitrat yaitu sebesar 190.406.544 mg. Lalu kedua adalah *Peridinium sp* yang dipengaruhi oleh fosfat dengan nilai tertinggi senilai 100.311.725 mg.

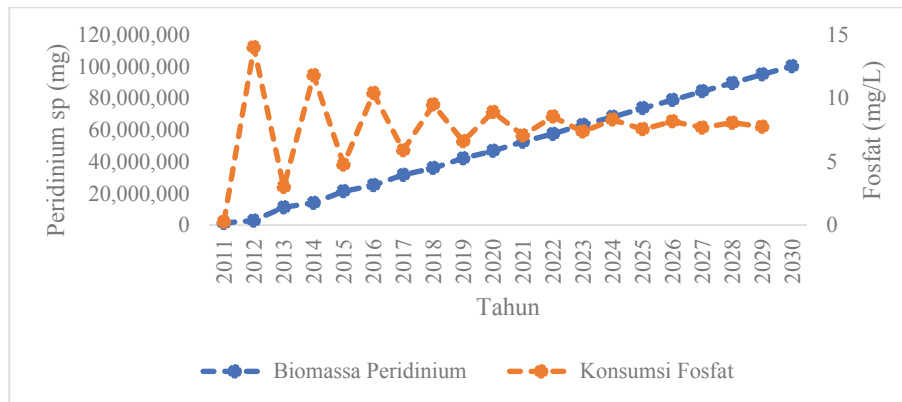
Konsumsi nutrisi tertinggi untuk amonia, nitrat, dan fosfat berada pada tahun 2012 dengan nilai masing-masing 0,49 mg/L; 15,05 mg/L; dan 14,03 mg/L. Hasil simulasi penggunaan aerator tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap biomassa *Peridinium sp* dan konsumsi nutrisi. Dapat dikatakan bahwa biomassa *Peridinium sp* tidak selalu sejalan dengan konsumsi nutrisi, hal ini disebabkan oleh komposisi unsur hara yang tidak sesuai dengan kebutuhan plankton. Selain itu juga dipengaruhi oleh laju pertumbuhan, laju kematian, dan faktor lingkungan berupa cahaya dan suhu, sehingga dengan sisa konsentrasi yang ada, fitoplankton masih dapat bereproduksi dan biomasanya terus meningkat dan/atau menurun.



Gambar IV.63 Hasil Simulasi Skenario 2 (Aerator) untuk Biomassa *Peridinium sp* dan Konsumsi Amonia



Gambar IV.64 Hasil Simulasi Skenario 2 (Aerator) untuk Biomassa *Peridinium sp* dan Konsumsi Nitrat

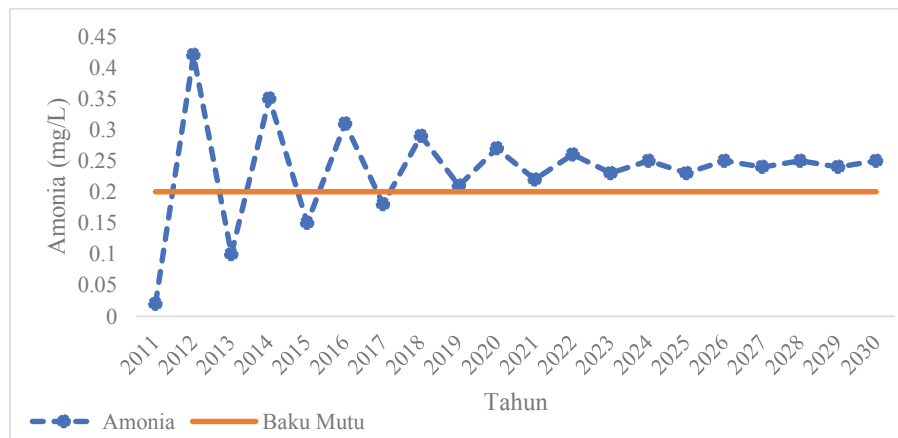


Gambar IV.65 Hasil Simulasi Skenario 2 (Aerator) untuk Biomassa *Peridinium* *sp* dan Konsumsi Fosfat

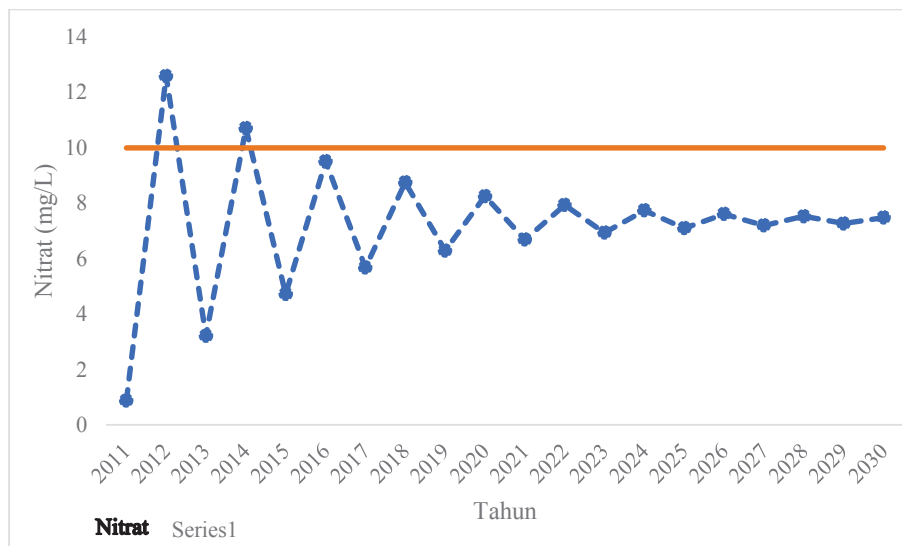
IV.7.4.2 Skenario Pemanenan Fitoplankton

IV.7.4.2.1 Skenario Amonia, Nitrat, dan Fosfat

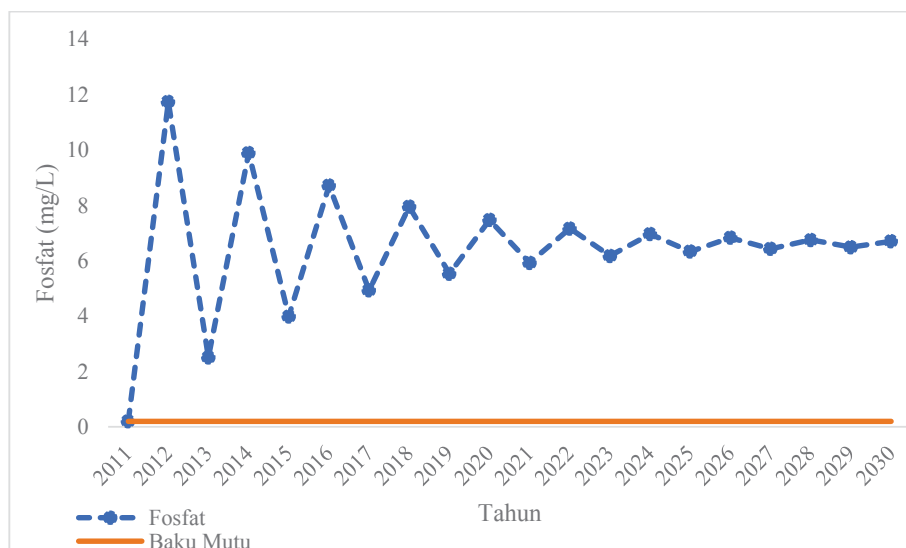
Skenario ketiga berupa pemanenan fitoplankton yang dapat dilakukan dengan cara: (a) pemanenan dengan medianya langsung menggunakan pompa submersible; dan (b) pemanenan dengan saringan. Simulasi pada skenario ini merupakan simulasi dimana data yang diinput sesuai dengan hasil dari pembentukan model. Simulasi pada skenario 3 dilakukan dengan melakukan input data efisiensi sebesar 83% (Zhen dkk, 2009). Hasil skenario ammonia, nitrat, fosfat, dapat dilihat pada **Gambar IV.66** sampai **Gambar IV.68**.



Gambar IV.66 Hasil Simulasi Skenario 3 (Pemanenan Fitoplankton) untuk Amonia



Gambar IV.67 Hasil Simulasi Skenario 3 (Pemanenan Fitoplankton) untuk Nitrat



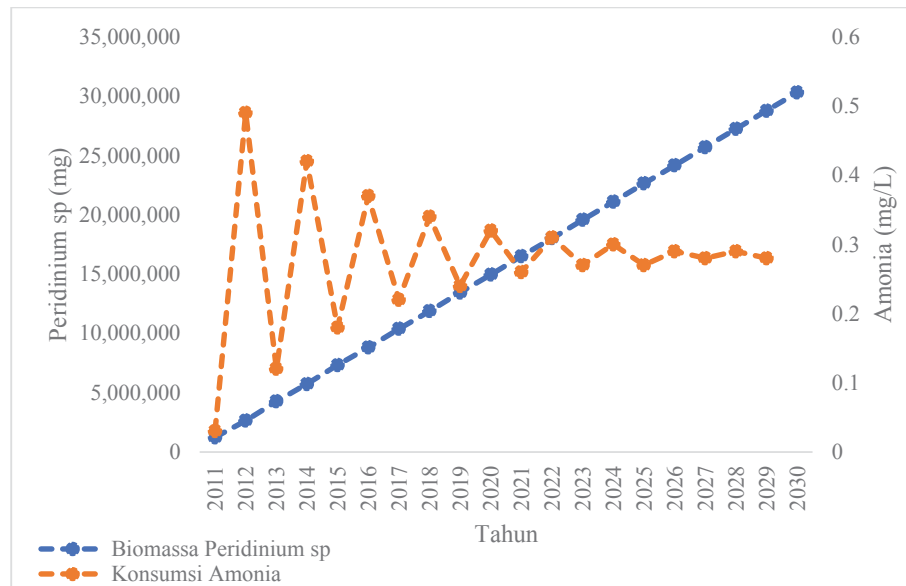
Gambar IV.68 Hasil Simulasi Skenario 3 (Pemanenan Fitoplankton) untuk Fosfat

Pemanenan fitoplankton dilakukan karena fitoplankton di dalam perairan memiliki kedudukan yang sangat penting, selain kedudukannya sebagai produsen di dalam rantai makanan, fitoplankton juga berperan penting dalam proses nitrifikasi. Oksigen yang dihasilkan dari hasil pemanenan fitoplankton digunakan untuk mengubah ammonia menjadi nitrat melalui proses nitrifikasi. Dapat dilihat pada hasil simulasi **Gambar IV.66**, **Gambar IV.67**, dan **Gambar IV.68** konsentrasi ammonia, nitrat, dan fosfat fluktuatif menurun selama 20 tahun. Dimana konsentrasi nitrat terus meningkat sedangkan konsentrasi ammonia

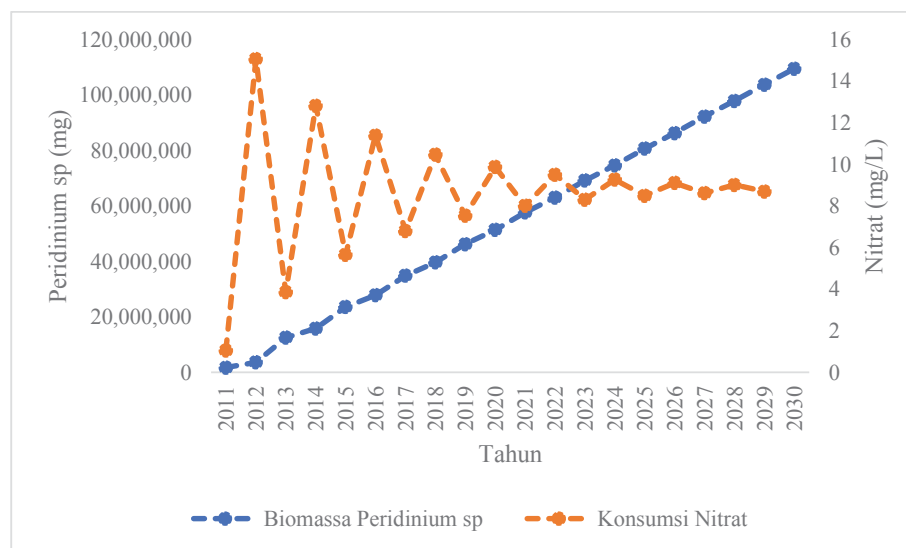
menurun. Keberadaan nitrat di dalam perairan dipengaruhi oleh jumlah ammonia dan oksigen. Ammonia terdapat di dalam perairan selain terdapat secara alami juga cukup banyak yang berasal dari limbah domestik. Konsentrasi ammonia, nitrat, dan fosfat tertinggi berada pada tahun 2012 dengan nilai masing-masing adalah 0,42 mg/L; 12,59 mg/L; dan 11,73 mg/L. Jika dibandingkan dengan baku mutu Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Kelas II untuk parameter ammonia hanya tahun 2011, 2013, 2015, dan 2017 yang memenuhi baku mutu, serta untuk nitrat hanya pada tahun 2012 dan 2014 yang melebihi baku mutu. Untuk parameter fosfat masih melebihi baku mutu yang dipersyaratkan. Hal ini berarti bahwa penggunaan pemanenan fitoplankton tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap penurunan konsentrasi nutrisi.

IV.7.4.2.2 Skenario Biomassa *Peridinium sp* dan Konsumsi Nutrien

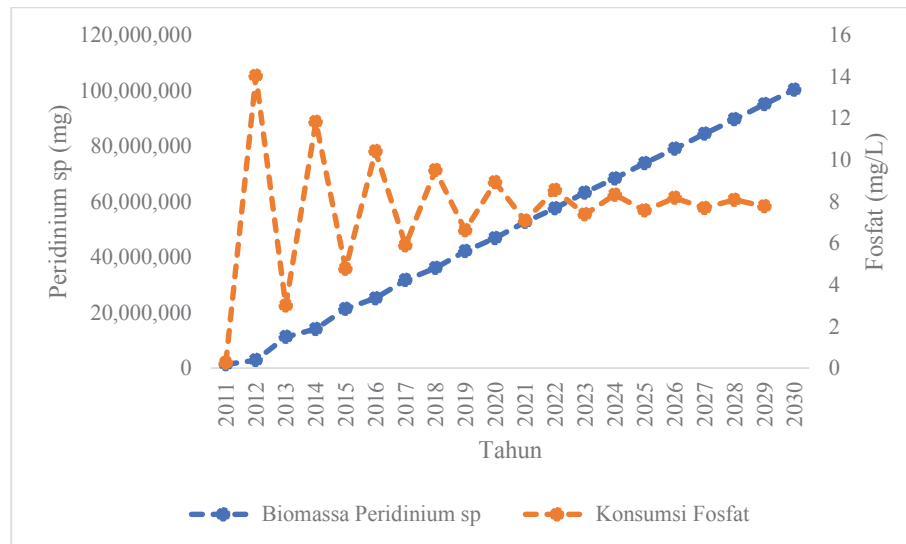
Dapat dilihat pada **Gambar IV.69**, **Gambar IV.70**, dan **Gambar IV.71** nilai tertinggi untuk *Peridinium sp* berada pada tahun 2030 untuk masing-masing nutrisi. Hanya biomassa *Peridinium sp* yang dipengaruhi oleh ammonia yang mengalami penurunan dengan nilai tertinggi adalah 30.307.888 mg. Jumlah biomassa paling banyak berada pada *Peridinium sp* yang dipengaruhi oleh konsentrasi nitrat yaitu sebesar 190.406.544 mg. Lalu kedua adalah *Peridinium sp* yang dipengaruhi oleh fosfat dengan nilai tertinggi senilai 100.311.725 mg. Konsumsi nutrisi tertinggi untuk ammonia, nitrat, dan fosfat berada pada tahun 2012 dengan nilai masing-masing 0,49 mg/L; 15,05 mg/L; dan 14,03 mg/L. Hasil simulasi pemanenan fitoplankton tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap biomassa *Peridinium sp* dan konsumsi nutrisi. Hanya konsumsi ammonia yang mengalami perubahan, sehingga dapat dikatakan bahwa biomassa *Peridinium sp* tidak selalu sejalan dengan konsumsi nutrisi, hal ini disebabkan oleh komposisi unsur hara yang tidak sesuai dengan kebutuhan plankton. Selain itu juga dipengaruhi oleh laju pertumbuhan, laju kematian, dan faktor lingkungan berupa cahaya dan suhu, sehingga dengan sisa konsentrasi yang ada, fitoplankton masih dapat bereproduksi dan biomasanya terus meningkat dan/atau menurun.



Gambar IV.69 Hasil Simulasi Skenario 3 (Pemanenan Fitoplankton) untuk Biomassa *Peridinium sp* dan Konsumsi Amonia



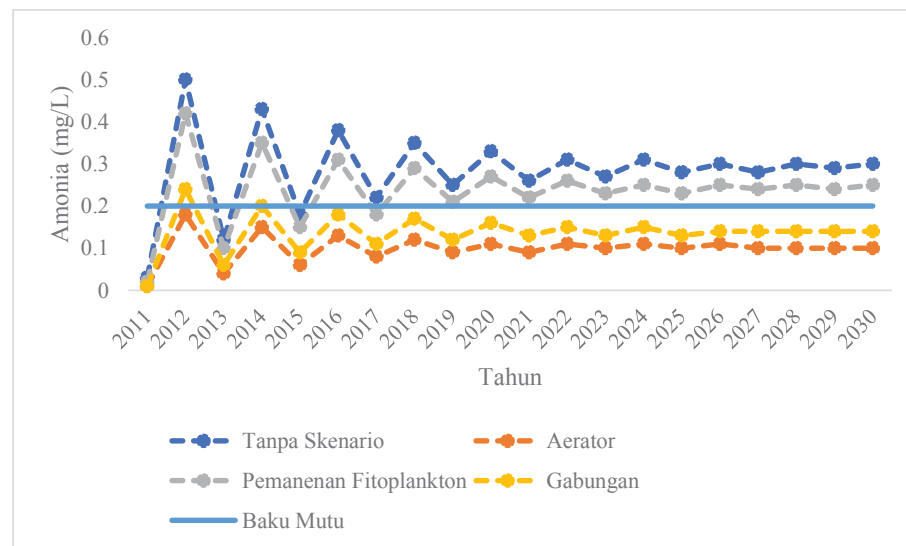
Gambar IV.70 Hasil Simulasi Skenario 3 (Pemanenan Fitoplankton) untuk Biomassa *Peridinium sp* dan Konsumsi Nitrat



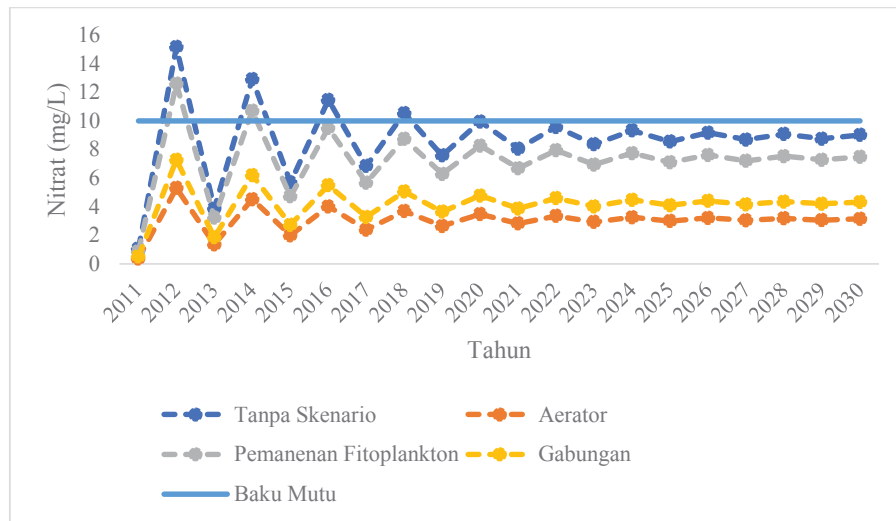
Gambar IV.71 Hasil Simulasi Skenario 3 (Pemanenan Fitoplankton) untuk Biomassa *Peridinium sp* dan Konsumsi Fosfat

IV.7.4.3 Skenario Gabungan

Simulasi pada skenario ini merupakan simulasi gabungan antara penggunaan teknologi aerasi dan pemanenan fitoplankton. Dimana data yang diinput sesuai dengan hasil dari pembentukan model. Simulasi pada skenario 4 dilakukan dengan *running* model teknologi aerasi dan pemanenan fitoplankton sehingga didapatkan efisiensi dari skenario 4. Hasil skenario ammonia, nitrat, fosfat, dapat dilihat pada **Gambar IV.72** sampai **Gambar IV.74**.

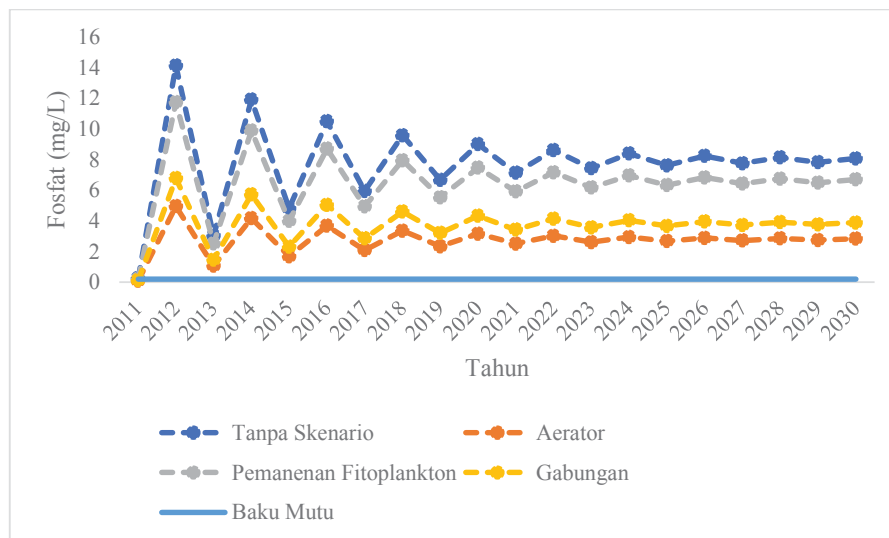


Gambar IV.72 Hasil Simulasi Skenario 4 (Gabungan) untuk Amonia



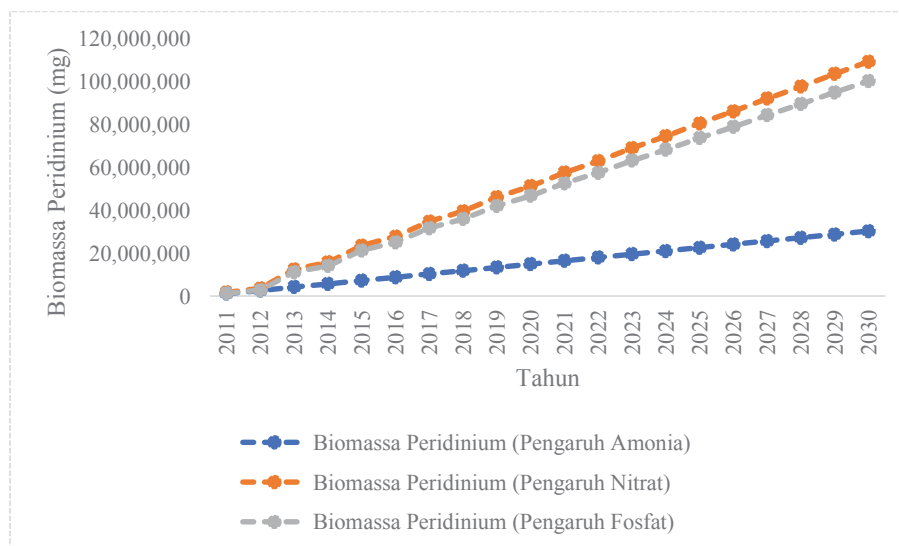
Gambar IV.73 Hasil Simulasi Skenario 4 (Gabungan) untuk Nitrat

Dapat dilihat pada **Gambar IV.72**, **Gambar IV.73**, dan **Gambar IV.74** hasil simulasi gabungan antara penggunaan aerator dan pemanenan fitoplankton tidak dapat memberikan penurunan konsentrasi nutrisi setiap tahunnya, konsentrasi ammonia dan nitrat mengalami penurunan menggunakan aerator dan penggunaan dua teknologi tersebut dibandingkan simulasi tanpa skenario dan pemanenan fitoplankton. Penggunaan kedua teknologi memberikan penurunan konsentrasi fosfat tetapi masih melebihi baku mutu yang dipersyaratkan. Nilai terendah ammonia, nitrat, dan fosfat dengan menggunakan kedua teknologi berada pada tahun 2011 yaitu 0,01 mg/L; 0,51 mg/L; dan 0,12 mg/L serta tertinggi berada pada tahun 2012 sebesar 0,24 mg/L; 7,28 mg/L; dan 6,78 mg/L. Jika dibandingkan dengan baku mutu Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 Kelas II konsentrasi yang masih melebihi baku mutu yang dipersyaratkan adalah konsentrasi ammonia pada tahun 2012 dan 2014; konsentrasi nitrat telah memenuhi baku mutu; serta konsentrasi fosfat hanya pada tahun 2011 yang memenuhi baku mutu. Dapat dikatakan bahwa penggunaan teknologi yang paling baik untuk menurunkan konsentrasi nutrisi secara berurutan adalah penggunaan teknologi aerasi, gabungan, lalu pemanenan fitoplankton.



Gambar IV.74 Hasil Simulasi Skenario 4 (Gabungan) untuk Fosfat

Pada **Gambar IV.75** menunjukkan bahwa biomassa *Peridinium sp* setelah menggunakan aerator dan pemanenan fitoplankton tidak memberikan pengaruh yang signifikan. Biomassa *Peridinium sp* pada penggabungan skenario ini tidak mendapatkan nutrisi atau terbatasnya nutrisi yang didapatkan akibat penggunaan kedua teknologi yang menyebabkan penurunan konsentrasi nutrisi. Sehingga laju reproduksi *Peridinium sp* seimbang dengan laju kematian, maka populasinya tetap tidak berubah dan akhirnya memasuki fase kematian. Pada fase ini laju kematian atau penurunan jumlah populasi lebih cepat dari pada laju reproduksi.



Gambar IV.75 Hasil Simulasi Skenario 4 (Gabungan) untuk Biomassa *Peridinium sp*