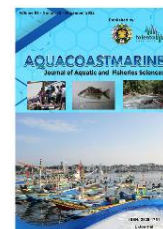




AQUACOASTMARINE

Journal of Aquatic and Fisheries Sciences

Journal homepage: <https://talenta.usu.ac.id/aquacoastmarine>



Keragaman Makroinvertebrata Sebagai Bioindikator Status Mutu Sungai Percut, Provinsi Sumatera Utara

Macroinvertebrate Diversity as a Bioindicator of the Quality Status of the Denai River, North Sumatra Province

Ahmad Muhtadi¹, Sree Viknes Varanth¹, Eri Yusni¹, Ipanna Enggar Susetya¹, Ahyar Pulungan², Rizal Mukra³

¹Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Pertanian, Universitas Sumatera Utara, Medan, 20155, Sumatera Utara, Indonesia

²Program Studi Akuakultur, Fakultas Pertanian, Universitas Samudra, Langsa, 24416, Aceh, Indonesia

³Program Studi Pendidikan Biologi, Jurusan Biologi, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Medan, Deli Serdang, Sumatera Utara 20221-Indonesia

*Corresponding Author: ahmad.muhtadi@usu.ac.id

ARTICLE INFO

Article history:

Received 07 August 2025

Revised 28 November 2025

Accepted 30 November 2025

Available online 30 November 2025

E-ISSN: 2829-1751

How to cite:

Muhtadi, A., Varanth, SV., Yusni, E., Susetya, IE., Pulungan, A., Mukra, R. (2025). Keragaman Makroinvertebrata Sebagai Bioindikator Status Mutu Sungai Percut, Provinsi Sumatera Utara. AQUACOASTMARINE: J.Aquat.Fish.Sci., 4(2), 71-83.

ABSTRAK

Makroinvertebrata dapat digunakan sebagai bioindikator karena hidup menempel pada substrat dan memiliki mobilitas yang rendah sehingga tidak mudah bergerak. Sebagian makroinvertebrata sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, sehingga spesies yang ditemukan di perairan dapat dianalisis untuk memberikan gambaran tentang keadaan perairan tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan menentukan status kesehatan kualitas air Sungai Percut, Provinsi Sumatera Utara. Penelitian dilakukan pada bulan Juli 2024 di sepanjang Daerah Aliran Sungai Percut, Sumatera Utara. Lokasi pengambilan sampel dilakukan pada 21 stasiun, yang mewakili bagian hulu, tengah, dan hilir serta anak-anak sungainya. Metode yang dapat digunakan untuk menilai kualitas perairan dengan menggunakan perhitungan indeks biotik yaitu SingScore. Komunitas makroinvertebrata yang ada di Sepanjang Daerah Aliran Sungai Percut ditemukan 41 spesies dan 30 famili. Keanekaragaman tertinggi terdapat pada stasiun 11 dengan nilai 2,94 dan terendah terdapat pada stasiun 2 dengan nilai 0. Sebaran spasial makroinvertebrata yang terdapat di Daerah Aliran Sungai Percut pada bagian hulu yaitu terdapat 23 famili dengan 31 spesies makroinvertebrata. Pada bagian Tengah Sungai Percut ditemukan 8 famili dengan 9 spesies makroinvertebrata. Pada bagian Hilir ditemukan 10 famili dengan 10 spesies makroinvertebrata. Status kualitas perairan di aliran Sungai Percut berdasarkan metode SingScore pada bagian hulu memiliki kategori Sangat Baik dan bagian tengah hingga hilir sungai Percut memiliki kategori buruk.

Kata kunci: benthos, invertebrata, kesehatan sungai, DAS



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International.
[10.32734/jafs.v4i2.22397](https://doi.org/10.32734/jafs.v4i2.22397)

ABSTRACT

Macroinvertebrates can be used as bioindicators because they live attached to the substrate and have low mobility, so they do not move easily. Some macroinvertebrates are very sensitive to environmental changes, so the species found in the waters can be analysed to provide an overview of the condition of the waters. This study aims to determine the health status of the Percut River water quality, North Sumatra Province. The study was conducted in July 2024 along the Percut River Watershed, North Sumatra. Sampling locations were carried out at 21 stations, representing the upstream, middle, and downstream sections as well as their tributaries. The method that can be used to assess water quality is by calculating the biotic index, namely SingScore. The macroinvertebrate community along the Percut River Watershed was found to have 41 species and 30 families. The highest diversity was found at station 11 with a value of 2.94, and the lowest was at station 2 with a value of 0. The spatial distribution of macroinvertebrates in the Percut River Watershed in the upstream part was 23 families with 31 macroinvertebrate species. In the middle section of the Percut River, 8 families with 9 species of macroinvertebrates were found. In the lower section, 10 families with 10 species of macroinvertebrates were found. The water quality status of the Percut River flow, based on the SingScore method, is categorised as Very Good in the upstream section, and in the middle to downstream sections, it is categorised as Poor.

Keyword: benthos, invertebrates, river health, watershed

1. Pendahuluan

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan satu kesatuan ekosistem sungai dan anak sungainya. Secara garis besar sistem Daerah Aliran Sungai (DAS) dapat dibagi dalam tiga bagian, yaitu bagian hulu, tengah, dan hilir yang bermuara ke danau atau laut (Muhtadi & Leidonald, 2025). Daerah Aliran Sungai Percut merupakan Daerah Aliran Sungai yang berada di Medan Sumatera Utara yang mengalir dari daerah hulu, yaitu Kecamatan Sibolangit di Kabupaten Karo, melintasi Kota Medan dan menuju daerah hilir di Kecamatan Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang (Machairiyah et al., 2020). Banyaknya aktivitas Masyarakat di Sungai Percut, antara lain sumber air bersih, irigasi untuk pertanian, perikanan tambak, bahkan tempat pembuangan limbah domestik dan industri menyebabkan penurunan kualitas air Sungai Percut (Machairiyah et al., 2020). Dengan banyaknya aktivitas masyarakat di sepanjang aliran Sungai mengakibatkan perubahan terhadap struktur habitat dan kualitas airnya sehingga mempengaruhi organisme akuatik (Leidonald, Muhtadi, Ashshiddiq, et al., 2025; Muhtadi et al., 2017, 2023) didalamnya salah satunya makroinvertebrata (Leidonald, Br Sinulingga, et al., 2025; Leidonald et al., 2024; Muhtadi et al., 2020).

Makroinvertebrata adalah invertebrata berukuran besar yang dapat ditemukan pada berbagai habitat perairan, termasuk sungai (Yule & Sen, 2004). Makroinvertebrata terdiri dari hewan-hewan yang tidak bertulang belakang yang didominasi oleh kelompok moluska, cacing, insekta maupun larva atau nimfa dari capung/kupu-kupu (insekta) yang mana sebagian hidupnya menjadi larva dan nimfa di perairan, khususnya sungai (Muhtadi & Leidonald, 2025; Susanti, 1999; Yule & Sen, 2004). Secara umum, makroinvertebrata digunakan sebagai bioindikator karena hidup menempel pada substrat dan memiliki mobilitas yang rendah sehingga tidak mudah bergerak (Fu'adah et al., 2025; Orozco-González & Ocasio-Torres, 2023; Patang et al., 2018). Bioindikator adalah organisme atau sekelompok organisme yang keberadaannya dapat menggambarkan kondisi lingkungan tertentu. Kelompok organisme langsung sering digunakan untuk melacak kualitas perairan termasuk dalam kelompok makroinvertebrata benthik. Biomarker baru-baru ini menjadi penting dalam menunjukkan hubungan antara faktor biotik dan abiotik dalam suatu lingkungan. Bioindikator atau indikator ekologi adalah sekelompok organisme hidup dan rentan terhadap perubahan lingkungan yang disebabkan oleh aktivitas manusia dan pengaruh alam yang merugikan (Dirisu & El Surtasi, 2021; Muhtadi et al., 2024; Muhtadi & Leidonald, 2025).

Sebagian makroinvertebrata sangat sensitif terhadap perubahan lingkungan, sehingga spesies yang ditemukan di perairan dapat dianalisis untuk memberikan gambaran tentang keadaan perairan tersebut (Blakely et al., 2014; Mustow, 2002). Upaya untuk menentukan kualitas air dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa parameter, misalnya parameter kimia, fisika dan biologi. Perubahan kualitas air

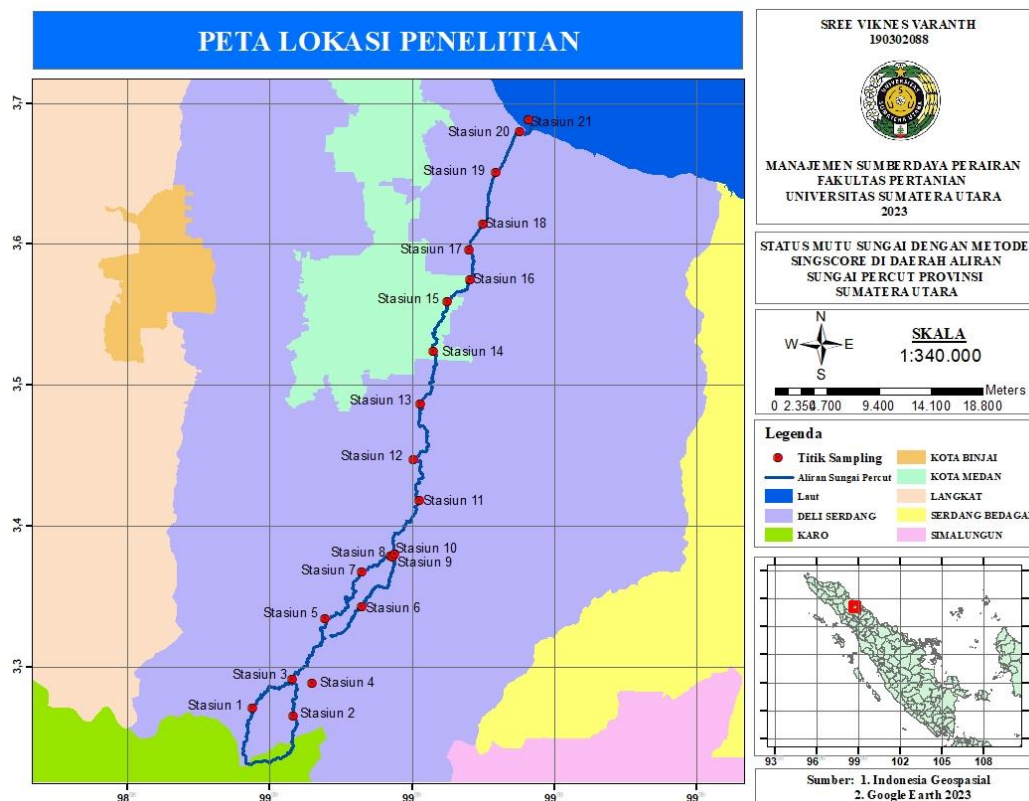
sungai akan mempengaruhi kehidupan organisme di sekitarnya dan masyarakat yang menggunakan air dari sungai tersebut. Penilaian kualitas air sungai sangat penting untuk menentukan status kualitas air sungai saat ini. Adanya aktivitas manusia seperti pertanian, industri, dan termasuk perkotaan/pemukiman merupakan ancaman yang nyata terhadap kualitas perairan sungai (Leidonald, Muhtadi, Ashshiddiq, et al., 2025; Muhtadi et al., 2024; Muhtadi & Leidonald, 2025)

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk menilai kualitas perairan dengan menggunakan perhitungan indeks biotik yaitu SingScore. SingScore merupakan salah satu metode penelitian kualitas air yang digunakan oleh para peneliti di Singapura dalam mengontrol kualitas perairan (Blakely et al., 2014). Jenis makroinvertebrata di singapura memiliki karakteristik serupa dengan Indonesia (Zulkarnain et al., 2019). Sehingga diharap penggunaan indeks SingScore ini serasi dengan ekosistem perairan di Sungai Percut. Dengan demikian, penyesuaian penggunaan indeks biotik dengan keberadaan makroinvertebrata dalam menilai kualitas perairan di Sungai Percut perlu di analisis. Penelitian ini merupakan salah satu upaya untuk mendokumentasikan biodiversitas makroinvertebrata dan dalam upaya Pemantauan kualitas air sungai untuk mengetahui status terkini kesehatan sungai dan Daerah Aliran Sungai Percut.

2. Metode

2.1. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Juli 2024 di sepanjang Daerah Aliran Sungai Percut, Sumatera Utara. Penelitian dilakukan di lokasi yang telah ditentukan yaitu bagian hulu yang terdapat pada Kecamatan Sibolangit di Kabupaten Karo, bagian tengah yang melintasi Kota Medan dan bagian hilir yang berada di Kecamatan Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang dengan jarak antara bagian hulu dan tengah yaitu sejauh 30,69 km dan jarak antara tengah hingga hilir yaitu sejauh 36,77 km. Lokasi pengambilan sampel dilakukan pada 21 stasiun. Metode yang digunakan dalam menentukan stasiun penelitian adalah *Purposive Sampling* yaitu dengan cara memilih 21 stasiun penelitian berdasarkan aktivitas di sekitar sungai yang bagian hulu (stasiun 1-3, 5,7, dan 8), tengah (stasiun 11-17), dan pada bagian hilir (stasiun 18-21) serta anak-anak sungai Sungai Percut (stasiun 4,6,9, dan 10).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

2.2. Pengambilan Makroinvertebrata

Pengambilan sampel dilakukan pada 2 titik di setiap stasiun, yaitu pada pinggiran dan tengah badan Sungai. Berikut Langkah-langkah pengambilan Makroinvertebrata:

- Pengambilan makroinvertebrata menggunakan Surber net dengan luas bukaan sebesar 30 x 30 cm yang dimasukkan ke dalam perairan kemudian ditarik agar makroinvertebrata yang berada di dasar perairan bergerak masuk kedalam jaring.
- Jaring diangkat kemudian makroinvertebrata diambil menggunakan pinset dan dimasukkan ke dalam botol sampel
- Jika pada stasiun penelitian terdapat bebatuan, kayu, atau sampah-sampah yang terendam juga diamati
- Makroinvertebrata dikelompokkan sesuai dengan kemiripan morfologi.
- Identifikasi makroinvertebrata mengacu pada website <https://www.macroinvertebrates.org> dan Yule & Sen (2004)

2.3. Pengukuran Parameter Fisika dan Kimia Perairan

Parameter kualitas air dan metode analisis pengukuran dapat di lihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter lingkungan yang diukur di DAS Percut

Parameter	Satuan	Alat	Pengukuran
Fisika			
Suhu	°C	Thermometer	Insitu
Kekeruhan	NTU	Turbidity meter	Insitu
Kedalaman	cm	Tongkat Skala	Insitu
Arus	m/s	Current Meter	Insitu
Substrat	-	Sekop	Insitu
Kimia			
pH	-	pH meter	Insitu
DO	mg/l	DO meter	Insitu

2.4. Analisis Data

Indeks Keanekaragaman (H')

Indeks keanekaragaman yaitu suatu pernyataan sistematis yang melukiskan struktur komunitas untuk mempermudah menganalisis informasi tentang jumlah dan macam organisme. Dalam perhitungan ini digunakan indeks diversitas Shanon-Wiener dengan rumus (Odum & Barrett, 2005):

$$H' = - \sum_{i=1}^s \left[\frac{n_i}{N} \right] \ln \left[\frac{n_i}{N} \right]$$

Keterangan :

H' : Indeks Keanekaragaman

N_i : Jumlah individu jenis ke- i

N : Jumlah individu total

Indeks Keseragaman (E)

Indeks keseragaman digunakan untuk mengetahui keseimbangan komunitas dengan mengamati jumlah individu antar species dalam suatu komunitas. Indeks keseragaman (E) dapat dirumuskan sebagai berikut (Krebs, 2014):

$$E = \frac{H'}{\ln S}$$

Keterangan ;

E : Indeks Keseragaman

S : Jumlah jenis

Indeks Dominansi (C)

Dominansi dinyatakan sebagai kekayaan jenis suatu komunitas serta keseimbangan jumlah individu setiap jenis. Perhitungan dominansi jenis tertentu dalam suatu komunitas digunakan indeks dominansi Simpson (Odum & Barrett, 2005) menggunakan rumus sebagai berikut :

$$C = \sum \left[\frac{ni}{N} \right]^2$$

Keterangan :

C : Indeks Dominansi

Ni : Jumlah individu jenis ke-i

N : Jumlah individu total

Frekuensi Kehadiran

Untuk menghitung frekuensi kehadiran suatu makroinvertebrata digunakan rumus (Muhtadi & Leidonald, 2025) :

$$FK = \frac{\text{Jumlah plot yang ditempati suatu jenis}}{\text{Jumlah total plot}} \times 100\%$$

Dimana nilai FK (Frekuensi Kehadiran):

0 – 25% : Sangat jarang

26 – 50% : Jarang

51 – 75% : Sering

>76% : Sangat sering

Penentuan Kualitas Air dengan Metode SingScore

Metode SingScore merupakan indeks biotuk makroinvertebrata yang sudah digunakan untuk menentukan tingkat kualitas perairan sungai dan kanal di Singapura (Blakely et al., 2014).

$$SingScore = \frac{\sum_{i=1}^s ai}{S} \times 20$$

Keterangan :

ai : Tingkat toleransi pada taksa ke-i

S : Total jumlah taksa pada sampel

Nilai yang sudah didapatkan kemudian dikalikan dengan banyaknya taksa yang di temukan dari 20 ketetapan untuk mendapatkan nilai SingScore antara 0-200. Indeks biotik kemudian dibagi ke dalam empat kategori berdasarkan nilai toleransi SingScore untuk kategori makroinvertebrata (Blakely et al., 2014).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Kualitas air

Berdasarkan hasil pengukuran pada 21 stasiun, didapatkan nilai suhu berkisar antara 22,7 °C sampai dengan 34 °C. Nilai suhu tertinggi terdapat pada stasiun 2 dengan suhu 34 °C. Sedangkan nilai suhu terendah terdapat pada stasiun 1 dengan suhu 22,7 °C. Nilai kedalaman yang di dapatkan pada 21 stasiun pengambilan sampel yaitu berkisar 32 – 105 cm. Nilai kedalaman (Cm) terendah terdapat pada stasiun 9 dengan nilai 32 cm dan kedalaman tertinggi terdapat pada stasiun 18 dengan nilai 105 cm. Nilai arus yang didapatkan pada 21 stasiun pengambilan sampel yaitu berkisar antara 12,76 cm/s sampai dengan 130,43 cm/s. Nilai Arus (cm/s) tersendah terdapat pada stasiun 21 dengan nilai 12,76 cm/s dan arus tertinggi

terdapat pada stasiun 8 dengan nilai 130,43 cm/s. Jenis-jenis substrat yang di temukan pada stasiun penelitian di daera aliran Sungai Percut yaitu lumpur, pasir, kerikil dan batuan. Rata-rata jenis substrat yang di temui pada daerah hilir yaitu lumpur dan pasir. Pada bagian tengah rata-rata jenis substrat yang di temui yaitu pasir, dan batu. Pada bagian hulu rata-rata jenis substrat yang ditemui yaitu jenis kerikil dan batu.

Pengukuran parameter kimia yaitu pH dan DO. Nilai pH yang di dapatkan di 21 stasiun pengambilan sampel berkisar antara 6 sampai dengan 9,1. Nilai pH terendah terdapat pada stasiun 2 dengan nilai 6 dan untuk nilai pH tertinggi terdapat pada stasiun 8 dan 10 dengan nilai 9,1. Nilai DO yang di dapatkan pada 21 stasiun pengambilan sampel berkisar antara 4,8 mg/L sampai dengan 9,4 mg/L. Nilai DO terendah terdapat pada stasiun 21 dengan nilai 4,8 mg/L dan DO tertinggi terdapat pada stasiun 1 dengan nilai 9,4 mg/L. secara umum kualitas air yang terukur di DAS Percut masih dalam ambang batas bauku mutu menurut PP 22 tahun 2021 (PP., 2021). Secara umum juga kondisi kualitas air di DAS Percut ini tidak jauh berbeda dengan kualitas air di DAS Deli (Leidonald, Muhtadi, Ashshiddiq, et al., 2025) maupun DAS Batangtoru (Muhtadi et al., 2020) dan Alas-Singkil (Leidonald et al., 2024; Muhtadi et al., 2022). Kondisi DAS Percut sama seperti DAS Deli dan DAS lainnya pada umumnya yang mana pada bagian hulu kondisi DAS dengan arus deras, susbtrat berbatu (Leidonald, Muhtadi, Ashshiddiq, et al., 2025; Muhtadi & Leidonald, 2025). Pada bagian tengah arus lebih rendah dengan substrat pasir dan pada bagian hilir substrat berlumpur (Muhtadi et al., 2017; Muhtadi & Leidonald, 2022).

Tabel 2. Hasil pengukuran kualitas air di DAS Percut

Stasiun pengamatan	Parameter kualitas air					
	Suhu (°C)	Kedalaman (cm)	Arus (cm/s)	pH	DO (mg/L)	Substrat
Baku mutu*	Deviasi suhu ± 3°C	-	-	6-9	4	
1	22.7	73.4	64.37	8.7	9.4	Berbatu
2	34	51	40.1	6	5.5	Kerikil & berbatu
3	27.7	67.8	38.96	8.8	7.9	Pasir & Berbatu
4	31.5	71.5	17.32	6.3	6.7	Pasir & Berbatu
5	27.5	59	62.76	8.6	7.2	Pasir & Berbatu
6	27.4	43	15.9	8.9	7.3	Pasir & Berbatu
7	27.7	73	39.47	8.8	7.2	Pasir & Berbatu
8	28.9	27.8	130.43	9.1	7.8	Pasir & Berbatu
9	28.9	32	64.1	9	7.8	Pasir & Berbatu
10	28.8	43	34.88	9.1	7.9	Pasir & Berbatu
11	30.3	37.3	27.42	8.5	7	Pasir & Berbatu
12	29.8	78.3	30.18	8.5	7.2	Pasir & Berbatu
13	30.5	83.5	44.77	7.9	6.7	Pasir & Lumpur
14	30.9	71.7	56.17	6.9	6.2	Pasir & Lumpur
15	31.1	71.7	55.14	7.4	5.7	Berbatu
16	30.7	84.5	38.46	7.5	6.2	Pasir & kerikil
17	29.7	84.5	59.71	7.7	5.6	Lumpur & berpasir
18	30	105	28.3	6.6	5.3	Pasir & Kerikil
19	30.1	78.5	16.3	7.7	6.4	Berpasir
20	32.3	43	17.18	7.7	5.5	Berlumpur
21	31.7	47	12.76	8.9	4.8	Berlumpur

*(PP., 2021)

3.2. Makroinvertebrata di DAS Percut

Berdasarkan hasil penelitian dan identifikasi makroinvertebrata yang telah dilakukan pada 21 stasiun maka didapatkan 30 famili dan 41 spesies makroinvertebrata di Daerah Aliran Sungai Percut (Tabel 3). Makroinvertebrata yang ditemukan terdiri dari 3 filum yaitu Arthropoda, Mollusca dan Annelida. Pada filum Arthropoda ditemukan sebanyak 19 famili, filum Mollusca 8 famili dan filum annelida ditemukan sebanyak 3 famili. Jenis makroinvertebrata paling banyak ditemukan yaitu ada pada daerah hulu sebanyak 29 spesies dari 23 famili. Jenis makroinvertebrata yang paling sedikit ditemukan ada pada daerah hilir sebanyak 10 spesies dari 10 famili. Pada daerah hulu Sungai Percut spesies makroinvertebrata yang paling banyak ditemukan yaitu spesies *Neoperla* sp., *Gerris* sp., *Thiara* sp. dan *Caridina* sp. dengan total 13 Individu. Spesies yang paling sedikit ditemukan yaitu *Heterocloeon* sp., *Pomacea* sp., *Clioperla* sp., dan *Ameletus* sp. dengan total 1 individu. Pada daerah tengah Sungai Percut spesies makroinvertebrata yang paling banyak ditemukan yaitu spesies *Thiara* sp dengan total 23 biota. Spesies yang paling sedikit ditemukan yaitu spesies *Ephemerella* sp dengan total 1 biota. Pada daerah hilir Sungai Percut spesies makroinvertebrata yang paling banyak ditemukan yaitu spesies *Thiara* sp. dengan total 10 biota. Spesies makroinvertebrata yang paling sedikit ditemukan yaitu spesies *Caridina* sp., *Hedriodiscus* sp., dan *Aristofusus* sp, dengan total 1 biota.

Keanekaragaman makroinvertebrata di DAS Percut tertinggi terdapat di lokasi dengan kondisi baik, khususnya di anak sungai. Sebaliknya, keanekaragaman terendah ditemukan di bagian hilir, yang dianggap sebagai lokasi "tercemar" akibat aktivitas pertanian/perkebunan. Dapat juga disimpulkan bahwa makroinvertebrata lebih dominan pada substrat berkerikil dan berbatu daripada berpasir. Preferensi ini ditunjukkan oleh penempelan larva nimfa yang sangat sensitif pada substrat berbatu, sementara substrat di bagian hilir berupa lumpur dan pasir berlumpur (Muhtadi et al., 2024; Muhtadi & Leidonald, 2025).

Kekayaan makroinvertebrata di DAS Deli lebih beragam dibandingkan DAS lainnya di Indonesia. Keanekaragaman makroinvertebrata di DAS Batangtoru (Sumatera Utara) hanya terdiri dari 11 ordo dan 17 famili (Muhtadi et al., 2020), sementara di Sungai Bilah hanya ditemukan 27 taksa (Harahap et al., 2021), di DAS Alas-Singkil ditemukan 40 genera (Leidonald et al., 2024). Pada beberapa sungai di Kalimantan, hanya ditemukan 21 taksa (Patang et al., 2018), sementara di Sungai Purwokerto teridentifikasi 7 taksa (Wibowo et al., 2017). Selain itu, berbagai sungai di Malang terdiri dari 27 taksa (Kartikasari et al., 2013). Makroinvertebrata di Sungai Winongo dan Sungai Gajah Wong (Yogyakarta) masing-masing terdiri dari 21 Ordo dan 26 famili (Nugrahaningrum et al., 2017).

Frekuensi kehadiran menyatakan kehadiran spesies di stasiun penelitian. Nilai frekuensi kehadiran makroinvertebrata dapat dilihat dari banyaknya spesies yang ditemukan, pada daerah aliran sungai Percut ditemukan sebanyak 41 spesies dengan frekuensi kehadiran tertinggi terdapat pada famili Thiaridae dengan spesies *Thiara* sp senilai 61,90 % (Tabel 4). Spesies *Thiara* sp muncul sebanyak 13 kali pada seluruh stasiun penelitian. Hal ini terjadi dikarenakan spesies *Thiara* sp. lebih menyukai kondisi substrat yang berlumpur dan pasir berlumpur (Purnama et al., 2022; Sofiana et al., 2023). Nilai frekuensi terendah terdapat pada spesies *Psephenus* sp., *Paragnetina* sp., *Rhitrogena* sp., *Chironomus* sp., *Tanytarsus* sp., *Tarebia* sp., *Melanoides* sp., *Heterocloeon* sp., *Eurylophella* sp., *Attenella* sp., *Pomacea* sp., *Macronycus glabratus*, *Clioperla* sp., *Hydropsyche* sp., *Lymnae* sp., *Corbicula* sp., *Chimarra* sp., *Caenis* sp., *Ameletus* sp., *Aedes* sp., *Hedriodiscus* sp., *Aaristofusus* sp., *Hemigrapus* sp., dan *Littorina* sp. dengan nilai 4,76.

Tabel. 3. Jenis dan kelimpahan makroinvertebrata yang ditemukan di DAS Percut

No	Famili	Spesies	Stasiun																					Total
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
1	Psephenidae	<i>Psephenus</i>	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
2	Perlidae	<i>Paragnetina</i>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
3		<i>Neoperla</i>	0	0	5	0	3	0	0	2	0	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
4	Heptageniidae	<i>Leucrocuta</i>	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
5		<i>Rhitrogena</i>	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
6	Leptohyphidae	<i>Tricorythodes</i>	4	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5
7	Chironomidae	<i>Chironomus</i>	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
8		<i>Tanytarsus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
9	Gerridae	<i>Gerris</i>	0	0	2	0	4	0	4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
10	Thiaridae	<i>Thiara scabra</i>	0	0	1	0	0	3	3	0	0	3	3	4	3	7	3	3	3	4	0	6	0	46
11		<i>Tarebia</i>	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
12		<i>Melanoides</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4
13	Baetidae	<i>Heterocloeon</i>	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
14	Ephemerellidae	<i>Serratela</i>	0	0	1	0	0	0	0	1	6	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
15		<i>Ephemerella</i>	0	0	2	6	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
16		<i>Drunella</i>	0	0	1	0	0	3	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
17		<i>Eurylophella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
18		<i>Attenella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
19	Ampullaridae	<i>Pomacea</i>	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
20		<i>Pila</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	2	0	0	0	0	0	7
21	Elmidae	<i>Macronycus flabratus</i>	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
22	Perlodidae	<i>Clioperla</i>	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
23	Hydropsychidae	<i>Cheumatopsyche</i>	0	0	0	0	5	0	0	0	0	2	3	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
24		<i>Hydropsyche</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
25	Lymnaeidae	<i>Lymnaea</i>	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
26	Pachychilidae	<i>Brotia</i>	0	0	0	0	0	2	0	2	1	2	2	0	2	0	0	0	0	0	4	0	0	15
27	Naucoridae	<i>Pelocoris</i>	0	0	0	0	0	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
28	Viviporidae	<i>Filopaludina</i>	0	0	0	0	0	3	1	0	0	0	0	0	0	2	2	3	0	0	0	0	0	11
29	Atyidae	<i>Caridina</i>	0	0	0	0	0	0	6	0	3	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	14
30	Corbiculidae	<i>Corbicula</i>	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
31	Philopotamidae	<i>Chimarra</i>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
32	Hirudinea	<i>Hirudo</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	4	2	5	6	0	3	0	0	23
33	Caenidae	<i>Caenis</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2
34	Ameletidae	<i>Ameletus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
35	Glossiphoniidae	<i>Placobdella</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	5	5	6	0	2	0	0	0	22
36	Culicidae	<i>Aedes</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2
37	Stratiomyidae	<i>Hedriodiscus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1
38	Tubificidae	<i>Tubifex</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	6
39	Fasciolariidae	<i>Aaristofusus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
40	Varunidae	<i>Hemigrapsus</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	6
41	Littorinidae	<i>Littorina</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	5
N		Jumlah	12	8	19	7	18	13	18	15	12	18	19	24	17	16	20	20	7	11	8	9	11	302

Tabel 4. Frekuensi kehadiran makroinvertebrata di DAS Percut

No	Family	Species	Total	Frekuensi Kehadiran (%)
1	Psephenidae	<i>Psephenus</i> sp.	1	4,76
2	Perlidae	<i>Paragnetina</i> sp.	1	4,76
		<i>Neoperla</i> sp.	5	23,81
3	Heptageniidae	<i>Leucrocuta</i> sp.	2	9,52
		<i>Rhitrogena</i> sp.	1	4,76
4	Leptohyphidae	<i>Tricorythodes</i> sp.	2	9,52
5	Chironomidae	<i>Chironomus</i> sp.	1	4,76
		<i>Tanytarsus</i> sp.	1	4,76
6	Gerridae	<i>Gerris</i> sp.	4	19,05
7	Thiaridae	<i>Thiara</i> sp.	13	61,90
		<i>Tarebia</i> sp.	1	4,76
		<i>Melanoides</i> sp.	1	4,76
8	Baetidae	<i>Heterocloeon</i> sp.	1	4,76
9	Ephemerellidae	<i>Serratela</i> sp.	5	23,81
		<i>Ephemerella</i> sp.	3	14,29
		<i>Drunella</i> sp.	3	14,29
		<i>Eurylophella</i> sp.	1	4,76
		<i>Attenella</i> sp.	1	4,76
10	Ampullaridae	<i>Pomacea</i> sp.	1	4,76
		<i>Pila</i> sp.	2	9,52
11	Elmidae	<i>Macronycus glabratus</i>	1	4,76
12	Perlodidae	<i>Clioperla</i> sp.	1	4,76
13	Hydropsychidae	<i>Cheumatopsyche</i> sp.	4	19,05
		<i>Hydropsyche</i> sp.	1	4,76
14	Lymnaeidae	<i>Lymnaea</i> sp.	1	4,76
15	Pachychilidae	<i>Brotia</i> sp.	7	33,33
16	Naucoridae	<i>Pelocoris</i> sp.	3	14,29
17	Viviporidae	<i>Filopaludina</i> sp.	5	23,81
18	Atyidae	<i>Caridina</i> sp.	4	19,05
19	Corbiculidae	<i>Corbicula</i> sp.	1	4,76
20	Philopotamidae	<i>Chimarra</i> sp.	1	4,76
21	Hirudinea	<i>Hirudo</i> sp.	7	33,33
22	Caenidae	<i>Caenis</i> sp.	1	4,76
23	Ameletidae	<i>Ameletus</i> sp.	1	4,76
24	Glossiphoniidae	<i>Placobdella</i> sp.	5	23,81
25	Culicidae	<i>Aedes</i> sp.	1	4,76
26	Stratiomyidae	<i>Hedriodiscus</i> sp.	1	4,76
27	Tubificidae	<i>Tubifex</i> sp.	2	9,52
28	Fasciolariidae	<i>Aaristofusus</i> sp.	1	4,76
29	Varunidae	<i>Hemigrapus</i> sp.	1	4,76
30	Littorinidae	<i>Littorina</i> sp.	1	4,76
N		Jumlah	100	476,19

3.3. Struktur Komunitas

Indeks keanekaragaman makroinvertebrata di DAS Percut tertinggi terdapat pada stasiun 11 yang bernilai 2,94 dan keanekaragaman terendah terdapat pada stasiun 2 yang bernilai 0 (Tabel 5). Tingginya nilai keanekaragaman makroinvertebrata di stasiun 11 disebabkan oleh kondisi lingkungan, kualitas air yang masih baik dan vegetasi riparian di sisi kiri dan kanan yang masih alami dan didominasi oleh vegetasi pohon yang berukuran besar (vegetasi asli). Perairan yang berkualitas baik biasanya memiliki keanekaragaman yang tinggi (Leidonald, Br Sinulingga, et al., 2025; Leidonald et al., 2024; Muhtadi et al., 2020), terutama dengan variasi mikro/meso habitat yang beragam (Muhtadi & Leidonald, 2025). Keanekaragaman yang rendah dan bahkan

bernilai 0 karena tidak ditemukan makroinvertebrata di stasiun 2. Hal ini disebabkan oleh kondisi perairan pada stasiun 2 yang tergolong buruk dan tidak cukup baik untuk mendukung kehidupan makroinvertebrata, terutama karena suhunya yang tinggi yaitu mencapai 34 °C. pada stasiun 2 merupakan lokasi pemandian air panas sehingga tidak ditemukan organisme perairan yang hidup di perairan tersebut. Hal ini seperti ditemukan di hulu sungai Deli (Leidonald, Muhtadi, Aisyah RA, et al., 2025) dan Sungai Wampu (Leidonald, Br Sinulingga, et al., 2025) yang mana pada perairan yang hangat tidak ditemukan organisme yang hidup di lokasi tersebut.

Indek keseragaman di dapatkan nilai tertinggi pada stasiun 11 dengan nilai 1,42 yang merupakan kategori keseragaman tinggi, sedangkan nilai terendah terdapat pada stasiun 2 dengan nilai 0 yang merupakan kategori keseragaman rendah (Tabel 5). Nilai indeks keseragaman yang rendah pada stasiun 2 menunjukkan bahwa individu cenderung tidak menyebar ke setiap jenis atau ada jenis tertentu yang mendominasi pada suatu komunitas. Nilai keseragaman yang tinggi pada stasiun 11 menunjukkan bahwa individu cenderung menyebar ke tiap jenis, atau komunitas dan tidak didominasi oleh jenis tertentu (Muhtadi et al., 2014; Odum & Barrett, 2005). Semakin kecil nilai Indeks Keseragaman menunjukkan penyebaran jumlah individu setiap spesies atau genus tidak sama, dan menunjukkan kecenderungan dominasi salah satu spesies pada populasi tersebut. Sebaliknya, semakin besar Indeks Keseragaman menunjukkan jumlah individu tiap spesies sama atau merata (Desrita et al., 2018, 2020; Leidonald, Br Sinulingga, et al., 2025).

Indeks dominansi ditemukan adanya spesies yang mendominasi dengan nilai tertinggi yaitu 1 pada stasiun 2 sedangkan dominansi terendah terdapat pada stasiun 1 dengan nilai 0,11. Tingginya dominansi menunjukkan bahwa keseragaman spesies yang rendah dengan sebaran yang tidak merata. Adanya dominansi menandakan bahwa tidak semua hewan memiliki daya adaptasi dan kemampuan bertahan hidup yang sama di suatu tempat. Nilai indeks dominansi menunjukkan kekayaan spesies dalam komunitas dan keseimbangan jumlah individu setiap spesies. Indeks dominansi yang rendah menunjukkan tidak ada spesies yang mendominasi dengan kondisi lingkungan yang stabil serta tekanan ekologi di perairan yang relatif rendah (Krebs, 2014; Leidonald, Br Sinulingga, et al., 2025).

Tabel 5. Struktur komunitas makroinvertebrata di DAS Percut

Stasiun	H'	E	C
1	1,1	0,79	0,11
2	0	0	1
3	1,34	0,61	0,17
4	0,15	0,22	0,76
5	1,79	1	0,20
6	1,47	0,91	0,21
7	1,50	0,84	0,22
8	2,01	1,12	0,21
9	0,69	0,50	0,35
10	2,20	1	0,12
11	2,94	1,42	0,15
12	1,79	0,92	0,18
13	1,73	1,08	0,21
14	0,83	0,60	0,32
15	1,90	1,18	0,22
16	1,90	1,18	0,24
17	1,25	1,14	0,35
18	1,01	0,63	0,26
19	0,69	0,63	0,41
20	0,41	0,58	0,56
21	0,61	0,87	0,50

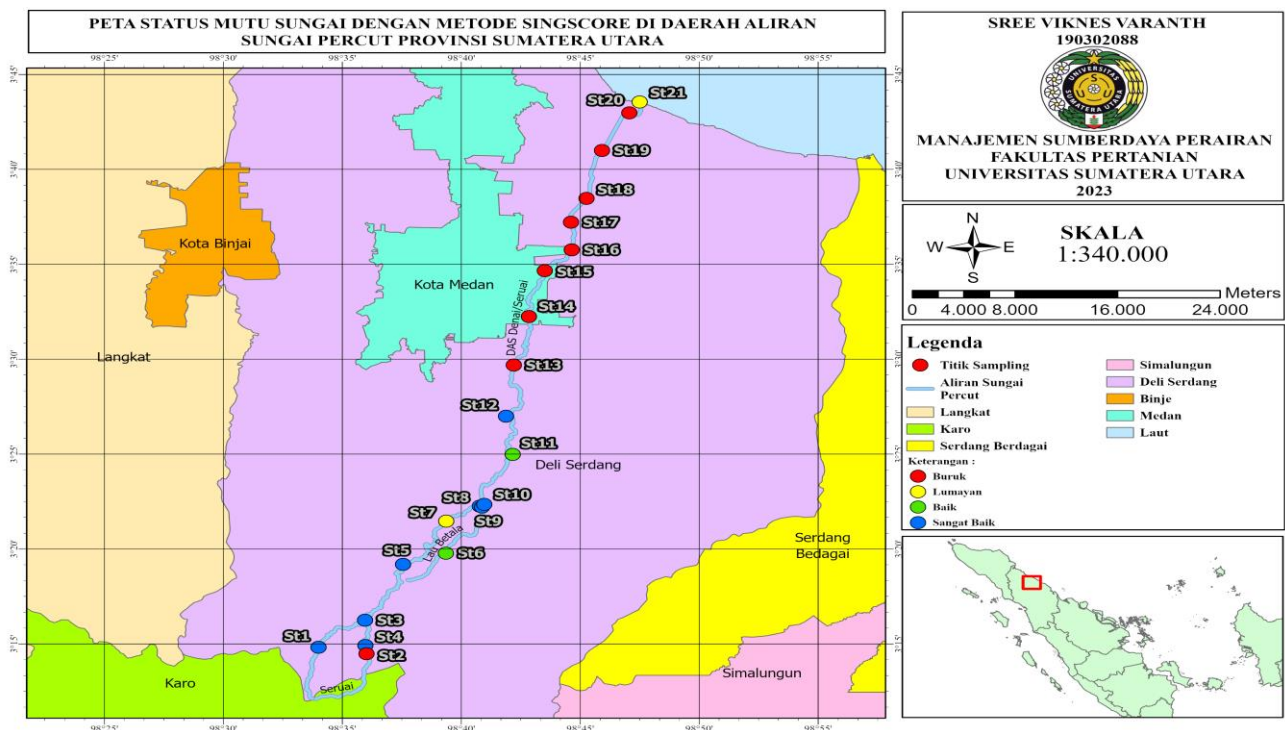
3.4. Status Kesehatan Sungai/DAS Percut

Hasil perhitungan dengan metode SingScore di dapatkan hasil pada daerah hulu Sungai Percut kondisi perairan tergolong sangat baik, sementara pada daerah tengah dan hilir Sungai Percut kondisi perairan tergolong buruk (Gambar 2). Kualitas air yang masih sangat baik pada bagian hulu (kecuali stasiun 2) famili yang ditemukan masih dalam kategori sensitive (kondisi yang masih baik) kecuali Gyrinidae yang masuk dalam kategori toleran (Blakely et al., 2014; Mustow, 2002). Kategori SingScore pada daerah hulu

sungai Percut tergolong dalam kategori Sangat Baik dengan rata-rata nilai SingScore yaitu 121,12. Hal ini terjadi dikarenakan pada bagian hulu kondisi fisik relatif baik yang dimana kondisi substrat berupa bebatuan dan cukup banyak ditemukan potongan kayu di dalam air karena di sekitaran bantaran sungai banyak tumbuh vegetasi alami. Kondisi habitat fisik sungai seperti kombinasi tipe substrat dasar, kecepatan arus dan persen naungan (vegetasi riparian) mempengaruhi struktur komunitas makroinvertebrata bahkan dapat menyebabkan hilangnya taksa yang sensitif terhadap pencemaran (Leidonald et al., 2024; Muhtadi et al., 2024; Muhtadi & Leidonald, 2025).

Sementara itu, pada bagian hilir banyaknya ditemukan kelompok moluska yang masuk dalam kategori toleran sehingga bagian hilir mengindikasikan “sudah adanya” gangguan dari sekitarnya (Purnama et al., 2022; Yule & Sen, 2004). Hasil perhitungan dengan metode SingScore didapatkan hasil bahwa kategori SingScore pada bagian tengah dan hilir sungai Percut tergolong kategori Buruk dengan rata-rata nilai SingScore pada daerah tengah yaitu 65,44 dan rata-rata nilai SingScore pada daerah hilir yaitu 58. Hal ini terjadi dikarenakan rendahnya kualitas perairan yang menunjang keberlangsungan hidup makroinvertebrata yang memiliki sensitifitas tinggi terhadap perairan tercemar. Pada stasiun tersebut diketahui bahwa rata-rata substratnya yaitu pasir dan berlumpur, yang mana pada kondisi substrat seperti ini jenis makroinvertebrata yang sering dijumpai yaitu kelas Gastropoda dan Clitellata yang memiliki tingkat toleransi yang tinggi terhadap perairan tercemar. Gastropoda merupakan organisme yang mempunyai kisaran penyebaran yang luas di substrat berbatu, berpasir maupun berlumpur tetapi organisme ini cenderung menyukai substrat dasar pasir dan sedikit berlumpur (Purnama et al., 2022). Moluska merupakan salah satu grup hewan air yang digunakan sebagai bioindikator, dan biomonitoring kualitas perairan yang memiliki toleransi tinggi terhadap perairan tercemar dibandingkan dengan hewan air lainnya (Blakely et al., 2014; Muhtadi et al., 2024; Yule & Sen, 2004).

Status pencemaran dan kesehatan sungai di DAS Percut ini tidak berbeda jauh dengan DAS lainnya yang menunjukkan bagian hulu dan anak sungai dengan perairan yang baik, pada bagian tengah kondisi tercemar dan bagian hilir dengan kondisi yang buruk. Pada Hulu DAS Wampu ini tidak jauh berbeda dengan hulu Sungai Deli Dimana ada Gunung Sibayak dengan beberapa anak sungai yang berhubungan dengan Gunung aktif dengan status buruk (Leidonald, Br Sinulingga, et al., 2025; Leidonald, Muhtadi, Ashshiddiq, et al., 2025). Beberapa DAS lainnya seperti DAS Batangtoru, DAS Alas-Singil, dan Sungai Malang yang berkisar antara buruk hingga sangat baik (Kartikasari et al., 2013; Leidonald et al., 2024; Muhtadi et al., 2020).



Gambar 2. Peta sebaran kondisi status mutu sungai/DAS Percut

4. Kesimpulan

Struktur komunitas makroinvertebrata yang ada di Sepanjang Daerah Aliran Sungai Percut ditemukan 41 spesies dan 30 famili. Keanekaragaman tertinggi terdapat pada stasiun 11 dengan nilai 2,94 dan terendah terdapat pada stasiun 2 dengan nilai 0. Indeks keseragaman tertinggi terdapat pada stasiun 11 dengan nilai 1,42

dan yang terendah terdapat pada stasiun 2 dengan nilai 0. Indeks dominansi tertinggi terdapat pada stasiun 2 dengan nilai 1 dan yang terendah terdapat pada stasiun 1 dengan nilai 0,11. Sebaran spasial makroinvertebrata yang terdapat di Daerah Aliran Sungai Percut pada bagian hulu yaitu terdapat 23 family dengan 31 spesies makroinvertebrata. Pada bagian Tengah Sungai Percut ditemukan 8 family dengan 9 spesies makroinvertebrata. Pada bagian Hilir ditemukan 10 family dengan 10 spesies makroinvertebrata. Status kualitas perairan di aliran Sungai Percut berdasarkan metode SingScore pada bagian hulu memiliki kategori Sangat Baik dan bagian tengah hingga hilir sungai Percut memiliki kategori kategori buruk.

Daftar Pustaka

- Blakely, T. J., Eikaas, H. S., & Harding, J. S. (2014). The Singscore: a macroinvertebrate biotic index for assessing the health of Singapore's streams and canals. *Raffles Bulletin of Zoology*, 62, 540–548. <http://zoobank.org/urn:lsid:zoobank.org:pub:8994F28C-1D6D-42AF-8217-C932422ABB5F>
- Desrita, Muhtadi, A., Leidonald, R., Sibagariang, R. D., & Nurfadillah. (2020). Biodiversity of nekton in batangtoru river and its tributaries in North Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, 21(6), 2344–2352. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d210602>
- Desrita, Muhtadi, A., Tamba, I. S., Ariyanti, J., & Sibagariang, R. D. (2018). Community structure of nekton in the upstream of wampu watershed, North Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*, 19(4), 1366–1374. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d190424>
- Dirisu, A. R., & El Surtasi, E. I. (2021). Bioindicators of lotic and lentic ecosystems in Agbede wetlands (Southern Nigeria), using macroinvertebrate tools. *Scientific African*, 14(e01000). <https://doi.org/10.1016/J.SCIAF.2021.E01000>
- Fu'adah, E. Q., Mubarak, A. S., Sulistiono, Dewi, N. N., Abdilah, A. A., Almira, P., Cahyadi, F. B., & Triastuti, J. (2025). Zoo Benthic Biodiversity as a Bioindicator in the Bengawan Solo Estuary. *Jurnal Ilmiah Perikanan Dan Kelautan*, 17(1), 1–15. <https://doi.org/10.20473/jipk.vi.56185>
- Harahap, A., Mahadewi, E. P., Ahmadi, D., TJ, H. W., Ganiem, L. M., Rafika, M., & Hartanto, A. (2021). Monitoring of Macroinvertebrates Along Streams of Bilah River, North Sumatra, Indonesia. *International Journal of Conservation Science*, 12(1), 247–258.
- Kartikasari, D., Retnaningdyah, C., & Arisoesilaningsih, E. (2013). Application of Water Quality and Ecology Indices of Benthic Macroinvertebrate to Evaluate Water Quality of Tertiary Irrigation in Malang District. *THE JOURNAL OF TROPICAL LIFE SCIENCE*, 3(3), 193–201.
- Krebs, C. J. (2014). *Ecological methodology* (3rd ed.). Harper Collins Publisher.
- Leidonald, R., Br Sinulingga, Y. D., Yusni, E., Muhtadi, A., Rohim, N., & Firdaus, M. (2025). Macroinvertebrate biodiversity and health status of the upper Wampu River watershed after the eruption of Mount Sinabung. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1445(1), 012078. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1445/1/012078>
- Leidonald, R., Muhtadi, A., Aisyah RA, W., Siregar, C. P. A., Tampubolon, P. A., & Suryanti, A. (2025). The potential and threats of nekton biodiversity in the Deli Watershed, North Sumatra Province. *AACL Bioflux*, 18(2), 679–693.
- Leidonald, R., Muhtadi, A., Ashshiddiq, M. A., Siahaan, V. S. P., & Manurung, B. U. (2025). Water Quality Degradation in the Deli River Watershed, North Sumatra: Impacts of Land Use and Pollution Sources. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan (Journal of Natural Resources and Environmental Management)*, 15(4), 669–679. <https://doi.org/10.29244/jpsl.15.4.669>
- Leidonald, R., Muhtadi, A., & Rahmadya, A. (2024). Spatial distribution of macroinvertebrates and stream health status of the Alas-Singkil watershed . *AACL Bioflux*, 17(2), 701–709.
- Machairiyah, M., Nasution, Z., & Slamet, B. (2020). Pengaruh Pemanfaatan Lahan terhadap Kualitas Air Sungai Percut dengan Metode Indeks Pencemaran (IP). *Limnotek : Perairan Darat Tropis Di Indonesia*, 27(1), 13–25. <https://doi.org/10.14203/limnotek.v27i1.320>
- Muhtadi, A., Aldiano, R., Khairunnisa, & Leidonald, R. (2022). Morphometric characteristics of the Alas-Singkil drainage basins. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 977(1), 1–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/977/1/012090>
- Muhtadi, A., Cordova, M. R., & Yonvitner. (2014). *Ekologi Perairan: suatu panduan praktikum* (H. Baihaqi, Ed.; 1st ed.). IPB Press.
- Muhtadi, A., Dhuha, O. R., Desrita, Siregar, T., & Muammar, M. (2017). Kondisi habitat dan keanekaragaman nekton di daerah aliran sungai Wampu, Kabupaten Langkat, Provinsi Sumatera Utara. *Depik*, 6(2), 90–99. <https://doi.org/10.13170/depik.6.2.5982>

- Muhtadi, A., Leidonald, rusdi, & Susetya, I. E. (2024). *Buku Ajar Pencemaran Perairan* (Revisi, Vol. 1). Merdeka Kreasi.
- Muhtadi, A., & Leidonald, R. (2022). *Limnologi: Praktik Dalam Laboratorium dan Lapangan* (1st ed.). Media Kreasi.
- Muhtadi, A., & Leidonald, R. (2025). *Limnologi : teori, konsep, dan model pengelolaan perairan darat*. PT. IPB Press.
- Muhtadi, A., Leidonald, R., & Desrita. (2020). Habitat characteristics and water quality status in the Batangtoru Watershed, North Sumatra Province, Indonesia. *International Conference on Agriculture, Environment and Food Security (AEFS) 2019*, 1–8. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/454/1/012092>
- Muhtadi, A., Leidonald, R., & Dewinta, A. F. (2023). Habitat characteristics and biodiversity of nekton in the Alas-Singkil River Basin, Northern Sumatra. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 24(7), 3673–3689. <https://doi.org/DOI: 10.13057/biodiv/d240704>
- Mustow, S. E. (2002). Biological monitoring of rivers in Thailand: Use and adaptation of the BMWP score. *Hydrobiologia*, 479, 191–229. <https://doi.org/10.1023/A:1021055926316>
- Nugrahaningrum, A., Harianja, M. F., Nugroho, H., & Soesilohadi, R. C. H. (2017). Macroinvertebrate diversity role in water quality assessment of Winongo and Gajah Wong rivers, Yogyakarta, Indonesia. *International Journal of Bonorowo Wetlands*, 7(1), 31–37. <https://doi.org/10.13057/BONOROWO/W070107>
- Odum, E. P., & Barrett, G. W. (2005). *Fundamental of Ecology* (5th ed.). Brooks/Cole Publishing Co.
- Orozco-González, C. E., & Ocasio-Torres, M. E. (2023). Aquatic Macroinvertebrates as Bioindicators of Water Quality: A Study of an Ecosystem Regulation Service in a Tropical River. *Ecologies*, 4(2), 209–228.
- Patang, F., Soegianto, A., & Sucipto, H. (2018). Benthic Macroinvertebrates Diversity as Bioindicator of Water Quality of Some Rivers in East Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Ecology*, 2018(5129421), 1–11.
- Penyelenggaraan Perlindungan Dan Pengelolaan Lingkungan Hidup., Pub. L. No. 078487 A, 119 (2021).
- Purnama, M., Salwiyah, S., & Nadia, L. O. A. R. (2022). Diversitas Gastropoda Perairan Tawar Kabupaten Konawe Utara, Sulawesi Tenggara. *Jurnal Perikanan Unram*, 12(3), 365–377. <https://doi.org/10.29303/jp.v12i3.334>
- Sofiana, L., Nofisulastri, N., & Safnowandi, S. (2023). Pola Distribusi Siput Air (Gastropoda) sebagai Bioindikator Pencemaran Air di Sungai Unus Kota Mataram dalam Upaya Pengembangan Modul Ekologi. *Biocaster : Jurnal Kajian Biologi*, 3(3), 130–154. <https://doi.org/10.36312/biocaster.v3i3.191>
- Susanti, S. (1999). Panduan pengenalan invertebrata kolam & sungai di Asia Tenggara. *Wetland International Indonesia Program*, 1–6.
- Wibowo, D. N., Setijanto, & Santoso, S. (2017). Short Communication: Benthic macroinvertebrate diversity as biomonitoring of organic pollutions of river ecosystems in Central Java, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 18(2), 671–676. <https://doi.org/10.13057/BIODIV/D180233>
- Yule, C. M., & Sen, Y. hei. (2004). *Freshwater Invertebrates of the Malaysian Region* (C. M. Yule & Y. hei Sen, Eds.). Academy of Sciences Malaysia.
- Zulkarnain, F., Prinasti, M. F., Sutjiningsih, D., Yasman, Warganda, T. K., Maitri, C., Wardhana, W., & Indra, T. L. (2019). Integrated assessment of highly urbanized catchment using geographic information system (case study: cascade-pond system Universitas Indonesia campus catchment area). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 338(1), 012036. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/338/1/012036>