

ANALISIS GEOKIMIA SEDIMEN DASAR LAUT PERAIRAN TELUK BONE BAGIAN UTARA, SULAWESI

GEOCHEMICAL ANALYSIS OF MARINE SEDIMENT IN NORTHERN PART OF BONE BAY WATERS, SULAWESI

Eko Saputro^{1*}, Arif Ali¹, Yuli Yulianah¹

¹ Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan, Jl. Dr. Djunjunan No. 236 Bandung 40174

*eko_geo97@yahoo.com

Diterima : 14-03-2023 , Disetujui : 20-07-2023

ABSTRAK

Analisis geokimia sedimen dasar laut perairan Teluk Bone bagian utara dilakukan untuk mengetahui rona awal sebaran dan kandungan geokimia pada sedimen dasar laut perairan ini. Analisis granulometri yang dilakukan pada sedimen dasar laut menunjukkan dominasi lanau dan lanau pasiran. Hasil analisis geokimia unsur utama menunjukkan bahwa SiO₂ (38,13%), Al₂O₃ (14,25%) dan CaO (11,80%) merupakan senyawa utama yang paling tinggi kandungannya. Secara umum, prosentase sebaran senyawa utama tersebut semakin berkurang seiring bertambahnya kedalaman batimetri, serta penyebarannya sangat dipengaruhi oleh banyak-sedikitnya sedimen fraksi halus. Unsur logam tertinggi pada perairan Teluk Bone ini yaitu Fe, Pb dan Zn dengan komposisi rata-rata ketiganya bernilai 46.134,35 ppm, 90 ppm dan 80,13 ppm. Pada umumnya sebaran kandungan unsur logam berasal dari daerah dekat darat, dan berkurang kandungannya seiring bertambahnya kedalaman batimetri. Diagram hubungan antara unsur logam dengan ukuran rata-rata butir sedimen menunjukkan bahwa semakin halus nilai ukuran butir maka semakin tinggi kandungan unsur logam di dalamnya.

Kata kunci: Analisis geokimia, unsur utama, unsur logam, granulometri, Teluk Bone

ABSTRACT

Geochemical analysis of seabed sediments in the northern part of the Bone Bay waters was carried out to determine the initial baseline and geochemical content of the seabed sediments in this area. Granulometric analysis carried out on seafloor sediments showed the predominance of silt and sandy silt. Major element analysis shows that SiO₂ (38.13%), Al₂O₃ (14.25%) and CaO (11.80%) are the main compounds with the highest content. In general, the distribution of these main compounds decreases with increasing bathymetric depth, and their distribution is strongly influenced by the amount of fine fraction sediments. The highest metal elements in the waters of the Bone Bay are Fe, Pb, and Zn with an average composition of the three of them having values of 46,134.35 ppm, 90 ppm and 80.13 ppm. In general, the distribution of metal content comes from areas near the land, and the content decreases with increasing bathymetric depth. The diagram of the relationship between metal elements and the average grain size of the sediment shows that the finer the grain size, the higher the metal element content.

Keyword: Geochemical analysis, major elements, metal elements, granulometry, Bone Bay

PENDAHULUAN

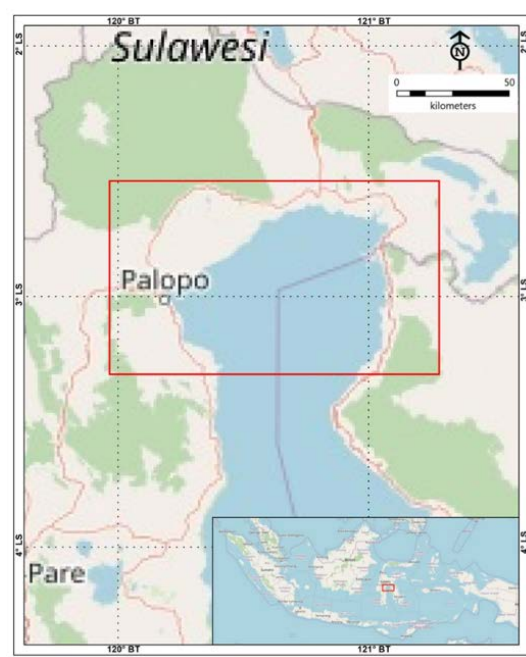
Penelitian geologi dan geofisika di perairan Teluk Bone telah dilakukan oleh Puslitbang Geologi Kelautan pada tahun 2010. Metode penelitian yang digunakan salah satunya adalah pengambilan sampel sedimen dasar laut. Sebanyak 42 sampel sedimen dasar laut diambil dari bagian utara, timur dan barat dari perairan Teluk Bone. Sebanyak 35 sampel sedimen diambil menggunakan alat sampling jatuh bebas dan 7 sampel sedimen menggunakan alat sampling comot (*grab sampler*). Pemilihan lokasi titik sampling dilakukan sesuai capaian peralatan sampling yang mempunyai keterbatasan, yakni tidak bisa lebih dari 200 m sehingga pada bagian tengah Teluk Bone tidak terdapat sampel sedimen dasar laut.

Secara geografis daerah penelitian termasuk ke dalam wilayah perairan Teluk Bone dengan batas koordinat 2°00'00" Lintang Selatan – 4°00'00" Lintang Selatan dan 120°00'00" Bujur Timur – 121°30'00" Bujur Timur (Gambar 1). Geologi regional daerah penelitian termasuk kedalam Peta Geologi Lembar Malili (Simandjuntak dkk., 1991). Berdasarkan himpunan batuan, struktur dan biostratigrafi, Lembar Malili termasuk Mendala Geologi Sulawesi Timur dan Mendala Geologi Sulawesi Barat, dengan batas Sesar Palu Koro yang membujur hampir utara-selatan. Mendala Geologi Sulawesi Timur dapat dibagi menjadi dua lajur (*belt*) yaitu lajur batuan malihan dan lajur ofiolit Sulawesi Timur yang terdiri dari batuan ultramafik dan batuan sedimen pelagis Mesozoikum. Mendala Geologi Sulawesi Barat tersusun dari sedimen berumur Kenozoikum, sekuen vulkanik yang menimpa sedimen berumur pra-Kenozoikum, sedimen laut, batuan metamorf, dan batuan beku ultrabasa.

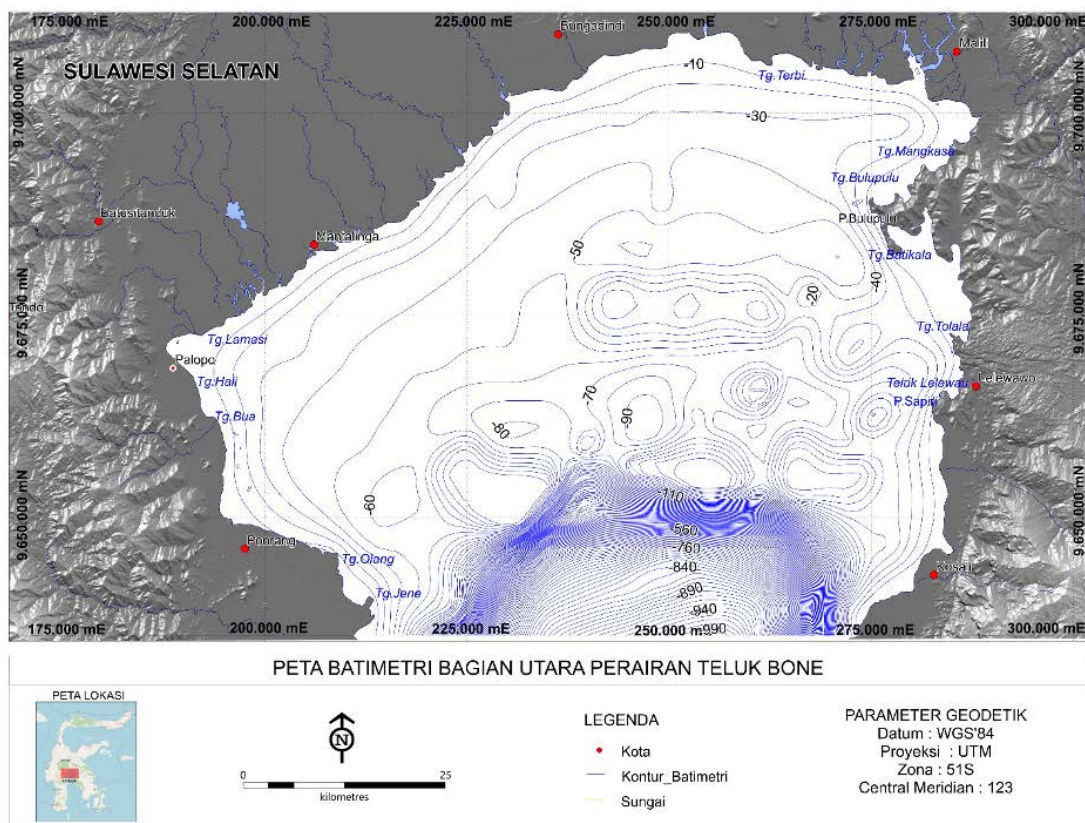
Partikel atau zat yang masuk ke dalam laut akan berakhir sebagai sedimen, dimana keberadaannya tidak

terlepas dari proses biologi dan kimia yang juga dipengaruhi oleh faktor fisika sehingga terjadi proses sedimentasi di lautan. Sedimentasi adalah proses pengendapan komponen sedimen daratan atau terakumulasinya partikel atau komponen sedimen dalam suatu tempat yang biasanya berbentuk cekungan yang mengalami beberapa proses terlebih dahulu. Pipkin (1977) menyatakan bahwa sedimen tersusun oleh pecahan, mineral, atau material organik yang ditransforkan dari berbagai sumber dan diendapkan oleh media udara, angin, es, atau oleh air dan juga termasuk didalamnya material yang diendapkan dari material yang melayang dalam air atau dalam bentuk larutan kimia. Gross (1990) mendefinisikan sedimen laut sebagai akumulasi dari mineral-mineral dan pecahan-pecahan batuan yang bercampur dengan hancuran cangkang dan tulang dari organisme laut serta beberapa partikel lain yang terbentuk lewat proses kimia yang terjadi di laut. Menurut Rollison (1993) terdapat empat jenis data geokimia yang biasa digunakan untuk merekonstruksi sejarah pembentukan batuan yaitu data unsur utama, unsur jejak, isotop radiogenik dan *stable* isotop. Data geokimia unsur utama dan unsur logam merupakan data yang digunakan dalam tulisan ini.

Komposisi sedimen permukaan dasar laut sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor baik kondisi geologi, morfologi, iklim, maupun proses geologi yang bekerja. Proses yang paling berpengaruh terhadap sedimentasi di daerah pantai dan perairan dangkal adalah pasokan sedimen dari sungai, gelombang, pasang-surut, arus sejajar pantai, arus tegak lurus pantai, dan sebagainya (Komar, 1998 dalam Zuraida dkk., 2017). Sungai besar yang bermuara ke Teluk Bone adalah Sungai Cenrana. Sungai Cenrana merupakan pemasok sedimen yang cukup tinggi karena beberapa sungai besar dan kecil bermuara ke sungai ini (Rahardiawan dan Arifin, 2013).



Gambar 1. Lokasi daerah penelitian perairan Teluk Bone



Gambar 2. Peta pola kedalaman bagian utara perairan Teluk Bone (modifikasi dari Sutisna, dkk, 2010)

Kedalaman dasar laut di daerah ini sangat bervariasi dari kedalaman 10 m sampai 2.000 m. Kedalaman yang dangkal berada di sepanjang pantai dari barat, utara dan timur daerah penyelidikan yang mempunyai luas kedalaman mulai dari 50 m sampai 200 m. Di daerah utara Teluk Bone merupakan daerah yang mempunyai luas kedalaman laut dangkal paling besar dengan morfologi relatif datar. Kedalaman laut semakin dalam mengarah ke arah selatan dan tenggara, yaitu dari kedalaman 200 m sampai 2.000 m (Gambar 2) (Sutisna dkk., 2010).

Maksud dan tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui rona awal sebaran dan kandungan geokimia sedimen dasar laut di perairan Teluk Bone berdasarkan analisis besar butir dan analisis geokimia sehingga diketahui pola sebaran dan kaitannya dengan tekstur sedimen yang berkembang.

METODE

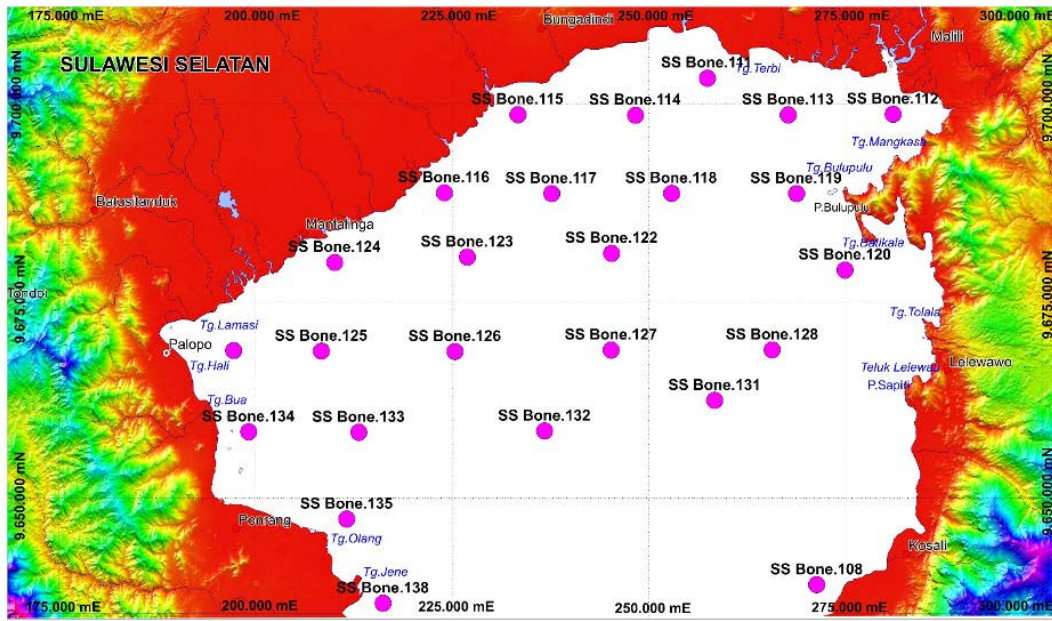
Sebanyak 42 sampel sedimen dasar laut diambil pada kedalaman mulai dari 10 m sampai 200 m, dan hanya 31 sampel sedimen yang dilakukan analisis besar butir untuk kepentingan penelitian ini (Gambar 3). Analisis besar butir yang dilakukan adalah dengan memisahkan berat asal (rata-rata) 100 g, berat cangkang dan berat kumulatif. Pemisahan butir dilakukan mulai dari fraksi $-2,0 \phi$ hingga $4,0 \phi$ sedangkan untuk fraksi lainnya dihitung mulai $4,0 \phi$ hingga $8,0 \phi$, kemudian data tersebut diolah menggunakan *software* KUMMOD-

SEL untuk mendapatkan beberapa parameter, antara lain nilai $X(\phi)$, sortasi, skewness, kurtosis serta komposisi tekstur sedimennya. Kemudian dilakukan klasifikasi sedimen berdasarkan pada klasifikasi Folk (1980) untuk mendapatkan gambaran pola sebaran sedimen permukaan yang terjadi di daerah penelitian. Analisis geokimia dilakukan terhadap sampel sedimen berupa analisis unsur dalam bentuk senyawa oksida maupun senyawa sulfida dari unsur-unsur utama (*Major Elements*), dan analisis unsur-unsur mineral logam (*Metal Element*) menggunakan metode AAS (*Atomic Absorption Spectrometry*). Sebanyak 25 sampel sedimen terpilih berdasarkan pada pola sebaran sedimen dasar laut dilakukan analisis kimia unsur utama (*Major Element*), dan 24 sampel sedimen dilakukan analisis kimia logam dasar (*Base Metal*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Besar Butir

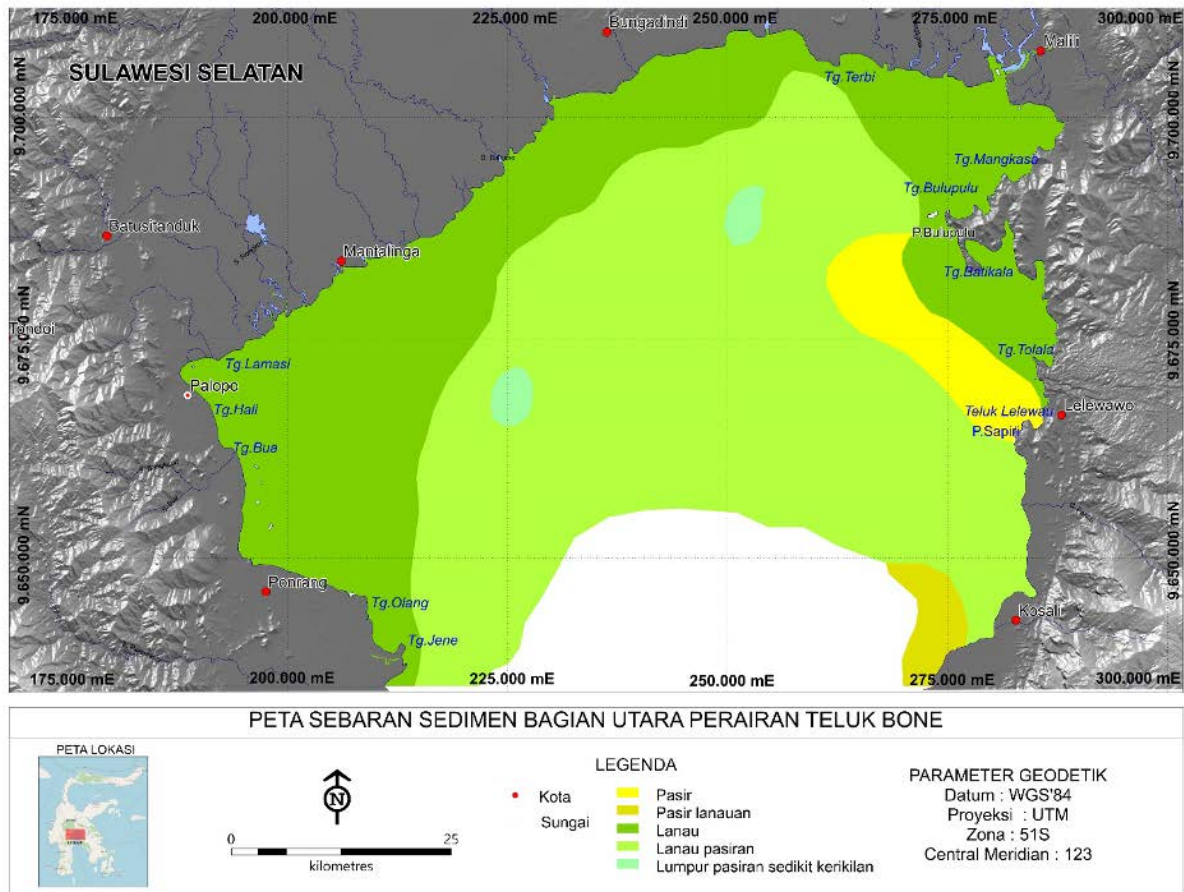
Hasil dari analisis besar butir terhadap 31 sampel sedimen dasar laut (Tabel 1) dihubungkan dengan pola batimetri yang berkembang di bagian utara perairan Teluk Bone, terlihat bahwa terdapat 5 tipe sedimen dasar laut yang berkembang yaitu lanau (Z), lanau pasiran (sZ), lumpur pasiran sedikit kerikilan ((g)sM), pasir lanauan (zS), pasir (S), dapat terlihat pada Gambar 4.



Gambar 3. Peta Lokasi pengambilan sampel sedimen dasar laut di bagian utara perairan Teluk Bone

Tabel 1. Hasil analisis besar butir sampel sedimen dasar laut di bagian utara perairan Teluk Bone

No.	No. Sampel	Parameter Moment				Persentase (%)				Klasifikasi Folk (1980)	
		X (phi)	Sortasi	Skewnes	Kurtosis	Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung	Nama	Simbol
1	SSBone 108	3.6	2.1	0.3	2.3	0.0	53.9	43.5	2.6	Pasir lanauan	zS
2	SSBone 109	5.1	1.6	0.0	2.9	0.0	23.4	71.9	4.7	Lanau pasiran	sZ
3	SSBone 110	5.7	1.1	0.5	2.6	0.0	0.3	96.5	3.3	Lanau	Z
4	SSBone 111	5.4	1.8	-0.9	3.9	0.0	11.1	86.0	2.8	Lanau pasiran	sZ
5	SSBone 112	5.8	1.2	0.4	2.3	0.0	0.3	96.6	3.1	Lanau	Z
6	SSBone 113	5.8	1.2	0.3	2.3	0.0	0.9	96.1	2.9	Lanau	Z
7	SSBone 114	5.9	1.3	-0.2	2.8	0.0	2.7	95.7	1.7	Lanau	Z
8	SSBone 115	5.8	1.3	0.2	2.6	0.0	2.7	92.9	4.4	Lanau	Z
9	SSBone 116	5.3	1.3	-0.2	3.3	0.0	9.7	88.7	1.6	Lanau	Z
10	SSBone 117	4.8	1.8	-0.2	2.2	0.0	26.4	71.7	1.9	Lanau pasiran	sZ
11	SSBone 118	3.5	2.0	-0.2	2.2	0.7	46.6	52.4	0.3	Lumpur pasiran sedikit kerikilan	Ms(g)
12	SSBone 119	4.1	1.8	-0.3	2.6	0.0	41.8	58.0	0.1	Lanau pasiran	sZ
13	SSBone 120	5.7	1.2	0.3	2.9	0.0	2.1	93.6	4.3	Lanau	Z
14	SSBone 121	2.1	0.8	-0.8	3.0	0.0	100.0	0.0	0.0	Pasir	S
15	SSBone 122	4.9	2.1	-0.4	2.1	0.0	27.1	70.7	2.3	Lanau pasiran	sZ
16	SSBone 123	4.3	1.9	0.1	1.9	0.0	41.4	56.7	1.9	Lanau pasiran	sZ
17	SSBone 124	5.5	1.2	-0.2	3.9	0.0	4.2	93.4	2.3	Lanau	Z
18	SSBone 125	5.4	1.1	-0.5	4.4	0.0	3.3	96.6	0.1	Lanau	Z
19	SSBone 126	4.0	2.0	0.1	1.7	0.2	47.5	51.9	0.4	Lumpur pasiran sedikit kerikilan	Ms(g)
20	SSBone 127	4.7	1.9	-0.2	2.3	0.0	26.5	70.4	3.1	Lanau pasiran	sZ
21	SSBone 128	4.4	1.7	-0.1	2.1	0.0	40.0	59.8	0.2	Lanau pasiran	sZ
22	SSBone 129	2.1	0.7	0.7	2.3	0.0	100.0	0.0	0.0	Pasir	S
23	SSBone 130	4.8	1.6	0.0	2.8	0.0	27.9	69.9	2.2	Lanau pasiran	sZ
24	SSBone 131	4.8	2.0	0.1	1.8	0.0	40.0	59.0	1.0	Lanau pasiran	sZ
25	SSBone 132	4.8	2.0	0.1	1.8	0.0	40.0	59.0	1.0	Lanau pasiran	sZ
26	SSBone 133	5.5	1.0	0.2	3.7	0.0	1.9	96.3	1.8	Lanau	Z
27	SSBone 134	5.6	1.3	0.0	2.7	0.0	6.1	91.9	2.1	Lanau	Z
28	SSBone 135	5.4	0.9	-0.3	3.7	0.0	1.2	98.8	0.0	Lanau	Z
29	SSBone 136	4.8	2.0	-0.7	2.9	0.0	22.4	76.0	1.6	Lanau pasiran	sZ
30	SSBone 137	2.8	1.9	0.6	2.2	0.0	68.7	31.1	0.2	Pasir lanauan	zS
31	SSBone 138	4.6	1.6	-0.3	2.6	0.0	27.6	71.4	1.0	Lanau pasiran	sZ



Gambar 4. Peta sebaran sedimen dasar laut di bagian utara perairan Teluk Bone

Geokimia Unsur Utama

Geokimia unsur utama dicirikan oleh SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , MnO , P_2O_5 , S , dan Cl . Berdasarkan hasil analisis geokimia yang telah dilakukan terhadap 25 sampel sedimen dasar laut yang diambil dari daerah penelitian (Tabel 2), menunjukkan bahwa kandungan SiO_2 berada dalam rentang 26,96% - 53,04% dengan kandungan rata-rata sebesar 38,13%. Sebaran senyawa SiO_2 dengan kandungan sedang berada di bagian barat-baratdaya, sedangkan ke arah timur-timurlaut semakin mengecil, namun dibagian tengah terdapat kandungan tinggi kemungkinan berasal dari batuan yang berada di area tersebut. Kemudian senyawa lainnya diantaranya kandungan Al_2O_3 dengan nilai berkisar 7,36% - 19,39% dan kandungan rata-ratanya sebesar 14,25%. Sebarannya mulai dari arah utara-baratlaut-barat semakin ke arah tenggara semakin mengecil. Senyawa CaO memiliki kandungan terbesar ketiga dengan nilai kisaran 3,13% - 23,52% dengan kandungan rata-rata sebesar 11,80%. Sebaran senyawa CaO berupa area-area yang berada di bagian tenggara dan tengah daerah penelitian, semakin ke arah darat semakin mengecil, hal ini menjelaskan bahwa senyawa CaO berasal dari material batuan terumbu yang berasal dari pulau-pulau kecil di sekitar perairan Teluk Bone. Senyawa Fe_2O_3 merupakan senyawa dengan kandungan

terbesar keempat yaitu berada dalam rentang 2,94% - 8,13%, dengan kandungan rata-rata sebesar 5,30%. Kandungan tertingginya berada di baratdaya dan timur laut, semakin ke tengah daerah penelitian semakin rendah. Kandungan senyawa MgO memiliki kisaran 3,02% - 6,57% dengan kandungan rata-rata sebesar 4,15%. Sebaran dengan kandungan tertinggi berada dibagian timurlaut, semakin ke arah tengah semakin mengecil. Sedangkan kandungan senyawa Na_2O berada dalam rentang 1,89% - 7,24% dengan kandungan rata-rata sebesar 2,71%. Sebaran kandungan tertinggi berada di arah utara dan barat semakin ke tengah semakin rendah, akan tetapi dibagian tengah terdapat kandungan senyawa Na_2O paling rendah dan di lokasi yang sama terdapat kandungan SiO_2 dengan nilai tinggi, hal ini semakin membuktikan bahwa di area tersebut terdapat batuan plutonik berupa batuan ultrabasa (ultramafik). Ahmad (2006) dalam Arif dkk (2020) menyatakan bahwa batuan ultramafik adalah batuan yang kaya akan mineral-mineral mafik dengan kandungan silika (SiO_2) yang rendah yakni <45% dan kaya MgO , FeO dengan Na yang rendah, batuan beku ultramafik hanya dapat terbentuk secara plutonik. Ketika batuan tersingkap ke permukaan secara gradual maka akan mengalami dekomposisi. Unsur utama Cl dengan kandungan rata-rata sebesar 2,09% hanya muncul sebagian kecil dengan kandungan tinggi di bagian

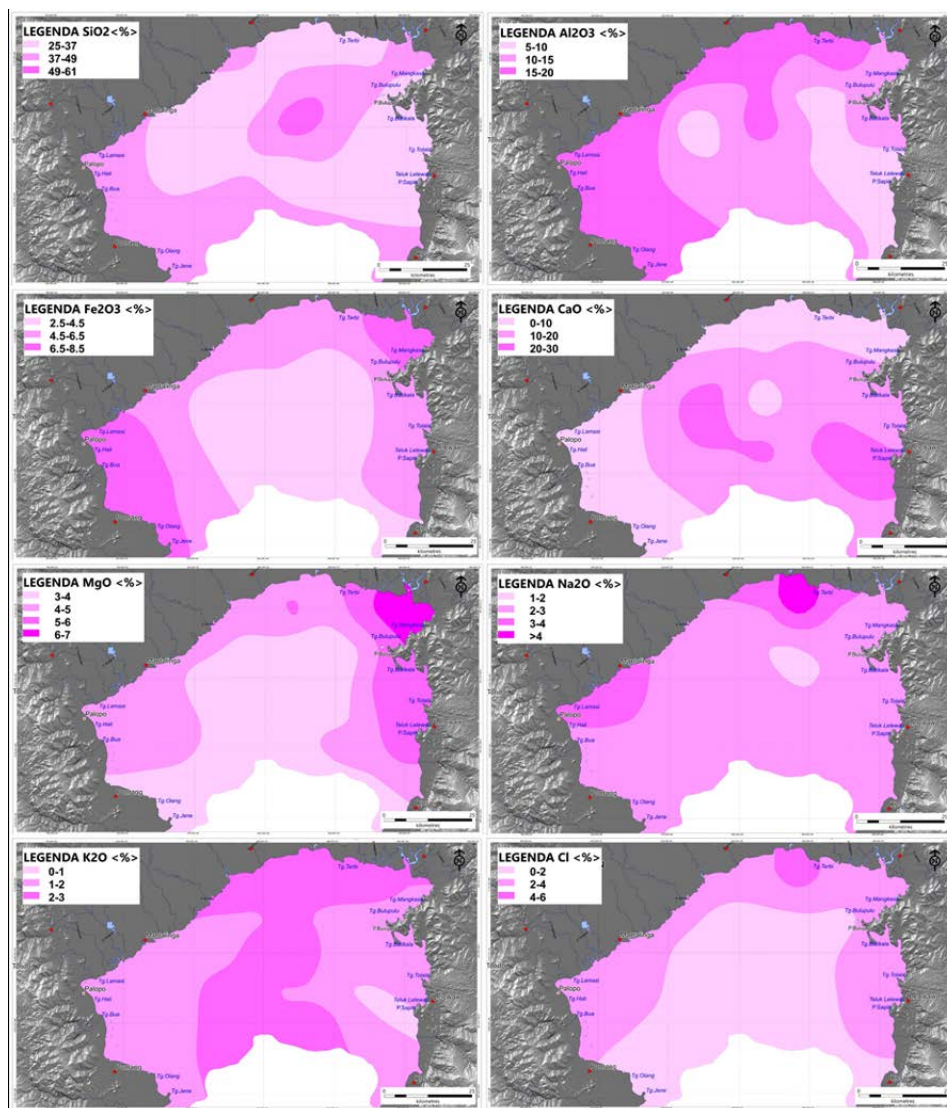
Tabel 2. Karakteristik dan kandungan unsur pada sedimen dasar laut di Bagian Utara Perairan Teluk Bone

No	108	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	122	123	124	125	126	127	128	131	132	133	134	135	138	
Analisis Besar Butir																										
Mean (ϕ)	3,6	5,7	5,4	5,8	5,8	5,9	5,8	5,3	4,8	3,5	4,1	5,7	4,9	4,3	5,5	5,4	4,0	4,7	4,4	4,8	4,8	5,5	5,6	5,4	4,6	
Sortasi (F)	2,1	1,1	1,8	1,2	1,2	1,3	1,3	1,3	1,8	2,0	1,8	1,2	2,1	1,9	1,2	1,1	2,0	1,9	1,7	2,0	2,0	1,0	1,3	0,9	1,6	
Skewness	0,3	0,5	-0,9	0,4	0,3	-0,2	0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	0,3	-0,4	0,1	-0,2	-0,5	0,1	-0,2	-0,1	0,1	0,1	0,2	0,0	-0,3	-0,3	
Kurtosis	2,3	2,6	3,9	2,3	2,3	2,8	2,6	3,3	2,2	2,2	2,6	2,9	2,1	1,9	3,9	4,4	1,7	2,3	2,1	1,8	1,8	3,7	2,7	3,7	2,6	
Kerikil	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Persen Butir																										
Pasir	53,9	0,3	11,1	0,3	0,9	2,7	2,7	9,7	26,4	46,6	41,8	2,1	27,1	41,4	4,2	3,3	47,5	26,5	40,0	40,0	40,0	1,9	6,1	1,2	27,6	
Lempung	43,5	96,5	86,0	96,6	96,1	95,7	92,9	88,7	71,7	52,4	58,0	93,6	70,7	56,7	93,4	96,6	51,9	70,4	59,8	59,0	59,0	96,3	91,9	98,8	71,4	
Klasifikasi (Folk, 1980)																										
Pasir lanauan	2,6	3,3	2,8	3,1	2,9	1,7	4,4	1,6	1,9	0,3	0,1	4,3	2,3	1,9	2,3	0,1	0,4	3,1	0,2	1,0	1,0	1,8	2,1	0,0	1,0	
Unsur Utama (wt%)																										
SiO ₂	46,51	40,21	31,62	38,28	36,17	34,87	38,70	35,17	31,19	49,05	39,68	26,96	53,04	34,80	36,28	36,44	34,40	32,32	32,07	34,55	42,48	38,01	40,04	46,33	44,15	
Al ₂ O ₃	10,66	19,07	15,22	13,31	17,19	17,09	18,48	14,27	12,88	10,63	9,17	11,06	18,04	7,36	16,83	17,21	11,75	10,74	7,91	12,45	13,26	17,11	17,40	19,39	17,66	
Fe ₂ O ₃	4,01	7,22	5,55	8,13	6,19	6,15	6,28	4,98	4,21	2,99	4,39	5,39	4,16	2,94	5,77	6,60	3,90	3,98	4,17	4,38	3,74	6,58	7,11	6,87	6,80	
CaO	15,05	3,24	6,98	4,65	6,37	7,24	5,59	12,65	19,29	15,41	17,30	16,51	4,13	23,52	8,66	7,05	19,39	20,94	22,30	18,27	14,98	8,47	6,63	3,13	7,22	
MgO	3,37	4,01	4,44	6,57	5,67	5,07	4,29	4,38	3,66	3,04	4,35	5,78	3,02	3,11	4,22	4,60	3,75	3,69	4,10	4,11	3,36	4,28	4,11	3,46	3,43	
Na ₂ O	2,18	3,14	7,24	2,76	2,90	2,97	2,90	2,85	2,30	1,89	2,14	2,77	2,34	1,93	3,24	3,07	2,35	2,38	2,25	2,32	2,54	2,10	2,57	2,27	2,28	
K ₂ O	1,85	1,80	2,48	1,99	2,75	2,25	2,41	1,94	1,88	2,05	1,20	1,56	3,02	1,79	1,96	1,58	2,18	1,93	0,98	2,13	2,92	1,45	1,30	1,47	1,26	
TiO ₂	0,463	0,762	0,487	0,498	0,480	0,521	0,593	0,515	0,457	0,377	0,345	0,351	0,593	0,254	0,624	0,692	0,406	0,367	0,303	0,444	0,461	0,702	0,760	0,766	0,755	
MnO	0,071	0,187	0,127	0,146	0,222	0,163	0,111	0,128	0,092	0,108	0,174	0,177	0,069	0,105	0,147	0,162	0,082	0,112	0,168	0,122	0,071	0,107	0,169	0,090	0,106	
P ₂ O ₅	0,154	0,178	0,162	0,134	0,168	0,247	0,198	0,264	0,201	0,191	0,196	0,249	0,082	0,203	0,247	0,213	0,198	0,262	0,234	0,227	0,186	0,197	0,174	0,130	0,155	
S	0,174	0,573	0,595	1,260	0,657	0,560	0,179	0,404	0,406	0,274	0,267	0,459	0,910	0,251	0,644	0,544	0,244	0,222	0,267	0,282	0,270	0,422	0,508	0,290	0,209	
Cl	0,90	2,52	5,43	2,49	2,83	3,00	2,54	2,45	1,37	1,37	1,63	2,77	1,38	1,40	2,75	2,77	1,40	1,63	1,79	1,37	1,18	1,85	2,17	1,72	1,47	
Unsur Logam (ppm)																										
Cu	5,80	17,90	12,30	12,10	12,90	11,60	16,10	12,20	8,90	9,00	12,00	18,10	10,70	9,50	17,10	22,90	11,00	11,50	11,30	11,10	9,40	27,10	28,60	-	29,30	
Pb	36,40	70,70	70,70	48,20	86,80	71,80	76,10	56,80	66,40	714,60	50,40	115,70	52,50	61,10	75,00	62,10	66,40	64,30	52,50	60,00	58,90	56,80	48,20	-	41,80	
Zn	50,70	117,30	103,90	98,60	111,10	109,10	106,10	80,10	64,90	43,10	55,50	86,90	68,40	40,90	94,20	105,40	57,80	59,50	55,50	63,40	62,00	101,50	95,00	-	92,30	
Ag	6,40	5,70	5,90	5,60	6,10	6,60	5,60	5,10	4,40	1,20	1,00	1,00	0,60	0,70	0,70	0,50	0,50	1,10	1,80	1,80	4,00	2,90	12,90	-	4,70	
Fe	28103	59783	54248	69435	54765	49388	54833	44708	36855	24818	35798	40343	36382	24210	56655	68738	32828	36428	36585	40253	28688	75330	59738	-	58320	

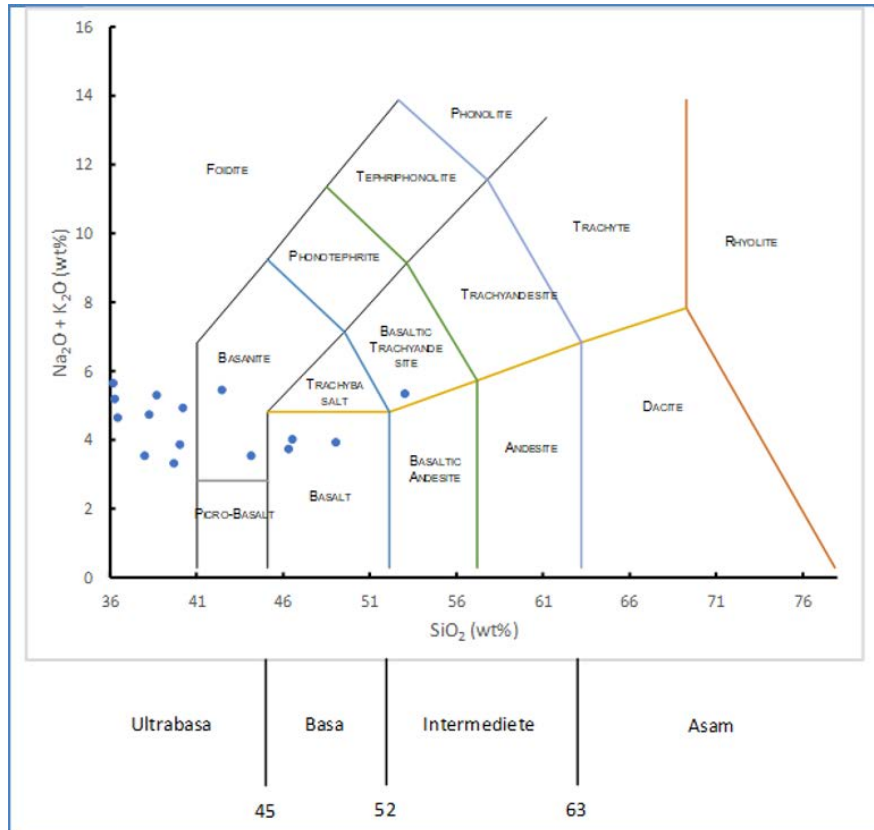
utara, semakin rendah ke seluruh daerah penelitian. Senyawa K_2O memiliki kandungan rata-rata sebesar 1,93%. Sebaran tertingginya mulai dari bagian utara ke tengah daerah penelitian kemudian ke selatan berangsur-angsur berkurang ke arah barat dan timur (Gambar 5). Sedangkan senyawa dan unsur lainnya (TiO_2 , MnO , P_2O_5 , S) karena memiliki kandungan <1% penyebaran tidak penulis bahas. Untuk mengetahui gambaran umum batuan induk sedimen permukaan dasar laut yang diendapkan di daerah penyelidikan, maka dilakukan pendekatan SiO_2 dengan Na_2O dan K_2O . Hasil peletakan titik presentase ketiga senyawa tersebut pada suatu sistem koordinat menurut Le Maitre dr (1989), terlihat bahwa sedimen dasar laut di daerah penyelidikan menunjukkan asal batuan yang cukup bervariasi mulai dari rombakan batuan beku ultrabasa sampai batuan beku menengah, namun pada umumnya didominasi oleh batuan beku ultrabasa, hanya sebagian kecil batuan beku basa dan batuan beku menengah (Gambar 6). Secara regional terlihat bahwa hampir seluruh bagian daerah penyelidikan didominasi oleh batuan beku tipe ultrabasa, sebagian kecil

di daerah timur daerah penyelidikan terdapat batuan beku basa dan batuan beku menengah.

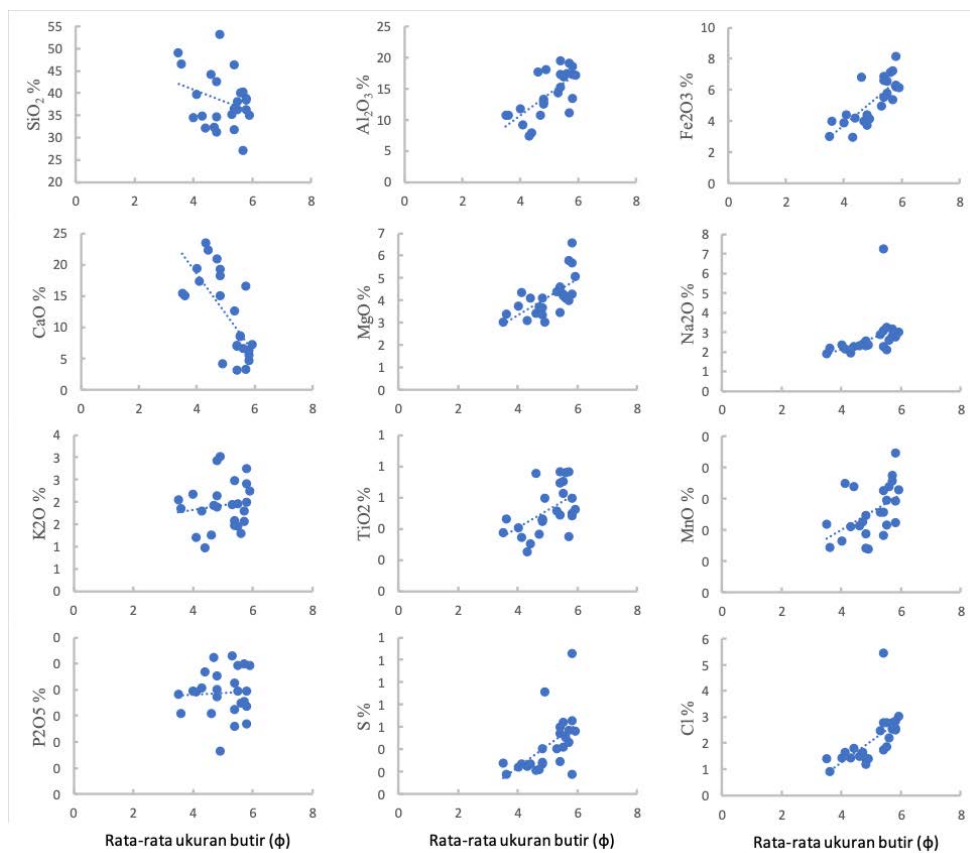
Terlihat pada Tabel 2, kandungan senyawa dan unsur utama di bagian utara Perairan Teluk Bone diperkirakan hadir sebagai material asal darat yang berukuran lanau dan lanau pasiran. Kandungan geokimia dalam sedimen biasanya menunjukkan suatu perubahan yang sejalan dengan perubahan ukuran butir. Diagram hubungan antara senyawa/unsur utama dengan ukuran rata-rata butir sedimen dasar laut di bagian utara Perairan Teluk Bone ditunjukkan pada Gambar 7. Dapat dilihat bahwa ukuran rata-rata butir pada sedimen dasar laut di bagian utara Perairan Teluk Bone mempunyai nilai antara $3,5 - 5,9 \Phi$ yang sebagian besar terdiri dari pasir sangat halus sampai lanau halus dan variasi spasial dari ukuran rata-rata butir sedimen dasar laut relatif kecil. Persentase kandungan lanau yang tinggi biasanya menghasilkan konsentrasi unsur/senyawa utama yang tinggi. Hal tersebut dibuktikan dengan hasil analisis geokimia yaitu hampir sebagian besar senyawa dan unsur utama Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , MnO , P_2O_5 , S, Cl secara



Gambar 5. Distribusi spasial senyawa dan unsur utama pada sedimen dasar laut di bagian utara perairan Teluk Bone



Gambar 6. Diagram senyawa SiO₂ vs Na₂O+K₂O pada sedimen dasar laut di perairan Teluk Bone, menurut Le Maitre d (1989)



Gambar 7. Diagram unsur utama vs rata-rata ukuran butir (φ) sedimen dasar laut di bagian utara Perairan Teluk Bone

berangsur-angsur meningkat sejalan dengan semakin halusnya ukuran butir, kecuali untuk senyawa SiO₂ dan CaO secara berangsur-angsur meningkat dengan semakin kasar ukuran butir hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh ukuran mineral silika dan kandungan cangkang yang terdapat didalam sedimen dasar laut.

Geokimia Unsur Logam

Hasil analisis geokimia yang telah dilakukan terhadap 24 sampel sedimen dasar laut dapat dilihat pada Tabel 2. Unsur-unsur logam yang diteliti (Cu, Pb, Zn, Ag dan Fe) dalam sedimen dasar laut di bagian utara perairan Teluk Bone dibandingkan dengan sedimen dasar laut dari beberapa tempat di Indonesia dan rata-rata batuan kerak bumi (Tabel 3). Sebagian besar nilai unsur logam yang diperoleh dalam penelitian ini hampir serupa dengan komposisi rata-rata batuan kerak bumi. Perbedaan dalam konsentrasi unsur logam dalam sedimen dasar laut kemungkinan terkait dengan variasi batuan sumber baik secara tekstur dan litologi serta pengaruh antropogenik di daerah sekitarnya.

lokasi di bagian timur-timur laut mempunyai kandungan yang lebih tinggi (Gambar 8). Kandungan unsur logam Pb di daerah penelitian jauh lebih tinggi dibandingkan dengan dengan komposisi sedimen dasar laut Cekungan Tomini, Teluk Jakarta dan Teluk Ambon (Tabel 3). Seng (Zn) merupakan unsur logam terbesar ketiga setelah Fe dan Pb, dengan nilai berada dalam rentang 40,9 ppm – 117,3 ppm dan nilai rata-rata sebesar 80,13 ppm. Sebaran unsur logam Zn dengan kandungan tertinggi berada di bagian utara dan barat, semakin ke arah selatan dengan kedalaman yang lebih dalam kandungannya semakin kecil (Gambar 8). Kandungan unsur logam Zn sebagian besar sebanding dengan komposisi rata-rata batuan kerak bumi (52 – 71 ppm), sedimen dasar laut di Teluk Jakarta, Teluk Ambon dan Cekungan Tomini (Tabel 3). Kandungan unsur logam Zn pada sedimen dasar laut yang berada di dekat daerah berpenduduk mempunyai kandungan yang relatif tinggi kemungkinan besar berkaitan dengan keragaman input antropogenik seperti pembuangan limbah industri dan domestik. Sedangkan untuk unsur logam Tembaga (Cu) dan Perak (Ag) memiliki

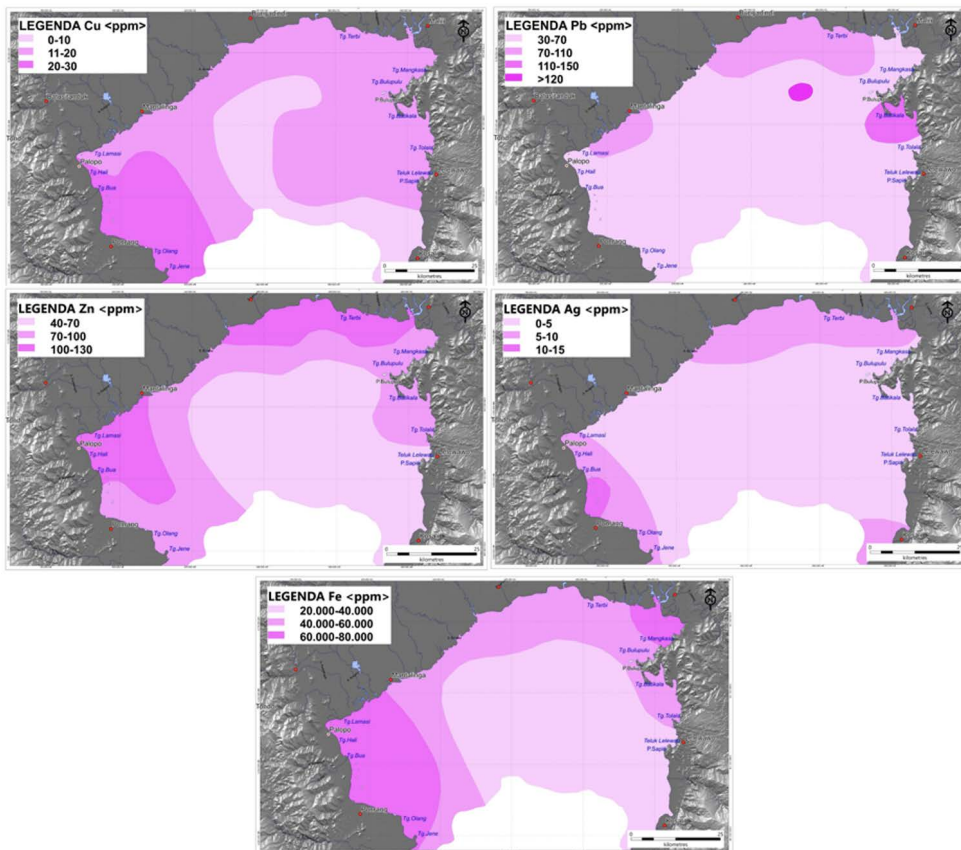
Tabel 3. Perbandingan konsentrasi unsur logam yang diperoleh pada sedimen dasar laut dengan yang ditemukan di beberapa tempat di Indonesia dan beberapa rata-rata batuan kerak

	Fe(ppm)	Cu(ppm)	Zn(ppm)	Pb(ppm)	Ag(ppm)
Teluk Bone	24210 - 75330	8,90 - 29,3	40,9 - 117,3	41,8 - 714,6	0,5 - 12,9
1. Teluk Jakarta	50282 - 65093	13,5 - 35,4	69,7 - 244	10,1 - 27,7	
2. Cekungan Tomini	11100 - 15500	85 - 95	100	101 - 130	20 - 4020
3. Teluk Ambon	27598 - 51716	13,7 - 44,8	51,3 - 163	14,4 to 24,5	-
4. Batuan Ultrabasa	50000 - 76000	46 - 62	-	-	-
5. Batuan Basa	15000 - 85000	39 - 87	-	-	-
6. Kerak Bumi (rata-rata)	35000	600	71	-	-
7. Kerak Bumi (rata-rata)	30900	527	52	-	-
8. Kerak Bumi (rata-rata)	50000	950	70	-	-

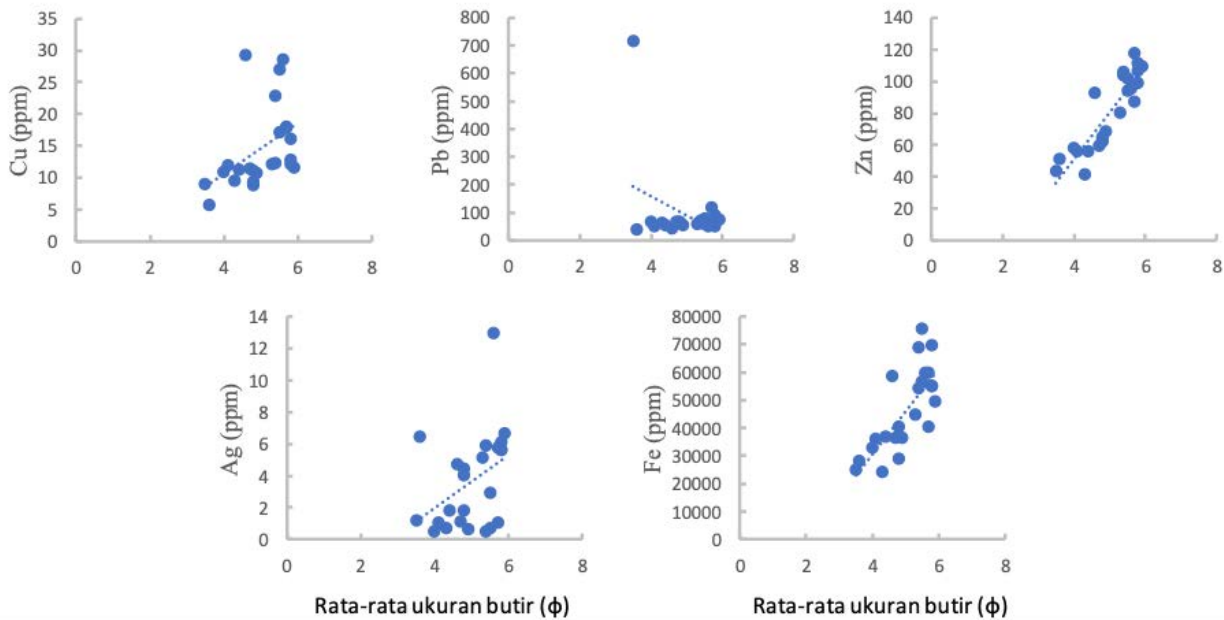
1. (Suyarso dan Lestari, 2012) 2. (Kusnida dan Kristanto, 2012), 3. (Manullang dr, 2017), 4 dan 5 (Aslaner, 1973, dalam Tunc, 2008), 6. (Taylor dan McLennan, 1985,1995), 7. (Tunc, 2008), 8. (Mason dan Moore, 1982)

Kandungan unsur logam Fe memiliki kadar tertinggi dengan kisaran 24.210 ppm – 75.330 ppm dan nilai rata-rata sebesar 46.134,35 ppm. Sebaran unsur logam Fe dengan kadar tertinggi berada di bagian barat-baratdaya dan timurlaut ke arah tengah serta ke selatan semakin kecil (Gambar 8). Kandungan unsur logam Besi (Fe) sebagian besar sebanding dengan komposisi rata-rata batuan kerak bumi (35.000 – 50.000 ppm), batuan ultrabasa, batuan basa dan sedimen dasar laut di Teluk Jakarta dan Teluk Ambon (Tabel 3). Namun, kandungannya jauh lebih tinggi ketika dibandingkan dengan sedimen dasar di Cekungan Tomini (Tabel 3). Tampaknya kandungan Fe dari sedimen dasar laut di bagian utara perairan Teluk Bone sebagian besar berasal dari darat jika dibandingkan dengan rata-rata komposisi batuan ultrabasa dan batuan basa. Kandungan unsur terbesar kedua adalah logam Timbal (Pb) dengan kisaran sebesar 41,8 ppm – 714,6 ppm dengan nilai rata-rata 90 ppm. Sebaran kandungan unsur logam Pb pada umumnya semakin ke arah selatan semakin kecil namun dibeberapa

kandungan <30 ppm. Distribusi spasial dari unsur-unsur logam tersebut ditunjukkan pada Gambar 8. Dapat dilihat dari gambar tersebut bahwa sebaran kandungan unsur logam Cu semakin kearah barat-baratlaut semakin tinggi, sedangkan di area tengah ke arah selatan-tenggara semakin kecil. Kandungan unsur logam Cu jauh lebih kecil dibandingkan dengan komposisi rata-rata batuan kerak bumi (527 – 950 ppm) dan sedimen dasar laut Cekungan Tomini, namun sedikit lebih kecil dari batuan ultrabasa, batuan basa dan sedimen dasar laut di Teluk Jakarta dan Teluk Ambon (Tabel 3). Kemungkinan komposisi batuananya tidak membawa unsur Cu, walaupun terdapat Cu dalam komposisinya, kandungan tersebut relatif kecil jika dibandingkan dengan rata-rata komposisi batuan ultrabasa dan batuan basa. Unsur logam Ag dengan kadar tinggi dan sedang muncul dibagian utara, barat dan sedikit di bagian tenggara, semakin ke tengah perairan nilainya semakin kecil.



Gambar 8. Distribusi spasial unsur logam pada sedimen dasar laut di Bagian Utara Perairan Teluk Bone



Gambar 9. Diagram unsur logam (polimetalik) vs rata-rata ukuran butir (ϕ) sedimen dasar laut di Bagian Utara Perairan Teluk Bone

Kandungan unsur kimia (logam) dalam sedimen biasanya menunjukkan suatu perubahan yang sejalan dengan perubahan ukuran butir. Diagram hubungan antara unsur logam dengan ukuran rata-rata butir sedimen dasar laut di bagian utara Perairan Teluk Bone terlihat pada Gambar 9. Secara umum sedimen dengan ukuran halus termasuk komposisi lanau yang tinggi mengandung kadar logam berat yang lebih besar, karena butiran sedimen yang halus mempunyai kemampuan yang baik dalam mengikat logam. Hal tersebut sesuai dengan kandungan unsur logam Fe, Zn, Cu dan Ag dalam sedimen yang diteliti secara berangsur-angsur meningkat sejalan dengan semakin halusnya ukuran butir, kecuali untuk unsur logam Pb secara berangsur-angsur menurun dengan semakin halusya ukuran butir.

KESIMPULAN

1. Terdapat 5 tipe sedimen dasar laut yang berkembang didominasi oleh lanau dan lanau pasir yang penyebarannya hampir diseluruh daerah penyelidikan dengan kedalaman 50 sampai 200 m, ukuran rata-rata butir mempunyai nilai antara 3,5 – 5,9 F dan variasi spasial dari ukuran rata-rata butir sedimen dasar laut relatif kecil.
2. Hasil analisis geokimia senyawa utama memperlihatkan tiga senyawa dengan kandungan tertinggi yaitu nilai SiO₂ dengan kandungan rata-rata 38,13% (26,96% - 53,04%), Al₂O₃ rata-rata 14,25% (7,36% - 19,39%), dan CaO kandungan rata-rata 11,80% (3,13% - 23,52%). Pada umumnya sebaran kandungan senyawa dan unsur utama berasal dari daerah dekat darat. Semakin dalam kedalaman sampel, nilai senyawa/unsur utama semakin berkurang kecuali sebaran unsur CaO berupa area-area yang berada di bagian tengah dan ke arah darat semakin mengecil. Hal ini menjelaskan bahwa unsur CaO berasal dari material batuan terumbu yang berasal dari pulau-pulau kecil di sekitar perairan Teluk Bone. Begitu juga dengan senyawa SiO₂ dan Na₂O, di bagian tengah kandungan SiO₂ tinggi sedangkan Na₂O rendah, hal ini semakin memberikan bukti bahwa di area tersebut ada batuan plutonik berupa batuan ultrabasa (ultramafik).
3. Pendekatan senyawa SiO₂ dengan Na₂O dan K₂O dari hasil peletakan titik presentase ketiga senyawa tersebut pada suatu sistem koordinat terlihat bahwa sedimen dasar laut di daerah penyelidikan menunjukkan asal batuan yang cukup bervariasi mulai dari rombakan batuan beku ultrabasa sampai batuan beku menengah, namun pada umumnya didominasi oleh batuan beku ultra basa, hanya sebagian kecil batuan beku basa dan batuan beku menengah. Hal ini sesuai dengan regional geologinya yang hampir seluruh bagian daerah penyelidikan didominasi oleh batuan beku tipe ultrabasa, sebagian kecil di daerah timur daerah penyelidikan terdapat batuan beku basa dan batuan beku menengah.
4. Diagram hubungan antara senyawa dan unsur utama dengan ukuran rata-rata butir sedimen umumnya menunjukkan senyawa dan unsur utama sangat dipengaruhi oleh sedimen fraksi halus. Semakin halus ukurannya semakin tinggi kandungannya, kecuali untuk senyawa SiO₂ dan CaO secara berangsur-angsur meningkat dengan semakin kasar ukuran butir. Hal ini kemungkinan dipengaruhi oleh ukuran mineral silika dan kandungan cangkang yang terdapat didalam sedimen dasar laut.
5. Terdapat tiga unsur logam tertinggi yaitu Fe, Pb dan Zn dengan kandungan rata-rata 46.134,35 ppm, 90 ppm dan 80,13 ppm. Pada umumnya sebaran kandungan unsur logam berasal dari daerah dekat darat, semakin dalam kedalaman sampel, kandungannya semakin berkurang. Hasil kesebandingan menunjukkan kandungan Fe dari sedimen dasar laut di bagian utara perairan Teluk Bone sebagian besar berasal dari darat jika dibandingkan dengan rata-rata komposisi batuan ultrabasa dan batuan basa. Kandungan unsur logam Zn pada sedimen dasar laut yang berada di dekat daerah berpenduduk mempunyai kandungan yang relatif tinggi kemungkinan besar berkaitan dengan keragaman input antropogenik seperti pembuangan limbah industri dan domestik.
6. Diagram hubungan antara unsur logam dengan ukuran rata-rata butir sedimen umumnya menunjukkan unsur logam sangat dipengaruhi oleh sedimen fraksi halus. Semakin halus ukurannya semakin tinggi kandungannya, kecuali untuk unsur logam Pb secara berangsur-angsur menurun dengan semakin halusya ukuran butir.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih kami sampaikan kepada Kepala Balai Besar Survei dan Pemetaan Geologi Kelautan yang telah memberikan kesempatan pada penulis untuk mempublikasikan bagian dari hasil penelitian geologi dan geofisika di Teluk Bone Sulawesi Selatan. Tidak lupa ucapan terima kasih ini kami sampaikan kepada Kepala Tim Bapak Novi Sutisna (Almarhum) dan rekan-rekan anggota tim yang telah memberikan masukan dan kritik pada tulisan ini.

DAFTAR ACUAN

- Folk, R.L. (1980). Petrology of sedimentary rocks. *Hemphill publishing Co*, Austin, Texas.
- Gross, M. G. (1990). Oceanography: A View of Earth. *Prentice Hall, Inc*. Englewood Cliff, New Jersey.
- Kusnida, D., dan Kristanto, N. A. (2012). Mineralogi Inti Sedimen Permukaan Dasar Laut Grt-05-03 Dari Cekungan Tomini - Sulawesi Tengah. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 10(2), 81–86.

- Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B., Le Bas M.J., Bonin B., Bateman P., Bellieni G., Dudek A. Efremova S., Keller J., Lameyre J., Sabine P.A., Schmid R., Sorensen H., Woolley A.R. (1989). *IGNEOUS ROCKS A: Classification and Glossary of Terms*. Cambridge University Press. p.237.
- Manullang, C. Y., Lestari., Tapilatu, Y., & Arifin, Z., 2017. Assessment Of Fe, Cu, Zn, Pb, Cd & amp; Hg In Ambon Bay Surface Sediments. *Marine Research in Indonesia*, 42(2), 83–92.
- Pipkin, B.W. (1977). *Laboratory Exercise in Oceanography*. San Fransisco, *W.H. Freeman and Company*.
- Rahardiawan, R., dan Arifin, L. (2013). Struktur Geologi Teluk Bone - Sulawesi Selatan. *Jurnal Geologi Kelautan*, 11(3), 141–148.
- Tunc, S.C. (2008). Geology, and geochemistry of recent sediments from the Northeastern Mediterranean basin, M.S. - Master of Science. *Middle East Technical University*, 2008.
- Simandjuntak, T.O, dkk. (1991). Peta Geologi Lembar Malili, Sulawesi skala 1:250.000. *Puslitbang Geologi Kelautan*, Bandung.
- Sutisna, N., Riza, R., Eko, S., Adi Citrawan, S., Tommy, N., dan Arif, A. (2010). Penyelidikan Geologi dan Geofisika Kelautan Lembar Peta 2112, 2113 Perairan Teluk Bone, Sulawesi Selatan. *Puslitbang Geologi Kelautan, Laporan Intern*, Tidak dipublikasi.
- Suyarso dan Lestari. (2012). Metals Contaminat in The Sediments at Jakarta Bay and The Prediction for The Incoming Twenty Years. *Oceanologi di Indonesia*, 38(3), 353-368.
- Taylor, S.R. dan McLennan, S.M. (1985). The Continental Crust; Its composition and evolution; an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. *Blackwell, Oxford*. 312.
- Taylor, S.R. dan McLennan, S.M. (1995). The geochemical evolution of the continental crust. *Reviews in Geophysics* 33, 241-265.
- Zuraida, R., Gerhaneu, N. Y., dan Sulistyawan, I. H. (2017). Karakteristik Sedimen Pantai Dan Dasar Laut Di Teluk Papela, Kabupaten Rote, Provinsi NTT. *Jurnal Geologi Kelautan*, 15(2), 81–94.