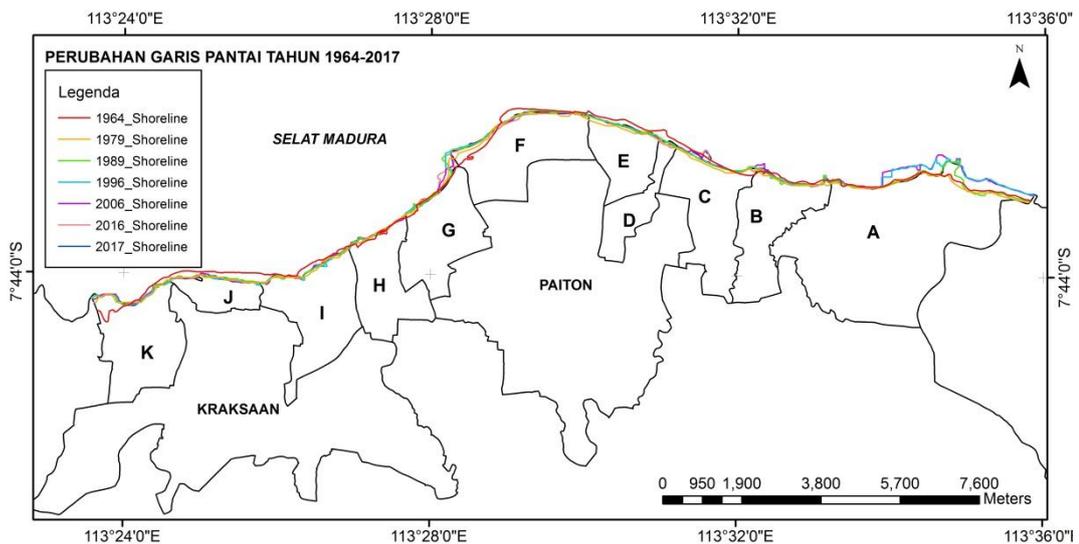


4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

4.1.1 Perubahan Garis Pantai

Pesisir timur Kabupaten Probolinggo berdasarkan hasil deteksi dan analisa perubahan garis pantai menggunakan *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) telah mengalami perubahan garis pantai pada beberapa area tertentu selama kurun waktu tahun 1964 hingga 2016 beserta hasil survei lapangan tahun 2017 dapat dilihat pada Gambar 1. Keterangan nama lokasi dari peta pada Gambar 1 dapat dilihat pada Tabel 1.

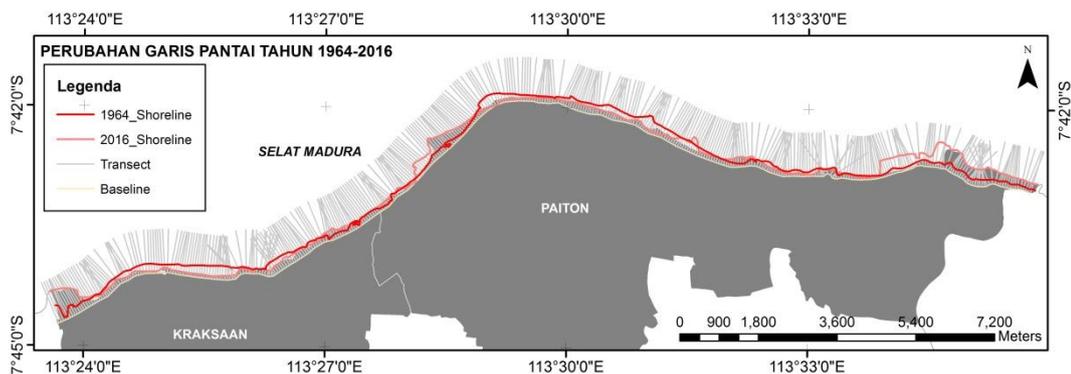


Gambar 1. Wilayah studi kasus

Tabel 1. Wilayah studi kasus

Nama pada Peta	Kecamatan	Desa
A	Paiton	Bhinor
B	Paiton	Sumberejo
C	Paiton	Sumberanyar
D	Paiton	Sukodadi
E	Paiton	Pondok Kelor
F	Paiton	Randu Tatah
G	Paiton	Jabung Sisir
H	Kraksaan	Asembakor
I	Kraksaan	Kebonagung
J	Kraksaan	Kalibuntu
K	Kraksaan	Asembagus

Setiap desa dilakukan pemilihan data yang memiliki perubahan paling signifikan. Hasil perhitungan DSAS seperti selama 52 tahun menggunakan metode *Net Shoreline Movement* (NSM) dan *End Point Rate* (EPR) dapat dilihat pada Tabel 2 dan untuk ilustrasi perubahan garis pantai dari tahun 1964 hingga 2016 dapat dilihat pada Gambar 2. Metode NSM digunakan untuk menghitung jarak garis pantai terlama yaitu tahun 1964 dengan garis pantai terbaru yaitu tahun 2016, dimana jarak yang bernilai positif (+) memiliki arti garis pantai maju dan data yang bernilai negatif (-) memiliki arti garis pantai mundur. Metode EPR digunakan untuk menghitung laju perubahan garis pantai tiap tahunnya selama 52 tahun, dimana data yang bernilai positif (+) mengalami akresi dan data yang bernilai negatif (-) mengalami abrasi.



Gambar 2. Perubahan garis pantai tahun 1964-2016

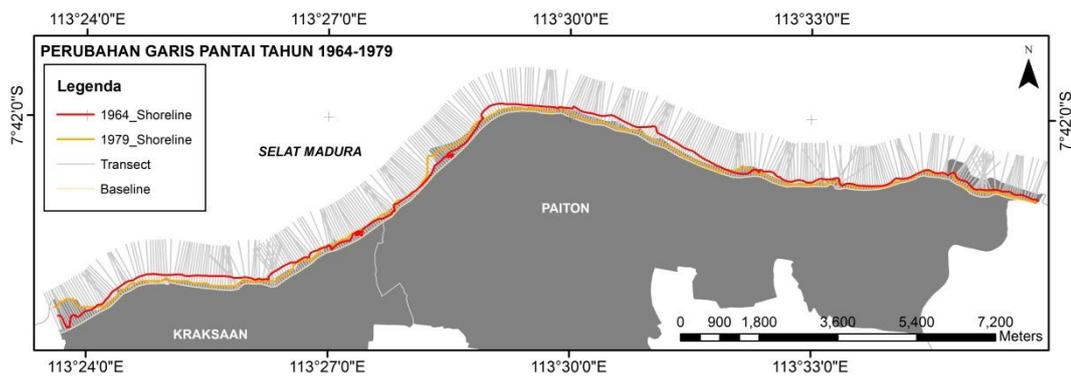
Hasil perhitungan DSAS diamati berdasarkan terjadinya fenomena akresi dan abrasi pada setiap desa. Desa Sukodadi, Pondok Kelor dan Kalibuntu selama 52 tahun telah mengalami abrasi saja dan tidak ditemukan adanya akresi, sedangkan desa lainnya mengalami dinamika perubahan garis pantai baik akresi maupun abrasi. Desa dengan tingkat akresi tertinggi yaitu Desa Asembagus dengan laju akresi rata-rata sebesar 6,82 meter/tahun dan jarak rata-rata perubahan sebesar 356,41 meter. Desa Sukodadi merupakan desa dengan tingkat abrasi tertinggi dengan laju abrasi rata-rata sebesar -4,18 meter/tahun dan jarak rata-rata perubahan sebesar -218,4 meter.

Tabel 2. Hasil perhitungan perubahan garis pantai selama 52 tahun

Desa	<i>Net Shoreline Movement (meter)</i>				<i>End Point Rate (meter/tahun)</i>				Keterangan
	Tertinggi	Terendah	Rata-Rata		Tertinggi	Terendah	Rata-Rata		
			+	-			+	-	
Bhinor	479,21	-27,30	222,91	-27,30	4,27	-0,52	4,27	-0,52	Akresi
Sumberejo	58,66	-97,89	33,92	-61,79	1,12	-1,87	0,65	-1,18	Abrasi
Sumberanyar	156,83	-125,89	83,50	-48,61	3,00	-2,41	1,60	-0,93	Akresi
Sukodadi	-154,36	-289,00	0,00	-218,40	-2,95	-5,53	0,00	-4,18	Abrasi
Pondok Kelor	-53,62	-286,32	0,00	-114,91	-1,03	-5,48	0,00	-2,20	Abrasi
Randu Tatah	367,55	-281,77	191,06	-109,59	7,03	-5,39	3,66	-2,10	Akresi
Jabung Sisir	260,77	-64,33	116,09	-39,53	4,99	-1,23	2,22	-0,76	Akresi
Asembakor	166,83	-61,52	68,07	-31,65	3,19	-1,18	1,30	-0,61	Akresi
Kebonagung	12,50	-280,56	12,50	-99,21	0,24	-5,37	0,24	-1,90	Abrasi
Kalibuntu	-68,00	-247,65	0,00	-171,66	-1,30	-4,74	0,00	-3,28	Abrasi
Asembagus	677,94	-144,70	356,41	-74,05	12,97	-2,77	6,82	-1,42	Akresi

4.2.1.1 Tahun 1964-1979

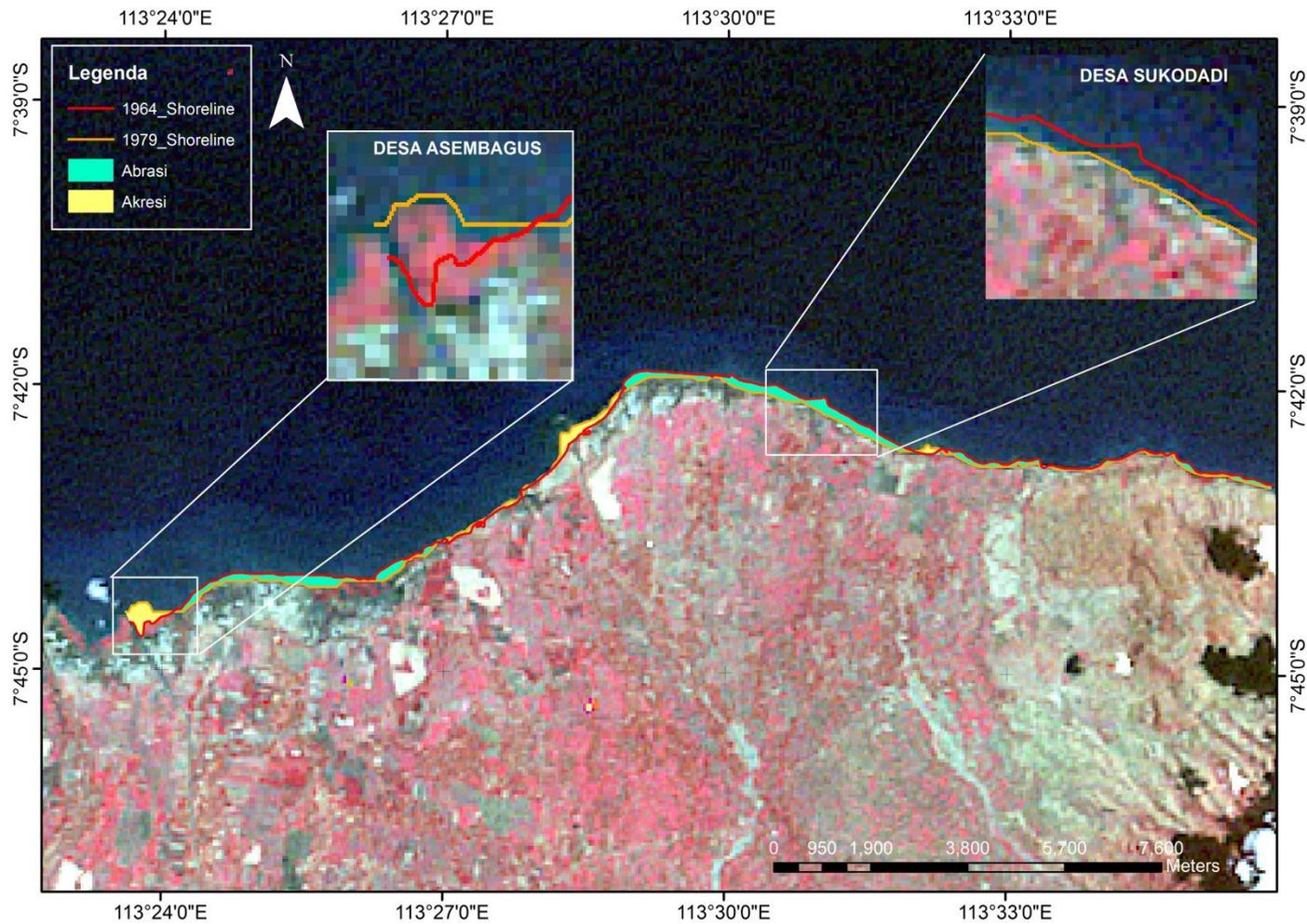
Perubahan garis pantai untuk tahun 1964-1979 seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4 sebagian besar garis pantai semakin mundur dari tahun 1964. Desa Sumberejo, Sukodadi, Pondok Kelor, Kebonagung dan Kalibuntu selama 15 tahun pertama telah mengalami abrasi dan tidak ditemukan adanya akresi. Laju akresi rata-rata tertinggi terdapat pada Desa Asembagus yang berlokasi pada muara sungai yaitu sebesar 19,28 meter/tahun dengan jarak rata-rata perubahan sebesar 303,82 meter. Laju abrasi rata-rata tertinggi terdapat pada Desa Sukodadi yang berlokasi pada muara sungai yaitu sebesar -12,4 meter/tahun dengan jarak rata-rata perubahan sebesar -195,33 m. Hasil perhitungan DSAS dapat dilihat pada Tabel 3.



Gambar 3. Perubahan garis pantai tahun 1964-1979

Tabel 3. Nilai perubahan garis pantai tahun 1964-1979

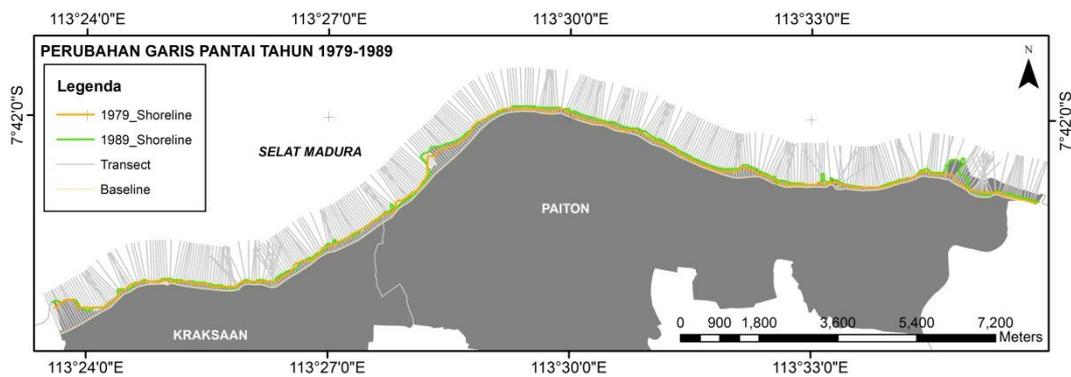
Desa	NSM (meter)				EPR (meter/tahun)				Keterangan
	Tertinggi	Terendah	Rata-Rata		Tertinggi	Terendah	Rata-Rata		
			+	-			+	-	
Bhinor	11,78	-112,98	10,82	-47,56	0,75	-7,17	0,69	-3,02	Abrasi
Sumberejo	-39,75	-133,50	0,00	-84,55	-2,52	-8,47	0,00	-5,37	Abrasi
Sumberanyar	177,46	-185,99	87,01	-131,68	11,26	-11,80	5,52	-8,36	Abrasi
Sukodadi	-159,29	-259,83	0,00	-195,33	-10,11	-16,49	0,00	-12,40	Abrasi
Pondok Kelor	-76,53	-272,33	0,00	-173,50	-4,86	-17,28	0,00	-11,01	Abrasi
Randu Tatah	254,27	-200,63	119,84	-108,15	16,14	-12,73	7,61	-6,86	Akresi
Jabung Sisir	246,31	-57,76	62,05	-29,07	15,63	-3,67	3,94	-1,85	Akresi
Asembakor	135,00	-14,38	46,75	-12,40	8,57	-0,91	2,97	-0,79	Akresi
Kebonagung	-13,24	-258,82	0,00	-124,20	-0,84	-16,42	0,00	-7,88	Abrasi
Kalibuntu	-78,88	-232,44	0,00	-160,50	-5,01	-14,75	0,00	-10,19	Abrasi
Asembagus	575,65	-161,89	303,82	-101,66	36,53	-10,27	19,28	-6,45	Akresi



Gambar 4. Wilayah akresi dan abrasi pada tahun 1964-1979

4.2.1.2 Tahun 1979-1989

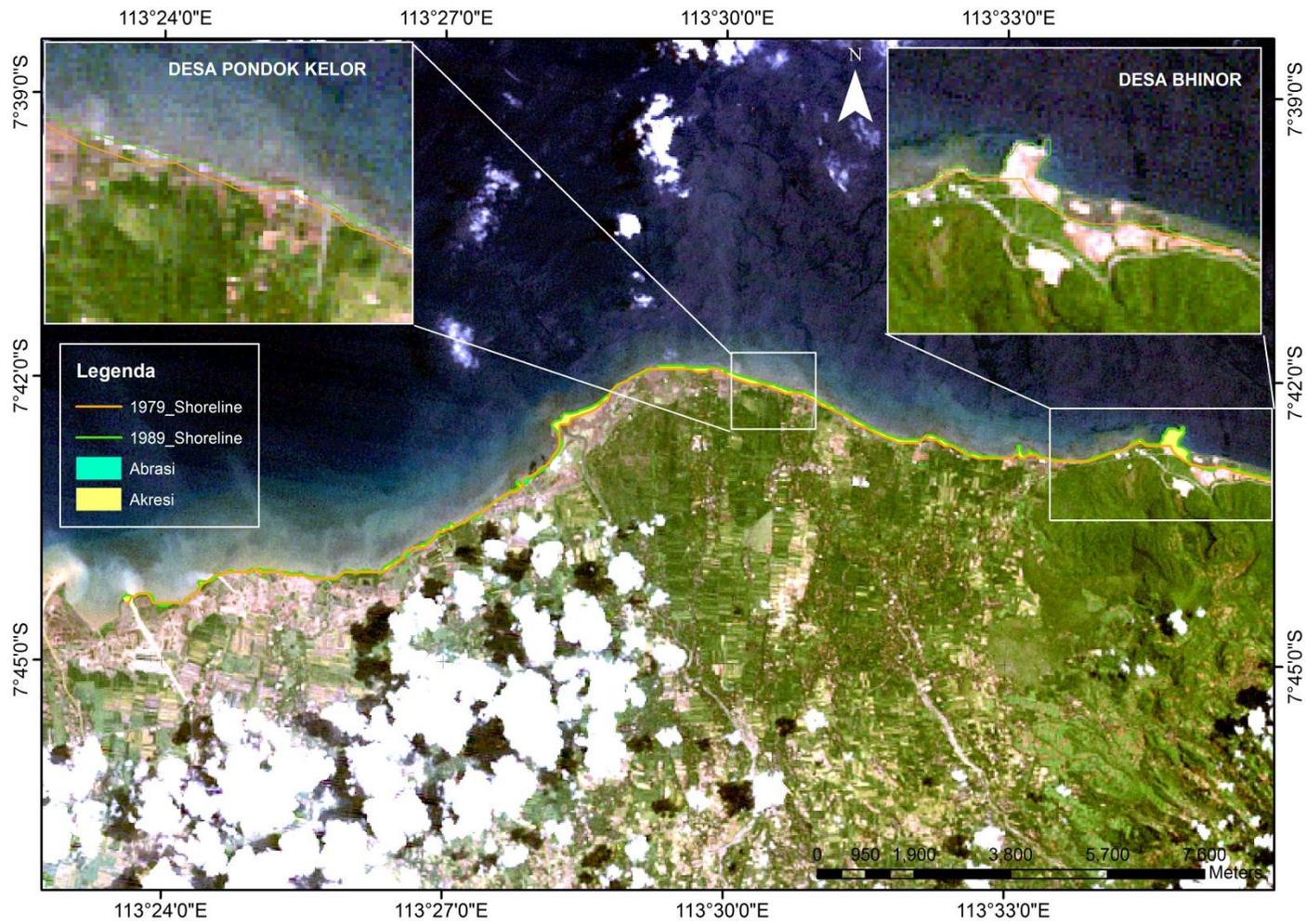
Selama tahun 1979-1989 sebagian besar garis pantai semakin maju seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6. Hampir seluruh desa mengalami akresi, hanya desa Asembagus saja yang mengalami abrasi berdasarkan hasil perhitungan DSAS pada Tabel 4. Desa Sumberanyar, Sukodadi, Pondok Kelor hanya mengalami akresi saja dan tidak ditemukan adanya abrasi. Desa Jabung Sisir merupakan desa dengan tingkat akresi tertinggi yang berlokasi pada muara sungai dengan laju akresi rata-rata sebesar 7,95 meter/tahun dan jarak rata-rata perubahan 75,31 meter. Desa Asembagus merupakan desa dengan tingkat abrasi tertinggi dengan laju abrasi rata-rata sebesar -4,70 meter/tahun dan jarak rata-rata perubahan sebesar -44,57 meter dimana lokasi perubahan terjadi pada muara sungai.



Gambar 5. Perubahan garis pantai tahun 1979-1989

Tabel 4. Nilai perubahan garis pantai tahun 1979-1989

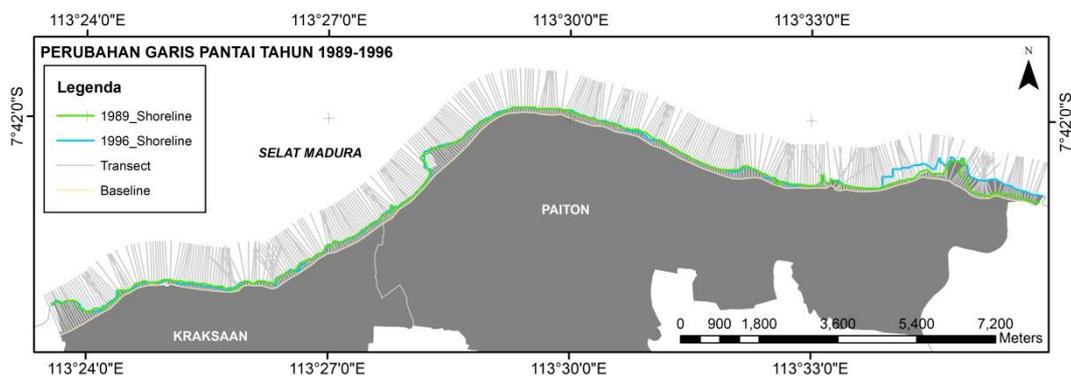
Desa	NSM (meter)				EPR (meter/tahun)				Keterangan
	Tertinggi	Terendah	Rata-Rata		Tertinggi	Terendah	Rata-Rata		
			+	-			+	-	
Bhinor	354,88	-63,64	51,26	-27,63	37,45	-6,72	5,41	-2,92	Akresi
Sumberejo	251,68	-45,54	66,71	-27,69	26,56	-4,81	7,04	-2,92	Akresi
Sumberanyar	92,88	10,93	56,54	0,00	9,80	1,15	5,97	0,00	Akresi
Sukodadi	69,47	32,78	54,03	0,00	7,33	3,46	5,70	0,00	Akresi
Pondok Kelor	101,96	33,60	70,43	0,00	10,76	3,55	7,43	0,00	Akresi
Randu Tatah	187,71	-34,93	67,84	-19,73	19,81	-3,69	7,16	-2,08	Akresi
Jabung Sisir	188,04	-103,76	75,31	-42,82	19,84	-10,95	7,95	-4,52	Akresi
Asembakor	88,86	-49,39	27,76	-21,34	9,38	-5,21	2,93	-2,25	Akresi
Kebonagung	69,71	-79,50	32,99	-25,72	7,36	-8,39	3,48	-2,71	Akresi
Kalibuntu	62,47	-27,58	25,40	-16,07	6,59	-2,91	2,68	-1,70	Akresi
Asembagus	214,08	-67,15	32,74	-44,57	22,59	-7,09	3,45	-4,70	Abrasi



Gambar 6. Wilayah akresi dan abrasi pada tahun 1979-1989

4.2.1.3 Tahun 1989-1996

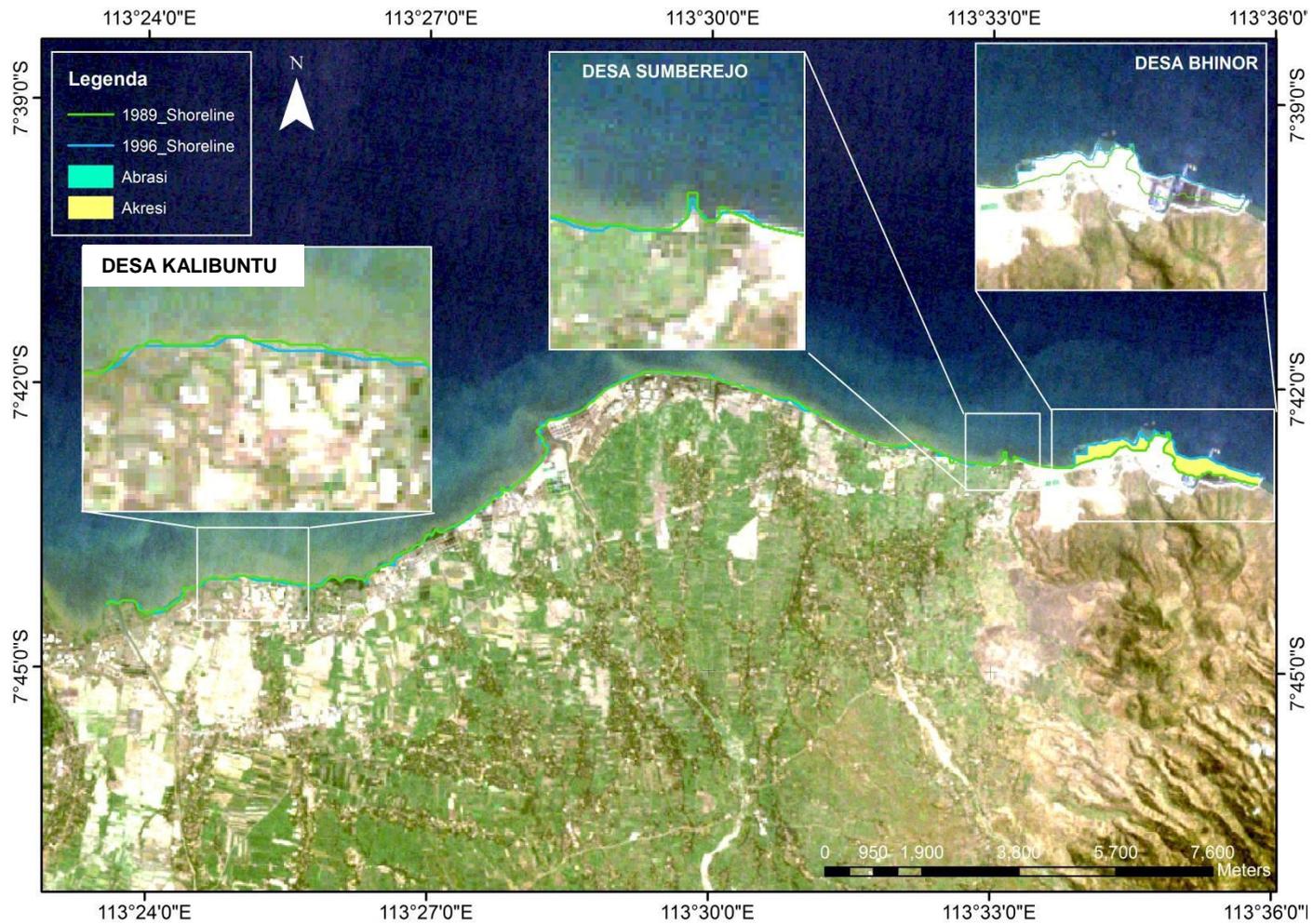
Desa Bhinor selama tahun 1979-1989 mengalami tingkat akresi yang paling tinggi dibandingkan dengan desa lainnya. Laju akresi rata-rata pada desa tersebut sebesar 26,74 meter/tahun dengan rata-rata jarak perubahan sebesar 198,57 meter. Desa Sumberejo memiliki tingkat abrasi paling tinggi pada rentang tahun ini yaitu sebesar -5,31 meter/tahun dengan rata-rata jarak perubahan sebesar 38,1 meter. Secara keseluruhan selama 7 tahun pada periode ini sebagian besar wilayah pesisir timur Kabupaten Probolinggo mengalami abrasi berdasarkan hasil perhitungan DSAS yang dapat dilihat pada Tabel 5. Perubahan garis pantai pada tahun 1989-1996 dapat dilihat pada Gambar 7 dan Gambar 8.



Gambar 7. Perubahan Garis Pantai Tahun 1989-1996

Tabel 5. Nilai perubahan garis pantai tahun 1989-1996

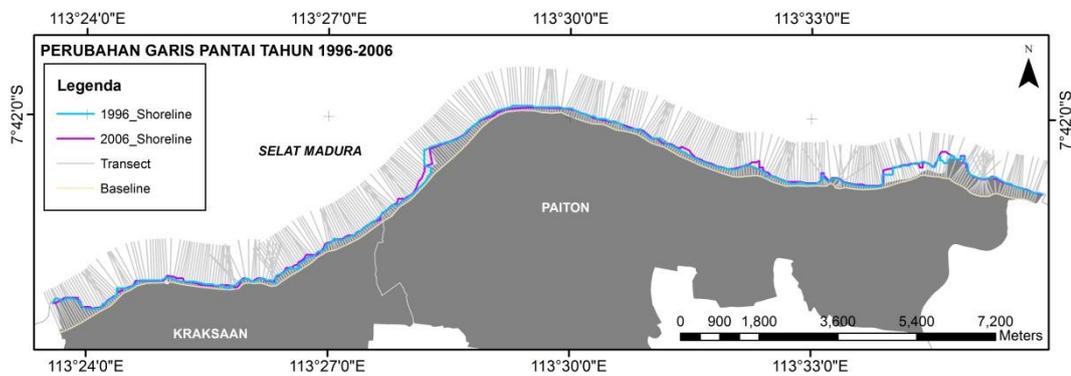
Desa	NSM (meter)				EPR (meter/tahun)				Keterangan
	Tertinggi	Terendah	Rata-Rata		Tertinggi	Terendah	Rata-Rata		
			+	-			+	-	
Bhinor	392,73	-11,60	198,57	-3,77	52,88	-1,56	26,74	-0,51	Akresi
Sumberejo	91,55	-148,88	21,28	-38,10	12,33	-20,05	2,87	-5,13	Abrasi
Sumberanyar	2,53	-47,16	1,20	-14,71	0,34	-6,35	0,16	-1,98	Abrasi
Sukodadi	24,90	-73,50	24,90	-32,85	3,35	-9,90	3,35	-4,42	Abrasi
Pondok Kelor	34,04	-64,58	13,00	-27,29	4,58	-8,70	1,75	-3,67	Abrasi
Randu Tatah	60,65	-30,69	20,04	-5,66	8,17	-4,13	2,70	-0,76	Akresi
Jabung Sisir	61,14	-127,46	19,59	-27,98	8,23	-17,16	2,64	-3,77	Abrasi
Asembakor	30,74	-29,29	15,09	-16,79	4,14	-3,94	2,03	-2,26	Abrasi
Kebonagung	34,15	-55,88	13,13	-20,31	4,60	-7,52	1,77	-2,73	Abrasi
Kalibuntu	0,84	-64,16	0,84	-27,63	0,11	-8,64	0,11	-3,72	Abrasi
Asembagus	58,81	-69,14	31,24	-18,17	7,92	-9,31	4,21	-2,45	Akresi



Gambar 8. Wilayah akresi dan abrasi pada tahun 1989-1996

4.2.1.4 Tahun 1996-2006

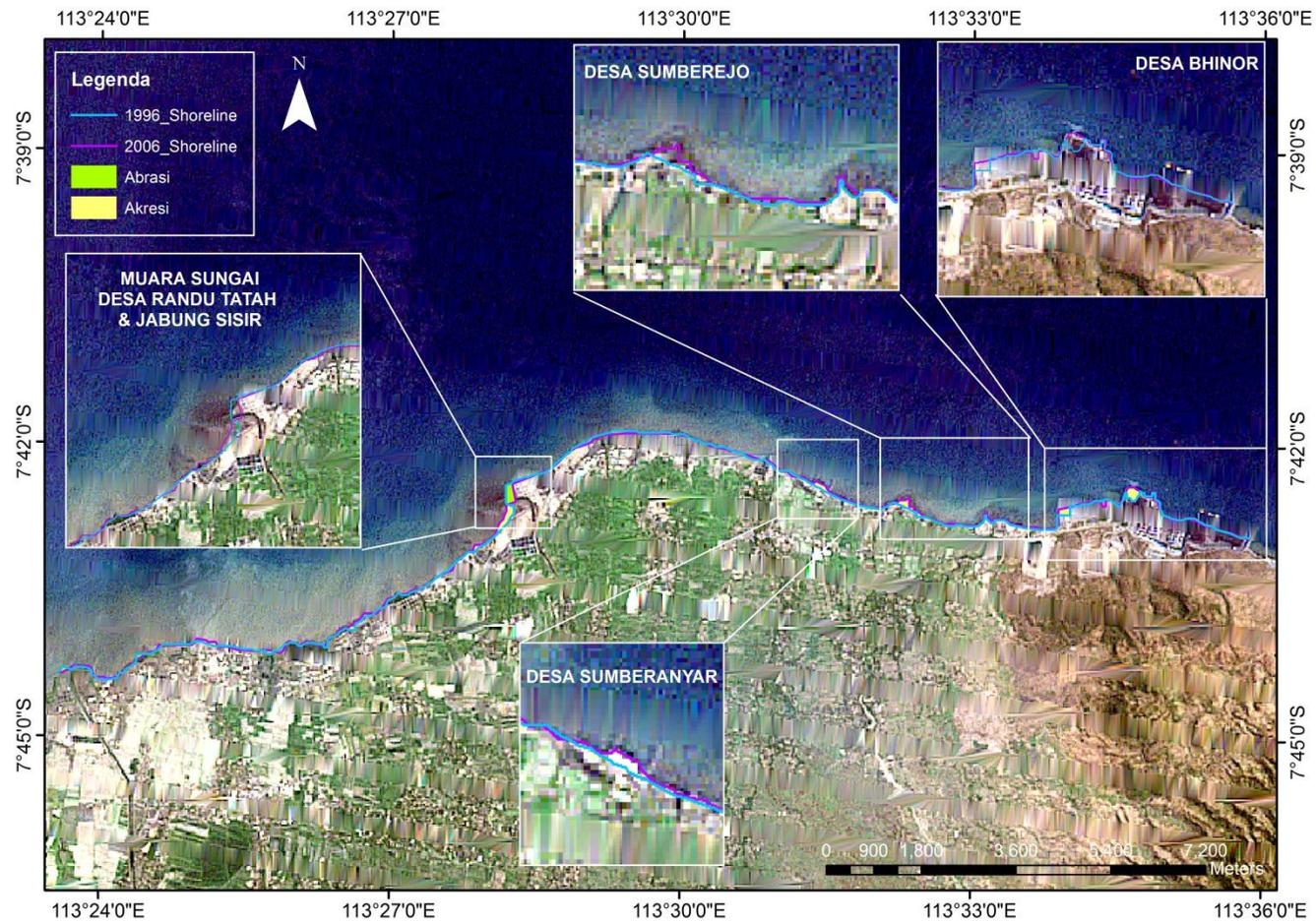
Garis pantai pada tahun 1996-2006 sebagian besar mengalami akresi berdasarkan hasil perhitungan DSAS yang dapat dilihat pada Tabel 6. Laju akresi rata-rata paling tinggi sebesar 6,47 meter/tahun pada Desa Jabung Sisir dengan jarak rata-rata perubahan sebesar 12,01 meter. Desa Jabung Sisir selain mengalami akresi maksimum juga mengalami abrasi maksimum. Tingkat abrasi tertinggi juga terdapat pada desa ini dengan laju abrasi rata-rata sebesar -9,21 meter/tahun dan jarak rata-rata perubahan sebesar -92,19 meter. Perubahan garis pantai pada tahun 1996-2006 dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.



Gambar 9. Perubahan Garis Pantai Tahun 1996-2006

Tabel 6. Nilai perubahan garis pantai tahun 1996-2006

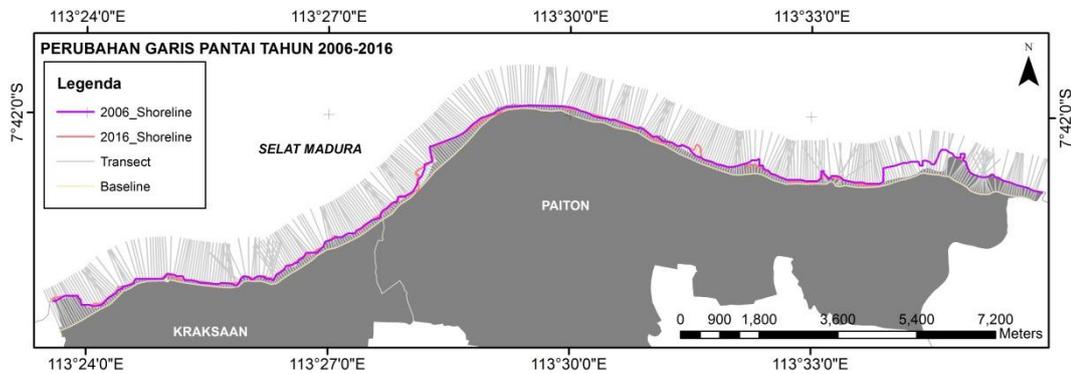
Desa	NSM (meter)				EPR (meter/tahun)				Keterangan
	Tertinggi	Terendah	Rata-Rata		Tertinggi	Terendah	Rata-Rata		
			+	-			+	-	
Bhinor	229,11	-133,78	41,27	-18,64	22,89	-13,37	4,12	-1,86	Akresi
Sumberejo	166,54	-0,52	43,21	-0,52	16,64	-0,05	4,32	-0,05	Akresi
Sumberanyar	99,39	-21,01	32,40	-12,12	9,93	-2,10	3,24	-1,21	Akresi
Sukodadi	29,41	-30,14	12,89	-19,97	2,94	-3,01	1,29	-2,00	Abrasi
Pondok Kelor	42,52	-43,10	15,15	-18,55	4,25	-4,31	1,51	-1,85	Akresi
Randu Tatah	24,34	-68,27	12,01	-28,83	2,43	-6,82	1,20	-2,88	Abrasi
Jabung Sisir	188,58	-267,33	64,78	-92,19	18,84	-26,71	6,47	-9,21	Abrasi
Asembakor	41,43	-54,48	17,45	-13,13	4,14	-5,44	1,74	-1,31	Akresi
Kebonagung	96,85	-62,16	34,86	-24,16	9,68	-6,21	3,48	-2,41	Akresi
Kalibuntu	76,78	-39,54	40,61	-18,61	7,67	-3,95	4,06	-1,86	Akresi
Asembagus	55,12	-92,54	19,93	-50,78	5,51	-9,25	1,99	-5,07	Abrasi



Gambar 10. Wilayah akresi dan abrasi pada tahun 1996-2006

4.2.1.5 Tahun 2006-2016

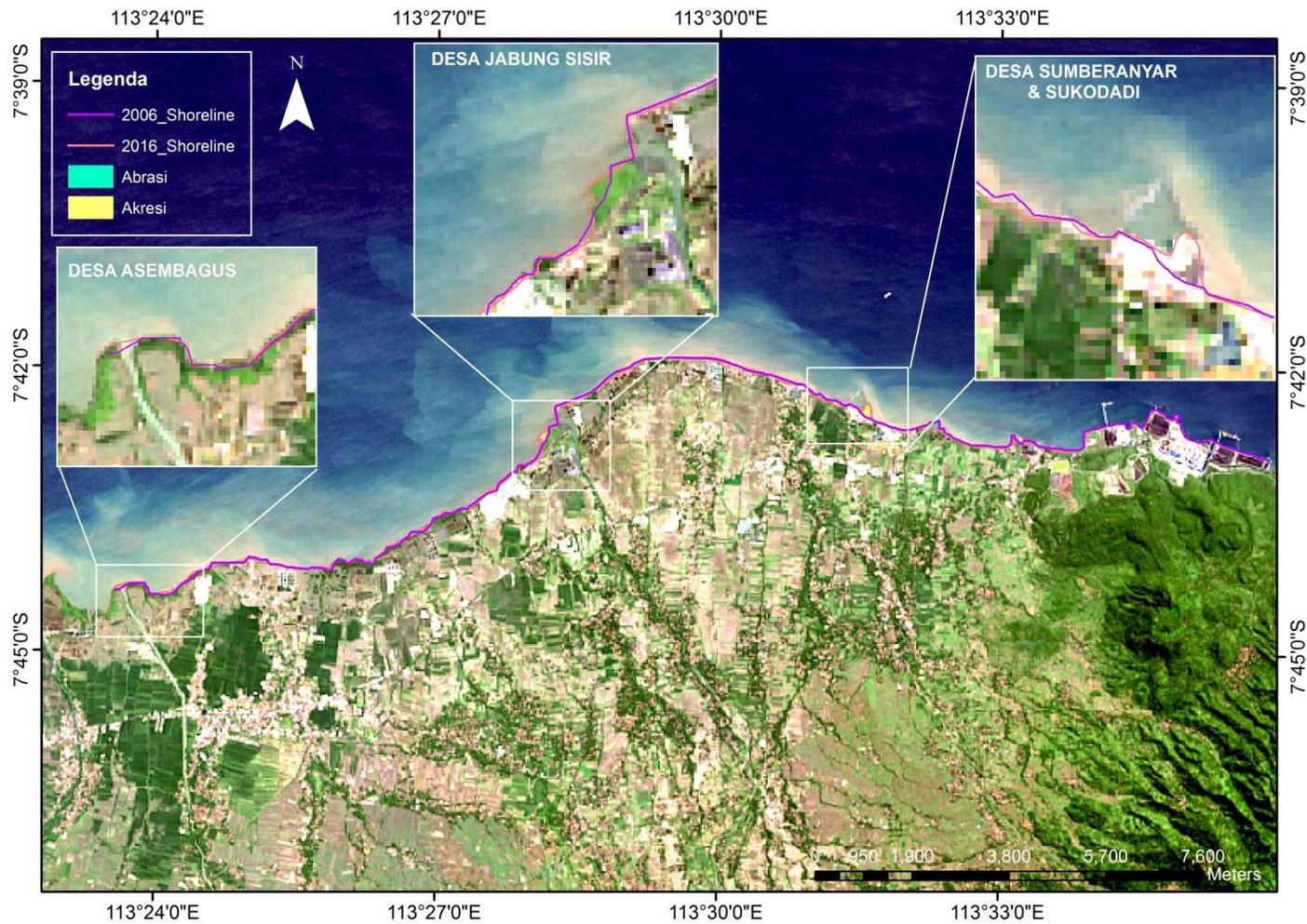
Tahun 1996-2006 garis sebagian besar mengalami abrasi berdasarkan hasil perhitungan DSAS pada Tabel 7. dan pada Desa Sukodadi hanya mengalami abrasi dan tidak ditemukan adanya akresi. Laju akresi rata-rata paling tinggi yang telah terjadi pada tahun 2006-2016 sebesar 6,1 meter/tahun pada Desa Jabung Sisir yang berlokasi pada daerah muara sungai, sedangkan laju abrasi rata-rata paling tinggi sebesar -4,57 meter/tahun pada Desa Sukodadi. Ilustrasi perubahan garis pantai pada tahun 2006-2016 dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11. Perubahan garis pantai tahun 2006-2016

Tabel 7. Nilai perubahan garis pantai tahun 2006-2016

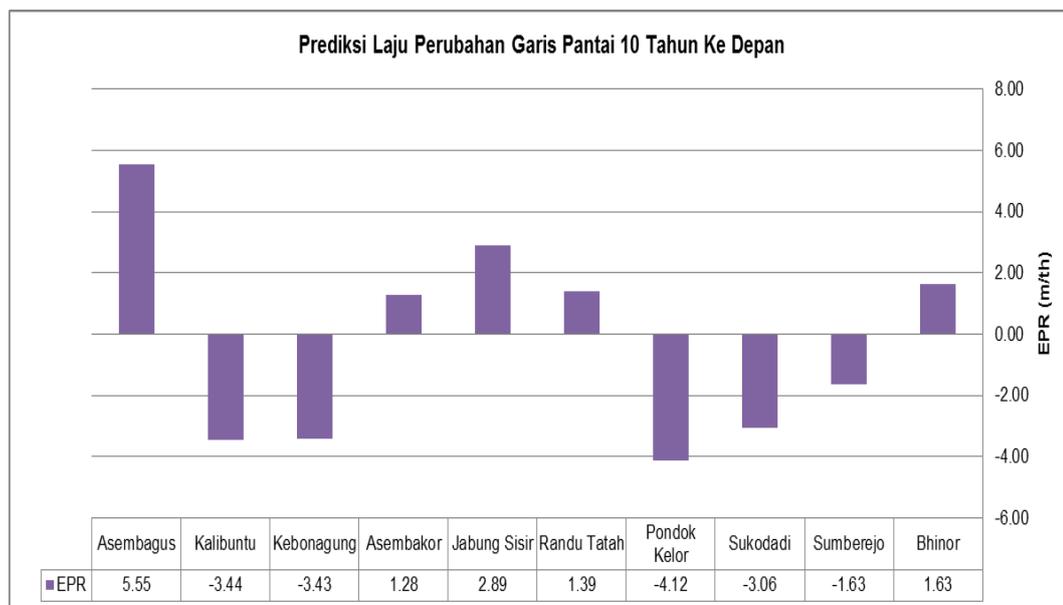
Desa	NSM (meter)				EPR (meter/tahun)				Keterangan
	Tertinggi	Terendah	Rata-Rata		Tertinggi	Terendah	Rata-Rata		
			+	-			+	-	
Bhinor	11,17	-50,31	0,34	-22,81	1,16	-5,24	0,04	-2,38	Abrasi
Sumberejo	5,34	-174,08	5,34	-36,24	0,56	-18,14	0,56	-3,78	Abrasi
Sumberanyar	231,98	-108,42	53,34	-19,46	24,18	-11,30	5,56	-2,03	Akresi
Sukodadi	-19,94	-63,57	0,00	-43,82	-2,08	-6,63	0,00	-4,57	Abrasi
Pondok Kelor	31,87	-57,80	15,60	-22,63	3,32	-6,02	1,63	-2,36	Abrasi
Randu Tatah	9,51	-65,76	3,50	-24,44	0,99	-6,85	0,36	-2,55	Abrasi
Jabung Sisir	188,58	-267,33	58,53	-32,55	18,84	-26,71	6,10	-3,39	Akresi
Asembakor	54,82	-26,75	17,21	-12,63	5,71	-2,79	1,79	-1,32	Akresi
Kebonagung	50,12	-60,20	19,02	-21,82	5,22	-6,27	1,98	-2,27	Abrasi
Kalibuntu	25,95	-60,02	10,66	-14,67	2,70	-6,26	1,11	-1,53	Abrasi
Asembagus	65,15	-4,29	27,91	-1,36	6,79	-0,45	2,91	-0,14	Akresi



Gambar 12. Wilayah akresi dan abrasi pada tahun 2006-2016

4.1.2 Prediksi Perubahan Garis Pantai

Prediksi perubahan garis pantai dilakukan untuk mengetahui kemungkinan perubahan garis pantai yang akan terjadi di masa mendatang. Prediksi pada penelitian ini dilakukan untuk 10 tahun ke depan. Data dengan nilai koefisien korelasi (R) mendekati 1 dalam prediksi perubahan garis pantai dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan bahwa pada lokasi tersebut pada masa mendatang akan mengalami perubahan garis pantai. Berikut ini merupakan hasil prediksi laju perubahan garis pantai untuk 10 tahun ke depan yang dapat dilihat pada Lampiran 13 secara lengkap dan untuk rata-rata perubahan pada tiap desa dapat dilihat pada Gambar 13 dan Tabel 8.



Gambar 13. Prediksi laju perubahan garis pantai 10 tahun mendatang

Berdasarkan hasil prediksi, wilayah yang mengalami akresi di masa mendatang garis pantainya diprediksi pada masa mendatang akan terus maju ke arah laut setiap tahunnya. Wilayah yang mengalami abrasi di kemudian hari posisi garis pantai akan semakin mundur ke arah daratan setiap tahunnya. Desa Sumberanyar tidak dapat dilakukan prediksi garis pantai dikarenakan pada desa tersebut hampir seluruh garis pantainya telah dibangun bangunan pantai permanen yaitu TPI, tembok pelindung pantai dan tambak, sehingga garis pantai

Tabel 8. Rata-rata hasil perhitungan prediksi laju perubahan garis pantai 10 tahun ke depan

Lokasi	R ²	R	Rata-Rata Prediksi Perubahan (meter)										Rata-Rata Laju Perubahan (m/th)	
			2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027		2028
Bhinor	0.74	0.86	25.50	27.46	29.05	30.65	32.24	33.84	35.43	37.03	38.62	40.22	41.81	1.63
Sumberejo	0.74	0.86	-15.67	-17.30	-18.93	-20.56	-22.19	-23.82	-25.45	-27.08	-28.72	-30.35	-31.98	-1.63
Sukodadi	0.60	0.77	-12.36	-15.43	-18.49	-21.55	-24.61	-27.67	-30.73	-33.79	-36.86	-39.92	-42.98	-3.06
Pondok Kelor	0.58	0.76	-22.54	-26.66	-30.77	-34.89	-39.00	-43.12	-47.24	-51.35	-55.47	-59.58	-63.70	-4.12
Randu Tatah	0.68	0.82	26.76	28.15	29.54	30.93	32.32	33.71	35.10	36.49	37.88	39.27	40.66	1.39
Jabung Sisir	0.58	0.76	-36.79	-33.90	-31.01	-28.13	-25.24	-22.35	-19.46	-16.57	-13.68	-10.80	-7.91	2.89
Asembakor	0.75	0.86	10.33	11.61	12.89	14.16	15.44	16.72	17.99	19.27	20.55	21.82	23.10	1.28
Kebonagung	0.55	0.74	-63.18	-66.61	-70.04	-73.47	-76.89	-80.32	-83.75	-87.18	-90.61	-94.03	-97.46	-3.43
Kalibuntu	0.68	0.82	-40.04	-43.47	-46.91	-50.35	-53.79	-57.22	-60.66	-64.10	-67.53	-70.97	-74.41	-3.44
Asembagus	0.62	0.78	71.17	76.73	82.28	87.84	93.39	98.95	104.50	110.06	115.61	121.17	126.72	5.55

memiliki kemungkinan tidak akan berubah. Wilayah yang mengalami akresi diantaranya desa Bhinor sebesar 1,63 meter/tahun, Randu Tatah sebesar 1,39 meter/tahun, Jabung Sisir sebesar 2,89 meter/tahun, Asembakor sebesar 1,28 meter/tahun dan Asembagus 5,55 meter/tahun, sedangkan sisanya mengalami abrasi. Desa Sumberejo mengalami abrasi sebesar -1,63 m/tahun, Sukodadi sebesar -3,06 m/tahun, Pondok Kelor sebesar -4,12 m/tahun, Kebonagung sebesar -3,43 m/tahun dan Kalibuntu sebesar -3,44 m/tahun. Desa Asembagus merupakan desa yang diprediksi tingkat akresinya paling tinggi jika dibandingkan desa lainnya yang mengalami akresi dan abrasi tertinggi diprediksi akan terjadi pada Desa Pondok Kelor. Peristiwa ini diprediksi akan terus berlangsung dan dapat sewaktu-waktu berubah ataupun berhenti jika terdapat campur tangan manusia di kemudian hari.

4.2 Pembahasan

4.2.1 Perubahan Garis Pantai

Selama 52 tahun yaitu tahun 1964-2016 garis pantai pesisir timur Kabupaten Probolinggo bagian timur telah didominasi oleh peristiwa abrasi. Desa Sukodadi, Pondok Kelor dan Kalibuntu selama kurun waktu ini telah mengalami abrasi saja dan tidak ditemukan adanya akresi, sedangkan desa lainnya mengalami dinamika perubahan garis pantai baik akresi maupun abrasi. Desa dengan tingkat akresi tertinggi yaitu Desa Asembagus, dimana lokasi akresi terjadi pada muara sungai. Akresi diduga akibat sedimentasi yang terjadi pada muara sungai dan adanya penambahan luasan vegetasi pelindung pantai yang telah ditanam pada muara sungai dan disepanjang pantai. Desa Sukodadi merupakan desa dengan tingkat abrasi tertinggi yang diduga disebabkan oleh keberadaan pembangunan TPI Paiton yang mempengaruhi perubahan arah gelombang datang.

4.2.1.1 Tahun 1964-1979

Dekade pertama pengamatan perubahan garis pantai bertujuan mengamati perubahan garis pantai sebelum berkembangnya pembangunan di wilayah pesisir timur Kabupaten Probolinggo. Perubahan garis pantai yang terjadi dalam periode ini sebagian besar garis pantai pada tahun 1979 semakin mundur dari tahun 1964. Desa Sumberejo, Sukodadi, Pondok Kelor, Kebonagung dan Kalibuntu selama 15 tahun pertama telah mengalami abrasi dan tidak ditemukan adanya akresi, pada kelima desa tersebut belum terdapat adanya pembangunan pada wilayah pesisirnya serta belum terdapat vegetasi pelindung pantai yang dapat meredam gelombang untuk mengurangi laju abrasi. Laju akresi rata-rata tertinggi terdapat pada Desa Asembagus yang berlokasi pada muara sungai. Laju abrasi rata-rata tertinggi terdapat pada Desa Sukodadi yang berlokasi pada muara sungai.

Muara sungai merupakan lokasi yang rentan terhadap perubahan garis pantai. Lokasi tersebut sangat dinamis mengingat perubahan yang terjadi pada lokasi tersebut sebagian besar terbentuk akibat proses sedimentasi dan berlangsung secara musiman. Selain akibat faktor tersebut, dapat telah diketahui bahwa jarak perubahan maupun laju perubahan pada rentang tahun ini cukup tinggi. Perubahan yang tergolong sangat tinggi dapat juga diakibatkan oleh perbedaan sumber data untuk memperoleh garis pantai. Data garis pantai tahun 1964 berasal dari lembar peta sedangkan data tahun 1979 bersumber dari citra satelit, perbedaan sumber data tersebut diduga menjadi salah satu penyebab tingkat perubahan yang cukup tinggi karena untuk pembuatan lembar peta tahun 1964 menggunakan jenis satelit yang berbeda. Selain perbedaan sumber data perubahan yang ditemukan bisa jadi masih terpengaruh oleh perbedaan kondisi muka air laut, dimana data pada lembar peta tahun 1964 menggunakan kedudukan muka air laut rata-rata sedangkan data tahun 1979 yang berasal dari citra satelit setelah dilakukan peramalan pasang surut perairan sedang dalam keadaan surut.

4.2.1.2 Tahun 1979-1989

Periode kedua yaitu tahun 1979-1989 tingkat akresi pada periode tahun ini cukup tinggi. Sebagian besar perubahan yang terjadi yaitu sebagian besar garis pantai semakin maju. Hampir seluruh desa mengalami akresi, hanya desa Asembagus saja yang mengalami abrasi. Desa Sumberanyar, Sukodadi, Pondok Kelor hanya mengalami akresi saja dan tidak ditemukan adanya abrasi. Desa Jabung Sisir merupakan desa dengan tingkat akresi tertinggi yang berlokasi pada muara sungai. Desa Asembagus merupakan desa dengan tingkat abrasi tertinggi dimana lokasi perubahan terjadi pada muara sungai.

Pada dekade ini aktivitas pengembangan wilayah pesisir dimulai. Hal ini ditandai dengan munculnya kawasan pembangkit tenaga listrik pada Desa

Bhinor. Desa Bhinor mengalami penambahan daratan akibat aktivitas pembangunan kawasan pembangkit tenaga listrik (PLTU Paiton). Desa Pondok Kelor mengalami cukup banyak penambahan daratan yang diduga terjadi akibat pengembangan kawasan tambak. Menurut Suyarso (2016), pada sejak tahun 1973 wilayah pesisir di Kabupaten Probolinggo mengalami penambahan daratan akibat pengembangan kawasan tambak. Selain akibat pengembangan wilayah, diduga perubahan yang terjadi masih terpengaruh oleh pasang surut mengingat kondisi pasang surut citra yang digunakan tidak diambil pada kondisi yang sama. Tahun 1979 diambil saat kondisi sedang surut dan tahun 1989 diambil saat kondisi perairan sedang pada tinggi muka air rata-rata (*Mean Sea Level*).

4.2.1.3 Tahun 1989-1996

Tahun 1989-1996 merupakan puncak aktivitas pembangunan pada kawasan pembangkit listrik di desa Bhinor, sebab berdasarkan perhitungan DSAS tingkat akresi pada desa ini paling tinggi jika dibandingkan dengan desa lainnya. Desa Sumberejo memiliki tingkat abrasi paling tinggi pada rentang tahun ini. Abrasi yang terjadi pada Desa Sumberejo diduga akibat adanya pembangunan yang dilakukan pada Desa Bhinor dimana kedua desa ini saling berdekatan, adanya aktivitas pembangunan dapat merubah pola arus maupun gelombang yang datang ke pantai.

Secara keseluruhan pada kurun waktu ini perubahan yang terjadi didominasi oleh abrasi. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Suyarso (2016), dimana pada tahun 1995 hingga 2003 wilayah Kabupaten Probolinggo khususnya Kraksaan lebih didominasi oleh erosi pantai. Desa pada Kecamatan Kraksaan yang memiliki tingkat abrasi tertinggi yaitu Desa Kalibuntu, desa ini sebagian besar berupa area pemukiman, tambak dan rawa yang langsung berhadapan dengan laut serta tidak memiliki perlindungan garis pantai yang cukup memadai. Berdasarkan pernyataan penduduk sekitar saat

survei lapangan, saat gelombang tinggi datang desa ini sering mengalami banjir rob dimana banjir tersebut akan menggenangi rumah warga dan tambak.

4.2.1.4 Tahun 1996-2006

Secara keseluruhan, garis pantai pada tahun 1996-2006 dominan mengalami akresi. Tahun 1996-2006 merupakan era dimana aktivitas pembangunan pada Kecamatan Paiton cukup tinggi. Kecamatan Paiton terus mengembangkan wilayah pesisirnya dengan membangun Tempat Pelelangan Ikan (TPI) Paiton pada desa Sumberanyar, selain itu PLTU Paiton terus mengembangkan wilayahnya sehingga pada desa Sumberanyar dan Bhinor pada perhitungan DSAS terdeteksi mengalami akresi. Kondisi perairan saat pengambilan data citra keduanya dalam kondisi surut, sehingga tidak terdapat pengaruh pasang surut terhadap perubahan garis pantai.

Laju akresi rata-rata maksimum dan laju abrasi maksimum berada pada Desa Jabung Sisir. Lokasi akresi berada pada muara sungai yang memiliki perubahan yang cukup tinggi akibat sedimentasi dan penambahan luasan vegetasi mangrove pada muara sungai. Sedangkan lokasi abrasi berada pada wilayah pemukiman pada Desa Jabung Sisir, pada desa ini berdasarkan informasi dari penduduk sekitar saat survei lapangan juga sering mengalami banjir rob saat gelombang tinggi datang dan masuk ke pemukiman warga. Saat melihat kondisi di lapangan, saat ini sudah terdapat tembok pelindung pantai untuk melindungi pemukiman warga dari gempuran gelombang, akan tetapi tembok telah terkikis oleh gempuran gelombang. Penduduk sekitar mulai menanam vegetasi pelindung pantai untuk mengatasi permasalahan tersebut.

4.2.1.5 Tahun 2006-2016

Dekade terakhir yaitu tahun 1996-2006 garis pantai sebagian besar mengalami abrasi dan aktivitas pembangunan di wilayah pesisir mulai berkurang. Berdasarkan hasil survei lapangan garis pantai dari tahun 2016 hingga saat ini

yaitu 2017 tidak mengalami banyak perubahan. Perubahan yang terjadi selama satu dekade ini yaitu pada TPI Paiton terdapat penambahan luasan area dan pada PLTU Paiton terdapat penambahan *jetty* (Gambar 14). Jika terjadi perubahan, nilai perubahan tidak terlalu tinggi. Laju akresi paling tinggi yang telah terjadi pada Desa Jabung Sisir yang berlokasi pada daerah muara sungai akibat adanya penambahan luasan vegetasi pelindung pantai (Gambar 16). Sedangkan laju abrasi paling tinggi terdapat pada desa Sukodadi yang berada tepat disebelah TPI Paiton (Gambar 15). Keberadaan TPI Paiton diduga mengakibatkan arah gelombang yang datang sehingga mempengaruhi perubahan garis pantai.



Gambar 14. *Jetty* pada PLTU Paiton
(Sumber: Dokumentasi, 2017)



Gambar 15. Lokasi perubahan garis pantai dekat TPI Paiton
(Sumber: Google Earth, 2017)



Gambar 16. Penambahan luasan mangrove di desa Jabung Sisir
(Sumber: Dokumentasi, 2017)

4.2.2 Kaitan Geomorfologi dengan Dinamika Garis Pantai

Pantai di Kabupaten Probolinggo bagian timur termasuk ke dalam pantai berpasir yang memiliki tingkat kemiringan landai yaitu $0,015^\circ$ dengan substrat dasar pantai didominasi dengan pasir dan pada beberapa wilayah cenderung berlumpur. Rasio kemiringan pada pantai ini yaitu 1:67 seperti yang dapat dilihat pada Lampiran 9. Rasio tersebut menunjukkan bahwa setiap jarak 67 meter dari surut terendah memiliki kedalaman 1 meter. Prayudha dan Suyarso (2015), mengemukakan bahwa pantai di Kabupaten Probolinggo memiliki topografi yang landai dan merupakan kawasan yang cukup rawan terhadap kenaikan muka air laut. Karakteristik pantai di Kabupaten Probolinggo yang tergolong landai dan memiliki karakteristik sedimen berupa pasir lumpur dapat dengan mudah mengalami perubahan garis pantai. Sesuai dengan pernyataan Tarigan (2010), bahwa pantai yang memiliki kemiringan landai serta bersubstrat sedimen halus cukup mudah untuk mengalami abrasi begitu gelombang datang. Angkotasa *dkk.* (2017), pada penelitiannya memiliki kondisi kemiringan pantai yang berbeda yaitu terdapat pantai yang landai dan curam pada wilayah kajiannya, berdasarkan hasil penelitiannya pantai yang landai ditemukan adanya perubahan garis pantai sedangkan pada pantai yang curam tidak ditemukan adanya perubahan garis pantai.

Perubahan garis pantai ditemukan terjadi sebagian besar terjadi pada muara sungai. Perubahan yang terjadi diduga akibat proses sedimentasi. Sedimentasi yang terbentuk pada muara sungai berasal dari aliran sungai Gunung Bromo dimana ketika terjadi hujan, pada bagian hulu aliran sungai menjadi deras dan proses transpor sedimen tidak mengendap di darat melainkan akan mengendap pada muara sungai atau di laut (Suyarso, 2016). Perubahan yang terjadi pada muara sungai merupakan perubahan yang bersifat musiman. Angkutan sedimen dari muara sungai ini dapat menyebabkan pendangkalan dan diduga merupakan salah satu penyebab pantai pada wilayah ini tergolong landai.

4.2.3 Kaitan Pasang Surut dengan Perubahan Garis Pantai

Kondisi pasang surut memiliki pengaruh terhadap pembuatan garis pantai mengingat kedudukan garis pantai dapat berubah-ubah sesuai kondisi kedudukan muka air laut. Kondisi kedudukan muka air laut perlu untuk diperhatikan utamanya jika menggunakan data yang berasal dari citra satelit maupun lembar peta. Data garis pantai yang diperoleh dari lembar peta memiliki referensi kondisi muka air laut dalam kedudukan rata-rata atau *Mean Sea Level* (MSL), Data garis pantai yang berasal dari citra satelit dapat bervariasi bergantung pada waktu akuisi citra saat dilakukan peramalan pasang surut.

Analisa perubahan garis pantai sebaiknya menggunakan data yang memiliki kondisi kedudukan muka air laut yang seragam sehingga dapat meminimalisir terdeteksinya perubahan yang masih diakibatkan oleh pasang surut. Jika data masih memiliki kedudukan muka air laut yang bervariasi, sebaiknya perlu untuk dilakukan koreksi pasang surut. Koreksi pasang surut dilakukan untuk menyamakan posisi garis pantai pada seluruh data yang digunakan ke dalam kondisi kedudukan muka air laut rata-rata atau *Mean Sea Level* (MSL) (Kasim, 2011).

4.2.4 Prediksi Perubahan Garis Pantai

Prediksi perubahan garis pantai untuk masa mendatang digunakan sebagai pertimbangan dalam merencanakan pengelolaan wilayah pesisir maupun antisipasi terhadap bencana yang diakibatkan oleh perubahan garis pantai. Dalam melakukan prediksi lokasi garis pantai yang digunakan yaitu garis pantai yang dapat mengalami perubahan seperti pantai yang tidak dilindungi oleh bangunan pelindung pantai serta pantai yang berada di dekat muara sungai. Bangunan pantai, bangunan tambak yang berlokasi pada garis pantai serta bangunan pelindung pantai yang bersifat permanen pada proses prediksi tidak diperhitungkan karena merupakan bangunan tetap yang diduga tidak akan mengalami perubahan kecuali jika terdapat pengembangan wilayah pesisir pada kawasan tersebut.

Berdasarkan hasil perhitungan prediksi perubahan garis pantai, wilayah yang mengalami akresi untuk 10 tahun ke depan diduga akan semakin mengalami garis pantai maju tiap tahunnya, sedangkan pada wilayah yang mengalami abrasi diduga akan semakin mengalami garis pantai mundur. Desa Asembagus merupakan desa yang diprediksi garis pantainya akan semakin maju dari tahun ke tahun yang berlokasi di muara sungai. Perubahan tersebut diduga akan diakibatkan oleh proses sedimentasi pada muara sungai. Sedangkan desa yang memiliki tingkat abrasi tertinggi yaitu Desa Pondok Kelor. Desa ini rentan akan perubahan garis pantai dikarenakan masih belum adanya bangunan pelindung pantai yang cukup memadai. Lokasi ini didominasi oleh kawasan pemukiman, menurut penduduk sekitar saat survei lapangan meskipun telah terdapat bangunan pelindung pantai pada kawasan pemukiman, akan tetapi saat pasang tertinggi air masih dapat masuk ke area pemukiman.

Penggunaan DSAS untuk monitoring garis pantai merupakan cara yang cukup akurat, akan tetapi tidak menutup kemungkinan terdapat ketidakpastian

yang terdapat pada penelitian. Potensi mengalami kesalahan (*error*) ataupun ketidakpastian (*uncertainty*) dapat terjadi pada suatu penelitian. *Error* yang dapat terjadi pada penelitian terkait pemetaan kawasan pesisir berupa penggunaan data yang tidak sama misalnya perubahan skala, datum, metode survei, sumber data dan proyeksi peta. Faktor-faktor tersebut dapat menyebabkan ketidakpastian posisi dan pengukuran dalam pembuatan peta (Kankara *et al.*, 2015). Menurut Aiello *et al.* (2013), kesalahan dan ketidakpastian yang terkait pada pemetaan dan analisa perubahan garis pantai yaitu perbedaan maupun perubahan jenis sumber peta yang digunakan, citra satelit, metode survei, posisi GPS, digitasi garis pantai, dan peristiwa alam yang terjadi secara musiman serta dapat mempengaruhi perubahan garis pantai. Beberapa ketidakpastin dan kesalahan yang mungkin terjadi seperti perbedaan sumber data, waktu akusisi data, kondisi pasang surut dan digitasi garis pantai. Penelitian ini sebisa mungkin berusaha meminimalisir masalah terkait tingkat kesalahan dan ketidakpastian tersebut.