

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kondisi Umum Lokasi Penelitian

Kabupaten Cilacap terletak pada 109° 01' 18,4" BT sampai 7° 43' 31,2" LS dengan luas wilayah 225.360,84 ha. Sedangkan secara topografi, Kabupaten Cilacap berada pada ketinggian antara 6 – 198 meter di atas permukaan laut. Bagian selatan, Kabupaten Cilacap berbatasan dengan Segara Anakan dan Samudra Hindia. Terdapat juga Pulau Nusakambangan yang membentang dari barat ke timur sepanjang kurang lebih 30 kilometer. Keadaan topografi di wilayah Kabupaten Cilacap cukup beragam, namun kondisi topografi rata-rata merupakan dataran rendah.

Cilacap memiliki pelabuhan Tanjung Intan yang merupakan satu-satunya pelabuhan yang ada di Pantai Selatan Pulau Jawa yang merupakan pintu gerbang perekonomian bagi daerah Jawa Tengah bagian selatan untuk perdagangan ekspor dan impor maupun pasar antar Pulau. Selain pelabuhan umum, di sekitar pesisir Cilacap juga terdapat pelabuhan milik perusahaan besar seperti Pelabuhan Minyak Pertamina UP IV dan Pelabuhan Semen Holcim (BAPPEDA, 2015).

Keadaan arus di Perairan Cilacap sangat dipengaruhi oleh pasang surut (DISHIDROS, 1992 dalam Safitri, 2009). Pada saat pasang, masa air laut akan mengalir dari Samudera Hindia masuk ke selat antara Pulau Jawa dan Nusakambangan melalui pintu terusan timur (Pantai Pulau Jawa) dan pintu terusan barat (Nusakambangan). Pada saat surut, massa air mengalir kembali menuju Samudera Hindia melewati jalur yang sama. Periode aliran massa air keluar lebih panjang dibandingkan dengan periode aliran massa air yang masuk. Arus permukaan di perairan Cilacap memiliki kecepatan berkisar antara 3,5 knot sampai 4 knot (Harimurthy, 2002). Pada bagian hulu perairan Kali Donan,

kecepatan arus cenderung kecil, karena pada dasarnya perairan tersebut bukan perairan sungai (Ilham, 2002).

2.2 Gelombang Tsunami

Tsunami adalah rangkaian gelombang laut dengan periode panjang yang ditimbulkan oleh gangguan impulsif dari dasar laut. Terjadinya tsunami terutama sekali disebabkan oleh gempa bumi di laut. Namun, tsunami juga dapat terjadi disebabkan oleh tanah longsor di dasar laut, letusan gunung api dasar laut dan meteor yang jatuh di laut. Gempa bumi akan menimbulkan tsunami apabila memenuhi beberapa syarat : gempa besar dengan kekuatan gempa lebih dari 6,5 SR, sumber gempa bumi berada di laut, kedalaman gempa bumi dangkal kurang dari 40 km, dan terjadi pergeseran vertikal dasar laut (Ramya, 2011).

Sifat gelombang tsunami berbeda dari ombak laut biasa. Gelombang tsunami bergerak dengan kecepatan tinggi dan dapat merambat lintas-samudera dengan energi yang sedikit demi sedikit berkurang. Daerah yang ribuan kilometer jauhnya dari sumber, dapat merasakan terjadinya tsunami. Oleh karena itu ada selisih waktu cukup lama antara terciptanya gelombang dengan bencana yang ditimbulkan di pantai. Waktu rambat gelombang tsunami lebih lama dari waktu yang diperlukan oleh gelombang seismik untuk mencapai tempat yang sama (Sugito, 2008).

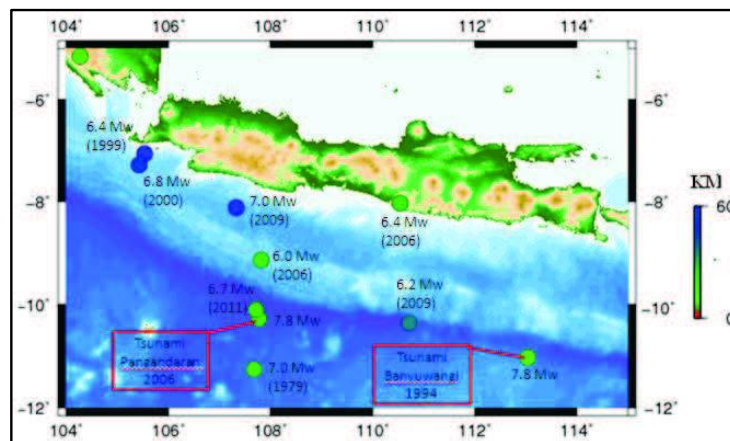
Periode gelombang tsunami bervariasi antara 2 menit hingga 1 jam. Sedangkan untuk panjang gelombang, tsunami memiliki panjang gelombang antara 100-200 km. Jika dibandingkan dengan ombak biasa di laut angka ini jauh di atasnya. Ombak yang biasa digunakan para peselancar memiliki period 10 detik dan panjang gelombang 150 meter. Oleh karena itu pada saat masih di tengah laut, gelombang tsunami hampir tidak terasa dan tidak terlihat (Sugito,2008).

Tsunami yang terjadi di pesisir pantai dapat merusak apa saja yang dilewatinya. Dampak negatif gelombang tsunami antara lain rusaknya bangunan, jatuhnya korban jiwa manusia serta menyebabkan genangan, pencemaran dan kerusakan lingkungan (Sugito, 2008).

2.3 Aktivitas Seismik dan Potensi Tsunami di Selatan Pulau Jawa

Aktivitas seismik dibagian selatan Pulau Jawa didominasi oleh penunjaman ke utara lempeng Indo-Australia di bawah lempeng Eurasia dengan arah mendekati normal terhadap palung. Penunjaman ini memiliki kedalaman 100 – 200 km di bawah Pulau Jawa dan 600 km di utara Pulau Jawa. Efek dari keberadaan penunjaman tersebut mengakibatkan tingkat kegempaan yang tinggi dan lebih dari 20 gunung aktif di zona ini (Rohadi, 2009).

Dalam dekade terakhir, aktivitas kegempaan di selatan Jawa tercatat lebih aktif dibanding dekade sebelumnya berdasarkan katalog kegempaan. Aktivitas gempa yang terjadi di Jawa membuktikan masih aktifnya subduksi di selatan Jawa. Misalnya gempa yang terjadi disesar Opak Yogyakarta 2006, gempa tersebut menunjukkan bahwa subduksi di selatan Jawa masih aktif. Hal ini dapat diketahui karena energi gempa berasal dari subduksi selatan Jawa (Ammon *et al*, 2006).



Gambar 1. Seismisitas Selatan Jawa Tahun 1976-2012 ($M_w \geq 6$ dan $H \leq 60$ km) (Ammon *et al*, 2006)

Gambar 1 menunjukkan peta aktivitas seismik di selatan Pulau Jawa dalam kurun waktu 1976 hingga 2012. Dalam kurun waktu tersebut pernah terjadi gempa-gempa besar mulai dari 6,4 SR sampai yang terbesar 7,8 SR. Dari beberapa kejadian gempa tersebut, hanya dua gempa yang menghasilkan gelombang tsunami yaitu gempa Banyuwangi 1994 dan Pangandaran 2006. Kedua gempa ini memiliki mekanisme fokus vertikal, yang merupakan ciri khas dari gempa yang bersumber di sekitar zona subduksi. Karakteristik subduksi di selatan Jawa berbeda jika dibandingkan dengan subduksi di Pulau Sumatera. Perbedaan terletak pada usia subduksi dimana subduksi Pulau Jawa berumur sekitar 100 tahun, sementara subduksi Sumatera berumur sekitar 60-80 juta tahun yang lalu (Ammon *et al*, 2006). Palung Jawa memanjang dari Banyuwangi hingga Mentawai dan memiliki banyak sedimen. Hal ini akan mempengaruhi gempa dan tsunami yang dihasilkan gempa lebih lambat, tetapi memiliki dislokasi yang besar. Sehingga tsunami yang dihasilkan oleh gempa tersebut juga besar (Ammon *et al*, 2006).

2.4 Tumpahan Minyak Bumi

2.4.1 Pencemaran Laut Oleh Minyak

Tumpahan minyak di laut dapat berasal dari proses produksi, transportasi, penyimpanan dan pemakaian minyak itu sendiri. Statistik menunjukkan jumlah minyak yang masuk ke laut dalam kejadian tumpahan minyak cenderung kecil. Data dari tahun 1990-1999, sebanyak 72 % kasus tumpahan minyak terjadi dengan jumlah minyak yang mencemari lautan 0.003 hingga 0.03 ton. Untuk kasus tumpahan minyak dengan volume besar (di atas 30 ton), hanya terjadi sekitar 0.1 % kejadian (Fingas, 2010).

Tumpahan minyak yang terjadi di laut, danau dan badan perairan lainnya merupakan suatu ancaman. Penyebab utama tumpahan minyak di laut didominasi oleh kegiatan manusia. Tumpahan minyak berakibat buruk pada ekologi,

lingkungan dan kehidupan ekonomi masyarakat. Dampak terhadap ekologi, tumpahan minyak akan merusak kehidupan akuatik, mengawali kerusakan dan ketidakstabilan pada lingkungan secara luas. Pada bidang ekonomi, akan mengganggu aktivitas nelayan dan juga mengganggu kegiatan pariwisata. Menurut *International Tanker Owner's Pollution Federation Limited (ITOPF)*, jumlah total tumpahan minyak dari tahun 1970 hingga 2007 berkisar 5.5 juta ton. Meskipun jumlah tersebut tinggi, pendeteksian dan pemantauan secara teratur masih belum sepenuhnya dipahami. Tetapi sudah dikembangkan beberapa sistem operasional untuk mendeteksi, memantau, permodelan dan prediksi tumpahan minyak (Fingas, 2010).

2.4.2 Karakteristik Minyak Bumi

Minyak mentah (crude oil) yang berasal dari sumur eksplorasi mengandung berbagai jenis bahan kimia dalam bentuk gas, cair, maupun padatan. Sebagian besar dari komponen tersebut berupa hidrokarbon yaitu sebesar 50-98 % sedangkan sisanya berupa komponen non-hidrokarbon (Mukhtasor, 2007). Hidrokarbon dalam minyak bumi memiliki struktur kimiawi karbonberbeda seperti rantai lurus dan rantai cabang (alifatik), rantai siklik (alisiklik) dan rantai aromatik (Clark, 1986). Effendi (2003) menyatakan bahwa hidrokarbon alifatik meliputi alkana (parafin), alkena (olefin), alkuna (asetilen). Alkana relatif tidak beracun dan tidak dapat terurai secara biologis oleh mikroba. Komponen alisiklik merupakan komponen yang sangat stabil dan sulit dihancurkan oleh mikroba dan jumlahnya sangat dominan mencapai 30-60%. Komponen hidrokarbon aromatik (cincin benzena) merupakan jenis yang lebih beracun dan mudah menguap (volatile). Jumlah aromatik lebih kecil yaitu hanya sekitar 2-4% (Mukhtasor, 2007).

Sifat dari tumpahan minyak di kawasan garis pantai umumnya bergantung pada karakteristik pantai, seperti porositas substrat dan energi gelombang yang

terjadi di pantai. Paparan gelombang yang kuat meningkatkan baik proses pembersihan fisik maupun iklim (Zhu et al., 2001).

2.5 Faktor yang Mempengaruhi Sebaran Tumpahan Minyak di Laut

Minyak cair yang tumpah ke laut, semakin lama akan mengalami penyebaran membentuk lapisan tipis minyak (*oil slick*). Untuk minyak yang memiliki densitas lebih tinggi akan langsung tenggelam. Penyebaran minyak berlangsung secara cepat dan teratur dalam waktu 10 hari. Proses yang terjadi pada minyak dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kandungan alami minyak, massa jenis minyak, volume tumpahan minyak dan faktor lingkungan seperti kondisi angin, suhu dan tekanan udara di laut. Minyak akan membentuk beberapa lapisan dan pembentukan ini dipengaruhi oleh angin, arus, dan pasang surut (Hadi and Latief, 2003).

2.5.1 Angin

Angin merupakan suatu fenomena yang terjadi dikarenakan adanya perpindahan massa udara dari tempat yang bertekanan tinggi ke tempat yang bertekanan rendah hingga mencapai keseimbangan (Hassel and Dobson, 1986). Kecepatan dan arah angin di atmosfer dipengaruhi oleh tidak meratanya penyinaran matahari dan karakteristik lempeng benua serta sirkulasi angin pada lapisan vertikal atmosfer (Stewart, 2008).

Angin dapat memicu pergerakan gelombang dan arus. Ketika angin berhembus melewati permukaan laut, tumpahan minyak yang ada dipermukaan akan bergerak mengikuti arus gelombang. Biasanya, beberapa model tumpahan minyak yang digerakan oleh angin dan sebaran minyak disebut "faktor angin". Pada umumnya, kesalahan yang sering terjadi pada pemodelan tumpahan minyak adalah peramalan angin. Keakuratan peramalan bergantung pada kondisi cuaca, lama peramalan dan kesanggupan peramal untuk menempatkan

prediksinya pada daerah tumpahan minyak. Periode peramalan optimum biasanya antara 6 - 24 jam. Jika melebihi 5 hari, peramalan angin berdasarkan prediksi numerik umumnya tidak lebih baik dari peramalan iklim (Wang dan Stout, 2010).

2.5.2 Arus

Arus adalah pergerakan massa air secara horizontal maupun vertikal dalam skala besar sehingga menyebabkan terjadi perpindahan dari satu tempat ke tempat lainnya hingga mencapai titik keseimbangan gaya-gaya yang bekerja. Massa air yang berada di bawahnya akan ikut terbawa dan akan semakin melemah seiring dengan bertambahnya kedalaman laut (Gross, 1987). Terbentuknya arus laut disebabkan oleh resultan beberapa gaya yang bekerja serta dipengaruhi oleh beberapa faktor. Menurut Stewart (2008), ada dua gaya yang menjadi gaya penggerak massa air yaitu gaya primer (gaya gravitasi, tekanan angin, tekanan atmosfer, dan pergerakan dasar laut) yang merupakan faktor utama yang menyebabkan massa air bergerak dan gaya sekunder (gaya coriolis dan gaya fisik) yang timbul setelah massa air bergerak. Wyrcki, (1961) menyatakan bahwa pola arus permukaan umumnya mengikuti pola angin muson.

2.6 Pemodelan Tsunami

2.6.1 Pembangkit Gelombang Tsunami

Gelombang tsunami dapat dibangkitkan oleh beberapa penyebab antara lain gerakan tiba-tiba atau turunnya dasar laut karena gempa bumi, tanah longsor, dan ledakan vulkanik. Tsunami besar seperti yang terjadi di Samudera Hindia pada tahun 2004, dipicu oleh gempa bumi besar. Gelombang tsunami yang disebabkan oleh gempa bumi umumnya dapat dimodelkan berupa perpindahan vertikal permukaan air secara tiba-tiba yang disebabkan oleh naiknya salah satu sisi patahan lempeng. Area patahan ini dapat meluas hingga 1000 km (Kowalik *et al.*, 2005).

Berdasarkan kecepatan penjalaran, gelombang tsunami termasuk dalam bentuk gelombang yang bergantung pada kedalaman perairan dan tidak bergantung pada periode gelombang. Secara matematis, korelasi antara faktor kedalaman dan kecepatan penjalaran dapat ditunjukkan dalam persamaan berikut :

$$C = \sqrt{gh} \text{ dan } \lambda = T \times C$$

keterangan : h: kedalaman bathimetri (m)

T: periode gelombang (detik)

C: kecepatan gelombang tsunami (m/s)

g: percepatan gravitasi Bumi (9.81 m/s²)

λ : panjang gelombang tsunami (m)

Gelombang tsunami yang masih berada di laut lepas akan memiliki ketinggian kurang dari 0,4 meter dengan panjang berkisar antara 10-500 km. Hal ini menyebabkan kapal yang sedang berlayar tidak dapat merasakan tsunami. Namun, ketika gelombang tsunami mulai mendekati perairan dangkal gelombang tsunami mengalami transformasi gelombang dengan menurunnya kecepatan penjalaran dan terjadi pengurangan panjang gelombang, sehingga tinggi gelombang menjadi lebih besar (Bryant, 2008).

2.6.2 Hidrodinamika Tsunami

Persamaan penjalaran tsunami yang dasar adalah persamaan hidrodinamika untuk gelombang perairan dangkal dua dimensi yang terdiri dari persamaan kontinuitas dan persamaan momentum. Persamaan digunakan untuk mendapatkan perubahan elevasi di suatu titik terhadap waktu (Imamura *et al.*, 2006).

$$\frac{\delta \eta}{\delta t} + \frac{\delta P}{\delta x} + \frac{\delta NQ}{\delta y} = 0$$

Selanjutnya adalah persamaan momentum yang digunakan untuk mendapatkan perubahan transpor massa dalam arah-x dan-y. Hasil yang didapat dari persamaan kontinuitas digunakan untuk input persamaan momentum yang ditunjukkan pada persamaan berikut (Imamura *et al*, 2006).

$$\frac{\delta P}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{P^2}{H} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(\frac{PQ}{H} \right) + gH \frac{\delta \eta}{\delta x} + \frac{\tau_x}{\rho} = A \left\{ \frac{\delta^2 P}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 P}{\delta y^2} \right\}$$

$$\frac{\delta Q}{\delta t} + \frac{\delta}{\delta x} \left(\frac{PQ}{H} \right) + \frac{\delta}{\delta y} \left(\frac{Q^2}{H} \right) + gH \frac{\delta \eta}{\delta y} + \frac{\tau_{xy}}{\rho} = A \left\{ \frac{\delta^2 Q}{\delta x^2} + \frac{\delta^2 Q}{\delta y^2} \right\}$$

Keterangan : η : elevasi muka air laut (m)
 d : kedalaman perairan (m)
 H : kedalaman total dimana $H = d + \eta$
 P : transport massa air arah-x (m^2/s)
 Q : transport massa air arah-y (m^2/s)
 τ_x : gesekan pada dasar laut arah x (N.m)
 τ_y : gesekan pada dasar laut arah y (N.m)

2.7 Pemodelan Sebaran Tumpahan Minyak

Model sebaran tumpahan minyak adalah suatu model yang menganalisis pergerakan sebaran tumpahan minyak di laut dengan memperhitungkan pengaruh lingkungan oseanografi di wilayah sekitarnya. Dalam penelitian ini, model sebaran tumpahan minyak menggunakan perangkat lunak Mike21. Mike21 adalah perangkat lunak pemodelan 2D dan 3D dinamika perairan pesisir maupun perairan lepas, baik pemodelan fisik kimia maupun proses biologis di suatu perairan. Perangkat lunak ini termasuk dalam produk yang dikembangkan oleh DHI Group (MIKE by DHI, 2014).

Dalam pemodelan sebaran tumpahan minyak, perangkat lunak *Mike21* digunakan untuk pemodelan hidrodinamika 2D dan prediksi pergerakan tumpahan

minyak di laut. Model yang digunakan yaitu *Flow Model FM (flexible mesh)*, *hydrodynamic and Oil Spill*. Pemodelan 2D dibentuk berdasarkan pendekatan *flexible mesh* dimana struktur atau objek dibagi menjadi elemen-elemen kecil berbentuk segitiga maupun geometri empat sisi yang tidak teratur yang memiliki batasan berupa garis yang terbentuk dari titik-titik tiap elemen (MIKE by DHI, 2014).