

Pemodelan Banjir Rob di Kota Pekalongan

Tidal Flood Model in Pekalongan City

Romi Firmansyah^a, Sri Rahayu^a

^a *Perencanaan Wilayah dan Kota, Universitas Diponegoro, Kota Semarang, Indonesia*

Abstrak

Kota Pekalongan merupakan salah satu kota di kawasan Pantura yang sering mengalami banjir rob setiap tahunnya. Keadaan tersebut diperparah oleh adanya fenomena kenaikan muka air laut global dan penurunan muka tanah. Fokus penelitian ini adalah untuk membangun model banjir rob pada masa mendatang dan menganalisis tutupan lahan terdampak prediksi banjir rob. Prediksi banjir rob disimulasikan menggunakan pemodelan berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG). Pemodelan dibangun dengan mengolah data ketinggian muka tanah dan kenaikan muka air laut pada tahun prediksi 2037 dan 2067. Selanjutnya prediksi banjir rob tersebut dilakukan *overlay* dengan data tutupan lahan Kota Pekalongan untuk mengetahui luas dan jenis tutupan lahan terdampak. Berdasarkan skenario tahun prediksi 2037, dengan ketinggian rob yaitu 1,85 m, diketahui bahwa tutupan lahan terdampak banjir rob terbesar adalah tambak diikuti oleh permukiman. Sedangkan pada tahun prediksi 2067 dengan tinggi banjir rob 2,63 m, diketahui bahwa banjir rob diprediksi meluas ke arah selatan kota dan tutupan terdampak terbesar adalah permukiman diikuti oleh tambak.

Kata kunci: Banjir Rob; Pemodelan SIG; Tutupan Lahan

Abstract

Pekalongan City is one of the cities in the Pantura area which often experiences tidal flooding every year. This situation is exacerbated by the phenomenon of global sea level rise and land subsidence. The focus of this research is to build a future tidal flood model and analyse land cover affected by tidal flood predictions. The prediction of tidal flooding was simulated using Geographic Information System (GIS) based modelling. The modelling was built by processing land level data and sea level rise in the predicted years 2037 and 2067. Furthermore, the tidal flood predictions were overlaid with Pekalongan City land cover data to determine the area and type of affected land cover. Based on the prediction year scenario of 2037, with a tidal height of 1.85 m, it is known that the largest land cover affected by tidal flooding is fishponds followed by settlements. Meanwhile, in the prediction year 2067 with a tidal flood height of 2.63 m, it is known that the affected land cover is predicted to spread to the south of the city and the largest affected cover is settlements followed by fishponds.

Keyword: Tidal Flood; GIS Model; Land Cover

1. Pendahuluan

Kota Pekalongan merupakan salah satu kota yang berlokasi di wilayah pantai utara Pulau Jawa. Menurut Adi (2009) wilayah pantai utara Pulau Jawa (Pantura) memiliki bentuk lahan lahan yang khas yaitu lereng pegunungan yang terus bersambungan dengan area landai di wilayah pantai. Kondisi tersebut mengakibatkan kawasan Pantura memiliki potensi bencana yang tinggi, diantaranya adalah potensi banjir yang besar baik banjir akibat luapan sungai maupun banjir luapan air laut (rob).

Menurut data Kementerian Kelautan dan Perikanan, Pantura mengalami erosi mencapai 745 km atau 44% total panjang garis pantainya. Menurut Disposaptono, daerah pesisir yang memiliki dataran rendah seperti Pantai Utara Pulau Jawa sangat rentan dengan terhadap kenaikan air laut (Disposaptono, Budiman, and Agung 2013).

* Corresponding author: Sri Rahayu
E-mail address: sri.yksmg@yahoo.com

Selain pengaruh akibat kenaikan muka air laut, faktor lain yang dapat memperparah banjir rob adalah penurunan muka tanah (*land subsidence*). Berdasarkan data dari Badan Perencanaan Daerah Kota Pekalongan, diketahui bahwa kawasan pesisir Kota Pekalongan memiliki tingkat penurunan muka tanah yang tinggi yaitu berkisar antara 5 cm/tahun hingga 19,5 cm/tahun.

Banjir rob di Kota Pekalongan telah menjadi permasalahan yang terus berulang setiap tahunnya dan telah berdampak pada banyak aspek kehidupan warga terutama di kawasan pesisir (Marfai et al. 2013). Semakin bertambahnya tahun, area banjir rob semakin meluas. Banjir rob diperkirakan akan semakin meluas mengingat adanya fenomena kenaikan muka air laut dan tingginya tingkat penurunan muka tanah di Kota Pekalongan. Dampak dari meluasnya banjir rob mengakibatkan tergenangnya sektor-sektor penting di Kota Pekalongan seperti permukiman warga, tambak, sawah, industri dan pelabuhan pelelangan ikan. Jika fenomena meluasnya banjir rob ini dibiarkan maka akan menimbulkan banyak kerugian. Oleh karena itu, sebagai bentuk upaya mitigasi dari ancaman banjir rob perlu dilakukan tindakan preventif untuk menekan meluasnya banjir rob. Salah satu cara yang dapat dilakukan adalah dengan membuat model prediksi banjir rob pada masa mendatang. Oleh karena itu, dalam penelitian ini bertujuan untuk membangun model banjir rob pada masa mendatang di Kota Pekalongan.

2. Metode

Metode yang digunakan untuk membuat model banjir rob pada masa mendatang di Kota Pekalongan adalah metode penelitian kuantitatif. Penelitian ini mengarah pada studi prediksi banjir rob pada masa mendatang dan tutupan lahan yang terdampak prediksi banjir rob. Keluaran dari penelitian ini adalah prediksi banjir rob pada tahun prediksi 2037 dan tahun prediksi 2067. Selain itu juga didapatkan tutupan lahan terdampak prediksi banjir rob pada tahun prediksi tersebut. Data input yang digunakan untuk penelitian berupa data pasang surut time series, ketinggian tanah, penurunan muka tanah dan data tutupan lahan Kota Pekalongan.

2.1. Metode pengumpulan data

Baik pengumpulan data primer dan sekunder digunakan dalam penelitian ini. Untuk membangun model banjir rob, dibutuhkan data spasial berupa data ketinggian muka tanah dan data kenaikan muka air laut. Data kenaikan muka air laut didapatkan dari data pasang surut time series tahun 1998 – 2004, 2009, 2012, 2016 dan 2017 serta data prediksi kenaikan muka air laut global (SLR). Data ketinggian muka tanah didapatkan dari data DEM dan data penurunan muka tanah. Selanjutnya diperlukan juga data tutupan lahan untuk membuat analisis tutupan lahan terdampak prediksi banjir rob. Sebagai evaluasi kesesuaian model, dilakukan pula validasi model banjir rob dengan membandingkannya dengan data hasil survey lapangan.

2.2. Teknik analisis

Analisis spasial dilakukan dengan menggunakan bantuan Sistem Informasi Geografis (SIG) melalui beberapa *tools* didalamnya. Untuk membangun model banjir rob, terlebih dahulu dilakukan analisis terhadap variabel penentunya yaitu analisis kenaikan muka air laut dan analisis ketinggian muka tanah. Hasil dari kedua analisis tersebut kemudian digunakan untuk membuat prediksi banjir rob. Untuk mengetahui luas dan jenis tutupan lahan terdampak prediksi banjir rob maka dilakukan penggabungan data spasial tutupan lahan dan prediksi banjir rob.

Analisis kenaikan muka air laut bertujuan untuk mengetahui nilai ketinggian muka air laut pada tahun prediksi yang juga dipengaruhi oleh kenaikan muka air laut global. Peramalan ketinggian muka air laut pada tahun prediksi didapatkan menggunakan teknik regresi linier menggunakan bantuan aplikasi SPSS. Setelah didapatkan nilai ketinggian air laut tahun prediksi, selanjutnya ditambahkan dengan nilai kenaikan muka air laut global tahun prediksi.



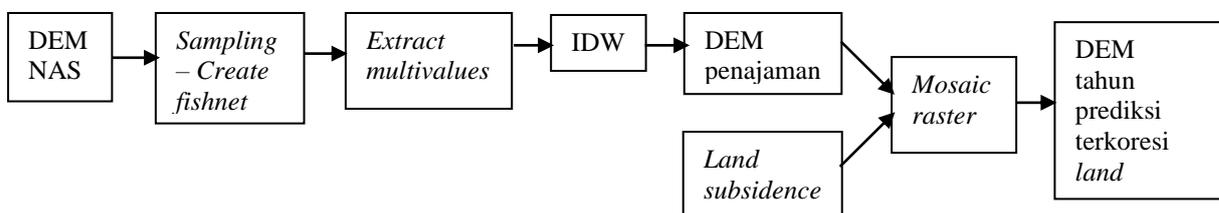
Gambar 1 Tahapan Analisis Kenaikan Air Laut
Sumber: Penulis, 2021

Terdapat dua tahun prediksi yang ditentukan yaitu 20 tahun dan 50 tahun berikutnya atau pada tahun 2037 dan tahun 2067. Skenario SLR yang digunakan adalah skenario menurut Takagi et, al (2016) dan IPCC (2013) dimana SLR global sebesar 7 mm/tahun. Oleh karena itu, skenario SLR didapatkan dengan mengalsikan antara SLR dengan selisih tahun prediksi sehingga didapatkan skenario SLR setinggi 14 cm/tahun atau 0,14 m/tahun untuk tahun prediksi 20 tahun dan setinggi 35 cm/tahun atau 0,35 m/tahun untuk tahun prediksi 50 tahun kedepan.

Metode yang digunakan dalam peramalan ketinggian MSL ini adalah regresi linier. Alat bantu yang dapat digunakan dalam analisis prediksi MSL dalam adalah dengan menggunakan aplikasi SPSS. Menurut Nugroho (2013), tren kenaikan permukaan air laut diukur menggunakan data pasang surut time series. Pada analisis prediksi menggunakan regresi linier ini akan ditemukan persamaan peramalan yaitu $y = bx + a$. Penjelasan dari rumus tersebut adalah sebagai berikut:

- y** : merupakan variabel terikat (*dependent*) yang dalam analisis ini merupakan nilai MSL yang dicari
- x** : merupakan variabel bebas (*independent*) yang dalam analisis ini merupakan nilai tahun prediksi
- a dan b** : merupakan nilai konstanta yang didapatkan melalui perhitungan statistik

Analisis ketinggian muka tanah bertujuan untuk mendapatkan data ketinggian muka tanah dalam bentuk data DEM yang sudah disesuaikan dengan data penurunan muka tanah. Data DEM yang digunakan sebagai dasar pembuatan data ketinggian tanah adalah data DEMNAS karena memiliki resolusi spasial yang tinggi, akan tetapi untuk mendapatkan data DEM dengan resolusi yang lebih tinggi maka dilakukan proses *sampling* dan *extract multivalues* untuk mendapatkan titik tinggi yang lebih rapat yang kemudian akan dirubah kembali menjadi data DEM menggunakan IDW. Selanjutnya data DEM hasil penajaman resolusi disesuaikan dengan nilai penurunan muka tanah tahun prediksi menggunakan proses *mosaic raster*.



Gambar 2 Tahapan Analisis Ketinggian Muka Tanah
Sumber: Penulis, 2021

Pemodelan banjir rob bertujuan untuk mendapatkan prediksi banjir rob pada tahun prediksi. Hal tersebut dilakukan dengan melakukan seleksi area yang memiliki ketinggian tanah dibawah nilai kenaikan muka air laut. Proses tersebut dilakukan dalam aplikasi GIS menggunakan fungsi *spatial raster calculator*.

Adapun bentuk logika operator yang digunakan dalam perhitungan dalam fungsi, sebagai berikut:

Banjir Rob = $Con("DATA" < Criteria, True, False)$

Dimana *Con* = fungsi kondisional

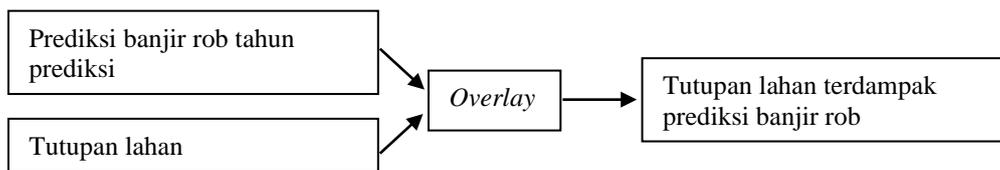
DATA = data DEM tahun prediksi

Criteria = kriteria yang ingin dicari, yaitu nilai kenaikan muka air laut

True = nilai yang menunjukkan atribut yang memenuhi kriteria (1)

False = nilai yang menunjukkan atribut yang tidak memenuhi kriteria (0)

Analisis tutupan lahan terdampak prediksi banjir rob bertujuan untuk mendapatkan jenis dan luasan tutupan lahan terdampak prediksi banjir rob pada tahun prediksi. Proses yang dilakukan adalah dengan menggabungkan data tutupan lahan dengan prediksi banjir rob. Berdasarkan hasil penggabungan akan didapatkan jenis dan luasan tutupan lahan yang terdampak prediksi banjir rob.



Gambar 3 Tahapan Analisis Tutupan Lahan Terdampak Prediksi Banjir Rob

Sumber: Penulis, 2021

3. Kajian literatur

3.1. Banjir Rob

Banjir pasang laut atau sering disebut juga sebagai banjir rob merupakan fenomena alam yang sering terjadi di kawasan pesisir. Banjir rob menurut Hardoyo (2012) adalah bencana banjir yang diakibatkan oleh masuknya air laut ke darat sebagai akibat dari pasang air laut yang tinggi. Oleh karena itu, wilayah pesisir yang memiliki karakteristik topografi datar hingga landai sangat berpotensi tergenang banjir rob saat terjadi pasang air laut. Menurut Hildaliyani (2011) banjir rob disebabkan oleh beberapa faktor yaitu faktor alam seperti iklim dan pasang surut, faktor kegiatan manusia seperti konversi lahan, faktor degradasi lingkungan seperti sedimentasi muara dan penyempitan saluran air alami, dan faktor jebolnya tanggul pembatas. Terlepas dari proses alamiah, resiko banjir rob di kawasan pesisir juga dipengaruhi oleh kenaikan muka air laut akibat *climate change* (Takagi et al. 2016). Selain itu, penurunan muka tanah juga berpengaruh terhadap menyebarnya banjir rob.

3.2. Pemodelan

Menurut Hifni (2002) model merupakan representasi atau fenomena tentang keadaan, obyek atau benda, dan kejadian. Representasi tersebut dinyatakan dalam bentuk yang lebih sederhana daripada aslinya untuk berbagai macam tujuan penelitian. Penyederhanaan tersebut dilakukan secara representatif terhadap perilaku proses yang relevan dari keadaan yang sebenarnya. Model tersebut diharapkan dapat menyederhanakan sistem kondisi alam yang kompleks menjadi sederhana dan mudah dipahami. Dalam konteks keruangan, pemodelan spasial dapat dikatakan sebagai representasi dari suatu fenomena yang bertujuan untuk membantu menginterpretasi, menggambarkan, atau memprediksi suatu fenomena yang berkaitan dengan ruang dalam bentuk yang lebih sederhana. Pemodelan spasial sangat identik dengan sekumpulan proses dan data yang terkait dengan keruangan (spasial) untuk menghasilkan suatu informasi. Perangkat yang paling populer digunakan untuk mengolah dan menyajikan informasi mengenai pemodelan spasial adalah sistem informasi geografis atau SIG.

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Analisis Kenaikan Muka Air Laut Tahun Prediksi 2037 dan 2067

Berdasarkan hasil pengolahan regresi linier prediksi MSL menggunakan SPSS, didapatkan persamaan regresi untuk menentukan rumus peramalan MSL. Nilai koefisien tahun sebagai variabel bebas adalah 1,979. Sedangkan untuk nilai a dalam rumus regresi linier diambil dari nilai konstanta yaitu -3862,227. Oleh karena itu, apabila nilai-nilai tersebut dimasukkan dalam rumus regresi linier maka rumus prediksi MSL menggunakan regresi linier di SPSS yaitu:

$$Y = 1,979 x - 3862,227$$

Maka persamaan yang digunakan untuk menghitung prediksi MSL pada tahun prediksi yaitu tahun 2037 dan tahun 2067. Notasi x pada persamaan tersebut diubah menjadi data tahun yang akan diprediksi. Dalam penelitian ini, tahun prediksi adalah tahun 2037 dan 2067 maka nilai x diganti dengan 2037 dan 2067. Setelah didapatkan hasil peramalan MSL pada tahun prediksi dengan persamaan regresi, nilai MSL prediksi dijumlahkan dengan skenario SLR yaitu 0,14 m/tahun untuk tahun prediksi tahun 2037 dan 0,35 m/tahun untuk tahun prediksi tahun 2067. Skenario kenaikan permukaan air laut yang didapatkan adalah sebagai berikut:

- MSL tahun 2017 sebagai tahun dasar adalah 1,32 m
- Prediksi MSL tahun 2037 adalah 1,829 m
- Prediksi MSL tahun 2067 adalah 2,63 m

4.2. Analisis Ketinggian Muka Tanah

Pengolahan data DEMNAS dimulai dengan proses sampling untuk membagi data DEMNAS menjadi potongan-potongan persegi menggunakan *tool Create Fishnet*. Hasil dari proses tersebut berupa kumpulan persegi dengan titik didalamnya dimana nantinya data titik tersebutlah yang akan digunakan dengan cara mengekstraknya dengan data spasial. Setelah memotong data titik sesuai dengan batas Kota Pekalongan menggunakan *tool Clip*, data titik kemudian diekstrak data ketinggian dari DEMNAS menggunakan *tool Extract Multivalues to Point*. Data titik yang sudah memiliki nilai ketinggian diolah menjadi data DEM baru menggunakan *tool IDW*. Pada proses IDW inilah DEM baru dihasilkan dengan resolusi optik yang lebih tinggi yaitu sebesar 1 meter.

Data *land subsidence* di Kota Pekalongan didapatkan dari BAPPEDA Kota Pekalongan. Pada tahun 2018, BAPPEDA Kota Pekalongan bekerjasama dengan pihak peneliti dari Institut Teknik Bandung (ITB) mengkaji mengenai tingkat penurunan tanah di Kota dan Kabupaten Pekalongan. Penelitian tersebut melakukan pengamatan terhadap penurunan muka tanah di pesisir Kota Pekalongan dan sekitarnya pada tahun 2017 hingga 2018. Mengacu pada hasil penelitian tersebut, diketahui bahwa tingkat penurunan muka tanah di Kota Pekalongan cukup tinggi.

Tabel 1 Tingkat Penurunan Muka Tanah di Kota Pekalongan (Analisis Penulis, 2021)

Wilayah	Tingkat Penurunan Muka Tanah
Pekalongan Utara	maksimum 16,9 cm/tahun dan 19,5 cm/tahun
Pekalongan Barat	maksimum 13,8 cm/tahun
Pekalongan Timur	maksimum 5 cm/tahun

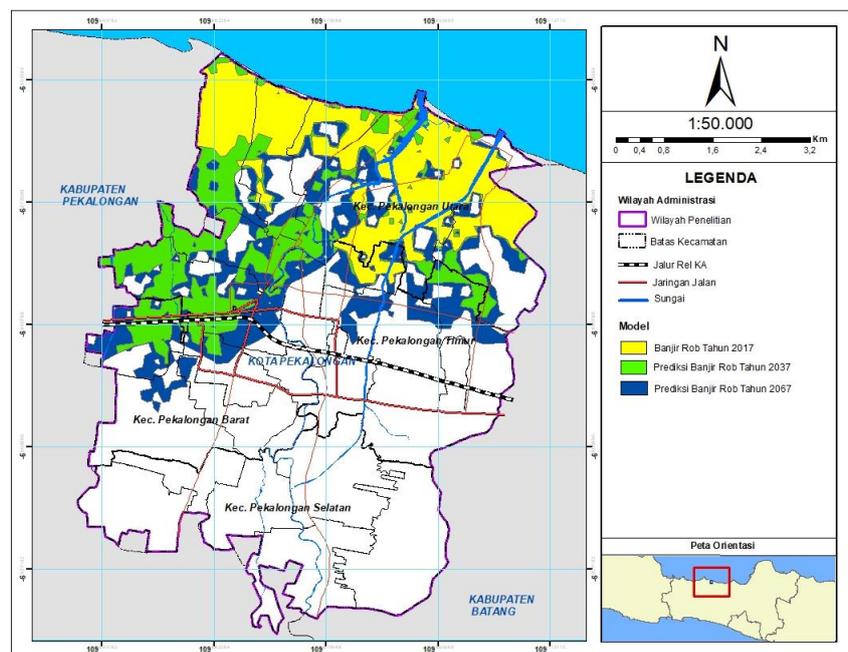
4.3. Pemodelan banjir rob tahun dasar 2017, tahun prediksi 2037 dan 2067

Pemodelan banjir rob dilakukan untuk memprediksi banjir rob pada masa mendatang yaitu tahun prediksi 2037 dan 2067. Analisis yang dilakukan untuk membangun model banjir rob dilakukan menggunakan aplikasi ArcGIS. Data yang digunakan dalam analisis pemodelan menggunakan hasil analisis sebelumnya yaitu kenaikan air laut dan DEM terkoreksi *land subsidence*. Kedua data tersebut diolah menggunakan *logical operator* dengan fungsi *conditional* sebagai logika perhitungan. Logika yang digunakan dalam analisis pemodelan

adalah asumsi bahwa apabila ketinggian muka tanah lebih rendah dari ketinggian air laut maka daratan tersebut dianggap tergenang banjir rob. Berdasarkan rumus tersebut, maka persamaan yang dimasukkan dalam spatial raster calculator pada setiap tahun analisis adalah sebagai berikut:

- Tahun dasar 2017
Banjir rob = Con("DEM2017"<1.32,1,0). Data yang digunakan dalam analisis adalah data DEM terkoreksi land subsidence tahun 2017. Variabel ketinggian air laut terkoreksi SLR pada tahun 2017 adalah 1,32 meter
- Tahun prediksi 2037
Banjir rob = Con("DEM2037"<1.83,1,0). Data yang digunakan dalam analisis adalah data DEM terkoreksi land subsidence tahun 2037. Variabel ketinggian air laut terkoreksi SLR pada tahun 2017 adalah 1,83 meter
- Tahun prediksi 2067
Banjir rob = Con("DEM2067"<2.63,1,0). Data yang digunakan dalam analisis adalah data DEM terkoreksi land subsidence tahun 2067. Variabel ketinggian air laut terkoreksi SLR pada tahun 2017 adalah 2,63 meter

Proses selanjutnya setelah didapatkannya raster hasil perhitungan model banjir rob adalah proses iterasi. Secara perhitungan kondisional, seluruh data yang memiliki ketinggian tanah dibawah variabel kenaikan air laut dianggap sebagai area banjir rob. Akan tetapi untuk menyesuaikan dengan kondisi sebenarnya, maka kawasan yang dianggap area banjir rob hanya area yang berbatasan langsung dengan garis pantai dan kawasan di sekitar aliran sungai menuju laut. Iterasi dilakukan dengan mengeliminasi area banjir rob yang tidak berada di sekitar garis pantai maupun aliran sungai menuju laut.



Gambar 4 Peta Model Banjir Rob Kota Pekalongan
Sumber: Analisis Penulis, 2021

Agar dapat diketahui tren banjir rob di masa mendatang, model dibangun dalam 3 periode waktu yaitu tahun dasar 2017, tahun prediksi 2037 dan 2067. Berdasarkan gambar 1 dapat diketahui bahwa tren banjir rob yang dipengaruhi oleh variabel ketinggian tanah dan kenaikan air laut semakin meningkat setiap tahunnya. Model banjir rob pada tahun dasar 2017 terlihat tersebar di kawasan yang berbatasan langsung dengan garis pantai dan aliran sungai yang terhubung ke laut. Pada tahun 2017, sebaran banjir rob dominan berada di semua kelurahan Kecamatan Pekalongan Utara dan sedikit menggenang di Kelurahan Klego, Kecamatan Pekalongan Timur.

Sebaran model banjir rob pada tahun prediksi 2037 meluas secara signifikan dari tahun dasar 2017. Banjir rob tahun 2037 diprediksi meluas ke arah selatan dan menjauh dari garis

pantai. Jarak terjauh model banjir rob mencapai jarak sejauh 5,5 Km dari garis pantai. Pada tahun prediksi 2037, model banjir rob tidak hanya tersebar di Kecamatan Pekalongan Utara, tetapi juga tersebar di Kelurahan Pasirkraon Kramat dan Bendan Kregon, Kecamatan Pekalongan Barat dan Kelurahan Klego, Kecamatan Pekalongan Timur.

Model banjir rob pada tahun prediksi 2067 semakin meluas dibandingkan tahun dasar 2017 dan tahun prediksi 2037. Pada tahun 2067 diprediksi tidak hanya meluas ke arah selatan, akan tetapi juga menyebar ke kawasan di pusat kota. Jarak terjauh model banjir rob mencapai jarak 6,3 Km dari garis pantai. Terdapat beberapa area yang mengalami perubahan signifikan yang terjadi dibandingkan tahun prediksi 2037. Pada tahun prediksi 2037, prediksi banjir rob di Kecamatan Pekalongan Timur hanya terdapat di Kelurahan Gamer, sedangkan pada tahun prediksi 2067 prediksi banjir rob meluas ke bagian utara Kelurahan Setono, Poncol dan Kauman. Perubahan juga terjadi pada prediksi banjir rob di Kecamatan Pekalongan Barat, dimana pada tahun prediksi 2037 kelurahan yang terdampak model meluas ke Kelurahan Pasirkraon Kramat, Bendan Kregon, Tirto dan sebagian kecil area di Kelurahan Pringrejo dan Podosugih.

Tabel 2 Luas Model Banjir Rob Kota Pekalongan (Analisis Penulis 2021)

Kecamatan	Luas (ha)		
	2017	2037	2067
Pekalongan Utara	658	1092,3	1403,1
Pekalongan Timur	32	73,1	213,7
Pekalongan Barat	-	96,9	249,9
Jumlah	690	1262,3	1866,6

Berdasarkan model yang telah dibangun, tren banjir rob di Kota Pekalongan diprediksi akan terus meningkat. Pada tahun dasar 2017, luasan total banjir rob mencapai rasio presentase sebesar 15% dari total luas Kota Pekalongan. Peningkatan yang tinggi terjadi pada tahun prediksi 2037, yaitu mencapai presentase sebesar 30% dari total luas Kota Pekalongan. Tren kenaikan luasan model banjir rob juga terjadi pada tahun prediksi 2067 yang mencapai presentase 41% dari luas total Kota Pekalongan. Sebagai kecamatan yang berbatasan langsung dengan garis pantai, Kecamatan Pekalongan Utara merupakan kecamatan dengan luasan lahan terdampak banjir rob tertinggi pada tiap tahun model. Luasan banjir rob yang terjadi semakin tinggi seiring dengan bertambahnya tahun, hingga hampir seluruh wilayahnya diprediksi tergenang banjir rob pada tahun prediksi 2067. Pada tahun dasar 2017 luasan banjir sudah cukup tinggi yaitu mencapai 44% dari total luas kecamatan. Angka tersebut semakin tinggi pada tahun prediksi 2037 yang rasio prediksi banjir rob mencapai 73% dari total luas kecamatan. Hingga pada puncaknya pada tahun prediksi 2067 sebanyak 94% dari luas total kecamatan diprediksi tergenang banjir rob.

Peningkatan tren yang signifikan terjadi pada model banjir rob di Kecamatan Pekalongan Timur. Pada tahun dasar 2017, luasan banjir rob sebesar 3% dari total luas kecamatan. Luasan prediksi banjir rob pada tahun prediksi 2037 mengalami peningkatan dengan luas model banjir rob sebesar 7% dari total luas kecamatan. Perubahan paling signifikan terjadi pada tahun prediksi 2067, luasan prediksi banjir rob meningkat drastis menjadi 22% dari total luas kecamatan. Sebaran model banjir rob pada Kecamatan Pekalongan Timur tersebar di bagian utara kecamatan dan pada kawasan di sekitar sungai.

Kecamatan Pekalongan Barat merupakan wilayah yang hanya terlihat banjir robnya pada tahun prediksi saja. Belum terdapat area yang tergenang banjir rob pada tahun dasar 2017. Pada tahun prediksi 2037, luasan lahan terdampak prediksi banjir rob diprediksi sebesar 10% dari luas total kecamatan. Peningkatan terjadi pada tahun prediksi 2067, luasan prediksi banjir rob meningkat menjadi sebesar 26% dari luas total kecamatan. Area yang diprediksi tergenang model banjir rob tersebar di kelurahan yang berada di bagian utara kecamatan, yaitu Kelurahan Pasirkraon Kramat, Tirto, Bendan Kregon dan Podosugih. Hal ini cukup memiliki potensi kerusakan yang besar karena terdapat infrastruktur penting seperti Stasiun Kota Pekalongan yang berpotensi untuk tergenang berdasarkan model banjir rob.

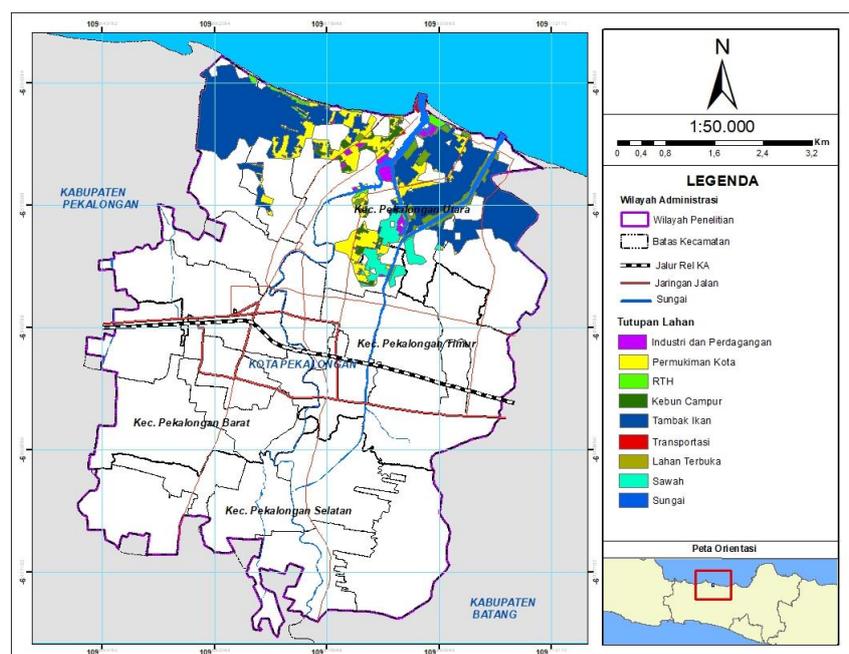
Model yang telah dihasilkan pada analisis sebelumnya kemudian dilakukan uji validasi untuk mengetahui akurasi model dengan keadaan riil di lapangan. Penelitian ini menggunakan tahun 2017 sebagai tahun dasar, dan tahun prediksi adalah tahun 2037 dan 2067. Sedangkan ketersediaan data primer hasil observasi lapangan adalah pada tahun 2021. Oleh karena itu,

prediksi banjir rob tahun prediksi 2037 tidak bisa secara langsung dilakukan perbandingan dengan data titik observasi di tahun 2021 untuk melakukan uji validasi. Maka dilakukan penyesuaian yaitu dengan melakukan perbandingan hasil survey lapangan dengan model banjir rob tahun 2021. Asumsi yang digunakan adalah bahwa tahun 2021 merupakan bagian dari prediksi model banjir rob tahun 2018-2037. Asumsi lain yang digunakan adalah titik observasi yang diprediksi terdampak prediksi banjir rob pada tahun 2037 juga akan terdampak prediksi banjir rob pada tahun 2067.

Perhitungan yang digunakan untuk menghitung nilai akurasi model adalah presentase antara jumlah model yang sesuai dibagi dengan total jumlah sampel. Untuk memastikan bahwa titik observasi sesuai dengan asumsi maka dilakukan wawancara terhadap warga di sekitar lokasi titik. Berdasarkan hasil perhitungan nilai akurasi prediksi banjir rob pada tahun 2021 adalah sebesar 82,5%.

4.4. Analisis tutupan lahan terdampak prediksi banjir rob

Untuk mengetahui tutupan lahan yang terdampak model banjir rob digunakan metode overlay pada aplikasi GIS. Penggunaan overlay dilakukan dengan menumpang tindihkan atau menempelkan dua peta untuk mendapatkan data spasial baru. Output sasaran III berupa model banjir rob dan tutupan lahan Kota Pekalongan ditumpang tindihkan (*overlay*) sehingga menghasilkan tutupan lahan apa saja yang terdapat di area tergenang. Overlay dilakukan pada setiap skenario pemodelan banjir rob yaitu pada skenario tahun dasar 2017, tahun prediksi 2037 dan 2067. Tahapan ini menghasilkan jenis tutupan lahan yang terdampak banjir rob pada tiap tahun penelitian. Dengan dilakukannya overlay pada 3 skenario yang berbeda, didapatkan tren tutupan lahan yang terdampak model banjir rob.



Gambar 5 Peta Tutupan Lahan Terdampak Banjir Rob Tahun 2017

Sumber: Analisis Penulis, 2021

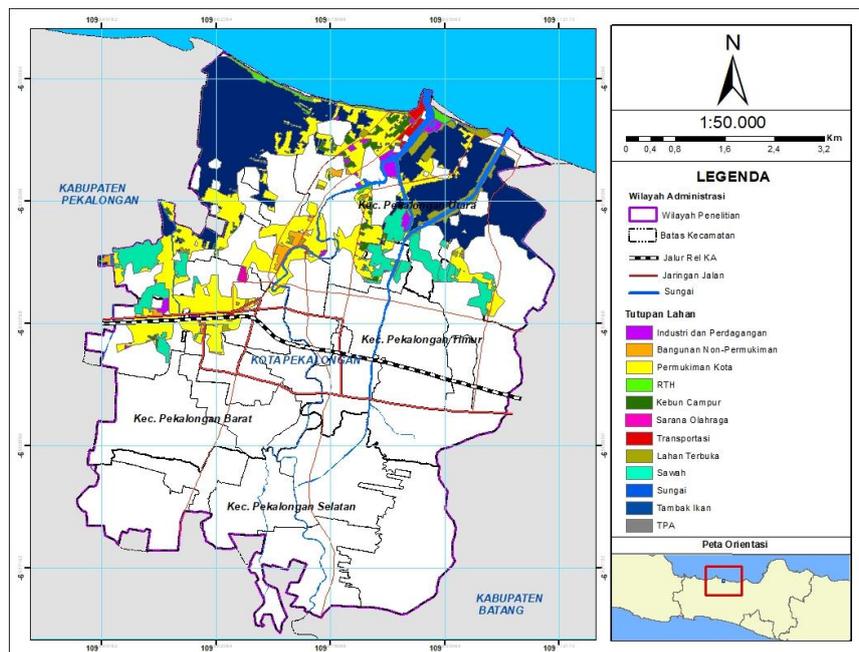
Jenis tutupan lahan yang terdampak oleh model banjir rob pada tahun dasar yaitu tahun 2017. Tutupan lahan yang memiliki ketinggian tanah dibawah 1,32 meter diasumsikan tergenang banjir rob. Pada tahun dasar banjir rob terjadi di bagian Utara pesisir Kota Pekalongan.

Tabel 3 Luas Tutupan Lahan Terdampak Rob Tahun 2017 (Analisis Penulis 2021)

No	Tutupan Lahan	Luas (ha)
1	Industri dan Perdagangan	16,5
2	Permukiman	111,7

No	Tutupan Lahan	Luas (ha)
3	RTH	19,1
4	Transportasi	1,7
5	Kebun Campur	22,4
6	Lahan Terbuka	26,1
7	Sawah	39,7
8	Sungai	28,9
9	Tambak Ikan	424,2
Jumlah		690,3

Karakteristik luasan tutupan lahan terdampak model banjir rob di Kota Pekalongan pada skenario tahun 2017 paling besar adalah tambak. Tutupan lahan tambak mempunyai presentase sebesar 62% dari luas wilayah terdampak. Kawasan tambak yang terdampak model banjir rob tersebar di Kelurahan Degayu, Krapyak, Bandengan dan sebagian kecil tambak di Kelurahan Panjang Wetan dan Panjang Baru. Jenis tutupan lahan dengan luasan terbesar kedua adalah pemukiman dengan presentase sebesar 16%. Pemukiman terdampak model banjir rob mayoritas berada di Kelurahan Panjang Wetan dan Panjang Baru karena kedua kelurahan tersebut merupakan kelurahan padat penduduk. Sedangkan tutupan lahan yang terdampak dengan luasan yang cukup besar setelahnya berupa sawah dan ruang terbuka hijau. Sawah dan ruang terbuka hijau lain yang terdampak model banjir rob tersebar di bagian selatan Kelurahan Krapyak. Jenis tutupan lahan terdampak model didominasi oleh tambak karena berdasarkan lokasinya, tambak di kawasan pesisir Kota Pekalongan rata-rata berjarak sangat dekat dari garis pantai. Selain itu, tutupan lahan pemukiman juga terdampak dengan luasan yang besar karena pada bagian utara pesisir Kota Pekalongan terdapat pemukiman nelayan padat penduduk.



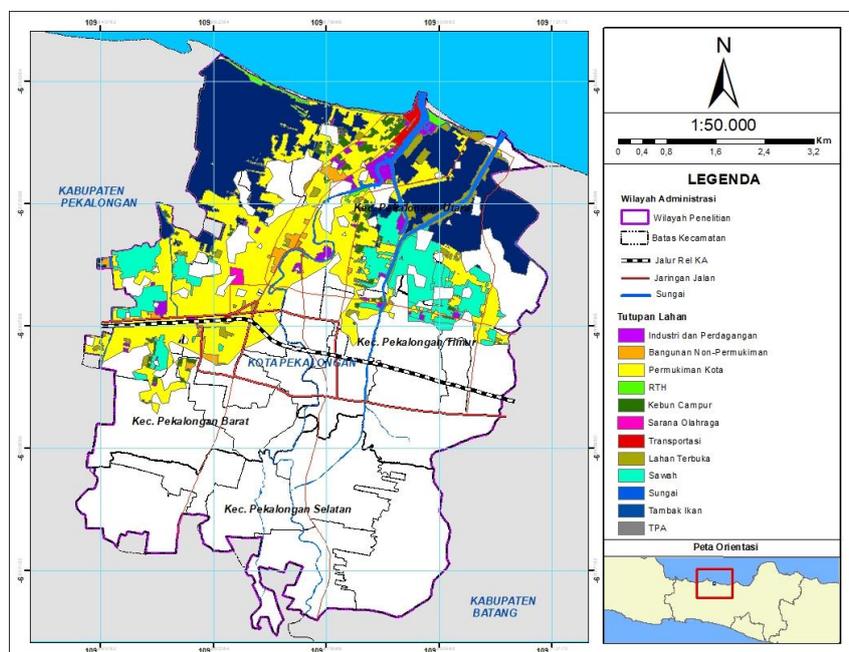
Gambar 6 Peta Tutupan Lahan Terdampak Prediksi Banjir Rob Tahun 2037
Sumber: Analisis Penulis, 2021

Berdasarkan gambar 3 dapat diketahui jenis tutupan lahan yang terdampak oleh prediksi banjir rob dengan skenario tahun prediksi 2037. Pada tahun prediksi 2037, tutupan lahan dengan ketinggian tanah dibawah 1,83 meter diasumsikan sebagai kawasan terdampak model banjir rob. Tutupan lahan yang terdampak model banjir rob mencakup 3 kecamatan di Kota Pekalongan, yaitu Kecamatan Pekalongan Utara, Pekalongan Barat dan Pekalongan Timur. Luasan model banjir rob yang luas mengakibatkan hampir semua jenis tutupan lahan di Kota Pekalongan terdampak oleh model banjir rob.

Tabel 4 Luas Tutupan Lahan Terdampak Prediksi Banjir Rob Tahun 2037 (Analisis Penulis 2021)

No	Tutupan Lahan	Luas (ha)
1	Industri dan Perdagangan	24,7
2	Bangunan Non-Permukiman	17,0
3	Permukiman	407,7
4	RTH	25,3
5	Transportasi	18,1
6	Kebun Campur	31,8
7	Lahan Terbuka	41,1
8	Sawah	125,7
9	Sungai	44,6
10	Tambak Ikan	523,2
11	Sarana Olahraga	3,1
12	TPA	0,1
Jumlah		1262,4

Karakteristik luasan tutupan lahan terdampak model banjir rob di Kota Pekalongan tahun 2037 paling besar adalah tambak. Tutupan lahan tambak mempunyai presentase sebesar 42% dari luas wilayah terdampak. Hampir seluruh tambak di kawasan Pesisir Kota Pekalongan diprediksi tergenang model banjir rob. Hanya beberapa area kecil di bagian selatan tambak di Kelurahan Degayu dan Kandang Panjang yang tidak terdampak banjir rob. Jenis tutupan lahan dengan luasan terbesar kedua adalah permukiman dengan presentase sebesar 32%. Permukiman terdampak model banjir rob tersebar di hampir seluruh kelurahan terdampak. Kelurahan dengan prediksi dampak permukiman tergenang terbesar berada pada Kelurahan Tirto, Bendan Kergon, Padukuhan Kraton dan Pasir Kraton Kramat. Sedangkan tutupan lahan yang terdampak dengan luasan yang cukup besar setelahnya berupa sawah dan ruang terbuka hijau lain yang tersebar di seluruh kelurahan terdampak.



Gambar 7 Peta Tutupan Lahan Terdampak Prediksi Banjir Rob Tahun 2067
 Sumber: Analisis Penulis, 2021

Jenis tutupan lahan yang terdampak oleh model banjir rob dengan skenario tahun prediksi 2067. Pada tahun prediksi 2067, tutupan lahan dengan ketinggian tanah dibawah 2,63 meter diasumsikan sebagai kawasan tergenang model banjir rob. Tutupan lahan yang terdampak model banjir rob mencakup 3 kecamatan di Kota Pekalongan, yaitu Kecamatan Pekalongan

Utara, Pekalongan Barat dan Pekalongan Timur. Sama seperti hasil prediksi tahun sebelumnya, kawasan tergenang model banjir rob yang semakin luas mengakibatkan hampir semua jenis tutupan lahan di Kota Pekalongan terdampak oleh model banjir rob. Berikut merupakan statistik luasan tutupan lahan terdampak model banjir rob.

Pada skenario ini, tutupan lahan terdampak dengan luasan terbesar berupa tambak dan pemukiman karena luasan model banjir rob diketahui mencakup 30% dari luas total Kota Pekalongan. Tambak merupakan tutupan lahan yang paling luas terdampak model banjir rob karena kawasan pesisir Kota Pekalongan banyak dimanfaatkan sebagai tambak. Lokasi tambak yang berada di kawasan pesisir terutama di bagian Timur dan Barat pesisir dan berbatasan langsung dengan garis pantai mengakibatkan tambak menjadi tutupan lahan yang terdampak model banjir rob. Sedangkan tutupan lahan dengan luasan terdampak kedua setelah tambak adalah permukiman. Prediksi banjir rob pada tahun 2037 meluas ke arah selatan kota. Tutupan lahan di bagian pusat selatan kota didominasi oleh permukiman, sehingga dengan meluasnya model banjir rob menuju selatan kota berpotensi menggenangi kawasan permukiman.

Tabel 5 Luas Tutupan Lahan Terdampak Prediksi Banjir Rob Tahun 2067 (Analisis Penulis, 2021)

No	Tutupan Lahan	Luas (ha)
1	Industri dan Perdagangan	45,6
2	Bangunan Non-Permukiman	26,8
3	Permukiman	761,9
4	RTH	28,6
5	Transportasi	24,9
6	Kebun Campur	47,0
7	Lahan Terbuka	56,9
8	Sawah	222,9
9	Sungai	54,3
10	Tambak Ikan	592,8
11	Sarana Olahraga	5,0
12	TPA	0,1
	Jumlah	1866,8

Dari data tersebut dapat diketahui karakteristik luasan tutupan lahan terdampak model banjir rob di Kota Pekalongan tahun 2067 paling besar adalah permukiman. Tutupan lahan permukiman memiliki presentase sebesar 41% dari luas wilayah terdampak. Permukiman terdampak model banjir rob pada skenario tahun 2067 meningkat secara signifikan dibandingkan dengan luasan pada tahun 2037. Pada tahun 2067, model banjir rob semakin meluas ke arah selatan dan pusat Kota Pekalongan. prediksi banjir rob diprediksi akan meluas ke arah selatan menuju kawasan permukiman di Kelurahan Bendan Kregon dan bagian selatan Kelurahan Tirto. Model banjir rob juga diprediksi meluas ke arah pusat Kota Pekalongan menuju ke kawasan permukiman di Kelurahan Kauman, Poncol dan Setono. Jenis tutupan lahan dengan luasan terbesar kedua adalah tambak dengan presentase sebesar 32%. Menurut hasil analisis tersebut, luasan tambak terdampak model semakin luas. Hanya sebagian kecil area di bagian selatan tambak di Kelurahan Degayu dan Kandang Panjang yang tidak terdampak banjir rob. Sedangkan tutupan lahan yang terdampak dengan luasan yang cukup besar setelahnya berupa sawah dan ruang terbuka hijau lain yang tersebar di seluruh kelurahan terdampak.

Pada skenario ini, tutupan lahan terdampak dengan luasan terbesar berupa tambak dan pemukiman karena luasan model banjir rob diketahui mencakup 41,3% dari luas total Kota Pekalongan. Jenis tutupan lahan terluas di Kota Pekalongan adalah permukiman, oleh karena itu permukiman merupakan tutupan lahan yang paling terdampak model banjir rob. Sebaran permukiman terdampak juga tersebar cukup merata pada Kecamatan Pekalongan Utara, Pekalongan Barat, dan bagian utara Kecamatan Pekalongan Timur. Selanjutnya tutupan lahan tambak memiliki luasan terbesar kedua karena kawasan pesisir Kota Pekalongan banyak dimanfaatkan sebagai tambak seperti pada beberapa kelurahan di Kecamatan Pekalongan Utara. Jarak yang dekat dengan garis pantai dan ketinggian tanah yang tidak jauh lebih tinggi dari SLR menyebabkan tambak menjadi tutupan lahan yang akan tergenang ketika banjir rob terjadi.

5. Kesimpulan

Tren banjir rob di Kota Pekalongan semakin meluas setiap tahunnya. Model banjir rob di Kota Pekalongan dibuat dalam periode waktu tahun dasar 2017, tahun prediksi 2037 dan tahun prediksi 2067. Luas wilayah terdampak banjir rob pada tahun dasar 2017 mencapai 690 ha atau 15% dari luas Kota Pekalongan. Luasan wilayah terdampak terus meluas pada tahun prediksi 2037, dimana luasan terdampak banjir rob mencapai 1.263,3 ha atau 30% dari luas total Kota Pekalongan. Puncaknya pada tahun prediksi 2067, luasan wilayah terdampak mencapai 1.866,6 ha atau 41% dari luas total Kota Pekalongan. Arah pergerakan tren prediksi banjir rob di Kota Pekalongan mengarah ke bagian selatan dan pusat kota.

Diperoleh beberapautupan lahan yang terdampak secara signifikan oleh model banjir rob. Pada tahun dasar 2017,utupan lahan terdampak dengan luasan tertinggi adalah tambak, diikuti oleh permukiman pada urutan kedua. Hal tersebut belum banyak berubah pada tahun prediksi 2037. Tutupan lahan terdampak banjir rob dengan luasan tertinggi adalah tambak dan diikuti oleh permukiman pada urutan kedua. Pada tahun tersebut, diperkirakan hampir seluruh kawasan tambak tergenang banjir rob. Terjadi perubahan pada tahun prediksi 2067 dimanautupan lahan terdampak terluas adalah permukiman dan diikuti oleh tambak sebagai urutan kedua. Hal ini dikarenakan meluasnya prediksi banjir rob pada tahun tersebut ke arah selatan dan pusat kota yang dipenuhi permukiman.

Referensi

- Adi, Rahardyan Nugroho. (2009). "Pembuatan Peta Tingkat Kerawanan Banjir Sebagai Salah Satu Upaya Mengurangi Tingkat Kerugian Akibat Bencana Banjir." *Ekspose Hasil Litbang Teknologi Pengelolaan DAS Dalam Upaya Pengendalian Banjir Dan Erosi-Sedimentasi* 283–91.
- Disposaptono, Subandono, Budiman, and Firdaus Agung. (2013). *Menyiasati Perubahan Iklim Di Wilayah Pesisir Dan Pulau-Pulau Kecil*. III. Jakarta: Saint Press.
- Hardoyo, Su Rito. (2012). "Aspek Sosial Banjir Genangan (Rob) Di Kawasan Pesisir."
- Hifni. (2002). "Simulasi Model Hidrologi Kawasan Pesisir Angke Kapuk Jakarta Utara."
- Hildaliyani, Utet. (2011). "Analisis Daerah Genangan Banjir Rob (Pasang) Di Pesisir Utara Jakarta Menggunakan Data Citra Satelit Spot Dan Alos."
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Scientific Basis*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Marfai, Muh. Aris, and Syukron. Maulana. 2013. "Pemodelan Spasial Untuk Prediksi Luasan Genangan Banjir Pasang Laut Di Wilayah Kepesisiran Kota Jakarta." 451–57.
- Marfai, Muh Aris, Djati Mardiatno, Ahmad Cahyad, and Fitria Nucifera. (2013). "Pemodelan Spasial Bahaya Banjir Rob Berdasarkan Skenario Perubahan Iklim Dan Dampaknya Di Pesisir Pekalongan." *Jurnal Bumi Lestari* 13(2):244–56.
- Nugroho, Septriono Hari. (2013). "Prediksi Luas Genangan Pasang Surut (Rob) Berdasarkan Analisis Aata Spasial Di Kota Semarang , Indonesia." *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi* 4(1):71–87.
- Takagi, Hiroshi, Miguel Esteban, Takahito Mikami, and Daisuke Fujii. (2016). "Projection of Coastal Floods in 2050 Jakarta." *Urban Climate* 17:135–45. doi: 10.1016/j.uclim.2016.05.003.