

## **PETA SEBARAN DAMPAK BANJIR DI KAWASAN PEMUKIMAN MENGUNAKAN METODE *PERFORMANCE BASED FLOOD ENGINEERING (PBFE)***

Saiful Azis Nuri<sup>1)</sup>, Rosmina Zuchri<sup>2)</sup>, Mawardi Amin<sup>2)</sup>  
DPMPTSP Kab. Tangerang<sup>1)</sup>, Universitas Mercu Buana<sup>2)</sup>  
dewa.14128180@gmail.com<sup>1)</sup>

*Flood is a natural disaster caused by several factors including the amount of rainfall, poor drainage system, high ground water level, the type and condition of the soil that does not absorb surface water too fast and others. Floods occur in many parts of Indonesia, including the Regency of Tangerang. The Performance Based Flood Engineering (PBFE) method is a new method in analyzing the magnitude of the impact due to flooding. PBFE is a derivative of Performance Based Hurricane Engineering (PBHE) that already exists. PBFE is a methodology that can be used to evaluate structural risks associated with facilities located in disaster prone areas, based on total probability theorems and built on techniques that have been developed and used in other civil engineering sub fields. In this paper PBFE will be combined with Geographic Information Systems (GIS). GIS is a spatial information system commonly used to manage or process spatial data. Or in other words, GIS is an information system that has the ability to store, process and display spatial and geographical information systematically, such as identifying data in a database according to location and coordinates. The combination of PBFE and GIS is expected to produce a map of the distribution of flood impacts in Tangerang Regency.*

*Keywords: Performance Based Flood Engineering; SIG; Impact Analysis; Residential Area.*

### **Abstrak**

Banjir adalah suatu kejadian bencana alam yang disebabkan beberapa faktor yang diantaranya besarnya curah hujan, sistem drainase yang kurang baik, muka air tanah yang tinggi, jenis dan kondisi tanah yang tidak terlalu cepat menyerap air permukaan dan lain-lain. Banjir banyak terjadi di wilayah Indonesia, tidak terkecuali di wilayah Kabupaten Tangerang. Metoda Performance Based Flood Engineering (PBFE) adalah metoda baru dalam menganalisis besarnya dampak akibat banjir. PBFE merupakan turunan dari Performance Based Hurricane Engineering (PBHE) yang sudah ada. PBFE merupakan metodologi yang dapat digunakan untuk mengevaluasi risiko struktural yang terkait dengan fasilitas terletak di daerah rawan bencana, didasarkan pada total teorema probabilitas dan dibangun berdasarkan teknik yang sudah dikembangkan dan digunakan di sub bidang teknik sipil lainnya. Pada makalah ini PBFE akan dikombinasi dengan Sistem Informasi Geografis (SIG). SIG adalah Sistem informasi keruangan yang biasa digunakan untuk mengelola atau mengolah data spasial. Atau dengan kata lain, SIG adalah sistem informasi yang mempunyai kemampuan menyimpan, mengolah dan menampilkan informasi keruangan dan geografis secara sistematis, seperti mengidentifikasi data dalam database menurut lokasi dan koordinatnya. Penggabungan PBFE dan SIG diharapkan dapat menghasilkan peta sebaran dampak banjir yang ada di Kabupaten Tangerang.

Kata kunci : Performance Based Engineering; SIG; Analisa Dampak; Kawasan Permukiman.

### **PENDAHULUAN**

Banjir adalah masalah umum yang biasa terjadi di kawasan permukiman padat penduduk. Karena besarnya kerugian yang diakibatkan oleh banjir baik kerugian secara materi dan immateri termasuk adanya korban jiwa, maka sudah selayaknya masalah banjir perlu mendapatkan perhatian yang serius dan terpadu. Kita sudah semestinya mengamati dan memperhatikan penyebab-penyebab yang dapat menimbulkan banjir dan mengetahui cara-cara penanggulangannya sedini mungkin

sehingga dapat diantisipasi, untuk memperkecil kerugian yang timbul.

Banjir merupakan interaksi sebab akibat dari fenomena alam dan efek dari tingkah laku manusia. Sejalan dengan tingkat perkembangan masyarakat, banjir merupakan hal dilematis yang sulit dikendalikan dan cenderung semakin meningkat. Tindakan penanganan banjir (flood damage mitigation) perlu dilakukan untuk memperkecil kerugian-kerugian yang diakibatkan oleh banjir baik tindakan yang bersifat non fisik (non- struktural measures) atau tindakan pencegahan seperti perilaku

manusia serta bersifat fisik (struktural measures) atau corrective measures karena perbaikan saluran drainase dan pengelolaan air hujan.

Pengendalian Banjir merupakan kegiatan perencanaan, pengelolaan dan pengawasan baik secara teknis maupun non teknis yang pada dasarnya untuk mengendalikan banjir dan mengurangi dampak risiko yang timbul akibat banjir.

Pemetaan daerah risiko banjir harus menjadi landasan kebijakan untuk program atau kegiatan yang berorientasi pada pengelolaan banjir. Peta sering mempunyai konotasi hukum dalam hal zonasi dan tindakan-tindakan struktural dan nonstruktural yang dilakukan, sehingga mereka harus akurat dan kredibel. Salah satu kunci output dari rencana manajemen risiko banjir adalah membuat peta-peta risiko banjir di tingkat daerah aliran sungai. Tujuan pembuatan peta risiko banjir adalah untuk:

- Meningkatkan tingkat kesadaran masyarakat dari kawasan risiko banjir terhadap risiko banjir
- Memberikan informasi tentang daerah risiko banjir dengan menentukan tingkat zona risiko banjir sebagai masukan bagi bidang perencanaan tata ruang.
- Mendukung proses memprioritaskan, membenarkan dan menargetkan investasi dalam rangka untuk mengelola dan mengurangi risiko pada orang, properti dan lingkungan.

Pada penelitian ini, kami menggunakan metode probabilitas risiko dampak Performance Based Flood Engineering dan kemudian diplotkan ke dalam SIG (Sistem Informasi Geografis)

## **LANDASAN TEORI**

### ***PERFORMANCE BASED FLOOD ENGINEERING***

Menurut (Barbato, Petrini, Unnikrishnan, & Ciampoli, 2013), PBE adalah metodologi umum yang

- mendefinisikan tujuan kinerja untuk sistem struktural selama masa perancangannya,

- memberikan kriteria dan metode untuk memverifikasi pencapaian tujuan kinerja, dan
- menawarkan metodologi yang tepat untuk memperbaiki desain sistem struktural.

Sejalan dengan pengembangan pendekatan desain berbasis kinerja, dua dekade terakhir telah melihat kemajuan pendekatan analisis biaya-manfaat berbasis risiko dalam beberapa subbidang rekayasa struktural (misalnya, lihat (Frangopol, Lin, & Estes, 1998) untuk jembatan rekayasa, (Porter, Kiremidjian, & LeGrue, 2001) untuk rekayasa gempa).

Pendekatan PBE diterima secara luas sebagai alat untuk mencapai desain ketahanan gempa, banjir, dan bencana alam lainnya, dengan demikian PBE telah digunakan dengan di bidang teknik gempa Sub-bidang teknik sipil lainnya. Namun, pendekatan serupa yang relatif baru di bidang teknik penanganan untuk angin. (Barbato et al., 2013; Petrini, 2009)

Dalam kasus banjir, tiga bahaya berbeda beraksi pada saat bersamaan:

- (1) curah hujan,
- (2) kecepatan air,
- (3) gelombang air.

Bahaya banjir karena adanya struktur badan air di sekitarnya tergantung pada elevasi permukaan air total dan hubungan dengan permukaan rata-rata, dan pada kecepatan air banjir (yaitu, nilai komponen kecepatan air ortogonal terhadap rintangan banjir). Kedua parameter ini memungkinkan untuk perhitungan laju volumetrik aliran dan dapat digunakan sebagai indikator sintesis intensitas banjir.

Baru-baru ini, pendekatan perancangan Performance Based mulai mendapat perhatian yang SIG dari peneliti dalam teknik angin dan angin topan (Ellingwood & Rosowsky, 2004) mengajukan kerapuhan pendekatan analisis untuk menilai secara probabilistik pencapaian kinerja yang ditentukan tujuan konstruksi rangka kayu ringan tunduk pada badai dan gempa bumi yang ekstrem mempresentasikan pendekatan umum untuk desain Performance Based bangunan yang terkena angin dan bahaya gempa. (van de Lindt & Dao, 2009) mengusulkan pendekatan teknik angin berbasis kinerja yang mencakup pengembangan kurva kerapuhan untuk berbagai tujuan kinerja yang

diterapkan pada bangunan rangka kayu. (Li & Ellingwood, 2009) menyajikan kerangka penilaian risiko multi-bahaya untuk membandingkan dampak badai dan gempa bumi pada konstruksi perumahan kayu dan efektivitas mitigasi yang berbeda strategi. (Petrini, 2009) mengajukan kerangka kerja angin berdasarkan kinerja berbasis pada teorema probabilitas total untuk penilaian risiko struktur yang terkena bahaya angin. (Barbato et al., 2013) mengembangkan kerangka kerja Performance-Based Hurricane Engineering (PBHE) probabilistik, juga berdasarkan teorema probabilitas total, untuk analisis penilaian risiko dan kerugian struktural sistem yang terkena bahaya topan. Kerangka ini mempertimbangkan sifat multi-bahaya peristiwa badai, interaksi sumber bahaya yang berbeda (mis., Angin, puing-puing angin, banjir, dan hujan), dan kemungkinan efek sekuensial dari bahaya yang berbeda ini.

Tiga fenomena alam utama menyebabkan tingkat air meningkat dan berkontribusi terhadap bahaya banjir: gelombang astronomi ( $\eta_{\text{tide}}$ ), ombak ( $\eta_{\text{wave}}$ ), dan gelombang badai ( $\eta_{\text{surge}}$ ). Total dari ketiga parameter di atas diwaktu yang sama adalah

$$\eta_{\text{total}} = \eta_{\text{tide}} + \eta_{\text{wave}} + \eta_{\text{surge}}$$

Kecepatan air banjir  $V_{\text{water}}$  dapat diasumsikan sebagai perkiraan pertama sama dengan kecepatan tertinggi untuk masing-masing fenomena/ kejadian ( $V_{\text{tide}}$ ,  $V_{\text{surge}}$  dan  $V_{\text{wave}}$ ). Parameter subvector dasar khusus dapat ditetapkan untuk kontribusi masing-masing ( $F_{\text{tide}}$ ,  $F_{\text{surge}}$  dan  $F_{\text{wave}}$ ) dan vector  $F$  diperoleh dari penggabungan dari tiga vektor.

Tingkat curah hujan yang tinggi yang terkait dengan peristiwa badai dapat menyebabkan kerusakan signifikan pada interior bangunan ketika bangunan telah dilanggar (Huang, Rosowsky, & Sparks, 2001). Untuk yang terbaik dari pengetahuan penulis, tidak ada model bahaya curah hujan analitis yang tersedia dalam literatur teknis. Namun, beberapa model didasarkan pada interpolasi data statistik menentukan korelasi antara tingkat curah hujan dan parameter badai fundamental lainnya. Salah satu model yang lebih diterima dan digunakan adalah yang diimplementasikan dalam HAZUS (Vickery, Lin, Skerlj, Twisdale,

& Huang, 2006), yang berlaku untuk siklon tropis. Perkiraan tingkat curah hujan yang dihasilkan dari model ini digunakan dalam HAZUS untuk mengevaluasi jumlah air yang masuk bangunan melalui jendela dan pintu kaca yang rusak, sementara mereka tidak digunakan untuk menilai risiko yang terkait dengan banjir bandang.

Secara konsisten dengan HAZUS, penelitian ini tidak mempertimbangkan pedalaman bahaya banjir flash. Vektor yang diusulkan RA dari dasar acak parameter diberikan adalah:

$$RA = [RMW \ V_c \ \Delta p_c \ B \ H^* \ z_0 \ p_c]^T$$

(Barbato et al., 2013)

Dimana

RMW = Radius Maksimum Banjir

$V_c$  = Kecepatan Pusat Banjir

$\Delta p_c$  = Selisih Tekanan

B = Holand Parameter

$H^*$  = Ketinggian Lapisan Batas Atmosfer

$z_0$  = Panjang Kekasaran Medan

T = Periode

$Z_b$  = Kekasaran gesekan

$p_c$  = tekanan pusat banjir/ badai

$$H^* = 343.7 + 0.260/I \text{ (Vickery, Masters, Powell, \& Wadhwa, 2009)}$$

Dimana I = Kemiringan Inersia

## **SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG)**

SIG adalah sistem yang digunakan pengambilan keputusan data spasial dan mampu menggabungkan data deskriptif lokasi secara geografis dengan karakteristik dan fenomena yang ditemukan di lokasi tersebut. SIG merupakan cara/metode dan teknologi yang digunakan dalam mengolah data, yaitu data keruangan spasial, software (perangkat lunak) dan struktur organisasi (Gistut, 1994).

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah kerjasama bagian-bagian sistem informasi yang terdiri atas hardware (perangkat keras), software (perangkat lunak), data geografis, dan kemampuan sumber daya manusia yang yang secara efektif melakukan data input, menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisis, dan menampilkan data dalam

suatu informasi data yang berbasis geografis. (Budiyanto, 2004).

SIG juga dapat mengoperasikan data keruangan yang bersifat kompleks. Dalam implementasinya, teknologi SIG juga dapat dimanfaatkan untuk kegiatan penelitian ilmiah, pengelolaan dan pengembangan sumber daya, perencanaan bidang pembangunan, pembuatan peta, dan rencana jaringan seperti gas dan air minum. Secara umum, terdapat enam proses dalam SIG yaitu

a. Data Entry (penginputan data)

Proses data entry digunakan untuk memasukkan data-data spasial dan non-spasial. Data spasial misalnya peta dasar yang biasanya berformat SHP. Peta dasar ini dijadikan sebagai database awal dalam suatu kegiatan, Data non spasial biasanya berupa data keruangan yang di input secara manual kedalam peta dasar yang sebelumnya sudah dibuat layer atau pelapisan.

b. Konversi Data

SIG diberikan kemampuan untuk mengkonversi/ mengalih rangkan data yang tersedia agar sesuai dengan yang dibutuhkan SIG. Oleh karena itu SIG memiliki kemampuan untuk melakukan editing, sesuai dengan yang dibutuhkan SIG.

c. Manajemen Data

Manajemen data yang dilakukan dalam SIG adalah pengolahan data spasial dan non spasial. Data spasial biasanya dalam bentuk koordinat, dan data non spasial dapat berupa luas, panjang dan lainnya

d. Query dan Analisis

Query adalah proses analisis yang dilakukan secara tabular. Query juga bisa disebut proses editing, baik editing dari data yang ada menjadi data baru, atau membuat data baru secara keseluruhan. SIG dapat melakukan dua macam analisis, yaitu Proximity Analysis dan Overlay Analysis.

1. Proximity Analysis atau yang biasa disebut Analisis Kedekatan adalah analisis yang berbasis pada jarak dan turunannya. SIG dapat menentukan jarak antara 2 atau lebih dari objek yang ada. Selain itu SIG juga dapat menghitung luas suatu bidang

2. Overlay Analysis merupakan analisis penyatuan data dari 2 atau lebih layer yang berbeda. Secara singkat, overlay disebut juga penggabungan secara fisik untuk lebih dari satu layer dalam SIG

e. Visualisasi

Visualisasi dari SIG ini biasanya adalah bentuk peta dengan segala kelengkapan datanya. Dengan SIG, satu peta dapat memuat banyak sekali layer atau lapisan dan dapat dimunculkan secara bersamaan maupun satu persatu tergantung pada kebutuhan

Fungsi SIG adalah perangkat lunak dan sistem informasi yang dibuat dan dipergunakan untuk menyimpan, memperbaiki, memperbaharui, mengelola, memanipulasi, mengintegrasikan, menganalisis, dan menampilkan data yang bereferensi spasial atau berkoordinat geografi. (Barus & Wiradisastra, 2000). Dengan kata lain suatu SIG adalah suatu sistem database yang mempunyai kemampuan untuk mengelola data yang berbasis keruangan (spasial) bersama dengan sistem operasinya .

Manfaat dari SIG adalah dapat melihat fenomena spasial kebumian dengan perspektif yang diinginkan. SIG mampu melakukan pengelolaan dan penyajian data spasial digital bahkan menggabungkan data dari berbagai format, mulai dari foto udara, peta, citra satelit, bahkan data statistik. SIG juga dapat melakukan proses editing, dan pemutakhiran data yang akan menjadikan lebih efisien.

Efisiensi dan Efektifitas sistem kerja sebagai dampak dari keberhasilan implementasi SIG berdampak pada kecepatan pengambilan keputusan mengenai spasial kebumian. Pada era globalisasi, semua institusi dan lembaga pada sektor swasta (private sector) dapat memanfaatkan teknologi SIG untuk mempermudah pekerjaan mereka di berbagai sector agar lebih efektif dan efisien. Kunci kesuksesan bisnis pada sektor ini di masa depan, terutama dalam menghadapi persaingan bebas, adalah adanya sistem pengelolaan yang efektif dan efisien pada sistem pelayanan yang baik untuk para pelanggan (Longley, Goodchild, Maguire, & Rhind, 2005).

Penyajian SIG untuk tingkatan Kepala Daerah akan berbeda dengan instansi dibawahnya. Pada tingkatan dinas, informasi yang diperlukan akan lebih rinci, misalnya pemanfaatan SIG dalam penentuan Rencana Detail Tata Ruang. Untuk tingkatan dinas, Kepala Dinas harus mengetahui peruntukan dan pemanfaatan untuk setiap desa dan kecamatan, sedangkan untuk seorang Kepala Daerah informasi ini cukup untuk setiap Propinsi/ Kabupaten/ Kota saja. Walaupun memungkinkan saja, seorang Kepala Daerah mengetahui secara detail peruntukan di wilayahnya. Kebutuhan penyajian bergantung pada siapa yang membutuhkan dan menggunakan data tersebut. Untuk data yang bias dipublikasikan untuk masyarakat umum dapat dikelola berdasarkan kebutuhan. Dengan demikian masyarakat umum dapat mengakses dan menyimpan sendiri sesuai keperluannya dengan/atau tanpa biaya (tergantung kebijakan).

### CONTOH KASUS

Di kecamatan Rajeg Kabupaten Tangerang terdapat daerah rawan banjir di desa Mekarsari. Peta dasar SIG untuk kecamatan Rajeg disajikan pada gambar :



Gambar 1 Peta Dasar Kecamatan Rajeg

Berdasarkan pengamatan dilapangan bahwa desa tersebut sering terjadi banjir dikarenakan terdapat banyak sekali perumahan, sehingga mengurangi luas bidang serap air kedalam tanah. Berdasarkan perhitungan dilapangan, luas daerah terdampak banjir di desa Mekarsari adalah 19.4 Ha

Berdasarkan hasil analisis hidrologi didapat :

Kecepatan pengaliran untuk kala ulang 5, 10, 20, 50, 100 tahun berturut-turut = 2.31 m/dtk, 2.78 m/dtk, 2.97 m/dtk, 3.83 m/dtk, 4.29 m/dtk.

Radius Maksimum = 0.48 km (perhitungan GIS)

Selisih Tekanan = 3.86 m

B Holand = 1.27 (Vickery & Wadhwa, 2008)

Zo = 2.2 m (konstanta manning)

T = 1.4 dtk

Zb = 0,015 (n manning)

H\* = 343.7 + 0.260/0.018 = 358.14

Pc = 7 m

Maka didapat dilihat pada tabel 1

Tabel 1 Perhitungan Performance Based

Parameter Penelitian	PBE RAJEG				
	5	10	20	50	100
RMW	0.48	0.48	0.48	0.48	0.48
Vc	2.31	2.78	2.97	3.83	4.29
$\Delta pc$	3.86	3.86	3.86	3.86	3.86
B	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
Zo	0.015	0.015	0.015	0.015	0.015
H*	358.14	358.14	358.14	358.14	358.14
Pc	7	7	7	7	7
T	1.4	1.4	1.4	1.4	1.4
<b>PBFE</b>	<b>2,780.61</b>	<b>3,607.62</b>	<b>3,949.24</b>	<b>5,636.46</b>	<b>6,611.49</b>

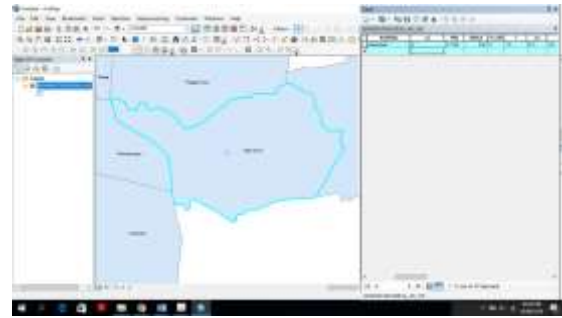
### PEMBAHASAN DAN DISKUSI

Hasil dari tabel diatas dengan membandingkan pada tabel tabel Statistik Batas Kapasitas Untuk

Struktur Dasar (Unnikrishnan & Barbato, 2016), maka mulai hujan kala ulang 20 tahun dapat merobohkan struktur pintu dan jendela, kala ulang 100 tahun dapat merobohkan

struktur tembok. Kala ulang hujan 5 dan 10 tahun bangunan dalam kondisi aman. Banjir belum merusak struktur

Parameter dan hasil yang tadi di input kedalam Software ArcGIS. Hasil pengunputan disajikan dalam gambar 2:



Gambar 2 Tampilan ARCGis Kecamatan Rajeg

Tabel 2 Statistik Batas Kapasitas Untuk Struktur Dasar

Component	Limit State	Mean	COV	Distribution
Roof Cover (Shingles)	Separation or pullof ( $R_{cover}$ )	3.35 KN/m <sup>2</sup>	0.19	Normal
Roof Sheating (nailing pattern 8d C6/12)	Separation or pullof ( $R_{sh}$ )	6.20 KN/m <sup>2</sup>	0.12	Lognormal
Doors	Pressure Failure ( $R_{door}$ )	4.79 KN/m <sup>2</sup>	0.20	Normal
Garage Door	Pressure Failure ( $R_{g-door}$ )	3.49 KN/m <sup>2</sup>	0.20	Normal
Windows	Pressure Failure ( $R_{w-pressure}$ )	3.33 KN/m <sup>2</sup>	0.20	Normal
	Impact Failure ( $R_{w-impact}$ )	4.72 kgm/s	0.23	Lognormal
Wall Sheating	Pressure Failure ( $R_{wsh-pressure}$ )	6.13 KN/m <sup>2</sup>	0.40	Normal
	Impact Failure ( $R_{wsh-impact}$ )	642.0 kgm <sup>2</sup> /s <sup>2</sup>	0.07	Lognormal
Roof-wall Connection (wood)	Tensile Failure ( $R_{wcon-wood}$ )	16.28 KN/panel	0.20	Lognormal
	Lateral Failure ( $R_{wall-wl}$ )	1080 KN/panel <sup>a</sup>	0.25	Normal
		7.06 KN/panel <sup>b</sup>		
Uplift Failure ( $R_{wall-wg}$ )	9.00 KN/m <sup>2</sup>	0.25	Normal	
	5.80 KN/m <sup>2</sup>			

Sumber : Unnikrishnan & Barbato, 2016

**HASIL**

Hasil dari penelitian ini didapat

1. Hasil perhitungan Performance Based Engineering untuk kala ulang 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun berturut-turut 2.78 KN/m<sup>2</sup>, 3.6 KN/m<sup>2</sup>, 3.9 KN/m<sup>2</sup>, 5.6 KN/m<sup>2</sup>, 6.6 KN/m<sup>2</sup>.
2. Berdasarkan tabel 2 diperoleh bahwa pada kala ulang hujan 20 tahun, banjir mungkin akan dapat merobohkan struktur pintu dan jendela sedangkan pada kala ulang hujan

100 tahun, banjir mungkin dapat merobohkan struktur dinding.

3. Adanya peta sebaran dampak banjir beserta hasil perhitungan PBE

**KESIMPULAN**

Besaran gaya yang ditimbulkan dari kejadian banjir dengan parameter tersebut, dapat membuat kerusakan struktur bangunan bergantung pada kecepatan, debit dan kemiringan kondisi eksisting. Kerusakan

struktur yang terjadi dapat berdampak pada nominal besaran kerugian banjir yang terjadi.

Peta sebaran dampak dapat digunakan dasar pembuatan kebijakan mitigasi banjir untuk pemerintah daerah.

#### DAFTAR PUSTAKA

Barbato, M., Petrini, F., Unnikrishnan, V. U., & Ciampoli, M. (2013). Performance-Based Hurricane Engineering (PBHE) framework. *Struktural Safety*, 45, 24–35. <https://doi.org/10.1016/j.strusafe.2013.07.002>

Barus, B., & Wiradisastira, U. . (2000). *Sistem Informasi Geografi, Laboratorium, Penginderaan Jauh dan Kartografi*. Bogor.

Budyanto, E. (2004). *Sistem Informasi Geografis Menggunakan Map Info*. Yogyakarta: ANDI.

Ellingwood, B. R., & Rosowsky, D. V. (2004). Fragility assessment of struktural systems in light-frame residential construction subjected to natural hazards, 2–7.

Frangopol, D., Lin, K., & Estes, A. (1998). Discussion by C. Q. Li 4, (November), 1368–1369.

Gistut. (1994). *Sistem Informasi Geografis*. Gramedia Pustaka Utama.

Huang, Z., Rosowsky, D. V., & Sparks, P. R. (2001). Hurricane simulation techniques for the evaluation of wind-speeds and expected insurance losses. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 89(7–8), 605–617. [https://doi.org/10.1016/S0167-6105\(01\)00061-7](https://doi.org/10.1016/S0167-6105(01)00061-7)

Li, Y., & Ellingwood, B. R. (2009). Framework for Multihazard Risk Assessment and Mitigation for Wood-Frame Residential Construction. *Journal of Struktural Engineering*, 135(2), 159–168. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2009\)135:2\(159\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2009)135:2(159))

Longley, P., Goodchild, M. ., Maguire, D. ., & Rhind, D. . (2005). *Geographical Information Systems and Science* (2nd Editio). John, Wiley & Sons.

Petrini, F. (2009). A probabilistic approach to Performance-Based Wind Engineering (PBWE). *Ph.D. Dissertation, University of Rome “La Sapienza”, Rome, Italy*, (March), 1–12.

Porter, K. A., Kiremidjian, A. S., & LeGrue, J. S. (2001). Assembly-based vulnerability of buildings and its use in performance evaluation. *Earthquake Spectra*. <https://doi.org/10.1193/1.1586176>

Robert J. Kondoatie, S. (2002). *Banjir, Beberapa Penyebab Dan Metode Pengendaliannya Dalam Perspektif Lingkungan* (1st ed.). Yogyakarta: Pustaka Pelajar.

Unnikrishnan, V. U., & Barbato, M. (2016). Performance-based comparison of different storm mitigation techniques for residential buildings. *Journal of Struktural Engineering (United States)*, 142(6), 1–12. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0001469](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001469)

van de Lindt, J. W., & Dao, T. N. (2009). Performance-Based Wind Engineering for High-Rise Buildings, (February), 169–177.

Vickery, P. J., Lin, J., Skerlj, P. F., Twisdale, L. A., & Huang, K. (2006). HAZUS-MH hurricane model methodology. I: Hurricane hazard, terrain, and wind load modeling. *Natural Hazards Review*, 7(2), 82–93. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2006\)7:2\(82\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2006)7:2(82))

Vickery, P. J., Masters, F. J., Powell, M. D., & Wadhera, D. (2009). ARTICLE IN PRESS Journal of Wind Engineering and Industrial Aerody- namics Hurricane hazard modeling : The past , present , and future. *Jnl. of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*, 97(7–8), 392–405. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2009.05.005>

Vickery, P. J., & Wadhera, D. (2008). Statistical models of Holland pressure profile parameter and radius to maximum winds of hurricanes from flight-level pressure and H\* wind data. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 47(10), 2497–2517. <https://doi.org/10.1175/2008JAMC1837.1>