



Pengaruh Perubahan Pola Ruang terhadap Luas Area Banjir di Kawasan Industri dan Dampaknya pada Aktivitas Supply Chain

Fatma Nurkhaerani¹, Fransisca Debora², Solehudin³

Fakultas Teknik, Universitas Singaperbangsa Karawang, Jl. HS. Ronggo Waluyo, Karawang^{1,2}
PT. Widya Aika Berkarya, Perum Villa Tamara Cluster Andalusia, Kota Samarinda³

E-mail: fatma.nurkhaerani@ft.unsika.ac.id

Abstrak

Kawasan industri merupakan area yang pemerintahannya dilengkapi prasarana, sarana dan fasilitas penunjang lainnya. Pengembangan area kawasan industri menjadi hal penting yang diamati pada penelitian ini terkhusus pada area kawasan industri di Karawang. Terdapat alih fungsi pada pola ruang yang berdampak pada lingkungan salah satunya keterserapan air sehingga membuat bencana banjir di industri. Penelitian ini mengkaji perubahan tutupan lahan dan pengaruh perubahannya pada pola ruang terhadap luas area banjir dengan membandingkan hasil pengolahan tahun 2022 dan tahun 2031 dengan memanfaatkan teknologi sistem informasi geografis (SIG). Hasil yang didapatkan menginformasikan kenaikan sebesar 1.081% yang berpusat di bagian timur, timur tenggara hingga selatan Kabupaten Karawang. Hal ini memberikan pengaruh pada nilai koefisien C (koefisien limpasan) yang menghasilkan nilai 0.91 (mendekati 1) yang artinya kondisi lahan semakin jenuh atau sudah sedikit memiliki daya serap terhadap air yang dapat mengakibatkan banjir di lingkungan kawasan tertinggi pada kelas tinggi (> 1.5m). Jika dikaji pengaruhnya terhadap sektor industri berdasarkan studi literatur didapatkan pengaruh aktivitas rantai pasok (supply chain) diantaranya pembatasan kegiatan, naiknya biaya distribusi, rusaknya fasilitas, pasokan utilitas terhambat, efek kesehatan, degradasi tanah, dan dibutuhkannya waktu serta biaya dalam penanganan pasca banjir.

Kata Kunci: Banjir; Tata Ruang; Tutupan Lahan; Sistem Informasi Geografis, Rantai Pasok.

Abstract

Industrial estates are areas where industrial activities are concentrated, equipped with infrastructure, facilities and other supporting facilities. The development of industrial areas is an important thing to observe in this study, especially in industrial sectors in Karawang. There is a transfer of functions in spatial patterns that have an impact on the environment, one of which is the absorption of water, which causes flooding in industry. This study examines changes in land cover and the effect of changes in spatial patterns on the flood area by comparing the results of processing in 2022 and 2031 by utilizing geographic information system (GIS) technology. The results obtained indicated an increase of 1,081% centered in the eastern, southeastern to southern parts of Karawang Regency. This influences the value of the coefficient C (runoff coefficient) which results in a value of 0.91 (close to 1), which means that the condition of the land is getting saturated or has little absorption of water which can cause flooding in the highest area environment in the high class (> 1.5m). If the impact on the industrial sector is studied based on literature studies, it is found that the influence of supply chain activities includes activity



restrictions, increased distribution costs, damage to facilities, hampered utility supply, health effects, soil degradation, and the time and cost required for post-flood handling.

Keywords: flooding; spatial layout; land cover; Geographic Information System, Supply Chain.

1. PENDAHULUAN

Kawasan industri di Karawang, Jawa Barat, Indonesia telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Hal ini disebabkan oleh faktor-faktor seperti lokasi yang strategis (dekat dengan ibukota Jakarta dan bandara internasional Soekarno-Hatta), infrastruktur yang baik, dan dukungan pemerintah. Kawasan industri di Karawang terdiri dari berbagai jenis industri, seperti otomotif, elektronik, tekstil, dan lain-lain. Pembangunan kawasan industri di Karawang terus berlangsung dan diharapkan akan meningkatkan perekonomian daerah dan menciptakan lapangan kerja bagi warga setempat. Disisi lain dengan banyaknya alih fungsi lahan pertanian dan hutan menjadi kawasan industri di Kabupaten Karawang membuat beberapa perubahan terhadap pola ruang dalam RTRW Kabupaten Karawang (Moechtar and Warlina 2019). Perubahan tutupan lahan dapat memiliki dampak yang signifikan terhadap banjir (Nurrizqi and Suyono 2012). Saat lahan yang sebelumnya berupa hutan atau lahan terbuka diubah menjadi pemukiman atau kawasan industri, hal ini dapat menurunkan kemampuan dari lahan untuk menyerap air hujan. Pembangunan tersebut juga dapat menyebabkan erosi tanah dan pengurangan aliran air dari sungai atau saluran drainase.

Ketika lahan yang dibangun melebihi kapasitas dari sistem drainase yang ada, ini dapat menyebabkan air hujan untuk mengalir ke dalam jalan-jalan dan rumah-rumah yang menyebabkan banjir. Pembangunan yang tidak terencana juga dapat menyebabkan air hujan untuk mengalir ke dalam saluran drainase yang tidak cukup besar untuk menampung volume air yang tinggi, yang juga dapat menyebabkan banjir. Peningkatan luas area banjir tentunya akan berdampak bagi beberapa sektor terutama industri. Pada daerah Kecamatan Ciampel, Karawang Timur yang dimana pada lokasi tersebut terdapat beberapa kawasan industri terdapat sungai terdekat yaitu Sungai Cipatunjang yang memiliki luas DAS 50,61 km² dan panjang sungai 52,09 km yang mengalir dari selatan ke utara. Kondisi saat ini pada kondisi hujan ekstrim terjadi beberapa kali kejadian banjir di beberapa lokasi kawasan industri yang sudah beroperasi. Berdasarkan pola ruang pada RTRW Kabupaten Karawang tahun 2011-2031 dilihat bahwa terdapat perubahan lahan yang cukup signifikan pada beberapa lokasi terutama pada bagian selatan Karawang. Perubahan ini didominasi oleh perubahan kawasan hutan menjadi kawasan industri. Melihat rencana perubahan pola ruang pada tahun 2031 tentunya akan terjadi perubahan aliran debit serta luas area genangan banjir di sekitar kawasan industri tersebut (Peraturan Daerah Kabupaten Karawang Nomor 3 Tahun 2013). Sehingga perlu dilakukan analisa pengaruh perubahan pola ruang dan dampaknya pada aktivitas industri. Analisa dilakukan dengan menggunakan penggambaran dengan menggunakan teknologi sistem informasi geografis (SIG) agar dapat menampilkan, memanipulasi, melakukan analisa peta tutupan lahan (Pramono 2020).

2. METODE PENELITIAN

2.1. Pembuatan Peta Tutupan Lahan

Metode yang digunakan untuk pembuatan peta tutupan lahan yaitu interpretasi satelit dengan menggunakan teknologi sistem informasi geografis (*Geographic Information System*, GIS).

Informasi tentang tutupan lahan dapat dikumpulkan melalui interpretasi satelit, survei lapangan, atau sumber-sumber data lainnya dan kemudian dimasukkan ke dalam sistem GIS. Sistem ini memungkinkan untuk membuat peta tutupan lahan dengan tingkat akurasi yang tinggi.

2.2. Analisis Hidrologi

2.2.1. Analisa Data Curah Hujan Wilayah

Sebelum melakukan perhitungan curah hujan, terlebih dahulu adalah menyaring data curah hujan yang akan digunakan dalam perhitungan curah hujan desain. Data curah hujan yang digunakan adalah curah hujan harian maksimum dari tahun 2002 sampai tahun 2020 (19 tahun) dari Pos Hujan Walahar, Pangkalan dan Cilentah seperti yang ditampilkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Data curah hujan yang digunakan

No.	Tahun	Bend Walahar	Pangkalan	Cilentah	Poligon Thiessen
1	2002	66	134	99	103.47
2	2003	135	99	115	113.00
3	2004	60	100	74	77.42
4	2005	63	133	73	81.12
5	2006	24	96	105	102.99
6	2007	56	126	120	120.20
7	2008	82	156	80	90.42
8	2009	64	164	104	111.83
9	2010	63	108	90	92.20
10	2011	66	108	96	97.35
11	2012	89	162	80	91.31
12	2013	88	133	107	110.38
13	2014	101	182	50	68.56
14	2015	67	115	30	41.99
15	2016	97	154	41	57.01
16	2017	86	138	42	55.57
17	2018	109	100	68	72.92
18	2019	89	102	65	70.48
19	2020	90	124	107	109.16

2.2.2. Uji Konsistensi Data Hujan

Dalam penelitian ini dilakukan pengujian konsistensi data hujan dengan Metode Kurva Massa Ganda yaitu dengan meninjau data pos stasiun pengamat di sekitarnya. Caranya, dengan memplot data kumulatifnya sebagai absis. Jika dari data-data tersebut bisa ditarik sebagai suatu garis lurus dengan kemiringan tertentu, maka data tersebut dianggap konsistensi.

2.2.3. Analisa Curah Hujan Maksimum

Analisis hujan rencana perlu dilakukan dalam rangka melakukan analisis limpasan permukaan yang menyebabkan terjadinya banjir. Analisis curah hujan rencana dilakukan dengan menggunakan beberapa metode statistik untuk frekuensi ulang 2, 5, 10, 15, 25, 50 dan 100 tahun. Analisis frekuensi adalah suatu analisis data hidrologi dengan menggunakan statistika yang bertujuan untuk memprediksi suatu besaran hujan atau debit dengan masa ulang tertentu.

Frekuensi hujan adalah besarnya kemungkinan suatu besaran hujan disamai atau dilampaui. Sebaliknya, kala ulang (return period) diartikan sebagai waktu dimana hujan atau debit dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui saluran dalam jangka waktu tersebut. Analisis diawali dengan menentukan jenis distribusi yang sesuai dengan parameter statistik analisis frekuensi (Singh 1992) yang dapat dilihat pada persamaan (1), (2),(3), dan (4).

1. Deviasi Standart (S_x)

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (1)$$

2. Coefficient Skewness (C_s)

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S_x^3} \quad (2)$$

3. Coefficient Kurtois (C_k)

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)S_x^4} \quad (3)$$

4. Coefficient Variasi (C_v)

$$C_v = \frac{S_x}{\bar{X}} \quad (4)$$

Metode probabilitas yang digunakan dalam perhitungan analisis hidrologi adalah sebagai berikut:

1) Distribusi Normal

Analisis distribusi normal menggunakan parameter statistik μ (rata-rata nilai x) dan σ (simpangan baku dari x). Rumus yang umum digunakan untuk distribusi normal adalah:

$$X_t = \bar{X} + K_t S \quad (5)$$

dimana:

X_t = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan

\bar{X} = Nilai rata-rata hitung sampel data

S = Simpangan baku dari nilai data

K_t = faktor frekuensi

Nilai variabel reduksi (K) Gauss ditampilkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Nilai Variabel Reduksi (K) Gauss

Periode Ulang (Tahun)					
2	5	10	25	50	100
0,000	0,840	1,280	1,708	2,050	2,330

Sumber: (Soewarno 1995)

2) Distribusi Log Normal

Apabila variabel acak $Y=\log X$ terdistribusi secara normal, maka x dikatakan mengikuti distribusi Log Normal. Model matematika dari distribusi ini dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$Y_t = \bar{Y} + Y_t S \quad (6)$$

dimana:

- Y_t = Perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang T-tahunan
 Y = Nilai rata-rata hitung sampel data
 S = Simpangan baku dari nilai data
 K_t = faktor frekuensi

3) Distribusi Gumbel

Untuk curah hujan rencana yang dihitung dengan menggunakan Distribusi Gumbell, persamaan yang digunakan adalah:

$$R_T = R_i + K_T \cdot S_x \quad (7)$$

Untuk mencari besar masing-masing koefisien diatas, dilakukan dengan rumus:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (R_i - R)^2}{n-1}} \quad (8)$$

$$K_t = \frac{(Y_t - Y_n)}{S_n} \quad (9)$$

dimana:

- R_T = Curah hujan maksimum dalam periode ulang T (tahun)
 R_i = Curah hujan rata-rata (tahun)
 K_T = Koefisien dispersi
 S_x = Standar Deviasi/Simpangan Baku
 n = Jumlah tahun pengamatan
 Y_n = Reduced mean seperti yang ditampilkan pada Tabel 3
 S_n = Reduced standard deviation seperti yang ditampilkan pada Tabel 3
 Y_T = Reduced variated seperti yang ditampilkan pada Tabel 4

Tabel 3. Nilai Y_n dan S_n

n	Y_n	S_n
10	0,4592	0,9496
11	0,4996	0,9676
12	0,5035	0,9833
13	0,5070	0,9971
14	0,5100	1,0095
15	0,5128	1,0206

Sumber: (Suripin 2004)

Tabel 4. Nilai Variabel (Y) Reduksi Gumbel

T(Tahun)	Y_t
2	0,3665
5	1,4999
10	2,2504
25	3,1255
50	3,9019
100	4,600

4) Distribusi Log Pearson III

Parameter penting dalam Log Pearson tipe III yaitu harga rata-rata, simpangan baku dan koefisien kemencengangan. Jika koefisien kemencengangan sama dengan nol maka kembali ke distribusi Log

Normal. Untuk curah hujan rencana yang dihitung dengan menggunakan Distribusi Log Pearson III, persamaan yang digunakan adalah:

$$\text{Log } R_i = \text{Log } R + k \bullet S_{\text{Log } X} \quad (10)$$

dimana:

R = Curah hujan (mm)

$S_{\text{Log } X}$ = Standar deviasi/Simpangan baku

k = Faktor frekuensi tertentu $f(G, T)$ seperti yang ditampilkan pada Tabel 5

Tabel 5. Nilai K Distribusi Log Pearson

Cs	Interval Ulang (Tahun)					
	2	5	10	25	50	100
3,000	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051
2,000	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605
1,000	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,254	3,022
0,000	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326
-0,200	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178
-0,327	0,054	0,853	1,241	1,633	1,875	2,084
-0,400	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029

2.2.4. Perhitungan Debit Banjir dengan Metode Nakayasu

Metode perhitungan debit yang akan digunakan adalah hidrograf satuan sintetis cara Nakayasu. Cara ini dikembangkan oleh Nakayasu Jepang. Hidrograf satuan sintetik Nakayasu dikembangkan berdasarkan hasil pengamatan dari hidrograf satuan alami yang berasal dari sejumlah besar DAS yang ada di Jepang. Mungkin karena sungai di Jepang relatif pendek dengan kemiringan besar, time lag menjadi lebih kecil dan puncaknya relatif tajam. Metode Nakayasu menggunakan tahapan perhitungan sebagai berikut:

a. Data Karakteristik Fisik DAS

Dari peta DAS yang akan diAnalisis, dapat diperoleh beberapa elemen-elemen penting seperti Panjang Sungai (L) dan Luas DAS (A) yang dapat digunakan menentukan bentuk dari hidrograf satuan sintetik Nakayasu.

b. Time Lag dan Waktu Puncak ditentukan dari persamaan berikut

$$Tg = 0.5279 + 0.058 L; (L > 15 \text{ km}) \quad (11)$$

$$Tg = 0.21 L 0.7; (L < 15 \text{ km}) \quad (12)$$

$$Tp = Tg + 0.8 \text{ tr} \quad (13)$$

dimana:

Tp = peak time (jam)

Tg = time lag yaitu waktu terjadinya hujan sampai terjadinya debit puncak (jam)

Tr = satuan waktu curah hujan (jam)

L = panjang sungai

c. Debit Puncak untuk hujan efektif 1 mm pada daerah seluas $A \text{ km}^2$

Jika harga waktu puncak dan waktu dasar diketahui, maka debit puncak hidrograf satuan sintetis akibat tinggi hujan satu satun $Re=1$ mm yang jatuh selama durasi hujan satu satuan $Tr = 1$ jam, dapat dihitung sebagai berikut:

$$Qp = \frac{A \cdot Re}{3.6 (0.3 \times Tp + T_{0.3})} Qp = \frac{A \cdot Re}{3.6 (0.3 \times Tp + T_{0.3})} \quad (14)$$

dimana:

Qp = Debit puncak banjir (m^3/det)

Re = Hujan Efektif satuan (1 mm)

- T_p = waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir (jam)
 A = luas daerah pengaliran sampai outlet
 $T_{0,3}$ = Waktu penurunan debit, dari puncak sampai 30%
 $(T_{0,3} = \alpha T_g)$
 α = Parameter hidrograf, di mana:
 $\alpha = 2$ □ Pada daerah pengaliran biasa
 $\alpha = 1,5$ □ Pada bagian naik hidrograf lambat, dan turun cepat
 $\alpha = 3$ □ Pada bagian naik hidrograf cepat, turun lambat

d. Persamaan Bentuk Dasar Hidrograf Satuan

Bentuk Hidrograf Satuan Nakayasu terdiri dari empat segmen kurva yang dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut:

Pada waktu kurva naik: $0 < t < T_p$

$$Q_p = \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} Q(t) = \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2,4} \times Q_p$$

(15)

dimana:

$$\begin{aligned} Q(t) &= Limpasan sebelum mencari debit puncak (\text{m}^3) \\ t &= Waktu (\text{jam}) \end{aligned}$$

Pada waktu kurva turun:

Selang nilai t :

$$t \leq (T_p + T_{0,3}) t \leq (T_p + T_{0,3})$$

(16)

$$Q(t) = 0,3^{\frac{(t-T_p)}{T_{0,3}}} \times Q_p Q(t) = Q_p \times 0,3^{\frac{(t-T_p)}{T_{0,3}}} \quad (17)$$

Selang nilai:

$$(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}) \quad (18)$$

$$Q(t) = 0,3^{\frac{(t-T_p+0,5 T_{0,3})}{1,5 T_{0,3}}} \times Q_p Q(t) = Q_p \times 0,3^{\frac{(t-T_p+0,5 T_{0,3})}{1,5 T_{0,3}}} \quad (19)$$

Selang nilai:

$$t > (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}) > (T_p + T_{0,3} + 1,5 T_{0,3}) \quad (20)$$

$$Q(t) = 0,3^{\frac{(t-T_p+0,5 T_{0,3})}{2 T_{0,3}}} \times Q_p Q(t) = Q_p \times 0,3^{\frac{(t-T_p+0,5 T_{0,3})}{2 T_{0,3}}} \quad (21)$$

2.3. Pemodelan Genangan Banjir

Pemodelan genangan banjir pada penelitian ini menggunakan software HEC-RAS yang disimulasikan dalam model 2 Dimensi. Kemampuan permodelan HEC RAS 2D menggunakan sebuah skema solusi finite volume.

Langkah – langkah pemodelan aliran 2D:

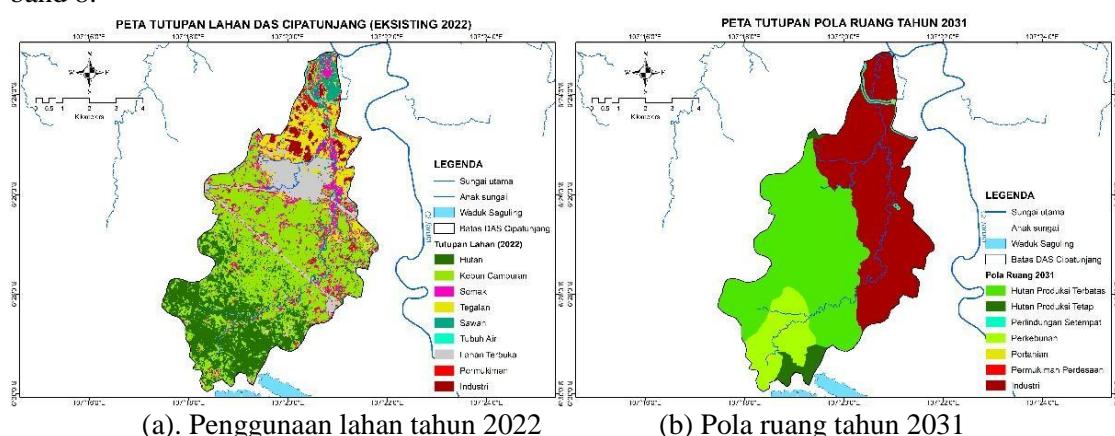
- 1) Penyiapan data terrain di Ras Mapper. Tujuannya untuk membuat image dan proyeksi dengan memasukkan data terrain di ras mapper, adapun yang dihasilkan adalah image yang sudah terproyeksi dengan daerah penelitian.
- 2) Penyiapan area aliran 2 dimensi. Tujuannya untuk membuat mesh dengan mendigitasi disekitar sungai membentuk poligon tertutup. Untuk menentukan ukuran Mesh di generate computation point on regular interval with all break line, apabila terjadi error hapus point yang error tersebut dengan remove point. Yang dihasilkan dari proses ini adalah mesh dengan jumlah cell bergantung dari ukuran grid yang akan dimasukkan.

- 3) Penyiapan boundary condition. Tujuannya untuk membuat batasan di hulu dan di hilir dalam simulasi dengan menggunakan SA/2D area BC line yang dihasilkan dari proses ini adalah upstream dan downstream.
- 4) Pemilihan skenario aliran. Tujuannya untuk menentukan skenario yang akan digunakan untuk simulasi. Terdapat 2 skenario aliran yang digunakan pada Software HECRAS yaitu steady flow dan aliran unsteady flow. Pada penelitian ini digunakan skenario unsteady flow (aliran tak permanen) dengan asumsi kemiringan saluran 0.1.
- 5) Pemasukan data unsteady berupa data debit banjir kala ulang
- 6) Proses running tujuannya untuk melakukan simulasi, adapun yang dihasilkan ada model genangan yang akan terjadi.
- 7) Perhitungan luas genangan dilakukan di arcgis dengan melakukan digitasi karena hecras untuk pemodelan 2D belum dapat melakukan perhitungan luas genangan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perubahan Pola Ruang

Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Ciampel, Karawang dimana berdasarkan RT-RW Kabupaten Karawang akan terdapat perubahan pola ruang yang cukup signifikan terhadap perubahan penggunaan lahan. Analisis dilakukan menggunakan peta tutupan lahan tanggal 27 September 2022 dengan sumber citra landsat 9 dan teknik teknik *supervised classification*. Pengolahan data citra satelit Landsat TM melalui teknik *Supervised Classification*, bertujuan untuk mengetahui pembagian klasifikasi kelas-kelas unsur atau tipe penutup lahan seperti; perkotaan, tubuh air, lahan basah, dll. sehingga melalui metode ini akan didapat bagaimana keadaan tipe-tipe penutup lahan yang terdapat pada wilayah yang bersangkutan (Sediyono et al. 2014). Peta tersebut dianalisis di arcgis dengan menggabungkan tiga band untuk membentuk warna asli (band:432). Kemudian dilakukan juga peningkatan resolusi menggunakan pankromatik band 8.



Gambar 1 (a) dan 1(b). Perbandingan penggunaan lahan tahun 2022 dengan pola ruang berdasarkan RTRW Kabupaten Karawang tahun 2031

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat bahwa terjadi perubahan penggunaan lahan yang cukup signifikan pada tahun 2031 terutama untuk wilayah kawasan industri yang ada di Karawang Timur. Perubahan lahan yang signifikan terdapat pada hutan, kebun campuran dan sawah. Ketiga tutupan lahan tersebut berubah menjadi industri. Analisis perubahan lahan dilakukan

menggunakan GIS dimana luasan pada tahun 2022 didapat dari hasil interpretasi citra kemudian dikonversi ke shp sehingga didapatkan luas lahan pada tahun 2022 dengan menggunakan shp tersebut. Kemudian untuk luas tahun 2031 didapatkan dari pola ruang RTRW Kabupaten Karawang dimana pada pola ruang tersebut memang sudah terdapat data luasan dalam bentuk shp. Berikut adalah rincian luasan yang diperkirakan akan berubah pada tahun 2031 yang ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perubahan luas penggunaan lahan

Penggunaan Lahan	Luas (km ²)	
	2022	2031
Kebun campuran	28.65	5.35
Pemukiman	2.01	0.00
Sawah	7.52	0.15
Industri	1.79	21.14

Tabel 6 memperlihatkan perubahan luasan berdasarkan penggunaan lahan. Perubahan tertinggi terdapat pada luas industri yaitu terjadi peningkatan hingga 1.081%, hal ini disebabkan oleh penataan kawasan industri yang akan berpusat di bagian timur, timur tenggara hingga selatan Kabupaten Karawang seperti yang ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Perubahan koefisien C

Tata Guna Lahan	Koefisien C	
	Tahun 2022	Tahun 2031
Kebun campuran	31.22	8.21
Pemukiman	2.43	0.00
Sawah	7.29	0.21
Industri	3.47	57.67
Nilai C	0.52	0.91

Perubahan penggunaan lahan tentunya sangat berpengaruh terhadap nilai koefisien C (koefisien limpasan). Koefisien limpasan permukaan diperoleh melalui proses tumpang tindih (*overlay*) pada aplikasi ArcGIS 10.4 terhadap peta kemiringan lereng (CS), peta tekstur tanah (CST), dan peta penggunaan lahan (CL) (Suyarto et al. 2022). Pada Tabel 7 dapat dilihat bahwa perbedaan nilai koefisien C cukup signifikan yaitu menjadi 0,91 pada tahun 2031. Koefisien C memiliki nilai diantara 0 sampai 1, semakin mendekati angka 1 artinya kondisi lahan tersebut semakin jenuh atau sudah sedikit memiliki daya serap terhadap air. Perubahan nilai C secara signifikan tentunya terjadi akibat adanya perubahan penggunaan lahan yang nantinya akan banyak berubah menjadi industri atau lahan terbangun. Dalam RTRW Kabupaten Karawang Tahun 2011-2031 rencana perluasan kawasan industri dari 1,79 km² pada tahun 2022 menjadi 21,14 km² pada tahun 2031. Hal ini tentunya akan berdampak pada perubahan lahan yang cukup signifikan mengingat akan banyak perubahan lahan terbuka menjadi lahan terbangun.

3.2. Debit banjir DAS Cipatunjang

Perhitungan debit banjir menggunakan metode HSS Nakayasu dimana diperlukan data luas DAS, panjang sungai serta koefisien pengaliran (C). Semua data didapatkan menggunakan software

GIS dimana luas DAS Cipatunjang yaitu 50,61 km² dengan panjang sungai utama 52,09 km. Contoh perhitungan menggunakan HSS Nakayasu adalah sebagai berikut:

Persamaan Bentuk Dasar Hidrograf Satuan

Pada waktu kurva naik : $0 < t < T_p$

$$Q_{(t)} = \left(\frac{t}{T_p}\right)^{2.4} \times Q_p$$

$$Q_{(3)} = \left(\frac{3}{4.79}\right)^{2.4} \times 1.51 Q_{(3)} = \left(\frac{3}{4.79}\right)^{2.4} \times 1.51$$

$$Q_{(3)} = 0.49 Q_{(3)} = 0.49 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Pada waktu kurva turun:

Selang nilai t: $t \leq (T_p + T_{0,3})$ $t \leq (T_p + T_{0,3})$

$$Q_{(t)} = 0.3^{\frac{(t-T_p)}{T_{0,3}}} \times Q_p$$

$$Q_{(5)} = 0.3^{\frac{(5-4.79)}{3.42}} \times 1.51$$

$$Q_{(5)} = 1.40 Q_{(5)} = 1.40 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Selang nilai: $(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1.5 T_{0,3})$

$$(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1.5 T_{0,3})$$

$$Q_{(t)} = 0.3^{\frac{(t-T_p+0.5 T_{0,3})}{1.5 T_{0,3}}} \times Q_p Q_{(t)} = 0.3^{\frac{(t-T_p+0.5 T_{0,3})}{1.5 T_{0,3}}} \times Q_p$$

$$Q_{(9)} = 0.3^{\frac{((9-4.79)+(0.5 \times 3.42))}{1.5 \times 3.42}} \times 1.51$$

$$Q_{(9)} = 0.38 Q_{(9)} = 0.38 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Selang nilai: $t > (T_p + T_{0,3} + 1.5 T_{0,3}) > (T_p + T_{0,3} + 1.5 T_{0,3})$

$$Q_{(t)} = 0.3^{\frac{(t-T_p+0.5 T_{0,3})}{2 T_{0,3}}} \times Q_p Q_{(t)} = 0.3^{\frac{(t-T_p+0.5 T_{0,3})}{2 T_{0,3}}} \times Q_p$$

$$Q_{(14)} = 0.3^{\frac{((14-4.79)+(0.5 \times 3.42))}{2 \times 3.42}} \times 1.51$$

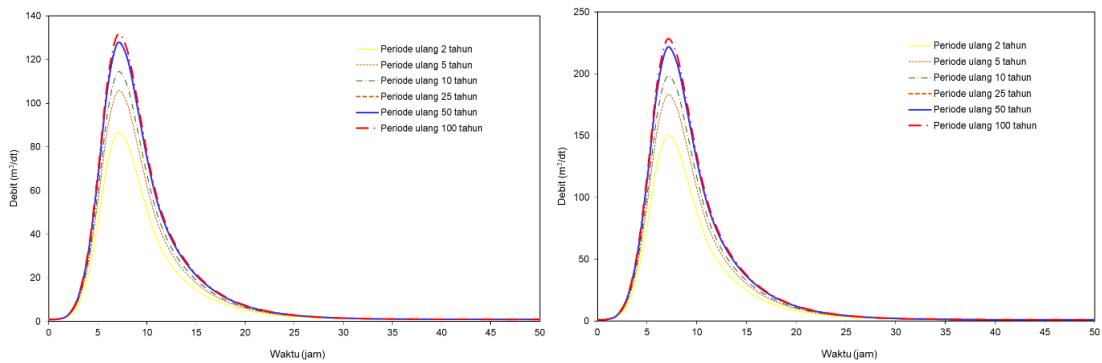
$$Q_{(14)} = 0.12 Q_{(14)} = 0.12 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Selanjutnya dihitung distribusi hujan efektif dan hidrograf banjir untuk setiap jam nya ditampilkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Distribusi hujan efektif

Jam ke	1	2	3	4	5	6
Distribusi Hujan	0.057	0.254	0.308	0.215	0.112	0.047
Hujan Basin	5.005	22.521	22.259	19.006	9.896	4.161
Faktor Horton	0.980	0.485	0.447	0.444	0.444	0.444
Hujan Efektif	4.025	22.036	26.811	18.562	9.451	3.716

Data hidrograf banjir merupakan akumulasi dari perhitungan debit setiap jamnya, dimana debit setiap jam dihitung berdasarkan hidrograf satuan yang telah dibuat sebelumnya. Perhitungan debit banjir DAS Cipatunjang dilakukan menggunakan metode Nakayasu untuk periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 hingga 100 tahun. Grafik hidrograf perubahan debit banjir dapat dilihat pada Gambar berikut.



(a). Debit banjir tahun 2022

(b). Debit banjir tahun 2031

Gambar 2(a) dan 2(b). Hidrograf debit banjir Sungai Cipatunjang

Tabel 9. Hidrograf debit banjir periode ulang 2 tahun (dengan koefisien C tahun 2022)

Waktu (Jam)	Hidrograf Satuan	Jam Ke -						Base Flow (m ³ /det)	Hidrograf Banjir m ³ /det
		1	2	3	4	5	6		
0	0.000	0.00						0.92	0.92
1	0.035	0.14	0.00					0.92	1.06
2	0.186	0.75	0.77	0.00				0.92	2.44
3	0.491	1.98	4.09	0.94	0.00			0.92	7.93
4	0.979	3.94	10.82	4.97	0.65	0.00		0.92	21.31
5	1.401	5.64	21.58	13.16	3.44	0.33	0.00	0.92	45.08
6	0.095	3.07	20.97	26.25	9.11	4.75	0.12	0.92	72.01
7	0.693	2.79	21.71	37.56	18.18	4.64	0.69	0.92	86.49
8	0.487	1.96	15.27	26.42	26.00	9.25	1.82	0.92	81.66
9	0.376	1.51	10.74	18.58	18.29	13.24	3.64	0.92	66.93
10	0.297	1.20	8.29	13.07	12.86	9.31	5.21	0.92	50.86
11	0.235	0.95	6.55	10.08	9.05	6.55	3.66	0.92	37.76
12	0.186	0.75	5.18	7.97	6.98	4.61	2.58	0.92	28.99
13	0.147	0.59	4.10	6.31	5.52	3.55	1.81	0.92	22.81
14	0.116	0.47	3.24	4.99	4.37	2.81	1.40	0.92	18.20
15	0.092	0.37	2.56	3.94	3.45	2.22	1.11	0.92	14.58
16	0.073	0.29	2.03	3.12	2.73	1.76	0.87	0.92	11.73
17	0.058	0.23	1.60	2.47	2.16	1.39	0.69	0.92	9.47
18	0.046	0.18	1.27	1.95	1.71	1.10	0.55	0.92	7.68
19	0.036	0.14	1.00	1.54	1.35	0.87	0.43	0.92	6.27
20	0.028	0.11	0.79	1.22	1.07	0.69	0.34	0.92	5.15
21	0.023	0.09	0.63	0.97	0.84	0.54	0.27	0.92	4.26
22	0.018	0.07	0.50	0.76	0.67	0.43	0.21	0.92	3.57
23	0.014	0.06	0.39	0.60	0.53	0.34	0.17	0.92	3.01
24	0.011	0.04	0.31	0.48	0.42	0.27	0.13	0.92	2.58
25	0.009	0.04	0.25	0.38	0.33	0.21	0.11	0.92	2.23
26	0.007	0.03	0.19	0.30	0.26	0.17	0.08	0.92	1.96
27	0.006	0.02	0.15	0.24	0.21	0.13	0.07	0.92	1.74
28	0.004	0.02	0.12	0.19	0.16	0.11	0.05	0.92	1.57
29	0.003	0.01	0.10	0.15	0.13	0.08	0.04	0.92	1.43
30	0.003	0.01	0.08	0.12	0.10	0.07	0.03	0.92	1.33
31	0.002	0.01	0.06	0.09	0.08	0.05	0.03	0.92	1.24
32	0.002	0.01	0.05	0.07	0.06	0.04	0.02	0.92	1.18
33	0.001	0.01	0.04	0.06	0.05	0.03	0.02	0.92	1.12
34	0.001	0.00	0.03	0.05	0.04	0.03	0.01	0.92	1.08
35	0.001	0.00	0.02	0.04	0.03	0.02	0.01	0.92	1.05
36	0.001	0.00	0.02	0.03	0.03	0.02	0.01	0.92	1.02
37	0.001	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.92	1.00
38	0.000	0.00	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.92	0.98
39	0.000	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.92	0.97
40	0.000	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.92	0.96

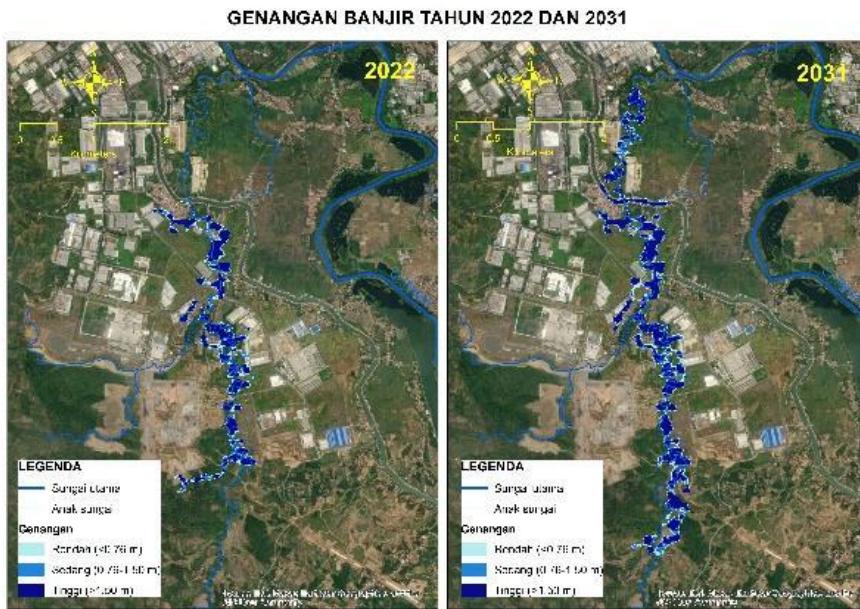
Tabel 10. Perbandingan debit 2022 dan 2031

Periode ulang T	Debit (m ³ /detik)	
	Tahun 2022	Tahun 2031
2	86.491	149.664
5	105.394	182.523
10	114.191	197.816
20	120.817	209.334
25	127.678	221.260
50	127.548	221.034
100	131.483	227.873

Hasil perhitungan debit banjir dapat dilihat pada Tabel 10, dimana terdapat perbedaan debit yang cukup signifikan antara tahun 2022 dengan 2031. Hal ini disebabkan perbedaan nilai koefisien C (impasan permukaan) yang mengalami perubahan yang cukup signifikan.

3.3. Perubahan Luas Area Genangan Banjir

Simulasi terhadap perubahan area genangan banjir dilakukan menggunakan *software HEC-GEO RAS* yang kemudian hasilnya akan di *export* ke *GIS* untuk mendapatkan perubahan luasan area genangan.



Gambar 3. Perubahan luas genangan area banjir

Berdasarkan hasil simulasi genangan banjir menggunakan *HEC-GEO RAS* didapatkan perubahan luasan area genangan banjir antara tahun 2022 dengan 2031. Luas area tergenang banjir untuk kedalaman kelas rendah pada tahun 2022 yaitu 17.68 km^2 sementara pada tahun 2031 terjadi peningkatan 27.30 km^2 . Simulasi dilakukan pada skenario tanpa pengelolaan banjir (kolam, tanggul, dan lainnya). Selain luas area, kedalaman banjir juga diklasifikasikan berdasarkan PERKA BPNPB No.2 Tahun 2012 tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana (BNPB 2012) seperti yang ditampilkan pada Tabel 11.

Tabel 11. klasifikasi genangan banjir

No	Kedalaman	Kelas	Luas (km^2)	
			2022	2031
1	$<= 0.76 \text{ m}$	Rendah	17.68	27.30
2	$>0.76 - 1.5 \text{ m}$	Sedang	16.35	27.34
3	$>1.5 \text{ m}$	Tinggi	44.84	80.41

Berdasarkan Tabel 11 terdapat perubahan area luasan genangan banjir pada tahun 2031. Penambahan luasan area banjir tersebut disebabkan oleh perubahan tata guna lahan dan penambahan debit di lokasi studi.

3.4. Risiko Banjir pada Sektor Industri

Bencana banjir dapat menimbulkan kerugian pada beberapa sektor salah satunya sektor produktif seperti kawasan industri (Bappenas 2007). Kerugian tersebut dapat diidentifikasi dengan memprediksi probabilitas dampak ataupun risiko dari banjir yang dapat mengganggu aktivitas industri salah satunya pada aktivitas *supply chain* sebagai rantai pasok proses hulu ke hilir (sampai ke konsumen akhir) (Rifai, Budy, and Subali 2022).

Penetapan risiko pada aktivitas *supply chain* terbagi menjadi 2 kategori yaitu:

1. Risiko gangguan (*disruptions*) yang disebabkan oleh alam atau manusia (salah satunya banjir), dan
2. Risiko Operasional merupakan risiko akibat ketidakpastian dari dalam rantai pasok.

Pada penelitian ini terdapat beberapa literatur yang digunakan untuk mengidentifikasi risiko banjir (*disruption*) yang telah terjadi pada industri yang ditampilkan pada Tabel 12:

Tabel 12. Risiko Banjir pada Sektor Industri

No	Risiko Banjir bagi Industri	[Penulis, Tahun]
1	Pembatasan kegiatan (Ketidakpastian distribusi, ketidakpastian akses jalan, ketidakpastian kapasitas, ketidakpastian permintaan, ketidakpastian waktu pengiriman, ketidakpastian teknologi, dan ketidakpastian kondisi)	(Khoiroh 2021); (Jayantara 2020); (Hamidah 2019); (Saraswati 2017); (Trihastuti 2008); (Handayani 2016)
2	Naiknya biaya distribusi	(Khoiroh 2021); (Jayantara 2020); (Handayani 2016)
3	Rusaknya fasilitas perusahaan (asset, saham, properti)	(Hidayat, Firdaus, and Lesmini 2017); (Jayantara 2020); (Saraswati 2017)
4	Pasokan utilitas terhambat	(Jayantara 2020); (Saraswati 2017)
5	Efek kesehatan	(Jayantara 2020)
6	Degradasi tanah	(Jayantara 2020)
7	Dibutuhkan waktu dan biaya dalam penanganan dampak banjir	(Jayantara 2020)

4. KESIMPULAN

Pemanfaatan sistem informasi geografis (*Geographic Information System*, GIS) dimanfaatkan pada penelitian ini untuk melihat perubahan pola ruang terhadap luas area banjir yang diamati di Kawasan Industri Karawang. Pada hasil pengamatan didapatkan hasil peningkatan penggunaan lahan pada tahun 2022 ke tahun 2031 dari 1.79 km^2 menjadi 21.14 km^2 . Dimana perubahan ini tertinggi pada penggunaan lahan pada sektor industri sebesar 1.081%. Peningkatan ini dipengaruhi oleh nilai koefisien C (koefisien limpasan) yang didapatkan sebesar 0.91 (mendekati nilai 1) yang artinya kondisi lahan semakin jenuh atau sudah sedikit memiliki daya serap terhadap air. Hasil interpretasi pada GIS juga memperlihatkan perubahan area genangan banjir banjir untuk kedalaman kelas rendah pada tahun 2022 yaitu 17.68 km^2 sementara pada tahun 2031 terjadi peningkatan 27.30 km^2 . Simulasi dilakukan pada skenario tanpa pengelolaan banjir (kolam, tanggul, dan lainnya). Sehingga hal ini akan memberikan pengaruh peningkatan genangan banjir yang akan mengganggu aktivitas rantai pasok pada aktivitas industri seperti: pembatasan

kegiatan, naiknya biaya distribusi, rusaknya fasilitas, pasokan utilitas terhambat, efek kesehatan, degradasi tanah, dan dibutuhkannya waktu serta biaya dalam penanganan pasca banjir.

DAFTAR PUSTAKA

- Bappenas. (2007). *Laporan Perkiraan Kerusakan Dan Kerugian Pasca Bencana Banjir Awal Februari 2007 Di Wilayah JABODETABEK*. Vol. 2007. Jakarta.
- BNPB. (2012). *Peraturan Kepala Badan Nasional Penanggulangan Bencana Tentang Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana*. Indonesia.
- Hamidah, Puput. (2019). Analisis Supply Chain Management Dalam Upaya Meningkatkan Produksi Pada PT PP London Sumatra Indonesia, TBK. UIN Sumatera Utara.
- Handayani, Dwi Iryanings. (2016). A Review: Potensi Risiko Pada Supply Chain Risk Management. *Spektrum Industri* 14(01):1–108. doi: 10.12928/si.v14i1.3701.
- Hidayat, Raden Didiet Rachmat; Muhammad Iqbal; Firdaus, and Lis Lesmini. (2017). Pengelolaan Gudang Logistik Kemanusiaan BNPB. *Jurnal Manajemen Industri Dan Logistik* 01(02):1–15.
- Jayantara, I. Gst Ngr Yoga. (2020). Implementasi QGIS Untuk Mengestimasi Kerugian Ekonomi Akibat Banjir Di Kabupaten Bandung. *Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan* 18(02):231–42.
- Khoiroh, Siti Muhimatul. (2021). Analisis Supply Chain Risk Management Industri Budidaya Lobster Air Tawar Dengan Pendekatan FMEA. *Operations Excellence Journal of Applied Industrial Engineering* 13(03):321–29. doi: 10.22441/oe.2021.v13.i3.030.
- Moechtar, Wisnu Pratama, and Lia Warlina. (2019). Identifikasi Alih Fungsi Lahan Dari Sektor Pertanian Ke Sektor Jasa Dan Perdagangan Kecamatan Teluk Jambe Timur, Kabupaten Karawang. *Jurnal Wilayah Dan Kota* 06(01):1–13. doi: 10.34010/jwk.v6i01.2451.
- Nurrizqi, Erstayudha Hayyu, and Suyono. (2012). Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Perubahan Debit Puncak Banjir Di Sub DAS Brantas Hulu. *Jurnal Bumi Indonesia* 1(3).
- Peraturan Daerah Kabupaten Karawang Nomor 3 Tahun 2013. n.d. *Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Karawang Tahun 2011 - 2031*.
- Pramono, Dwi Agung. (2020). Sistem Informasi Geografis Untuk Studi Perubahan Tutupan Lahan Vegetasi Dan Non-Vegetasi Di Desa Benhes. *Buletin Loupe* 16(01):54–59. doi: 10.5196/buletinloupe.v16i01.78.
- Rifai, Ahmad, Stefanus Budy, and Widjaja Subali. (2022). Strategi Pengendalian Risiko Supply Chain Perawatan Pesawat Udara Di Era Pandemi Covid-19. *Jurnal Manajemen Dan Kearifan Lokal Indonesia* 6(2):70–88. doi: 10.26805/jmkli.v6i2. 151.
- Saraswati, Adinda. (2017). Membangun Supply Chain Resilience Dengan Pendekatan Quality Function Deployment Pada PT Bimasco Cargo System. Institut Teknologi Sepuluh November.
- Sediyono, Eko, Universitas Kristen, Satya Wacana, Adi Setiawan, (2014). Analisis Pantauan Dan Klasifikasi Citra Digital Penginderaan Jauh Dengan Data Satelit Landasat TM Melalui Teknik Supervised Classification (Studi Kasus Kabupaten Minahasa Tenggara, Provinsi Sulawesi Utara). in *Prosiding Seminar Ilmiah Nasional Komputer dan Sistem Intelijen (KOMMIT 2014)*. Depok: Universitas Gunadarma.
- Singh, P. V. (1992). *Elementary Hydrology*. Prentice-Hall Englewood Cliffs.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*. Bandung: Nova.
- Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelaanjutan*. Yogyakarta: Andi.
- Suyarto, R., (2022). Analisis Spasial Koefisien Limpasan Permukaan Untuk Estimasi Luapan Banjir Di DAS Tukad Buleleng Provinsi Bali. *Jurnal Agroekoteknologi Tropika* 11(1):30–40.
- Trihastuti, Diar. (2008). Analisis Risiko Terhadap Rantai Supply Di PT X. Universitas Indonesia.