

## **Analisis Kerawanan Banjir sebagai Pendukung Perencanaan Model *Water Sensitive Urban Design* di Kabupaten Klaten**

**\*Desyta Ulfiana<sup>1</sup>, Yudi Eko Windarto<sup>2</sup>, Nurhadi Bashit<sup>3</sup>, Novia Sari Ristianti<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Kota Semarang

<sup>2</sup>Departemen Teknik Komputer, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Kota Semarang,

<sup>3</sup>Departemen Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Kota Semarang,

<sup>4</sup>Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Kota Semarang

<sup>\*</sup>[desytaulfiana@lecturer.undip.ac.id](mailto:desytaulfiana@lecturer.undip.ac.id)

Received: 28 Juli 2020 Revised: 5 Oktober 2020 Accepted: 9 Oktober 2020

### **Abstract**

*Klaten Regency is one of the regions that has a high level of flood vulnerability. The area of Klaten Regency which is huge and has diverse characteristics makes it difficult to determine an appropriate flood management model. Water Sensitive Urban Design (WSUD) is a model that focuses on handling water management problems with environmentally friendly infrastructure. Therefore, an analysis is carried out to determine the level of flood vulnerability and factors causing flooding to plan a WSUD design that is suitable for each sub-districts of Klaten Regency. The Analytical Hierarchy Process (AHP) and Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) methods are used to help the analysis. Aspects used as criteria are rainfall, slope, soil type, geological conditions, and land use. Based on the analysis, it could be concluded that Klaten Regency has two sub-districts with high flood hazard category, 21 sub-districts with medium category, and three sub-districts with low category. Bayat and Cawas are sub-districts that have a high level of flood vulnerability category. Meanwhile, Kemalang, Karangnongko and Polanharjo are districts with a low level of flood vulnerability category. The main factors causing flooding in Klaten Regency are slope and land use.*

**Keywords:** *Flood vulnerability, urban planning model, AHP TOPSIS method, flood factors*

### **Abstrak**

*Kabupaten Klaten merupakan salah satu daerah yang memiliki tingkat kerawanan tinggi terhadap bencana banjir. Wilayah Kabupaten Klaten yang sangat luas dan memiliki karakteristik yang beragam menyebabkan sulitnya menentukan model penanganan banjir yang sesuai. Water Sensitive Urban Design (WSUD) adalah model perencanaan wilayah yang menitikberatkan pada penanganan permasalahan air dengan konsep infrastruktur ramah lingkungan. Oleh karena itu, analisis tingkat kerawanan banjir dan penentuan faktor penyebab banjir dilakukan untuk merencanakan desain WSUD yang sesuai pada masing-masing kecamatan di Kabupaten Klaten. Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) dan Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) digunakan untuk membantu analisis tingkat kerawanan banjir ini. Aspek yang digunakan sebagai kriteria adalah curah hujan, kelerengan, jenis tanah, kondisi geologi, dan penggunaan lahan. Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa Kabupaten Klaten memiliki dua kecamatan dengan kategori tingkat kerawanan banjir tinggi, 21 kecamatan dengan kategori sedang, dan tiga kecamatan dengan kategori rendah. Kecamatan Bayat dan Cawas merupakan kecamatan yang memiliki kategori tingkat kerawanan banjir tinggi. Sedangkan Kemalang, Karangnongko dan Polanharjo merupakan kecamatan dengan kategori tingkat kerawanan banjir rendah. Faktor utama terjadinya banjir di Kabupaten Klaten adalah kelerengan dan penggunaan lahan.*

**Kata kunci:** *Kerawanan banjir, model perencanaan wilayah, metode AHP TOPSIS, faktor banjir*

## Pendahuluan

Indonesia merupakan negara yang memiliki dua jenis musim yaitu musim hujan dan musim kemarau. Perubahan iklim global menyebabkan perubahan karakteristik hujan pada negara dua musim yaitu berkurangnya jumlah hari hujan namun intensitas hujan meningkat. Perubahan karakteristik hujan ini tidak didukung dengan perubahan perencanaan infrastruktur dan manajemen siklus air. Hal ini menyebabkan meningkatnya potensi banjir di beberapa wilayah di Indonesia.

Berdasarkan laporan Kajian Risiko Bencana Jawa Tengah 2016-2020 yang diperoleh dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Jawa Tengah, Kabupaten Klaten merupakan salah satu daerah di Propinsi Jawa Tengah yang memiliki risiko tinggi terhadap bahaya banjir (BPBD Jawa Tengah, 2015). Kabupaten Klaten memiliki luas wilayah sebesar 65.556 ha dan terdiri dari 26 kecamatan yaitu Bayat, Cawas, Ceper, Delanggu, Gantiwarno, Jatinom, Jogonalan, Juwiring, Kalikotes, Karanganom, Karangdowo, Klaten Selatan, Karangngoko, Kebonarum, Kemalang, Klaten Tengah, Klaten Utara, Manisrenggo, Ngawen, Pedan, Polanharjo, Prambanan, Trucuk, Tulung, Wedi dan Wonosari seperti terlihat pada Gambar 1.



**Gambar 1. Peta pembagian wilayah kecamatan di Kabupaten Klaten**

Wilayah Kabupaten Klaten terdiri dari tiga dataran yaitu sebelah utara merupakan dataran lereng Gunung Merapi, sebelah timur membujur dataran rendah dan sebelah selatan merupakan dataran gunung kapur. Kondisi ini menyebabkan masing-masing kecamatan memiliki karakteristik wilayah yang berbeda-beda. Kondisi wilayah yang beraneka ragam ini menyebabkan sulitnya menentukan model penanganan banjir yang sesuai. Masing-masing wilayah akan memiliki penyebab banjir

yang berbeda-beda sehingga model penanganan banjir yang harus diterapkan akan berbeda pula.

Salah satu model perencanaan wilayah yang dapat digunakan untuk mengatasi masalah banjir adalah model *Water Sensitive Urban Design* (WSUD). WSUD merupakan salah satu bagian dari konsep pendekatan infrastruktur ramah lingkungan yang mengintegrasikan manajemen siklus hidrologi dengan lingkungan binaan melalui perencanaan dan perancangan perkotaan (Dannowski, 2004; Lokita, 2011; Sharma *et al.*, 2016). Tujuan dari WSUD adalah untuk meminimalisasi dampak negatif yang ditimbulkan oleh keberadaan air di permukaan tanah (Ahmed, 2017). Dasar dari konsep WSUD ini adalah keselarasan antara pembangunan perkotaan dengan kebutuhan air dan menitikberatkan pada manajemen keberlanjutan siklus hidrologi di kota (Beza *et al.*, 2019; Grant, 2016).

Berdasarkan hasil studi terdahulu, terdapat dua prinsip utama dalam penerapan WSUD (Morgan *et al.*, 2013). Prinsip pertama menyatakan bahwa semua elemen siklus hidrologi dan interkoneksinya harus terintegrasi untuk mencapai hasil yang mempertahankan lingkungan alami yang sehat sambil memenuhi kebutuhan manusia. Dalam hal ini termasuk kebutuhan dan pasokan air bersih, air limbah dan polusi, air hujan dan limpasannya, sumber air dan sumber daya air, serta alur air dan banjir. Prinsip yang kedua adalah pertimbangan manajemen siklus hidrologi dibuat sejak awal, dan selama proses perencanaan dan perancangan. Oleh karena itu, manajemen siklus hidrologi air berusaha memenuhi harapan dan aspirasi untuk desain perkotaan, seperti mempertimbangkan karakter, lingkungan, serta budaya lokal setempat, memaksimalkan rasio biaya-manfaat (B/C) dari infrastruktur dan bentuk bangunan, meningkatkan kualitas hidup masyarakat setempat, serta menjamin keamanan dan ketersediaan sumber daya air di masa depan.

Berdasarkan hasil penelitian yang pernah dilakukan, aspek fisik yang mempengaruhi perencanaan WSUD yaitu ketinggian dan kemiringan lahan, jenis tanah dan batuan, ketersediaan dan permintaan air, jaringan drainase, jenis tutupan atau tata guna lahan, serta kondisi hidroklimatologi (Carmon & Shamir, 2010; Rasheed, 2018). Kondisi hidroklimatologi yang dimaksud berupa besarnya curah hujan dan kondisi iklim berupa lama penyinaran, suhu dan kelembapan. Aspek fisik yang digunakan dalam perencanaan WSUD suatu wilayah sangat bergantung pada karakteristik wilayah dan tujuan penerapan WSUD di wilayah tersebut. Oleh karena itu, perlu pertimbangan ahli dalam menentukan

aspek fisik yang akan digunakan dalam perencanaan.

Dalam penelitian ini, WSUD dimanfaatkan sebagai model perencanaan penataan wilayah sebagai solusi permasalahan yang terjadi di Kabupaten Klaten. Model WSUD dapat mengintegrasikan keberanekaragaman karakteristik wilayah yang ada di Kabupaten Klaten. Oleh karena itu, aspek-aspek yang digunakan sebagai aspek perencanaan model WSUD harus disesuaikan dengan karakteristik wilayah Kabupaten Klaten. Aspek yang digunakan pada analisis ini berfokus pada lima aspek fisik wilayah Kabupaten Klaten yaitu kelerengan, penggunaan lahan, jenis tanah, kondisi geologi, dan curah hujan.

Dalam menerapkan model WSUD yang tepat untuk Kabupaten Klaten maka perlu dilakukan analisis untuk menentukan tingkat kerawanan banjir di masing-masing kecamatan. Analisis dilakukan dengan menentukan klasifikasi tingkat kerawanan banjir dari rendah hingga tinggi. Tingkat kerawanan banjir ini kemudian digunakan untuk menentukan prioritas penanganan banjir. Selain itu, perlu dilakukan analisa untuk menentukan faktor utama penyebab banjir di masing-masing kecamatan. Faktor penyebab banjir ini kemudian akan digunakan sebagai dasar perlakuan dan perencanaan model penanganan banjir di masing-masing kecamatan.

Analisis untuk menentukan tingkat kerawanan banjir pada suatu wilayah sulit untuk dilakukan. Hal ini disebabkan banyaknya aspek yang mempengaruhi terjadinya banjir pada suatu wilayah. Metode *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) merupakan salah satu alternatif metode pendekatan yang dapat digunakan untuk menyelesaikan suatu permasalahan dengan menetapkan rangking pada alternatif-alternatif berdasarkan beberapa kriteria (Kumar *et al.*, 2017). Beberapa metode MCDM yang banyak dikembangkan dan digunakan seperti *Anaytical Hierarchy Process* (AHP), *Analytical Network Process* (ANP), dan *Technique for Order Performance by Similarity to Ideal Solution* (TOPSIS) (Asadabadi, 2018; Kabir *et al.*, 2014; Mardani *et al.*, 2015).

Beberapa penelitian telah dilakukan dengan mengembangkan metode-metode MCDM yang tepat untuk menentukan tingkat kerawanan banjir suatu wilayah (de Brito *et al.*, 2018; Levy, 2005). Dandapat dan Panda (2017) menggunakan metode AHP untuk menentukan tingkat kerawanan dan resiko banjir di West Bengal, India. Sedangkan Yang *et al* (2013) menggunakan metode TOPSIS untuk menganalisis kerawanan banjir di Provinsi

Hainan, China. Beberapa penelitian juga menggunakan kombinasi dua metode untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, seperti Lee *et al* (2013) yang menggunakan metode Fuzzy TOPSIS dan Zou *et al* (2013) yang menggunakan metode Fuzzy AHP.

Dalam penelitian ini, untuk menentukan tingkat kerawanan banjir kecamatan di Kabupaten Klaten digunakan kombinasi antara metode AHP dan TOPSIS. Metode TOPSIS memiliki perhitungan non-linear hubungan antara bobot kepentingan dan jarak ke solusi ideal positif dan negatif, namun tidak memiliki perhitungan ketidakpastian konsistensi dalam penentuan bobot akhir kriteria (Jozaghi *et al.*, 2018). Metode AHP merupakan metode yang mengandalkan penilaian subjektifitas oleh ahli untuk menentukan nilai setiap kriteria dan alternatif (Vaidya & Kumar, 2006). Penilaian yang subjektif tersebut masih dapat digunakan dalam menentukan penilaian kriteria karena masih melalui tahap perhitungan rasio konsistensi. Namun, dalam menentukan penilaian alternatif penilaian yang subjektif kurang tepat untuk menentukan alternatif terbaik (Purnomo *et al.*, 2013). Oleh karena itu, metode AHP dan TOPSIS dikombinasikan untuk mengatasi kekurangan masing-masing metode dalam menentukan tingkat kerawanan banjir dalam penelitian ini.

Analisis tingkat kerawanan banjir menggunakan metode AHP dan TOPSIS ini memerlukan penilaian terhadap kriteria dan alternatif. Aspek-aspek yang mempengaruhi terjadinya banjir di Kabupaten Klaten dan juga mendukung perencanaan model WSUD yaitu, kelerengan, penggunaan lahan, jenis tanah, kondisi geologi, dan curah hujan merupakan variabel kriteria yang digunakan pada analisis ini. Sedangkan alternatif yang akan dihitung tingkat kerawanan banjirnya adalah kecamatan-kecamatan di Kabupaten Klaten.

Berdasarkan hasil analisis tingkat kerawanan banjir menggunakan metode AHP dan TOPSIS ini dapat ditentukan tingkat kerawanan banjir setiap kecamatan. Selain itu, dapat ditentukan pula faktor utama penyebab banjir pada kecamatan yang memiliki tingkat kerawanan tinggi. Tingkat kerawanan dan faktor penyebab banjir inilah yang nantinya akan digunakan untuk menentukan model perencanaan WSUD yang tepat pada masing-masing kecamatan.

## Metode

### Pengumpulan data

Data yang digunakan dalam studi ini adalah data sekunder, yaitu data aspek fisik yang akan

digunakan sebagai dasar analisis tingkat kerawanan banjir Kabupaten Klaten. Data kelerengan (K1), penggunaan lahan (K2), kondisi geologi (K3), dan jenis tanah (K5) merupakan data spasial yang diperoleh dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kabupaten Klaten. Data aspek fisik setiap kecamatan ditentukan berdasarkan data spasial tersebut.

Data curah hujan (K4) diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Staklim Semarang. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan 10 tahun dari tahun 2010 sampai dengan tahun 2019. Data curah hujan didapatkan dari tujuh stasiun hujan di Kabupaten Klaten yaitu Cokrotulung, Bawak, Karangnongko, Tegal Duwur, Karangdowo, Ngupit dan Ketandan. Metode poligon Thiessen digunakan untuk menentukan besarnya pengaruh stasiun hujan terhadap curah hujan setiap kecamatan. Peta pengaruh tujuh stasiun hujan pada setiap kecamatan di Kabupaten Klaten ditunjukkan pada Gambar 2.



**Gambar 2. Peta pengaruh tujuh stasiun hujan terhadap masing-masing kecamatan di kabupaten klaten menggunakan Metode Poligon Thiessen**

### Penilaian kriteria dan alternatif

Penilaian kriteria dilakukan dengan membagi masing-masing kriteria menjadi beberapa klasifikasi. Penentuan klasifikasi untuk masing-masing kriteria didapatkan berdasarkan studi-studi yang pernah dilakukan dan juga pendapat ahli. Penilaian kriteria kelerengan memiliki pedoman bahwa semakin landai suatu lahan maka potensi terjadinya banjir semakin besar. Klasifikasi tingkat kelerengan didasarkan pada Pedoman Penyusunan Pola Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah (1993) seperti terlihat pada Tabel 1.

Penilaian kriteria penggunaan lahan didasarkan pada pengaruh penggunaan lahan terhadap limpasan air hujan. Lahan yang memiliki kerapatan

vegetasi rendah, banyak tertutup bangunan ataupun material lain yang memiliki kemampuan meresapkan air yang rendah memiliki peluang besar terjadi banjir. Klasifikasi penggunaan lahan didasarkan pada Katalog Methodologi Penyusunan Peta Geo Hazard dengan GIS (Darmawan & Theml, 2008) seperti terlihat pada Tabel 2.

**Tabel 1. Penilaian kriteria kelerengan (K1)**

| Tingkat kelerengan | Nilai |
|--------------------|-------|
| 0-8%               | 1     |
| 8-15%              | 2     |
| 15-25%             | 3     |
| 25-45%             | 4     |
| >45%               | 5     |

**Tabel 2. Penilaian kriteria penggunaan lahan (K2)**

| Penggunaan lahan               | Nilai |
|--------------------------------|-------|
| Lahan terbangun, lahan terbuka | 1     |
| Sawah tadah hujan, tambak      | 2     |
| Lahan pertanian                | 3     |
| Semak                          | 4     |
| Hutan                          | 5     |

Penilaian kriteria geologi didasarkan pada pengaruh jenis batuan terhadap laju infiltrasi (Asghaf *et al.*, 2019). Semakin besar laju infiltrasi maka peluang terjadinya banjir akan semakin kecil. Klasifikasi jenis batuan yang digunakan dalam penelitian ini didasarkan pada data jenis batuan eksisting di Kabupaten Klaten yang diperoleh dari Bappeda Kabupaten Klaten seperti ditunjukkan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Penilaian kriteria geologi (K3)**

| Jenis batuan  | Nilai |
|---|-------|
| Endapan aluvium. batuan gunung Merapi                                       | 1     |
| Aluvium tua   | 2     |
| Batuan merapi tua, batuan gunungapi tua, formasi semilir, formasi kebobutak | 3     |
| Formasi gamping wungkal, formasi wonosari                                   | 4     |
| Batuan malihan, formasi mandalika, diorit pendul, dasit                     | 5     |

Penilaian kriteria curah hujan didasarkan pada pengaruh besarnya curah hujan terhadap limpasan air hujan permukaan. Semakin besar curah hujan maka limpasan air permukaan juga semakin besar, sehingga peluang terjadinya banjir akan semakin besar pula. Klasifikasi curah hujan didasarkan pada curah hujan harian maksimum dengan pembagian klasifikasi seperti terlihat pada Tabel 4.

Penilaian klasifikasi kriteria jenis tanah didasarkan pada besarnya kepekaan dan laju infiltrasi pada masing-masing jenis tanah (Asdak, 1995). Semakin

peka dan besar laju infiltrasi maka peluang terjadinya banjir akan semakin kecil. Klasifikasi jenis tanah pada penelitian ditentukan berdasarkan jenis tanah eksisting di Kabupaten Klaten yang diperoleh dari Bappeda Kabupaten Klaten seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

**Tabel 4. Penilaian kriteria curah hujan (K4)**

| Curah hujan rerata | Nilai |
|--------------------|-------|
| ≤5 mm/hari         | 1     |
| 5-20 mm/hari       | 2     |
| 21-50 mm/hari      | 3     |
| 51-100 mm/hari     | 4     |
| >100 mm/hari       | 5     |

**Tabel 5. Penilaian kriteria jenis tanah (K5)**

| Jenis tanah   | Nilai |
|---|-------|
| Regosol kelabu, kompleks latosol  | 1     |
| Regosol coklat kelabu, grumusol   | 2     |
| Komplek regosol coklat dan kelabu, kompleks litosol dan mediteran-latosol | 3     |
| Aluvial kelabu  | 4     |
| Rawa  | 5     |

Hasil penilaian pada setiap klasifikasi kriteria tersebut kemudian digunakan untuk menentukan nilai kinerja untuk masing-masing kriteria pada setiap kecamatan atau alternatif seperti terlihat pada Tabel 6. Penilaian kriteria pada setiap alternatif ini

**Tabel 6. Peringkat kinerja setiap alternatif**

| Kode | Kecamatan/alternatif | K1 | K2 | K3 | K4 | K5 |
|------|----------------------|----|----|----|----|----|
| A1   | Bayat                | 1  | 2  | 2  | 3  | 3  |
| A2   | Cawas                | 1  | 2  | 1  | 3  | 3  |
| A3   | Ceper                | 1  | 2  | 1  | 3  | 1  |
| A4   | Delanggu             | 1  | 2  | 2  | 3  | 1  |
| A5   | Gantiwarno           | 1  | 2  | 1  | 3  | 2  |
| A6   | Jatinom              | 1  | 2  | 1  | 3  | 1  |
| A7   | Jogonalan            | 1  | 2  | 1  | 3  | 2  |
| A8   | Juwiring             | 1  | 2  | 2  | 3  | 1  |
| A9   | Kalikotes            | 1  | 2  | 1  | 3  | 1  |
| A10  | Karanganom           | 1  | 2  | 1  | 4  | 1  |
| A11  | Karangdowo           | 1  | 2  | 2  | 3  | 2  |
| A12  | Karangnongko         | 1  | 3  | 1  | 3  | 1  |
| A13  | Kebonarum            | 1  | 2  | 1  | 3  | 1  |
| A14  | Kemalang             | 2  | 3  | 2  | 3  | 2  |
| A15  | Klaten Selatan       | 1  | 2  | 1  | 4  | 1  |
| A16  | Klaten Tengah        | 1  | 2  | 1  | 4  | 1  |
| A17  | Klaten Utara         | 1  | 2  | 1  | 4  | 1  |
| A18  | Manisrenggo          | 1  | 2  | 1  | 3  | 2  |
| A19  | Ngawen               | 1  | 2  | 1  | 4  | 1  |
| A20  | Pedan                | 1  | 2  | 2  | 3  | 1  |
| A21  | Polanharjo           | 1  | 3  | 1  | 3  | 1  |
| A22  | Prambanan            | 1  | 2  | 1  | 3  | 2  |
| A23  | Trucuk               | 1  | 2  | 1  | 3  | 2  |
| A24  | Tulung               | 1  | 2  | 1  | 3  | 1  |
| A25  | Wedi                 | 1  | 2  | 1  | 3  | 2  |
| A26  | Wonosari             | 1  | 2  | 2  | 3  | 1  |

kemudian digunakan sebagai dasar perhitungan pada implementasi metode TOPSIS.

### Metode AHP

Implementasi metode AHP dalam analisis tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Klaten terdiri dari tiga tahap yaitu membuat matriks perbandingan berpasangan, menghitung *total priority value* (TPV) dan melakukan uji konsistensi. Matriks perbandingan berpasangan digunakan untuk melihat perbandingan kepentingan antar kriteria. Perhitungan nilai TPV digunakan untuk mendapatkan besar nilai kepentingan masing-masing kriteria. Sedangkan uji konsistensi dilakukan untuk melihat apakah hasil perhitungan TPV yang didapatkan memenuhi persyaratan konsistensi. Pembuatan matriks perbandingan berpasangan ini dilakukan dengan menentukan skala kepentingan antara satu kriteria dibandingkan dengan kriteria lainnya sesuai tujuan analisis. Skala kepentingan perbandingan kriteria yang digunakan pada analisis ini diperoleh dari buku Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana (2012) dilihat pada Tabel 7. Matriks perbandingan berpasangan pada metode ini merupakan matriks resiprokal yaitu jika  $K_{ij} = a$ , maka  $K_{ji} = 1/a$  seperti pada Persamaan 1. Dimana  $K_{ij}$  adalah nilai skala kepentingan kriteria  $K_i$  dibandingkan dengan kriteria  $K_j$ .

**Tabel 7. Skala kepentingan perbandingan kriteria**

| Nilai | Definisi                                  |
|-------|---|
| 1     | Sama pentingnya dibanding yang lain       |
| 3     | Sedikit lebih penting dibanding yang lain |
| 5     | Lebih penting dibanding yang lain         |
| 7     | Sangat penting dibanding yang lain        |
| 9     | Mutlak pentingnya dibanding yang lain     |

$$K = \begin{bmatrix} 1 & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ 1/k_{12} & 1 & \dots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1/k_{1n} & 1/k_{2n} & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

Setelah mendapatkan matriks perbandingan berpasangan antar kriteria maka dilakukan normalisasi matriks dengan membagi setiap elemen setiap kolom dengan hasil penjumlahan kolom sehingga didapatkan matriks ternormalisasi seperti pada Persamaan 2

$$W = \begin{bmatrix} w_{11} & w_{12} & \dots & w_{1n} \\ w_{21} & w_{22} & \dots & w_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{m1} & w_{m2} & \dots & w_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Nilai TPV kriteria i ( $TPV_i$ ) didapatkan dengan menjumlahkan elemen setiap baris ( $w_{ij}$ ) dibagi dengan banyak elemen tiap baris (n) seperti pada Persamaan 3.

$$TPV_i = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}}{n} \quad (3)$$

Pengujian konsistensi dilakukan dengan menghitung rasio konsistensi (CR). Syarat rasio konsistensi yang dapat diterima adalah apabila nilai  $CR \leq 10\%$ . Apabila nilai rasio konsistensi tidak memenuhi syarat maka perlu dilakukan penilaian ulang terhadap matriks perbandingan berpasangan antar kriteria. Perhitungan nilai rasio konsistensi dapat dilihat pada Persamaan 4 berikut.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (4)$$

Dimana CI merupakan indeks konsistensi dan RI merupakan indeks random. Pada penelitian ini, ukuran matriks kriteria adalah lima sehingga nilai RI = 1,11 (Jozaghi *et al.*, 2018).

Nilai TPV setiap kriteria yang telah lolos uji konsistensi ini kemudian digunakan sebagai bobot kriteria pada implementasi metode TOPSIS.

### Metode TOPSIS

Implementasi metode TOPSIS pada analisis tingkat kerawanan banjir ini terdiri dari empat tahap

yaitu menentukan tipe kriteria, membuat matriks normalisasi terbobot, menentukan nilai solusi ideal, menghitung jarak antara alternatif dengan solusi ideal, dan menghitung nilai *closeness coefficient* ( $CC_i$ ).

Tipe kriteria dalam metode TOPSIS dibagi menjadi dua yaitu *cost* dan *benefit*. Penentuan tipe kriteria ini disesuaikan dengan penentuan nilai kategori pada setiap kriteria. Matriks normalisasi terbobot dibuat dengan melakukan normalisasi terhadap penilaian peringkat kinerja setiap alternatif dengan membagi elemen kolom dengan nilai pembagi (y) dan mengkalikan hasilnya dengan bobot kriteria yang didapatkan dari hasil perhitungan metode AHP. Nilai pembagi dihitung dengan Persamaan 5 berikut.

$$y = \sqrt{\sum_{j=1}^m x_{ij}^2} \quad (5)$$

Dimana  $x_{ij}$  adalah nilai peringkat kinerja alternatif i untuk kriteria j. Matriks ternormalisasi (R) dapat dihitung dengan Persamaan 6 dan 7 berikut.

$$R = [r_{ij}]_{m \times n} \quad (6)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{y} \quad (7)$$

Matriks normalisasi terbobot (V) dapat dihitung menggunakan Persamaan 8 dan 9 berikut.

$$V = [v_{ij}]_{m \times n} \quad (8)$$

$$v_{ij} = r_{ij}(\cdot)w_j \quad (9)$$

Dimana  $w_j$  adalah nilai bobot kriteria j.

Nilai solusi ideal terdiri dari solusi ideal positif ( $A^*$ ) dan solusi ideal negatif ( $A^-$ ). Solusi ideal positif dalam analisis merupakan kondisi dimana tingkat kerawanan banjir sangat tinggi sedangkan solusi ideal negatif adalah dimana tingkat kerawanan banjir sangat rendah. Nilai solusi ideal dapat dihitung menggunakan Persamaan 10 sampai dengan 13 berikut.

$$A^* = (v_1^*, v_2^*, \dots, v_n^*) \quad (10)$$

$$v_j^* = \begin{cases} \max_i v_{ij}, & \text{if } j = \text{benefit} \\ \min_i v_{ij}, & \text{if } j = \text{cost} \end{cases} \quad (11)$$

$$A^- = (v_1^-, v_2^-, \dots, v_n^-) \quad (12)$$

$$v_j^- = \begin{cases} \max_i v_{ij}, & \text{if } j = \text{cost} \\ \min_i v_{ij}, & \text{if } j = \text{benefit} \end{cases} \quad (13)$$

Dimana  $v_j^*$  adalah nilai elemen solusi ideal positif dan  $v_j^-$  adalah nilai elemen solusi ideal negatif.

Setelah didapatkan nilai solusi ideal, maka dapat dihitung jarak setiap alternatif terhadap solusi ideal positif ( $d_i^*$ ) dan solusi ideal negatif ( $d_i^-$ ) dengan Persamaan 14 dan 15 berikut.

$$d_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad (14)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (15)$$

Nilai jarak terhadap solusi ideal tersebut kemudian digunakan dalam perhitungan nilai  $CC_i$  seperti terlihat pada Persamaan 16.

$$CC_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^*} \quad (16)$$

Semakin besar nilai  $CC_i$  menunjukkan bahwa alternatif tersebut mendekati solusi ideal positif atau dalam penelitian ini berarti memiliki tingkat kerawanan banjir yang lebih tinggi dibandingkan alternatif lainnya. Dalam penelitian ini, nilai  $CC_i$  digunakan sebagai representasi tingkat kerawanan banjir yang diklasifikasikan dalam Tabel 8 berikut. Klasifikasi tingkat kerawanan banjir yang digunakan diperoleh dari buku Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana (2012)

**Tabel 8. Klasifikasi tingkat kerawanan banjir**

| Nilai $CC_i$  | Tingkat kerawanan |
|---------------|-------------------|
| 0,000 – 0,333 | Rendah            |
| 0,333 – 0,667 | Sedang            |
| 0,667 – 1,000 | Tinggi            |

## Hasil dan Pembahasan

### Implementasi metode AHP

Tahap pertama dalam implementasi metode AHP adalah membuat matriks perbandingan berpasangan. Dalam menentukan skala kepentingan lima kriteria yang telah ditetapkan, yaitu kelerengan, penggunaan lahan, kondisi geologi, curah hujan dan jenis tanah, digunakan pendapat ahli dari empat bidang ilmu yaitu ahli hidroteknik, ahli geodesi, ahli geologi dan ahli perencanaan

wilayah kota. Hal ini dilakukan untuk meningkatkan objektivitas dalam penilaian. Hasil penetapan skala kepentingan tersebut dapat dilihat pada Tabel 9.

Tahap kedua adalah tahap perhitungan TPV atau bobot kriteria yang akan digunakan dalam perhitungan metode TOPSIS. Matriks perbandingan berpasangan yang telah didapatkan kemudian dinormalisasi menggunakan Persamaan 2 dan dilakukan perhitungan TPV menggunakan Persamaan 3. Matriks normalisasi perbandingan berpasangan dapat dilihat pada Tabel 10. Berdasarkan hasil perhitungan, didapatkan bahwa K2 dan K4 memiliki nilai TPV terbesar yaitu 0,367. Sedangkan K1 dan K3 memiliki nilai TPV terkecil yaitu 0,046.

**Tabel 9. Matriks perbandingan berpasangan**

|        | K1    | K2   | K3    | K4   | K5   |
|--------|-------|------|-------|------|------|
| K1     | 1,00  | 0,14 | 1,00  | 0,14 | 0,20 |
| K2     | 7,00  | 1,00 | 7,00  | 1,00 | 3,00 |
| K3     | 1,00  | 0,14 | 1,00  | 0,14 | 0,20 |
| K4     | 7,00  | 1,00 | 7,00  | 1,00 | 3,00 |
| K5     | 5,00  | 0,33 | 5,00  | 0,33 | 1,00 |
| Jumlah | 21,00 | 2,62 | 21,00 | 2,62 | 7,40 |

Tahap terakhir dalam implementasi metode AHP ini adalah melakukan uji konsistensi. Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan Persamaan 4 didapatkan rasio konsistensi (CR) data tersebut adalah sebesar 2,14%. Hasil tersebut masih lebih kecil dari batas maksimum yaitu sebesar 10%. Berdasarkan hasil uji konsistensi, dapat disimpulkan bahwa hasil perhitungan nilai TPV pada Tabel 10 dapat digunakan sebagai bobot kriteria dalam analisis implementasi metode TOPSIS.

Berdasarkan hasil implementasi metode AHP, dapat disimpulkan bahwa penggunaan lahan (K2) dan curah hujan (K4) merupakan kriteria yang dinilai paling penting dalam menentukan tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Klaten. Sedangkan kelerengan (K1) dan kondisi geologi (K3) merupakan kriteria yang dinilai paling kurang penting dibandingkan kriteria lainnya dalam menentukan tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Klaten.

**Tabel 10. Matriks normalisasi perbandingan berpasangan**

|    | K1    | K2    | K3    | K4    | K5    | TPV   |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| K1 | 0,048 | 0,055 | 0,048 | 0,055 | 0,027 | 0,046 |
| K2 | 0,333 | 0,382 | 0,333 | 0,382 | 0,405 | 0,367 |
| K3 | 0,048 | 0,055 | 0,048 | 0,055 | 0,027 | 0,046 |
| K4 | 0,333 | 0,382 | 0,333 | 0,382 | 0,405 | 0,367 |
| K5 | 0,238 | 0,127 | 0,238 | 0,127 | 0,135 | 0,173 |



### Implementasi metode TOPSIS

Tahap pertama dalam implementasi metode TOPSIS pada analisis kerawanan tingkat banjir di Kabupaten Klaten ini adalah penentuan tipe kriteria. Kriteria dengan tipe *benefit* menunjukkan bahwa semakin besar nilainya maka kontribusi terhadap peluang terjadinya banjir semakin besar. Sedangkan tipe *cost* menunjukkan bahwa semakin besar nilainya maka kontribusi pada peluang terjadinya banjir semakin kecil. Penentuan kategori masing-masing kriteria dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 11.

**Tabel 11. Tipe kriteria**

| Kode | Kriteria         | Keterangan     |
|------|------------------|----------------|
| K1   | Kelerengan       | <i>Cost</i>    |
| K2   | Penggunaan lahan | <i>Cost</i>    |
| K3   | Geologi          | <i>Benefit</i> |
| K4   | Curah hujan      | <i>Benefit</i> |
| K5   | Jenis tanah      | <i>Benefit</i> |

**Tabel 12. Matriks normalisasi terbobot**

| Kode | K1    | K2    | K3    | K4    | K5    |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A1   | 0,009 | 0,067 | 0,013 | 0,067 | 0,064 |
| A2   | 0,009 | 0,067 | 0,007 | 0,067 | 0,064 |
| A3   | 0,009 | 0,067 | 0,007 | 0,067 | 0,021 |
| A4   | 0,009 | 0,067 | 0,013 | 0,067 | 0,021 |
| A5   | 0,009 | 0,067 | 0,007 | 0,067 | 0,043 |
| A6   | 0,009 | 0,067 | 0,007 | 0,067 | 0,021 |
| A7   | 0,009 | 0,067 | 0,007 | 0,067 | 0,043 |
| A8   | 0,009 | 0,067 | 0,013 | 0,067 | 0,021 |
| A9   | 0,009 | 0,067 | 0,007 | 0,067 | 0,021 |
| A10  | 0,009 | 0,067 | 0,007 | 0,090 | 0,021 |
| A11  | 0,009 | 0,067 | 0,013 | 0,067 | 0,043 |
| A12  | 0,009 | 0,101 | 0,007 | 0,067 | 0,021 |
| A13  | 0,009 | 0,067 | 0,007 | 0,067 | 0,021 |
| A14  | 0,017 | 0,101 | 0,013 | 0,067 | 0,043 |
| A15  | 0,009 | 0,067 | 0,007 | 0,090 | 0,021 |
| A16  | 0,009 | 0,067 | 0,007 | 0,090 | 0,021 |
| A17  | 0,009 | 0,067 | 0,007 | 0,090 | 0,021 |
| A18  | 0,009 | 0,067 | 0,007 | 0,067 | 0,043 |
| A19  | 0,009 | 0,067 | 0,007 | 0,090 | 0,021 |
| A20  | 0,009 | 0,067 | 0,013 | 0,067 | 0,021 |
| A21  | 0,009 | 0,101 | 0,007 | 0,067 | 0,021 |
| A22  | 0,009 | 0,067 | 0,007 | 0,067 | 0,043 |
| A23  | 0,009 | 0,067 | 0,007 | 0,067 | 0,043 |
| A24  | 0,009 | 0,067 | 0,007 | 0,067 | 0,021 |
| A25  | 0,009 | 0,067 | 0,007 | 0,067 | 0,043 |
| A26  | 0,009 | 0,067 | 0,013 | 0,067 | 0,021 |

**Tabel 13. Solusi ideal positif dan negatif**

|    | K1    | K2    | K3    | K4    | K5    |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| A* | 0,009 | 0,067 | 0,013 | 0,090 | 0,064 |
| A- | 0,017 | 0,101 | 0,007 | 0,067 | 0,021 |

Tahap kedua yaitu pembuatan matriks normalisasi terbobot. Matriks ini dibuat dengan melakukan normalisasi terhadap Tabel 6. Perhitungan matriks normalisasi terbobot menggunakan Persamaan 5 sampai dengan 9. Hasil perhitungan normalisasi matriks dapat dilihat pada Tabel 12.

Tahap ketiga adalah penentuan nilai solusi ideal positif ( $A^*$ ) dan solusi ideal negatif ( $A^-$ ). Penentuan nilai solusi ideal didasarkan pada kategori dari masing-masing kriteria. Nilai solusi ideal positif untuk suatu kriteria merupakan nilai maksimum jika kriteria merupakan *benefit* sedangkan nilai minimum jika kriteria merupakan *cost*. Sedangkan nilai solusi ideal negatif adalah maksimum jika kriteria merupakan *benefit* dan maksimum jika kriteria merupakan *cost*. Penentuan nilai solusi ideal positif dan negatif untuk lima kriteria di Kabupaten Klaten ini dapat dilihat pada Tabel 13.

**Tabel 14. Nilai jarak dan  $CC_i$  alternatif**

| Alternatif | $d^*$ | $d^-$ | $CC_i$ |
|------------|-------|-------|--------|
| A1         | 0,022 | 0,055 | 0,712  |
| A2         | 0,023 | 0,055 | 0,702  |
| A3         | 0,049 | 0,035 | 0,417  |
| A4         | 0,048 | 0,035 | 0,424  |
| A5         | 0,032 | 0,041 | 0,563  |
| A6         | 0,049 | 0,035 | 0,417  |
| A7         | 0,032 | 0,041 | 0,563  |
| A8         | 0,048 | 0,035 | 0,424  |
| A9         | 0,049 | 0,035 | 0,417  |
| A10        | 0,043 | 0,041 | 0,489  |
| A11        | 0,031 | 0,041 | 0,572  |
| A12        | 0,059 | 0,009 | 0,127  |
| A13        | 0,049 | 0,035 | 0,417  |
| A14        | 0,046 | 0,022 | 0,325  |
| A15        | 0,043 | 0,041 | 0,489  |
| A16        | 0,043 | 0,041 | 0,489  |
| A17        | 0,043 | 0,041 | 0,489  |
| A18        | 0,032 | 0,041 | 0,563  |
| A19        | 0,043 | 0,041 | 0,489  |
| A20        | 0,048 | 0,035 | 0,424  |
| A21        | 0,059 | 0,009 | 0,127  |
| A22        | 0,032 | 0,041 | 0,563  |
| A23        | 0,032 | 0,041 | 0,563  |
| A24        | 0,049 | 0,035 | 0,417  |
| A25        | 0,032 | 0,041 | 0,563  |
| A26        | 0,048 | 0,035 | 0,424  |

Tahap kelima adalah perhitungan nilai  $CC_i$ . Nilai  $CC_i$  hasil perhitungan menggunakan Persamaan 16 dapat dilihat pada Tabel 14. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, dapat dilihat bahwa alternatif A1 memiliki nilai  $CC_i$  tertinggi yaitu 0,712. Sedangkan A12 dan A21 memiliki nilai  $CC_i$  terendah yaitu 0,127. Berdasarkan hasil implementasi metode TOPSIS, dapat disimpulkan



bahwa Kecamatan Bayat (A1) merupakan alternatif yang paling mendekati solusi ideal positif atau memiliki tingkat kerawanan banjir paling tinggi. Sedangkan Kecamatan Karangnongko (A12) dan Kecamatan Polanharjo (A21) merupakan alternatif yang paling mendekati solusi ideal negatif atau memiliki tingkat kerawanan banjir paling rendah dibanding dengan kecamatan lainnya.

#### Analisis tingkat kerawanan banjir

Berdasarkan hasil implementasi metode AHP dan TOPSIS, ditentukan klasifikasi tingkat kerawanan banjir masing-masing kecamatan berdasarkan Tabel 9. Hasil klasifikasi tingkat kerawanan banjir masing-masing kecamatan di Kabupaten Klaten dapat dilihat pada Tabel 15.

**Tabel 15. Hasil analisis tingkat kerawanan banjir Kabupaten Klaten menggunakan metode AHP TOPSIS**

| Kecamatan    | CC <sub>i</sub> | No.urut | Tingkat |
|--------------|-----------------|---------|---------|
| Bayat        | 0,71            | 1       | tinggi  |
| Cawas        | 0,70            | 2       | tinggi  |
| Karangdowo   | 0,57            | 3       | sedang  |
| Gantiwarno   | 0,56            | 4       | sedang  |
| Jogonalan    | 0,56            | 5       | sedang  |
| Manisrenggo  | 0,56            | 6       | sedang  |
| Prambanan    | 0,56            | 7       | sedang  |
| Trucuk       | 0,56            | 8       | sedang  |
| Wedi         | 0,56            | 9       | sedang  |
| Karanganom   | 0,48            | 10      | sedang  |
| Klaten       | 0,48            | 11      | sedang  |
| Klaten       | 0,48            | 12      | sedang  |
| Klaten Utara | 0,48            | 13      | sedang  |
| Ngawen       | 0,48            | 14      | sedang  |
| Delanggu     | 0,42            | 15      | sedang  |
| Juwiring     | 0,42            | 16      | sedang  |
| Pedan        | 0,42            | 17      | sedang  |
| Wonosari     | 0,42            | 18      | sedang  |
| Ceper        | 0,41            | 19      | sedang  |
| Jatinom      | 0,41            | 20      | sedang  |
| Kalikotes    | 0,41            | 21      | sedang  |
| Kebonarum    | 0,41            | 22      | sedang  |
| Tulung       | 0,41            | 23      | sedang  |
| Kemalang     | 0,32            | 24      | rendah  |
| Karangnongk  | 0,12            | 25      | rendah  |
| Polanharjo   | 0,12            | 26      | rendah  |

Berdasarkan Tabel 15, dapat disimpulkan bahwa Kabupaten Klaten memiliki dua kecamatan dengan kategori tingkat kerawanan banjir tinggi, 21 kecamatan dengan kategori tingkat kerawanan banjir sedang, dan tiga kecamatan dengan kategori tingkat kerawanan banjir rendah. Kecamatan Bayat, dan Cawas merupakan kecamatan yang memiliki

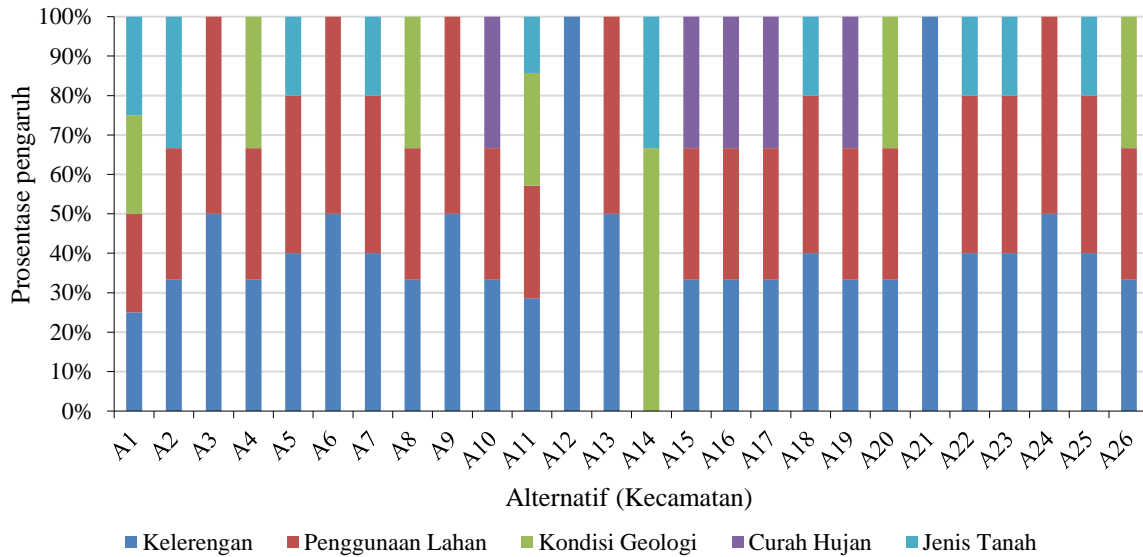
tingkat kerawanan banjir paling tinggi dibandingkan kecamatan lain di Kabupaten Klaten. Sedangkan Kecamatan Kemalang, Karangnongko dan Polanharjo merupakan kecamatan dengan tingkat kerawanan paling rendah dibandingkan kecamatan lain di Kabupaten Klaten. Berdasarkan hasil analisa, didapatkan bahwa menurut luasannya 11,26% wilayah Kabupaten Klaten merupakan wilayah dengan tingkat kerawanan banjir tinggi, 72,63% merupakan wilayah dengan tingkat kerawanan banjir sedang dan 16,10% merupakan wilayah dengan tingkat kerawanan banjir rendah.

#### Analisis faktor penyebab banjir

Untuk dapat merencanakan model WSUD yang tepat dalam mengatasi permasalahan banjir di Kabupaten Klaten maka dilakukan analisis faktor penyebab banjir. Berdasarkan hasil perhitungan jarak terhadap solusi ideal positif dan negatif masing-masing kriteria, dibuat grafik prosentase pengaruh kriteria terhadap tingkat kerawanan banjir masing-masing alternatif seperti terlihat pada Gambar 3. Grafik tersebut menunjukkan kriteria yang memberikan kontribusi terjadinya banjir di masing-masing kecamatan dan juga besar pengaruhnya, sehingga dapat ditentukan faktor penyebab utama terjadinya banjir di kecamatan tersebut.

Kecamatan Bayat yang memiliki tingkat kerawanan banjir tertinggi, memiliki empat faktor utama penyebab banjir yaitu kelerengan, penggunaan lahan, kondisi geologi, dan jenis tanah. Keempat faktor ini memberikan kontribusi yang sama besar dalam terjadinya banjir di Kecamatan Bayat. Sedangkan Kecamatan Cawas memiliki tiga kriteria yang memberikan kontribusi penyebab banjir yaitu kelerengan, penggunaan lahan, dan jenis tanah. Pada Kecamatan Cawas ketiga kriteria memberikan besar pengaruh yang sama pada peluang terjadinya banjir di kecamatan tersebut.

Berdasarkan grafik tersebut, dapat disimpulkan bahwa kriteria yang paling banyak mempengaruhi tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Klaten adalah kelerengan dan penggunaan lahan. Kelerengan merupakan faktor penyebab banjir pada 25 dari 26 kecamatan. Sedangkan penggunaan lahan merupakan faktor penyebab banjir pada 23 dari 26 kecamatan. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian identifikasi zona rawan banjir di DAS Dengkeng yang dilakukan oleh Aji N. *et al* (2014) dimana sebagian besar wilayah DAS Dengkeng merupakan wilayah Kabupaten Klaten. Penelitian tersebut mendapatkan bahwa kriteria yang memberikan kontribusi besar terjadinya banjir di DAS Dengkeng adalah kelerengan.



Gambar 3. Grafik prosentase pengaruh kriteria terhadap tingkat kerawanan banjir masing-masing alternatif

## Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis skala kepentingan kriteria, dapat disimpulkan bahwa penggunaan lahan (K2) dan curah hujan (K4) merupakan kriteria yang dinilai paling penting dalam menentukan tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Klaten. Sedangkan kelerengan (K1) dan kondisi geologi (K3) merupakan kriteria yang dinilai paling kurang penting dibandingkan kriteria lainnya dalam menentukan tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Klaten.

Berdasarkan hasil analisis tingkat kerawanan banjir dapat disimpulkan bahwa Kabupaten Klaten memiliki dua kecamatan dengan kategori tingkat kerawanan banjir tinggi, 21 kecamatan dengan kategori tingkat kerawanan banjir sedang, dan tiga kecamatan dengan kategori tingkat kerawanan banjir rendah. Kecamatan Bayat dan Cawas merupakan kecamatan yang memiliki kategori tingkat kerawanan tinggi. Sedangkan Kecamatan Kemalang, Karangnongko dan Polanharjo merupakan kecamatan dengan kategori tingkat kerawanan rendah. Kriteria yang paling banyak mempengaruhi tingkat kerawanan banjir atau dapat dikatakan sebagai penyebab utama terjadinya banjir di Kabupaten Klaten adalah kelerengan dan penggunaan lahan.

## Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat Universitas Diponegoro (LPPM-Undip) atas pemberian dana hibah melalui skema Riset Pengembangan dan Penerapan (RPP) Tahun

2020. Penulis juga menyampaikan terima kasih kepada Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kabupaten Klaten, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (DPUPR) Kabupaten Klaten, dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Staklim Semarang atas kerjasamanya dan dukungannya.

## Daftar Pustaka

- Ahammed, F. (2017). A review of water-sensitive urban design technologies and practices for sustainable stormwater management. *Sustainable Water Resources Management*, 3(3), 269–282.
- Aji, M. D. N., Sudarsono, B., & Sasmito, B. (2014). Identifikasi zona rawan banjir menggunakan sistem informasi geografis (studi kasus: sub DAS Dengkeng). *Jurnal Geodesi Undip*, 3(1), 36-50.
- Asadabadi, M. R. (2018). The stratified multi-criteria decision-making method. *Knowledge-Based Systems*, 162, 115–123.
- Asdak, C. (1995). *Hidrologi dan pengelolaan DAS*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- Asghaf, N. M. A., Alam, B. Y. C., & Hendarmawan, H. (2019). *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 10(2). 27-39.
- Beza, B. B., Zeunert, J., & Hanson, F. (2019). The role of WSUD in contributing to sustainable urban settings. In *approaches to water sensitive urban design* (pp. 367–380). Woodhead Publishing.
- BNPB, (2012). *Peraturan Kepala Badan Nasional*

*Penanggulangan Bencana No. 02 tentang pedoman umum pengkajian risiko bencana.* Jakarta: BNPB.

Carmon, N., & Shamir, U. (2010). Water-sensitive planning: integrating water considerations into urban and regional planning. *Water and Environment Journal*, 24(3), 181–191.

Dandapat, K., & Panda, G. K. (2017). Flood vulnerability analysis and risk assessment using analytical hierarchy process. *Modeling Earth Systems and Environment*, 3(4), 1627–1646.

Dannowski, R. (2004). Handbook of water sensitive planning and design. *Journal of Environmental Quality*, 33(1), 409–410.

Darmawan, M., & Theml, S. (2008). *Katalog metodologi penyusunan peta geo hazard dengan GIS.* Banda Aceh: Badan Rehabilitasi dan Rekonstruksi (BRR) NAD-Nias.

de Brito, M. M., Evers, M., & Almoradie, A. D. S. (2018). Participatory flood vulnerability assessment: a multi-criteria approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(1), 373–390.

Ditjen RRL. (1993). *Pedoman penyusunan pola rehabilitasi lahan dan konversi tanah daerah aliran sungai.* Jakarta: Departemen Kehutanan.

Grant, G. (2016). *The water sensitive city.* United Kingdom: John Wiley & Sons.

Jozaghi, A., Alizadeh, B., Hatami, M., Flood, I., Khorrami, M., Khodaei, N., & Ghasemi Tousi, E. (2018). A comparative study of the AHP and TOPSIS techniques for dam site selection using GIS: a case study of Sistan and Baluchestan Province, Iran. *Geosciences*, 8(12), 494.

Kabir, G., Sadiq, R., & Tesfamariam, S. (2014). A review of multi-criteria decision-making methods for infrastructure management. *Structure and Infrastructure Engineering*, 10(9), 1176–1210.

Kumar, A., Sah, B., Singh, A. R., Deng, Y., He, X., Kumar, P., & Bansal, R. C. (2017). A review of multi criteria decision making (MCDM) towards sustainable renewable energy development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 69, 596–609.

Lee, G., Jun, K. S., & Chung, E.-S. (2013). Integrated multi-criteria flood vulnerability approach using fuzzy TOPSIS and Delphi technique. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(5), 1293–1312.

Levy, J. K. (2005). Multiple criteria decision making and decision support systems for flood risk management. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 19(6), 438–447.

Lokita, A. D. (2011). Adaptasi konsep water sensitive urban design (WSUD) di Kawasan Cagar Budaya Kota Lama Semarang. *Jurnal Perencanaan Wilayah Dan Kota*, 22(1), 65–80.

Mardani, A., Jusoh, A., Nor, K., Khalifah, Z., Zakwan, N., & Valipour, A. (2015). Multiple criteria decision-making techniques and their applications—a review of the literature from 2000 to 2014. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 28(1), 516–571.

Morgan, C., Bevington, C., Levin, D., Robinson, P., Davis, P., Abbott, J., & Simkins, P. (2013). *Water Sensitive Urban Design in the UK - Ideas for Built Environment Practitioners.* CIRIA.

Rasheed, A. M. (2018). Adaptation of Water Sensitive Urban Design to Climate Change, *PhD Thesis*, Queensland: University of Technology Australia.

Purnomo, E. N. S., Widya Sihwi, S., & Anggrainingsih, R. (2013). Analisis perbandingan menggunakan metode AHP, TOPSIS, dan AHP-TOPSIS dalam studi kasus sistem pendukung keputusan penerimaan siswa program akselerasi. *Jurnal Teknologi & Informasi ITSmart*, 2(1), 16.

Sharma, A., Pezzaniti, D., Myers, B., Cook, S., Tjandraatmadja, G., Chacko, P., & Walton, A. (2016). Water sensitive urban design: an investigation of current systems, implementation drivers, community perceptions and potential to supplement urban water services. *Water*, 8(7), 272.

Vaidya, O. S., & Kumar, S. (2006). Analytic hierarchy process: An overview of applications. *European Journal of Operational Research*, 169(1), 1–29.

Yang, X. L., Ding, J. hua, & Hou, H. (2013). Application of a triangular fuzzy AHP approach for flood risk evaluation and response measures analysis. *Natural Hazards*, 68, 657–674.

Zou, Q., Zhou, J., Zhou, C., Song, L., & Guo, J. (2013). Comprehensive flood risk assessment based on set pair analysis-variable fuzzy sets model and fuzzy AHP. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27(2), 525–546.