

Mitigasi bencana banjir melalui normalisasi Daerah Aliran Sungai Beringin dan pemanfaatan *flood early warning system* di Kelurahan Mangkang Wetan

Flood disaster mitigation by Beringin River Basin normalization and the usage of flood early warning system in Mangkang Wetan Sub-District

L W Lestari¹, N D M A Qibthia¹, I C Nugraha², M Qibtiyah¹, dan S Shafira¹

¹Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro, Semarang, Indonesia

²Sekolah Arsitektur, Perencanaan dan Pengembangan Kebijakan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

Corresponding author's email: indra.cahyanugraha@gmail.com

Abstrak. Mitigasi bencana merupakan upaya meminimalkan korban jiwa dan harta benda mulai dari pencegahan, kesiapsiagaan hingga pengurangan kerentanan. Normalisasi sungai dan Flood Early Warning System (FEWS) adalah bentuk mitigasi bencana struktural dan nonstruktural yang dilakukan dalam menghadapi bencana banjir. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi permasalahan penyebab banjir dan menganalisis bentuk mitigasi bencana banjir yang dilakukan di Kelurahan Mangkang Wetan berupa normalisasi sungai dan FEWS. Metode yang digunakan adalah analisis komparatif penanganan banjir di wilayah yang sudah melakukan praktik baik dengan kemungkinan aplikasinya di Kelurahan Mangkang Wetan untuk memberikan rekomendasi dalam peningkatan mitigasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa masih ada masyarakat yang tinggal di kawasan sangat rawan bencana, namun perangkat keras FEWS yang dapat memperkuat mitigasi justru kurang terawat. Di samping itu sudah terlihat upaya tata kelola kolaboratif dari pemerintah, NGO, dunia usaha, dan masyarakat Kelurahan Mangkang Wetan.

Kata Kunci: Mitigasi Banjir; Modal Sosial; Resiliensi

Abstract. Disaster mitigation is an effort to minimize loss of life and property starting from prevention, and preparedness to reducing vulnerability. River normalization and Flood Early Warning System (FEWS) are forms of structural and non-structural disaster mitigation carried out in dealing with floods. This research aimed to identify problems that cause flooding and analyze forms of flood disaster mitigation carried out in Mangkang Wetan Village in the form of river normalization and FEWS. Using comparative analysis of flood management in areas that have already implemented good practices with the possibility of application in Mangkang Wetan Village, findings led to recommendations for improving mitigation. The research results showed that people were living in highly disaster-prone areas, but the FEWS hardware, which can strengthen mitigation, was poorly maintained. On the brighter side, collaborative governance efforts were seen from the government, NGOs, the private sectors, and the community towards a more resilient community of Mangkang Wetan Sub-District.

Keywords: Flood Mitigation; Resilience; Social Capital

1. Pendahuluan

Mitigasi bencana adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana [1]. Mitigasi merupakan bagian dari manajemen risiko bencana yang dapat dilakukan dengan menetapkan langkah-langkah strategis untuk mengurangi kerentanan sehingga akan mengurangi dampak dari bencana [2], mitigasi yang efektif dapat menyelamatkan nyawa manusia, meminimalkan kerusakan lingkungan, dan menghindari kerugian ekonomi [3]. Menurut Yoon [4], mitigasi bencana dilakukan terutama untuk masyarakat yang rentan terhadap kejadian bencana dan bertujuan untuk meningkatkan ketahanan dan ketangguhan dari komunitas. Ketahanan adalah kapasitas utama masyarakat untuk bertahan dan pulih dari ancaman bencana. Sementara ketangguhan menurut Norris et al [5] berkaitan dengan hubungan antara situasi lingkungan yang mewakili kapasitas individu atau masyarakat dalam menghadapi ancaman eksternal sebagai konsekuensi dari perubahan sosial, politik dan ekologi. Dengan demikian, individu mampu beradaptasi dan memiliki kesiapan jika terjadi bencana yang mengancam kelangsungan hidup mereka.

Mitigasi bencana dapat dilakukan dengan cara struktural dan non struktural [6]. Mitigasi struktural dilakukan berdasarkan dimensi mitigasi secara mekanik, sementara mitigasi non struktural meliputi dimensi pengetahuan, nilai, mekanisme pengambilan keputusan, dan solidaritas kelompok [7]. Contoh mitigasi struktural dapat berupa pembangunan fisik, relokasi struktural, jaringan shelter, konstruksi penghalang, defleksi, atau sistem retensi dalam infrastruktur. Selanjutnya, contoh mitigasi non struktural dapat berupa pemetaan daerah rawan bencana, deteksi dini, simulasi evakuasi, pembentukan kelompok masyarakat, penyusunan kebijakan dan standar prosedur operasi penanggulangan bencana. Pendekatan mitigasi non struktural sering terlihat sebagai mekanisme di mana “manusia beradaptasi dengan alam”.

Normalisasi sungai dan *Flood Early Warning System* (FEWS) merupakan bentuk mitigasi bencana struktural dan non struktural yang dilakukan dalam menghadapi bencana banjir. Normalisasi sungai adalah upaya menciptakan kondisi sungai dengan lebar dan kedalaman tertentu sehingga mampu mengalirkan air untuk menghindari luapan dari sungai tersebut [8]. Menurut Jannah & Itratip [8] kegiatan normalisasi sungai penting dilakukan dari hulu hingga ke hilir dengan maksud meningkatkan kapasitas sungai dalam menampung dan mengalirkan air ke laut. Beberapa kegiatan dalam normalisasi sungai antara lain: pembersihan endapan lumpur dan memperdalamnya, pembuatan sodetan, pelurusan, pembangunan tanggul sisi, dan pembetonan tebing.

Sementara FEWS menurut NOAA [9] merupakan sistem mitigasi bencana non struktural untuk peringatan dini bencana banjir yang terdiri dari empat elemen yang saling terkait, yaitu: 1) penilaian dan pengetahuan tentang risiko banjir di daerah tersebut; 2) pemantauan bahaya lokal (perkiraan) dan layanan peringatan; 3) layanan sosialisasi dan penyebaran risiko banjir; dan 4) respons kemampuan masyarakat. Sistem multifungsi ini meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat dalam hal peringatan maupun peningkatan pemahaman tentang risiko serta respons banjir yang tepat untuk meminimalkan ancaman keamanan dan infrastruktur. Sebagai bagian dari peringatan, sistem memberikan prediksi skala, waktu, lokasi, dan kemungkinan kerusakan dari banjir yang akan datang. Sebuah FEWS biasanya didasarkan pada sejumlah kode warna untuk tingkat peringatan, yang menunjukkan risiko mengenai tingkat peringatan (misalnya, sedang, tinggi, berat). Sistem ini menggunakan data dari sensor untuk mengukur ketinggian air di titik-titik strategis di daerah aliran sungai atau pertahanan banjir (tanggul, bendungan) untuk memperkirakan potensi kejadian banjir.

Kelurahan Mangkang Wetan adalah salah satu kelurahan di Kecamatan Tugu, Kota Semarang yang memiliki karakteristik kawasan pesisir berupa dataran rendah dengan kemiringan 0-2%. Letak wilayah yang berbatasan langsung dengan pantai dan posisi tanah yang rendah tidak dapat dipisahkan dari potensi kebencanaan terutama bencana erosi pantai dan banjir, baik itu berupa banjir limpasan/genangan, banjir bandang, dan banjir rob [10]. Pemerintah Kota Semarang telah melakukan beberapa mitigasi baik struktural maupun non struktural di Kelurahan Mangkang Wetan. Mitigasi struktural dilakukan melalui normalisasi sungai dan pembangunan tanggul sungai untuk mengurangi risiko banjir [11]. Sementara, mitigasi nonstruktural dilakukan melalui implementasi kebijakan penggunaan lahan [12], dan menerapkan program percontohan FEWS bekerja sama dengan Asian Cities Climate Change Resilient Network (ACCCRN) Indonesia pasca bencana banjir bandang di DAS Beringin tahun 2010 [13].

Mitigasi bencana yang dilakukan oleh Pemerintah Kota Semarang khususnya di Kelurahan Mangkang Wetan cukup berhasil membangun kesadaran warga untuk lebih siap menghadapi bencana banjir [13]. Meskipun program normalisasi sungai belum selesai, namun implementasi FEWS telah meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat melalui peran penting komunitas masyarakat (Kelurahan Sadar Bencana) sebagai kunci dalam mekanisme peringatan dini [14]. Mandala dan Koesyanto [14] dalam penelitiannya menunjukkan bahwa

peningkatan kesiapsiagaan masyarakat tampak pada: 1) perubahan sistem peringatan dini yang semula hanya secara tradisional kemudian dilengkapi dengan sistem berbasis teknologi; 2) perubahan penggunaan alat peringatan dini yang semula hanya kentungan, tiang, dan pengeras suara masjid menjadi berbasis aplikasi yang menampilkan kondisi sungai dengan video kamera 360°, kecepatan arus, kecepatan angin, dan debit air; 3) perubahan mekanisme peringatan dini yang semula bersifat spontanitas menjadi mekanisme yang jelas di setiap level dengan kesepakatan bersama. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan teknologi telah memberikan input deteksi banjir yang terukur dan jelas untuk kemudian disampaikan kepada masyarakat melalui jaringan komunikasi yang lebih efektif. Namun demikian, peningkatan jumlah dan derajat kejadian cuaca ekstrim, seperti banjir saat ini menjadikan upaya mitigasi bencana perlu terus dievaluasi untuk mengetahui titik lemah dan peluang perbaikan dalam menghadapi bencana banjir dan meningkatkan adaptasi terhadap perubahan iklim. Oleh karena itu, melalui pengumpulan data sekunder, wawancara, dan pengamatan langsung di lapangan, dilakukan analisis terhadap upaya mitigasi bencana banjir yang telah dilaksanakan di Kelurahan Mangkang Wetan.

2. Metode

Penelitian ini dilakukan menggunakan metode deskriptif kualitatif dari data primer dan data sekunder lalu dianalisis secara komparatif dengan kasus yang dilakukan di wilayah lain untuk kemudian disintesis dan disimpulkan apakah praktik-praktik yang dilakukan di wilayah lain tersebut aplikatif di Kelurahan Mangkang Wetan, Semarang. Hasil dari proses tersebut lalu dirumuskan menjadi rekomendasi bagi pemerintah dan masyarakat dalam hal mitigasi bencana banjir.

2.1. Sumber data

Metode pengumpulan data yang dilakukan adalah penggabungan data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan, yaitu:

- a. Observasi lapangan di Kelurahan Mangkang Wetan pada tanggal 24 Mei 2022.
- b. Wawancara dengan warga masyarakat, petugas Kelurahan Siaga Bencana (KSB), aparat kelurahan, NGO Inisiatif Kota Untuk Perubahan Iklim (IKUPI), dan BPBD Kota Semarang dengan metode *purposive sampling*

Data sekunder yang digunakan adalah:

- a. Artikel jurnal yang relevan.
- b. Dokumen resmi pemerintah (Undang-Undang dan peraturan daerah).
- c. Artikel berita.

2.2. Metode analisis

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif kualitatif dan analisis komparatif. Metode deskriptif kualitatif digunakan untuk:

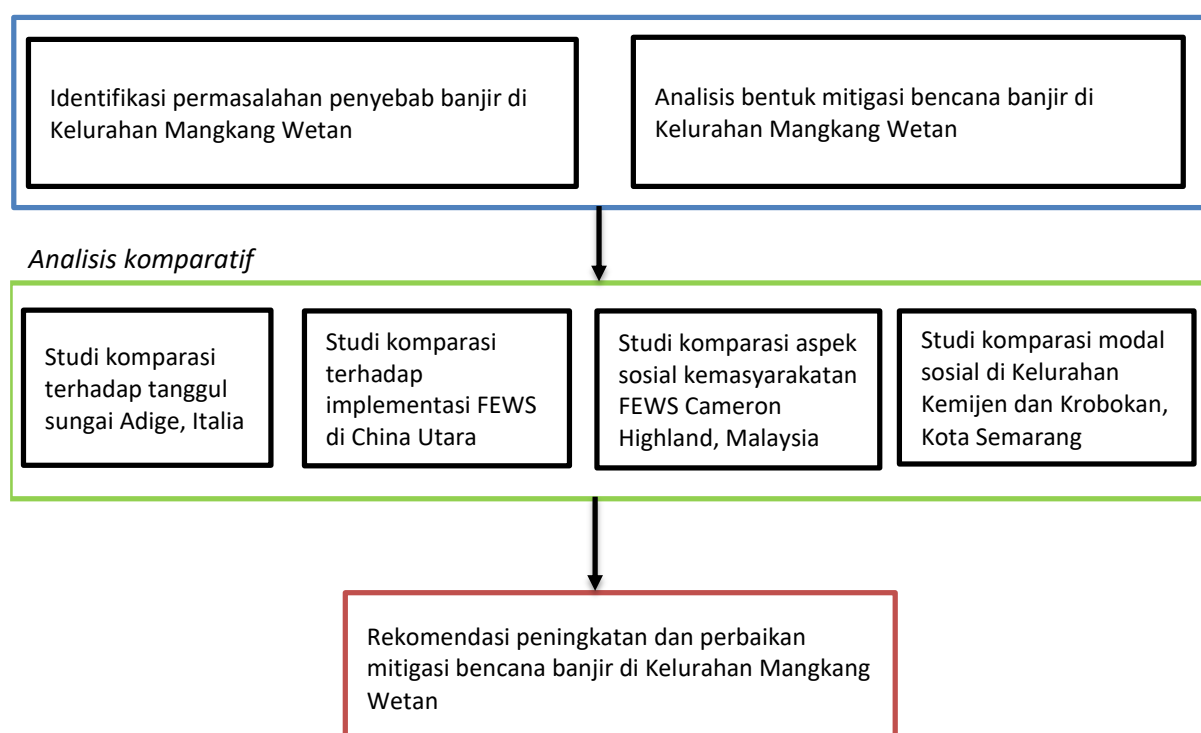
- a. Mengidentifikasi permasalahan yang menyebabkan terjadinya banjir di Kelurahan Mangkang Wetan.
- b. Menganalisis bentuk mitigasi bencana banjir yang dilakukan di Kelurahan Mangkang Wetan berupa normalisasi sungai dan FEWS.

Kemudian metode analisis komparatif digunakan untuk:

- a. Melakukan studi komparasi dalam penanganan banjir di wilayah dengan kasus yang serupa, yaitu tanggul Sungai Adige di Italia, implementasi FEWS di China Utara, aspek sosial kemasyarakatan FEWS di Cameron Highland Malaysia, dan modal sosial di Kelurahan Kemijen dan Krobokan Kota Semarang.
- b. Memberikan rekomendasi dalam peningkatan dan perbaikan mitigasi bencana banjir di Kelurahan Mangkang Wetan.

Kerangka kerja tahapan analisis dapat dilihat pada Gambar 1.

Analisis deskriptif kualitatif



Gambar 1. Kerangka kerja tahapan analisis.

3. Hasil penelitian dan pembahasan

3.1. Permasalahan

Masalah yang berkembang selama ini berkaitan dengan Kawasan Kota Semarang tidak terlepas dari faktor potensi kebencanaan, khususnya bencana banjir di Kawasan Mangkang Wetan. Pada kurun waktu 60 tahun belakangan ini, Kawasan Mangkang Wetan merupakan kawasan pesisir dengan dataran rendah yang rawan akan bencana banjir bandang [10]. Pada tahun 2017 daerah Mangkang Wetan Kecamatan Tugu kembali terkena banjir bandang dengan ketinggian mencapai 100 cm dan merusak serta merendam 100 rumah warga [15]. Banjir ini diakibatkan Sungai Beringin yang membelah Kecamatan Tugu bermuara di Pantai

Utara tidak mampu menahan debit air sehingga menjebol tanggul setinggi 15 meter dan menerjang permukiman warga. Menurut Abidin et al. [16] permasalahan banjir juga dipengaruhi oleh fenomena penurunan tanah di Semarang yang telah terjadi selama lebih dari 100 tahun. Menurut Latief [17], penurunan muka tanah menjadi penyebab perluasan daerah banjir pantai, kerusakan bangunan dan infrastruktur, dan peningkatan intrusi air laut. Rata-rata penurunan muka tanah yang terjadi pada tahun 2008-2011 adalah 6-7 cm per tahun.

Normalisasi sungai merupakan salah satu bentuk mitigasi bencana struktural untuk menanggulangi banjir. Normalisasi sungai berupa pembangunan tanggul di Kelurahan Mangkang Wetan telah dimulai sejak 2004, namun belum terlaksana karena masyarakat melakukan penolakan akibat ganti rugi yang rendah. Proyek kemudian berusaha dilanjutkan pada tahun 2014, namun desain konstruksi yang telah dirancang sudah tidak relevan sehingga akhirnya, proyek ditunda [18]. Proyek secara aktif baru dilaksanakan sejak 13 November 2020 dan hingga saat ini masih berlangsung. Proyek direncanakan selesai dalam dua tahun [19]. Proyek normalisasi didanai oleh Pemerintah Kota Semarang melalui APBD untuk pembebasan sebagian lahan. Kementerian PUPR memberikan dukungan pendanaan melalui APBN dalam pembebasan lahan dan pembangunan tanggul, sementara pelaksanaan konstruksi dilakukan oleh PT Adhi Karya (Persero). Selain pembangunan tanggul, normalisasi juga dilakukan oleh masyarakat bersama dengan BPBD Kota Semarang dan TNI melalui upaya pembersihan sungai.

Pengurangan risiko bencana merupakan masalah kompleks yang memerlukan upaya bersama dari berbagai pemangku kepentingan, termasuk upaya masyarakat [20]. Didukung dengan penelitian Satterthwaite [21] bahwa kecepatan dan efektivitas tanggap bencana sangat bergantung pada peran masyarakat setempat. Oleh sebab itu, tidak hanya normalisasi sungai, BPBD Kota Semarang juga mengembangkan Flood Early Warning System (FEWS) sebagai upaya pencegahan dan sistem peringatan dini bencana banjir. BPBD Kota Semarang melaksanakan program FEWS di DAS Beringin Kota Semarang bekerja sama dengan Kelurahan Siaga Bencana (dahulu Kelompok Siaga Bencana/KSB) dalam mengoordinasikan respon bencana secara mandiri. Proses partisipasi masyarakat dalam FEWS telah memungkinkan masyarakat untuk mengidentifikasi karakteristik risiko bencana, mengusulkan solusi untuk mengurangi risiko banjir yang sesuai dengan kearifan lokal, dan untuk meningkatkan kapasitas masyarakat.

FEWS merupakan program multi tahunan (2012-2014) yang berasal dari hibah Yayasan Rockefeller, dan Kota Semarang dipilih sebagai lokasi pelaksanaan program berdasarkan keanggotaan Asian Cities of Climate Change Resilience Network (ACCCRN). Program FEWS kemudian dilanjutkan pada tahun 2018 hingga sekarang dan dikelola langsung oleh BPBD Kota Semarang. Sistem peringatan dini banjir yang diterapkan terdiri atas tujuh sub-sistem utama sebagai berikut, sesuai SNI 8840:2019, ISO 22327:2018, dan ISO 22328-1:2020, yaitu: (1) penilaian risiko; (2) sosialisasi; (3) pembentukan tim siaga bencana; (4) pembuatan panduan operasional evakuasi; (5) penyusunan prosedur tetap; (6) pemantauan, peringatan dini dan

geladi evakuasi; (7) membangun komitmen otoritas lokal dan masyarakat dalam pengoperasian dan pemeliharaan keseluruhan sistem.

Berdasarkan hasil penelitian Nurromansyah & Setyono [13], setelah implementasi FEWS didapatkan bahwa terjadi perubahan kesiapsiagaan pada upaya pemahaman kebencanaan, mobilisasi sumber daya, sistem peringatan dini banjir bandang dan perencanaan kesiapsiagaan. Namun demikian, bencana banjir masih terus terjadi di Kelurahan Mangkang Wetan, antara lain pada 5 November 2021, 17 Januari 2022, dan terakhir pada 18 Februari 2022. Banjir tersebut akibat dari hujan deras yang mengakibatkan DAS Beringin tidak mampu menampung debit air sehingga meluap dan menggenangi jalan dan perumahan warga. Berdasarkan data sekunder, wawancara, dan pengamatan di lapangan, beberapa permasalahan dalam upaya mitigasi bencana di Kelurahan Mangkang Wetan antara lain sebagai berikut:

- a. Upaya normalisasi sungai terutama pembangunan tanggul yang belum selesai hingga tahun 2022. Penyebab belum selesainya pembangunan tanggul karena tertunda nya proyek di tahun 2014 akibat faktor desain yang sudah tidak relevan, kendala anggaran yang membengkak, dan permasalahan pembebasan lahan.
- b. Keberlangsungan FEWS terancam tidak optimal. Keberlangsungan FEWS terancam karena: 1) kendala transfer *knowledge* pada pelaksana di BPBD Kota Semarang akibat mutasi pegawai; 2) permasalahan pemeliharaan perangkat FEWS sehingga menyebabkan perangkat tidak berfungsi, yaitu sensor yang menggunakan tenaga surya sehingga terpaksa menggunakan energi listrik dari jaringan listrik terdekat; 3) informasi yang ditampilkan dalam situs BPBD Kota Semarang khususnya di Kelurahan Mangkang Wetan tidak terdapat pembaruan.
- c. Permasalahan lainnya yang menjadi penyebab masih terjadi banjir, seperti adanya sampah yang terbawa air dan posisi jembatan yang rendah sehingga menjadi penghalang dalam laju air sungai.

3.2. Praktik baik di wilayah lain

3.2.1 Uji coba tanggul Sungai Adigie, Italia. Mitigasi bencana banjir melalui pembangunan tanggul Sungai Adige di Italia dengan Penilaian Tomografi Resisvitas Listrik dapat menjadi contoh praktik baik untuk implementasi tanggul DAS Beringin yang sama-sama berpotensi terjadi ketidakstabilan lereng dan longsor yang dapat menjadi penyebab kegagalan tanggul. Kegagalan tanggul di Sungai Adige pernah terjadi pada tahun 1981, sementara kegagalan tanggul di Kelurahan Mangkang Wetan juga terjadi beberapa kali, antara lain pada Oktober 2017, Februari 2019, Desember 2020, dan Januari 2022. Berdasarkan penelitian pada tahun 2020 oleh Alessia Amabile, Bruna de Carvalho Faria Lima Lopes, Annarita Pozzato, Vojtech Benes, dan Alessandro Tarantino [22] tentang implementasi alat untuk memantau kadar air dalam tanggul di Sungai Adige Italy. Tanggul sungai sering digunakan sebagai langkah pertahanan untuk melindungi manusia dan harta benda terhadap banjir. Saat ketinggian sungai berubah, air mengalir melalui tanggul dan mengubah distribusi tekanan air pori, akibatnya kekuatan tersebut akan menggeser tanah. Kondisi ini dapat menyebabkan

ketidakstabilan tanggul dan menjadi penyebab kegagalannya untuk melindungi dataran dari banjir. Oleh karena itu, karakterisasi aliran air sangat penting untuk menilai stabilitas tanggul banjir dan memahami mekanisme kegagalannya.

Aliran air sering berkembang melalui jalur aliran preferensial di tanggul karena heterogenitas dan variabilitas spasial tanah. Kestabilan tanggul banjir sangat dipengaruhi oleh aliran air yang terjadi pada tanah jenuh dan tidak jenuh. Oleh karena itu, pemantauan aliran air di tanggul banjir sangat penting dalam konteks risiko banjir manajemen untuk memprediksi dan mencegah kegagalan tanggul. Tomografi Resistivitas Listrik semakin meningkat popularitasnya karena kemampuannya untuk memantau air di lapisan tanah dengan lebih cepat, hemat biaya, dan dalam skala yang lebih besar dibandingkan dengan sistem pemantauan geoteknik tradisional yang mengandalkan sensor lokal. Penilaian Tomografi Resistivitas Listrik telah terbukti menjadi alat yang cepat dan hemat biaya untuk menilai rezim air dalam struktur bumi, seperti tanggul banjir. Teknik ini dapat dengan mudah diterapkan untuk mengidentifikasi pola aliran air dan anomali dalam kadar air di dalam tanah sehingga dapat memberikan informasi berharga tentang stabilitas tanggul banjir [20].

Sintesis mitigasi risiko bencana melalui normalisasi sungai dengan tanggul sungai di Kelurahan Mangkang Wetan dengan literatur implementasi tanggul Sungai Adige, Italia sebagai berikut:

Tabel 1. Sintesis mitigasi risiko bencana Kelurahan Mangkang Wetan dengan Sungai Adige Italia.

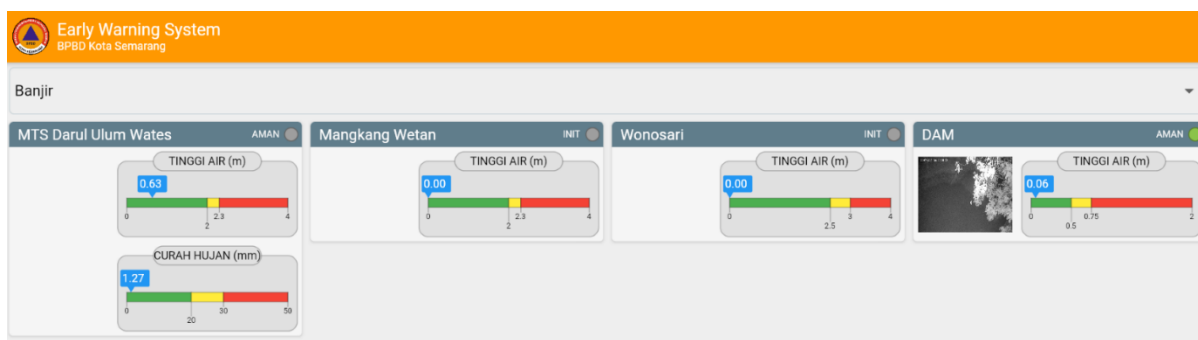
Best Practice/ Literature	Kondisi	Penilaian
Normalisasi sungai di Sungai Adige berupa Tanggul Sungai yang dilengkapi sensor pemantau kadar air didalamnya melalui Penilaian Tomografi Resistivitas Listrik, yang berfungsi untuk memantau air dalam tanggul sebagai bentuk antisipasi luapan.	Normalisasi yang dilakukan di DAS Beringin, Kelurahan Mangkang Wetan saat ini dalam tahap pembangunan yang menggunakan tanggul sungai dan juga melakukan pelebaran DAS Beringin untuk memaksimalkan fungsi aliran. Informasi yang didapatkan, belum ada rencana pemantauan air dalam tanggul.	Pengoptimalan upaya mitigasi bencana banjir bandang di DAS Beringin, Kelurahan Mangkang Wetan yang saat ini dalam tahap pembangunan, diperlukan upaya pemaksimalan fungsi tanggul sungai yang dilengkapi sensor untuk mengetahui kadar air di dalamnya, sebagai alat pemantau melalui Penilaian Tomografi Resistivitas Listrik .

3.2.2 Implementasi flood early warning system di China Utara. Praktik baik di China Utara mengenai penerapan Flood Early Warning System terhadap banjir di perkotaan padat penduduk dan lahan terbangun juga dapat digunakan di Kelurahan Mangkang Wetan, mengingat DAS Beringin yang menjadi sumber banjir juga terletak sangat berdekatan dengan tempat tinggal penduduk dan fasilitas sosial. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Yawen

Zang, Yu Meng, Xinjian Guan, Hong Lv, dan Denghua Yan di tahun 2022 mengenai sistem peringatan dini banjir di perkotaan yang mempertimbangkan kerugian banjir, diketahui bahwa sistem peringatan dini banjir atau yang dikenal dengan Flood Early Warning System (FEWS) memainkan peran yang penting dalam paradigma pengurangan bencana. Implementasi FEWS di China Utara bersifat multi informasi yang meliputi informasi curah hujan, informasi genangan, dan informasi bencana. Studi telah menunjukkan bahwa sistem peringatan dini banjir FEWS adalah solusi paling efektif untuk mengurangi kerugian akibat banjir. Adapun pemanfaatan Multi Informasi Sistem Peringatan Dini Banjir Perkotaan di China Utara sebagai berikut:

- a. Informasi curah hujan
 - Curah hujan yang dirancang
 - Curah hujan yang diamati
- b. Informasi hidrologi
 - Kedalaman dan area terendam
 - Klasifikasi tipe properti bangunan
- c. Informasi kebencanaan
 - Ekonomi rendah dari berbagai jenis properti bangunan

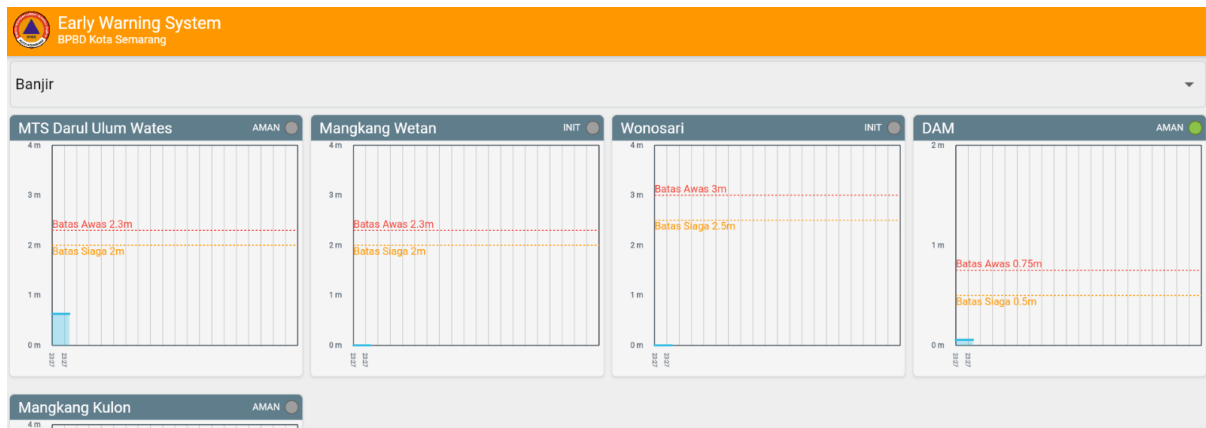
Sintesis mitigasi risiko bencana melalui FEWS di Kelurahan Mangkang Wetan dengan literatur implementasi FEWS di China Utara ditunjukkan pada Tabel 2. Kemudian, gambaran hasil pemantauan FEWS yang terintegrasi dengan situs BPBD Kota Semarang, ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3.



Gambar 2. Pantauan ketinggian air sungai dan jumlah curah hujan secara *real time* berdasarkan alat monitor FEWS.

Tabel 2. Sintesis mitigasi risiko bencana Mangkang Wetan dengan China Utara.

<i>Best Practice/ Literature</i>	Kondisi	Penilaian
<p>Informasi curah hujan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Curah hujan yang dirancang • Curah Hujan yang diamati 	<p>Alat FEWS memiliki kemampuan sensor untuk mendeteksi jumlah curah hujan, namun kondisi terkini sensor tersebut tidak berfungsi karena masalah teknis</p>	<p>Permasalahan kendala teknis pada alat FEWS harus segera ditangani karena informasi curah hujan menjadi salah satu komponen tolak ukur yang penting untuk mendeteksi ancaman bencana banjir luapan aliran DAS Beringin</p>
<p>Informasi hidrologi:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kedalaman dan area terendam • Klasifikasi tipe properti bangunan 	<p>Alat FEWS memiliki kemampuan sensor untuk mengetahui ketinggian air, di Kelurahan Mangkang Wetan peletakan FEWS di atas aliran DAS Beringin sehingga alat ini hanya mampu merekam kejadian di lokasi tersebut</p>	<p>Pengoptimalan fungsi FEWS perlu dilakukan, hal ini dikarenakan pentingnya nilai manfaat yang tinggi. Selain itu, penempatan FEWS juga perlu diperluas lagi jangkauannya agar mampu memberikan informasi secara komprehensif. Informasi tersebut dapat diintegrasikan dengan fungsi penggunaan lahan sebagai dasar informasi properti bangunan</p>
<p>Informasi kebencanaan</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kerugian ekonomi dari berbagai jenis properti bangunan 	<p>FEWS di Kelurahan Mangkang Wetan tidak merekam informasi kebencanaan yang berkaitan dengan kerugian ekonomi yang menggunakan dasar jenis properti bangunan</p>	<p>Pengoptimalan fungsi FEWS perlu dilakukan sebagai bentuk kemajuan berpikir dan bertindak, melalui pemanfaatan FEWS yang mampu memberikan informasi kebencanaan berupa kerugian ekonomi dapat meningkatkan mutu kualitas masyarakat terdampak</p>



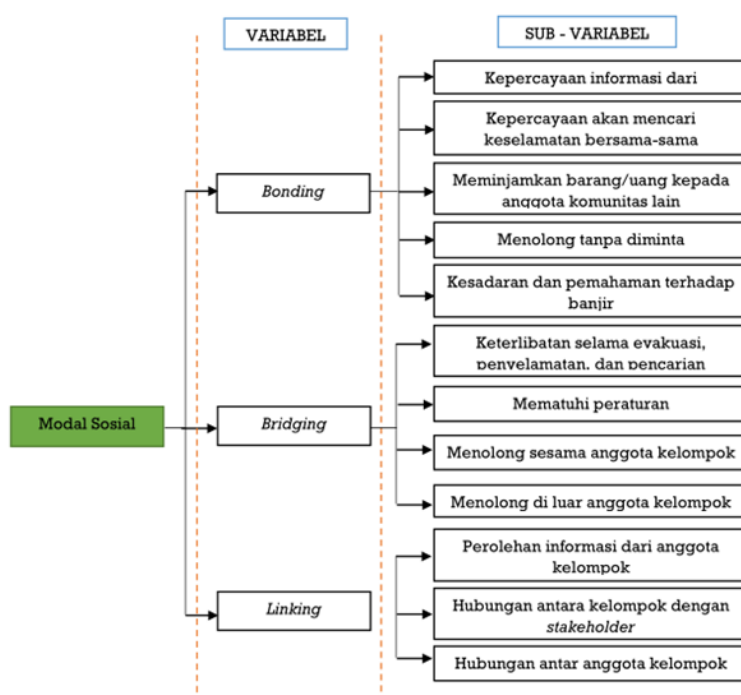
Gambar 3. Grafik ketinggian air hujan secara *real time* berdasarkan alat monitor FEWS.

3.2.3 Aspek sosial kemasyarakatan implementasi FEWS di Cameron Highland, Malaysia. Aspek Sosial Kemasyarakatan dalam implementasi FEWS di Cameron Highland, Malaysia dapat menjadi indikator dukungan sosial terhadap implementasi FEWS di Kelurahan Mangkang Wetan karena masyarakat lokal baik di Cameron Highland maupun di Mangkang Wetan memiliki respons baik terhadap upaya mitigasi bencana yang terlihat dari keinginan bekerja sama dan keterlibatan dalam aktivitas kebencanaan. Menurut Perera, Agnihotri, Seidou, & Djalante [23], mewujudkan flood early warnings menjadi suatu upaya responsif oleh masyarakat membutuhkan koordinasi dan kolaborasi dari semua pihak yang berkepentingan. Dalam rangka mencapai upaya mitigasi risiko yang signifikan, perlu memperhatikan hal sebagai berikut:

- a. Sosialisasi dan komunikasi
 - Memperluas jangkauan infrastruktur informasi dan komunikasi
 - Menggunakan bahasa peringatan yang sederhana dan sesuai bahasa lokal
 - Membangun komunikasi dua arah yang transparan dan jelas
 - Melibatkan organisasi atau komunitas masyarakat dalam proses komunikasi
 - Meningkatkan kesadaran operator dan perancang FEWS mengenai non teknis
- b. Kesiapsiagaan
 - Meningkatkan jangkauan dan kesamaan pemahaman dari pemangku kepentingan
 - Melaksanakan kebijakan pendanaan terhadap organisasi/komunitas masyarakat
 - Integrasi gender dan inklusi sosial
- c. Kemampuan merespons
 - Mengembangkan kerja sama yang efektif dan efisien antara lembaga dan operator
 - Meningkatkan keterlibatan dan jangkauan komunitas masyarakat lokal melalui media, komunikasi yang lebih baik, dan kebijakan

Sintesis mitigasi risiko bencana melalui FEWS di Kelurahan Mangkang Wetan dengan literatur implementasi FEWS di Cameron Highland, Malaysia ditunjukkan pada Tabel 3.

3.2.3 *Modal sosial ketahanan komunitas di Kelurahan Kemijen dan Krobokan, Kota Semarang.* Kelurahan Kemijen dan Kelurahan Krobokan Kota Semarang merupakan wilayah yang secara sosio kultural memiliki kemiripan dengan Kelurahan Mangkang Wetan karena kedekatan letak geografis. Dua kelurahan ini berada di wilayah DAS dan cukup dekat dengan kawasan pesisir utara Jawa, selain itu luas wilayah dan jumlah penduduk juga tidak terpaut jauh. Penelitian oleh Norzistya dan Handayani [24] di Kelurahan Kemijen dan Krobokan membagi modal sosial ke dalam variabel dan sub-variabel, seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Variabel dan sub-variabel modal sosial [24].

Bonding social capital merupakan ikatan antar individu dalam kondisi dan situasi yang sama. Hal ini terlihat dari perasaan senasib, rasa kekeluargaan, solidaritas, dan kooperatif. Bridging social capital adalah modal sosial yang menjembatani ikatan antar individu tanpa hubungan emosional. Contohnya adalah bagaimana KSB mengatur kelugasan individu di dalam evakuasi, penyelamatan dan pencarian. Linking social capital merupakan hubungan suatu komunitas dengan komunitas lain maupun stakeholder dalam memanfaatkan sumber daya yang tersedia di luar komunitasnya, seperti kemampuan KSB untuk berjaring. Norzistya dan Handayani [24] menemukan bahwa kondisi modal sosial di KSB Kemijen memiliki kekuatan di semua aspek, sedangkan di KSB Krobokan hanya kuat di linking social capital saja. Dari hasil perbandingan tersebut, modal sosial yang kuat cenderung akan membentuk ketahanan komunitas yang kuat juga [24], seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.

Tabel 3. Sintesis mitigasi risiko bencana FEWS di Kelurahan Mangkang Wetan dengan Cameron Highland Malaysia.

Best Practice/Literature	Kondisi	Penilaian
<p>Aspek Sosialisasi dan komunikasi</p> <ul style="list-style-type: none"> (jangkauan, penyederhanaan bahasa, arah komunikasi, keterlibatan komunitas, perhatian terhadap aspek non teknis) 	<ul style="list-style-type: none"> Komunikasi dan informasi disampaikan melalui media <i>whatsapp</i>, <i>kentungan</i>, dan pengeras suara masjid dengan bahasa yang sederhana Komunikasi dua arah antara BPBD dan KSB telah dilakukan dimana KSB juga berfungsi sebagai mediator Keterlibatan KSB dan sumber daya lokal menunjukkan perhatian terhadap aspek non teknis 	<p>Kegiatan sosialisasi dan komunikasi telah berjalan dengan optimal dan efektif. Namun demikian, untuk mengakomodasi masyarakat yang berada di lokasi jauh dan tidak memiliki akses terhadap <i>whatsapp</i>, perlu ada agen pada lokasi tertentu untuk menyampaikan informasi secara langsung ke masyarakat</p>
<p>Kesiapsiagaan</p> <ul style="list-style-type: none"> Jangkauan dan kesamaan pemahaman dari setiap pemangku kepentingan Kebijakan pendanaan terhadap organisasi/komunitas masyarakat Integrasi <i>gender</i> dan inklusi sosial 	<ul style="list-style-type: none"> BPBD, Ikupi, dan KSB telah memiliki pemahaman yang sama terlihat dari kerja sama yang baik antara setiap pemangku kepentingan Kebijakan pendanaan telah ada dalam APBD namun berdasarkan informasi dari Ikupi, belum terdapat pendanaan untuk komunitas masyarakat Dalam implementasi FEWS khususnya KSB sudah mengikutsertakan wanita, namun terbatas pada bidang dapur 	<ul style="list-style-type: none"> Pendanaan terhadap KSB diperlukan untuk memastikan keberlangsungan dan optimalnya FEWS dan tidak dapat hanya mengandalkan relawan sukarela Integrasi gender perlu dilakukan lebih banyak tidak terbatas pada bidang konsumsi darurat, melainkan dalam bidang komunikasi sebagai agen di lapangan, misalnya ibu PKK sebagai agen komunikasi
<p>Kemampuan merespons</p> <ul style="list-style-type: none"> Kerja sama yang efektif dan efisien antara lembaga dan pelaksana lapangan 	<p>Kerja sama efektif dan efisien terlihat dari pembinaan dan monitoring yang selalu terjalin antara BPBD dan KSB</p>	<p>Kerja sama efektif dan efisien telah terjalin dalam rangka mendukung respons cepat dari FEWS</p>

Best Practice/Literature	Kondisi	Penilaian
<ul style="list-style-type: none"> • Keterlibatan dan jangkauan komunitas masyarakat lokal melalui media dan kebijakan 		

Tabel 4. Sintesis mitigasi risiko bencana Mangkang Wetan dengan Krobokan.

Best Practice/Literature	Kondisi	Penilaian
<p><i>Bonding social capital</i> yang kuat. Dilihat dari hubungan kepercayaan yang kuat dan saling mendukung satu sama lain, sifat solidaritas dan kooperatif dalam komunitas yang kuat.</p>	<p>Masyarakat Kelurahan Mangkang Wetan memiliki kepercayaan yang tinggi satu sama lain. Hal ini tampak melalui respons masyarakat yang meyakini informasi banjir yang disampaikan oleh petugas KSB dengan selalu waspada dan siap bertindak. Selain itu, solidaritas dan kerja sama antara warga masyarakat dapat dilihat dari keterlibatan sebagian besar masyarakat dalam program peningkatan kesadaran banjir, seperti dalam sosialisasi, latihan evakuasi, dan menjadi sukarelawan anggota KSB.</p>	<p>Pemerintah Kota Semarang bersama KSB Mangkang Wetan berhasil membangun kesadaran warga untuk lebih siap menghadapi bencana banjir dengan meningkatkan peran penting komunitas masyarakat.</p>
<p><i>Bridging social capital</i> yang kuat didasari oleh <i>bonding social capital</i> pada saat fase pemulihan. Tingginya keterlibatan masyarakat dalam proses evakuasi, penyelamatan, mematuhi peraturan, menolong anggota komunitas dan di luar anggota komunitas menjadi indikasi kuatnya <i>bridging social capital</i>.</p>	<p>KSB Mangkang Wetan sudah menerapkan 7 sub-sistem utama peringatan dini banjir sesuai dengan SNI dan ISO, yaitu penilaian risiko, sosialisasi, pembentukan tim siaga bencana, pembentukan panduan operasional evakuasi, penyusunan prosedur tetap, pemantauan peringatan dini dan geladi evakuasi, dan membangun komitmen.</p>	<p><i>Bridging social capital</i> di KSB Mangkang Wetan terlihat dari keterlibatan KSB di dalam mitigasi yang sesuai standar. Sudah terjadi perubahan kesiapsiagaan pada upaya pemahaman kebencanaan, mobilisasi sumber daya, sistem peringatan dini banjir bandang dan perencanaan kesiapsiagaan.</p>

Best Practice/Literature	Kondisi	Penilaian
<i>Linking social capital</i> yang kuat terlihat dari jaringan dan relasi komunitas. Relasi horizontal dan vertikal yang luas adalah upaya komunitas dalam manajemen risiko banjir. Semakin luas jejaring maka kebutuhan hidupnya akan semakin mudah didapatkan.	<i>Linking social capital</i> sudah cukup baik dilihat dari pelaksanaan kegiatan normalisasi sungai bersama BPBD dan TNI. Komunikasi aktif juga terjalin dengan NGO IKUPI.	KSB Mangkang Wetan telah memiliki jaringan vertikal yang baik dengan pemerintah dalam hal ini BPBD, TNI dan jaringan horizontal yang baik dengan NGO IKUPI.

4. Kesimpulan dan Rekomendasi

4.1. Kesimpulan

- a. Banjir bandang yang terjadi pada 2022 mampu merusak tanggul setinggi 15 meter dan menerjang permukiman warga. Diperlukan ketegasan, upaya persuasi, dan penyediaan lokasi relokasi layak dari pemerintah daerah untuk masyarakat yang tinggal di kawasan paling rawan.
- b. Pemasangan perangkat keras FEWS yang berasal dari dana hibah memiliki kelemahan dalam perawatan karena status aset, sehingga terkadang pemerintah kesulitan dalam membiayai perawatan perangkat tersebut. Hal lain, yaitu metode ini kurang efektif karena belum semua kawasan rawan banjir tercakup oleh perangkatnya. Kasus yang sama terjadi di Surakarta di mana perangkat dapat bekerja dengan baik namun jumlah perangkat tidak memadai akibat tingginya harga perangkat dan prioritas pembiayaan mitigasi bencana yang lebih berfokus ke mitigasi struktural lain, seperti tanggul, bendung dan sodetan [25].
- c. Sudah terlihat upaya kolaboratif dari Pemerintah Kota Semarang, NGO, dan masyarakat dalam hal ini KSB Mangkang Wetan untuk melakukan mitigasi bencana banjir bandang. Di lain pihak, perlu dipertimbangkan bahwa frekuensi terjadinya banjir semakin banyak yang sangat mungkin terjadi akibat perubahan iklim dan penurunan permukaan tanah. Selain upaya mitigasi bencana, secara umum dibutuhkan juga kebijakan pembangunan berkelanjutan.

4.2. Rekomendasi

4.2.1 *Rekomendasi bagi pemerintah.* Beberapa rekomendasi dari penulis untuk pemerintah baik pusat maupun daerah adalah sebagai berikut:

- a. Terkait keberadaan alat FEWS yang terdapat di beberapa titik lokasi rawan banjir, seperti di kelurahan Mangkang Wetan, kejelasan kepemilikan aset harus segera diselesaikan. Hal

ini untuk mempercepat proses pemeliharaan, mencegah kerusakan dan mengoptimalkan fungsi alat yang dimiliki.

- b. Peningkatan komunikasi pemerintah secara horizontal dengan NGO dan dunia usaha untuk meningkatkan jejaring dan mempermudah akses terhadap dukungan mitigasi dan bantuan rehab rekon. Di samping itu juga peningkatan komunikasi secara vertikal dengan KSB untuk meningkatkan linking social capital.
- c. Dibutuhkan kajian efektivitas infrastruktur di DAS Beringin untuk mengetahui apakah lebih aman untuk melakukan mitigasi terhadap bencana banjir bandang atau merelokasi warga masyarakat yang tinggal di kawasan paling rawan.
- d. Apabila rencana relokasi warga akan menjadi prioritas, dibutuhkan sebuah metode penghitungan kerentanan rata-rata pada kawasan rawan banjir. Hasilnya diperbandingkan dengan nilai penghitungan kerugian akibat terjadinya banjir. Dengan metode ini, masyarakat yang tinggal pada tingkat kerawanan tinggi akan bisa memperhitungkan sendiri untung dan ruginya pindah dari kawasan tersebut. Hal ini sudah dilakukan oleh Kota Surakarta di DAS Pepe Hilir yang menunjukkan kerentanan rendah jika dihitung berdasarkan kerentanan fisik, sosial, dan ekonomi sehingga jika terjadi bencana banjir maka kawasan DAS Pepe Hilir memiliki kecenderungan kerugian yang rendah dan masyarakat masih layak tinggal di kawasan tersebut dengan meningkatkan mitigasi terhadap banjir [26]. Jika kecenderungan kerugian rendah dan akan dilakukan mitigasi maka dibutuhkan sebuah FEWS yang lebih maju, seperti Hydro-Meteorological Hazard Early Warning System yang diterapkan oleh BNPB di sebagian wilayah Indonesia dengan menggunakan data hidrometeorologi untuk memprediksi potensi bencana hingga 3 hari sebelumnya dengan interval pemindaian tiap 3 jam dan radius spasial hingga 5 Km [27].

4.2.2 Rekomendasi bagi masyarakat. Rekomendasi dari penulis untuk masyarakat, yaitu:

- a. Upaya mitigasi bencana berbasis budaya yang dilakukan masyarakat memberikan dampak yang signifikan terhadap masyarakat lainnya yang tidak aware terhadap bencana yang terjadi di wilayahnya, namun dalam penerbitan warta kebencanaan terhadap pemerintah masih belum bersifat *serta merta* (real time) sehingga keterlambatan dalam bantuan bisa saja terjadi. Perlu menerapkan sistem admin yang memberikan informasi melalui broadcast message lewat pesan grup atau media sosial supaya masyarakat siaga bencana dapat langsung memberikan informasi secara tepat waktu.
- b. Keterbatasan pengetahuan bagi sebagian besar masyarakat menjadi kendala terhadap penyampaian informasi kebencanaan oleh agen tanggap bencana. Peran ketua masing-masing kelompok masyarakat perlu ditingkatkan.
- c. Peningkatan bonding social capital, bridging social capital, dan linking social capital harus diprioritaskan secara inklusif, tidak hanya laki-laki namun juga kaum perempuan dan kelompok rentan.

Referensi

- [1] Pemerintah Republik Indonesia. Undang-Undang Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana 2007.

- [2] Dzulkarnain A, Suryani E, Aprillya MR. Analysis of Flood Identification and Mitigation for Disaster Preparedness: A System Thinking Approach. *Procedia Comput Sci* 2019;161:927–34. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.201>.
- [3] Shreve CM, Kelman I. Does Mitigation Save? Reviewing Cost-Benefit Analyses of Disaster Risk Reduction. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 2014;10:213–35. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2014.08.004>.
- [4] Yoon DK, Kang JE, Brody SD. A Measurement of Community Disaster Resilience in Korea. *Journal of Environmental Planning and Management* 2015;59:436–60. <https://doi.org/10.1080/09640568.2015.1016142>.
- [5] Norris FH, Stevens SP, Pfefferbaum B, Wyche KF, Pfefferbaum RL. Community Resilience as a Metaphor, Theory, Set of Capacities, and Strategy for Disaster Readiness. *Am J Community Psychol* 2008;41:127–50. <https://doi.org/10.1007/s10464-007-9156-6>.
- [6] Coppola DP. *Introduction to International Disaster Management*. Oxford: Elsevier; 2006.
- [7] Wahyuningtyas N, Malang UN, Dewi K. Disaster Mitigation on Cultural Tourism in Lombok, Indonesia. *GeoJournal of Tourism and Geosites* 2019;27:1227–35. <https://doi.org/10.30892/gtg.27409-428>.
- [8] Jannah W, Itratip. Analisa Penyebab Banjir dan Normalisasi Sungai Unus Kota Mataram. *Jurnal Ilmiah Mandala Education* 2017;3:242–9.
- [9] University Corporation for Atmospheric Research, National Oceanic and Atmospheric Administration. *Flash Flood Early Warning System Reference Guide*. Boulder: University Corporation for Atmospheric Research; 2010.
- [10] Suhandini P. *Banjir Bandang di DAS Garang Jawa Tengah (Penyebab dan Implikasi)*. Disertasi. Universitas Gadjah Mada, 2012.
- [11] Worowirasmis TS, Waluyo ME, Rachmawati Y, Hidayati IY. The Community – Based Flood Disaster Risk Reduction (CBDRR) in Beringin Watershed in Semarang City. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan* 2015;3:131–50. <https://doi.org/10.14710/jwl.3.2.131-150>.
- [12] Pemerintah Kota Semarang. *Peraturan Daerah Kota Semarang Nomor 5 Tahun 2021 tentang Perubahan atas Peraturan Daerah Nomor 14 tahun 2011 tentang Rencana Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Semarang Tahun 2011-2031* 2021.
- [13] Nurromansyah AN, Setyono JS. Perubahan Kesiapsiagaan Masyarakat DAS Beringin Kota Semarang dalam Menghadapi Ancaman Banjir Bandang. *Jurnal Wilayah Dan Lingkungan* 2014;2:231–44. <https://doi.org/10.14710/jwl.2.3.231-244>.
- [14] Mandala IS, Koesyanto H. Kesiapsiagaan Masyarakat terhadap Kejadian Bencana Banjir Bandang Das Beringin Kota Semarang. *Indonesian Journal of Public Health and Nutrition* 2021;1:608–17.
- [15] Hutapea E. Di Semarang, Banjir Bandang hingga 1 Meter Terjadi di Mangkang Wetan. *KompasCom* 2017. <https://regional.kompas.com/read/2017/11/22/21275461/di-semarang-banjir-bandang-hingga-1-meter-terjadi-di-mangkang-wetan?page=all> (diakses pada 12 Januari, 2024).
- [16] Abidin HZ, Andreas H, Gumilar I, Sidiq TP, Fukuda Y. Land Subsidence in Coastal City of Semarang (Indonesia): Characteristics, Impacts and Causes. *Geomatics, Natural Hazards and Risk* 2013;4:226–40. <https://doi.org/10.1080/19475705.2012.692336>.

- [17] Latief H, Putri MR, Hanifah F, Afifah IN, Fadli M, Ismoyo DO. Coastal Hazard Assessment in Northern Part of Jakarta. *Procedia Eng* 2018;212:1279–86. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.165>.
- [18] Agus A. Progres Normalisasi Sungai Beringin Sudah 60 Persen. *Radars Semarang* 2022. <https://radarsemarang.jawapos.com/Semarang/721395238/progres-normalisasi-sungai-beringin-sudah-60-persen> (diakses pada 12 Januari, 2024).
- [19] Antoni A. Normalisasi Kali Beringin Semarang Ditarget Selesai 2022, Telan Rp230 Miliar. *INewsId* 2021. <https://jateng.inews.id/berita/normalisasi-kali-beringin-semarang-ditarget-selesai-2022-telan-rp230-miliar/all> (diakses pada 12 Januari, 2024).
- [20] Victoria L. *Community Based Approaches to Disaster Mitigation. Regional Workshop on Best Practices in Disaster Mitigation: Lessons Learned from the Asian Urban Disaster Mitigation Program and Other Initiatives*, Bali: Asian Disaster Preparedness Center; 2002.
- [21] Satterthwaite D. Editorial: Why is Community Action Needed for Disaster Risk Reduction and Climate Change Adaptation? *Environ Urban* 2011;23:339–49. <https://doi.org/10.1177/0956247811420009>.
- [22] Amabile A, de Carvalho Faria Lima Lopes B, Pozzato A, Benes V, Tarantino A. An Assessment of ERT as a Method to Monitor Water Content Regime in Flood Embankments: The Case Study of The Adige River Embankment. *Physics and Chemistry of the Earth* 2020;120. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102930>.
- [23] Perera D, Agnihotri J, Seidou O, Djalante R. Identifying Societal Challenges in Flood Early Warning Systems. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 2020;51:101794. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101794>.
- [24] Norzistya AD, Handayani W. Modal Sosial dalam Ketahanan Komunitas terhadap Bencana Banjir di Kelurahan Kemijen dan Krobokan, Kota Semarang. *Region: Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Perencanaan Partisipatif* 2020;15:206–24. <https://doi.org/10.20961/region.v15i2.29694>.
- [25] Pramitha AAS, Utomo RP, Miladan N. Efektivitas Infrastruktur Perkotaan dalam Penanganan Risiko Banjir di Kota Surakarta. *Region: Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Perencanaan Partisipatif* 2020;15:1–15. <https://doi.org/10.20961/region.v15i1.23258>.
- [26] Aisha M, Miladan N, Utomo RP. Kajian Kerentanan Bencana pada Kawasan Berisiko Banjir DAS Pepe Hilir, Surakarta. *Region: Jurnal Pembangunan Wilayah Dan Perencanaan Partisipatif* 2019;14:205–19.
- [27] Susandi A, Tamamadin M, Pratama A, Faisal I, Wijaya AR, Pratama AF, et al. Development of Hydro-Meteorological Hazard Early Warning System in Indonesia. *Journal of Engineering and Technological Sciences* 2018;50:461–78. <https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2018.50.4.2>.