

**LAPORAN AKHIR PENELITIAN  
RISET UNGGULAN DAERAH**

**STUDI POTENSI DAN PENENTUAN SUMUR  
RESAPAN SEBAGAI UPAYA PENGENDALIAN  
BANJIR DI KOTA PEKALONGAN BERBASIS  
SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS**

**Tim Peneliti :**

**Dr.rer.nat. Thomas Triadi Putranto, ST., M.Eng**

**Prof. Dr. Hadiyanto, ST., M.Sc**

**Asri Cahaya Hati, ST.**

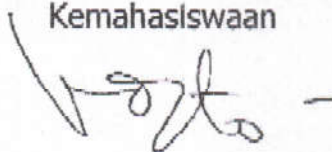
**PEMERINTAH KOTA PEKALONGAN  
BADAN PERENCANAAN PEMBANGUNAN,  
PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN DAERAH  
TAHUN 2020**

## HALAMAN PENGESAHAN

1. Kegiatan Penelitian : Riset Unggulan Daerah  
- Judul Penelitian : Studi Potensi dan Penentuan Sumur Resapan sebagai Upaya Pengendalian Banjir di Kota Pekalongan Berbasis Sistem Informasi Geografis
  2. Lembaga Pelaksana  
- Nama : Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro  
- Alamat : Jl. Imam Bardjo, SH No.3 - 5 Semarang  
- Telp/Fax/Email : (024) 8453635
  3. Nomor SPK : 050/2112/VI/2020  
1266/UN7.5.12.2/TU/2020
  4. Waktu Pelaksanaan : 15 Juni – 15 November 2020
  5. Lokasi Penelitian : Kota Pekalongan
  6. Peneliti  
- Ketua Tim : Dr.rer.nat. Thomas Triadi Putranto, S.T., M.Eng.  
- Anggota : 1. Prof. Dr. Hadiyanto, S.T., M.Sc.  
2. Asri Cahaya Hati, S.T.
- Sumber Anggaran : APBD Kota Pekalongan  
Besar Anggaran : Rp.23.625.000,-  
*(Dua Puluh Tiga Juta Enam Ratus Dua Puluh Lima Ribu Rupiah)*

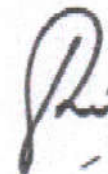
Pekalongan, November 2020

An. Dekan Sekolah Pascasarjana,  
Wakil Dekan Akademik dan  
Kemahasiswaan



**Prof. Dr. Hadiyanto, S.T., M.Sc**  
NIP. 19751028 199903 1 004

Ketua Peneliti



**Dr.rer.nat. Thomas Triadi  
Putranto, S.T., M.Eng.**  
NIP. 19771211 200501 1 002

Mengetahui,  
Kepala Bappeda Kota Pekalongan



**Ir. Anita Heru Kusumorini, M.Sc**  
Pembina Utama Muda  
NIP. 19650717 199203 2 014

## **KATA PENGANTAR**

Laporan Studi Potensi dan Penentuan Sumur Resapan sebagai Upaya Pengendalian Banjir di Kota Pekalongan berbasis Sistem Informasi Geografis berisi kegiatan survey lapangan pengumpulan data primer maupun penyusunan data sekunder. Kumpulan data dan informasi yang didapat digunakan untuk mengetahui potensi sumur resapan di wilayah penelitian. Melalui data yang didapatkan di lapangan, nantinya dapat ditentukan lokasi sumur resapan dengan berbagai pertimbangan. Pertimbangan tersebut berupa kestrategisan lokasi, status dan kepemilikan lokasi, serta riwayat kawasan banjir lokasi. Hasil penentuan titik lokasi sumur resapan tersebut nantinya dapat dijadikan acuan atau pertimbangan dalam langkah awal rekonstruksi sumur resapan sebagai upaya penjagaan ketersediaan air bersih dan mengurangi air limpasan di Kota Pekalongan.

Semoga studi ini dapat memberikan manfaat dan menjadi salah satu bahan pertimbangan dalam pengambilan kebijakan perencanaan pembangunan berwawasan lingkungan demi kesejahteraan masyarakat di Kota Pekalongan dan memberikan masukan bagi perkembangan ilmu pengetahuan secara umum.

Semarang, November 2020

Tim Penyusun

## **TIM PELAKSANA**

Studi Potensi dan Penentuan Sumur Resapan sebagai Upaya Pengendalian Banjir di Kota Pekalongan Berbasis Sistem Informasi Geografis dilaksanakan sebagai Riset Unggulan Daerah Kota Pekalongan tahun 2020. Adapun tim pelaksana studi dari Program Magister Ilmu Lingkungan, Universitas Diponegoro sebagai berikut :

### **1. Ketua Tim**

Nama : Dr.rer.nat. Thomas Triadi Putranto, S.T.,  
M.Eng.  
NIP : 19771211 200501 1 002  
Pangkat/Golongan : Penata Tingkat I / IIIId  
Jabatan (fungsional) : Lektor Kepala

### **2. Anggota I**

Nama : Prof. Dr. Hadiyanto, S.T., MSc.  
NIP : 19751028 199903 1 004  
Pangkat/Golongan : Pembina / IVa  
Jabatan (fungsional) : Guru Besar

### **3. Anggota II**

Nama : Asri Cahaya Hati, S.T.  
NIP : -  
Pangkat/Golongan : -  
Jabatan (fungsional) : -  
(Mahasiswa Magister Ilmu Lingkungan UNDIP)

## **ABSTRAK**

Pertumbuhan penduduk dan sosial ekonomi memicu perubahan fungsi tata guna lahan. Perubahan tata guna lahan dan iklim seiring dengan peningkatan laju air permukaan dan penurunan kualitas peresapan air ke dalam tanah. Penurunan daya resap air memicu melimpahnya air dipermukaan yang dapat memicu bencana hidrometeorologi, salah satunya banjir. Lokasi penelitian yang berada di Kota Pekalongan yang memiliki topografi sangat datar dan merupakan kawasan muara dari beberapa sungai dari kawasan hulu. Kondisi lokasi Kota Pekalongan menyebabkan potensi bencana banjir yang besar. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kondisi kedalaman muka airtanah serta mengetahui karakteristik wilayah untuk menentukan titik dan rekomendasi sumur resapan untuk beberapa kecamatan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengumpulan data yaitu pengumpulan data sekunder, pengumpulan data primer dalam hal ini pemetaan hidrogeologi secara menyeluruh meliputi pengukuran kedalaman muka airtanah dan survey geologi permukaan. Analisis spasial berbasis sistem informasi geografis. Hasil analisis menunjukkan bahwa level muka airtanah di lokasi penelitian diklasifikasikan ke dalam 3 kelas, yaitu 0-1,5 meter, 1,5-3 meter dan >3 meter. Kebutuhan sumur resapan pada wilayah rawan banjir Kota Pekalongan yaitu 57.718 unit. Kebutuhan sumur resapan air hujan pada wilayah di luar area rawan banjir dan kedalaman muka airtanah >1,5 meter sebanyak 227.416 unit dengan kedalaman sumur antara 1,5 hingga 4 meter.

**Kata Kunci:** *Sumur resapan, Pengendalian banjir, Kota Pekalongan*

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
KATA PENGANTAR .....	iii
TIM PELAKSANA .....	iv
ABSTRAK .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR TABEL .....	viii
DAFTAR GAMBAR .....	x
BAB I PENDAHULUAN .....	1
A. Latar Belakang .....	1
B. Rumusan Masalah .....	2
C. Tujuan .....	3
D. Manfaat .....	3
E. Sasaran .....	4
F. Ruang Lingkup .....	4
G. Kerangka Pikir .....	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	9
A. Air .....	9
B. Air Tanah .....	9
C. Hujan .....	11
D. Banjir .....	13
E. Resapan Air .....	15
BAB III METODE PENELITIAN .....	20
A. Lokasi dan Waktu Pelaksanaan .....	20
B. Metode Pengumpulan Data .....	22
C. Metode Analisis Data .....	24
BAB IV ANALISIS DATA .....	25
A. Demografi .....	25
B. Topografi .....	28
C. Hidrologi .....	30
D. Jenis Tanah .....	32

E. Geologi .....	33
F. Hidrogeologi .....	34
G. RTRW .....	36
H. Tata Guna Lahan .....	38
I. Area Rawan Bencana .....	39
J. Muka Air Tanah .....	42
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN .....	55
A. Penentuan Debit Andil dan Kedalaman Sumur Resapan Air Hujan .	55
B. Kebutuhan dan Penempatan Sumur Resapan Per Kecamatan .....	68
C. Konstruksi Sumur Resapan Air Hujan .....	71
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN .....	74
A. Kesimpulan .....	74
B. Saran .....	76
DAFTAR PUSTAKA .....	77

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai koefisien permeabilitas tanah .....	17
Tabel 2.2 Jarak minimum sumur dan parit resapan air hujan terhadap bangunan .....	19
Tabel 3.1 Rencana Waktu Pelaksanaan Studi .....	22
Tabel 4.1 Luas Administrasi Kelurahan Kota Pekalongan .....	26
Tabel 4.2 Kepadatan Penduduk Kota Pekalongan .....	28
Tabel 4.3 Jumlah Curah Hujan Kota Pekalongan .....	31
Tabel 4.4 Jumlah Hari Hujan Kota Pekalongan .....	31
Tabel 4.4 Jumlah Hari Hujan Kota Pekalongan .....	44
Tabel 5.1 Luas Bidang Tadah Asumsi Poin a – b .....	56
Tabel 5.2 Luas Bidang Tadah Asumsi Poin c-f .....	56
Tabel 5.3 Luas Bidang Tadah Asumsi Poin d per Kecamatan .....	56
Tabel 5.4 Luas Bidang Tadah Asumsi Poin g .....	57
Tabel 5.5 Klasifikasi Curah Hujan .....	57
Tabel 5.6 Perhitungan Curah Hujan .....	58
Tabel 5.7 Perhitungan Hujan Rencana Melalui Periode Ulang .....	58
Tabel 5.8 Nilai Variabel Reduksi Gauss .....	59
Tabel 5.9 Perhitungan debit andil (Q) pada asumsi poin (a-b) .....	62
Tabel 5.10 Perhitungan jumlah sumur (H) pada asumsi poin (a-b) .....	62
Tabel 5.11 Perhitungan debit andil (Q) pada asumsi poin (c-f) .....	63
Tabel 5.12 Perhitungan jumlah sumur (H) pada asumsi poin (c-f) .....	63
Tabel 5.13 Perhitungan debit andil (Q) pada asumsi poin (d) per kecamatan Kota Pekalongan .....	64
Tabel 5.14 Perhitungan jumlah sumur (H) pada asumsi poin (d) per kecamatan Kota Pekalongan .....	65
Tabel 5.15 Perhitungan debit andil (Q) pada asumsi poin (g) per kecamatan Kota Pekalongan .....	66
Tabel 5.16 Perhitungan jumlah sumur (H) pada asumsi poin (g) per kecamatan Kota Pekalongan .....	67



Tabel 5.17 Kebutuhan SRAH pada lahan terbangun dengan kedalaman MAT >1,5m .....	68
Tabel 5.18 Kebutuhan SRAH pada lahan terbangun di area rawan banjir dengan kedalaman MAT >1,5m .....	68
Tabel 5.19 Rekomendasi penempatan awal sumur resapan air hujan di Kecamatan Pekalongan Barat .....	69
Tabel 5.20 Rekomendasi penempatan awal sumur resapan air hujan di Kecamatan Pekalongan Timur .....	70
Tabel 5.21 Rekomendasi penempatan awal sumur resapan air hujan di Kecamatan Pekalongan Selatan .....	70
Tabel 5.22 Rekomendasi prioritas penempatan awal sumur resapan air hujan di Kota Pekalongan dalam upaya penanganan banjir .....	70

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Luas Wilayah Menurut Kecamatan (Km <sup>2</sup> ) di Kota Pekalongan .....	5
Gambar 1.2 Peta Administrasi Kota Pekalongan .....	6
Gambar 1.3 Kerangka Pikir Studi .....	8
Gambar 2.1 Aliran Air Tanah .....	10
Gambar 2.2 Skema Presipitasi .....	12
Gambar 2.3 Peta Sebaran Kondisi Resapan Air Kecamatan di Kota Pekalongan .....	16
Gambar 3.1 Orientasi Wilayah Kota Pekalongan .....	21
Gambar 4.1 Citra Kota Pekalongan .....	27
Gambar 4.2 Morfologi Kota Pekalongan .....	29
Gambar 4.3 Jenis Tanah Kota Pekalongan .....	32
Gambar 4.4 Peta Geologi Kota Pekalongan .....	33
Gambar 4.5 Peta Hidrogeologi Kota Pekalongan .....	35
Gambar 4.6 RTRW Kota Pekalongan Tahun 2009 – 2029 .....	37
Gambar 4.7 Peta Tata Guna Lahan Kota Pekalongan .....	39
Gambar 4.8 Area Rawan Bencana Banjir di Kota Pekalongan .....	42
Gambar 4.9 Peta Muka Air Tanah Kota Pekalongan .....	43
Gambar 5.1 Peta Litologi Kota Pekalongan .....	61
Gambar 5.2 Contoh pemasangan bangunan SRAH melalui pipa talang .....	72
Gambar 5.3 Contoh pemasangan bangunan SRAH melalui saluran air hujan ....	73
Gambar 5.4 Detail konstruksi SRAH tipe II .....	74

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Kota Pekalongan dengan luas wilayah 45,25 km<sup>2</sup> dan jumlah penduduk 304.477 jiwa memiliki potensi ekonomi pada sektor pertanian, perikanan, serta industri skala menengah dan kecil. Laju pertumbuhan ekonomi Kota Pekalongan sebesar 5,69% (Badan Pusat Statistik Kota Pekalongan, 2019). Dinamika kependudukan dan sosial ekonomi masyarakat memicu berbagai permasalahan lingkungan hidup. Peningkatan aliran permukaan dan penurunan kuantitas peresapan air ke dalam tanah akibat perubahan tata guna lahan dan perubahan iklim menyebabkan terjadinya bencana hidrometeorologi, salah satunya banjir (Pratama, 2019).

Kejadian banjir dari tahun ke tahun semakin bertambah, baik dari segi kuantitas maupun frekuensinya. Hujan yang turun dengan kuantitas besar dan rentang waktu pendek pada area yang sudah terbangun menyebabkan tingginya volume genangan dan limpasan. Jika seluruh air hujan dialirkan melalui saluran air hujan (saluran drainase) yang ada ke sungai-sungai tanpa di resapkan ke dalam tanah mengakibatkan terganggunya keseimbangan tata air dan hidro ekosistem (Muliawati and Mardyanto, 2015). Faktor kondisi fisik wilayah sungai secara individual tidak berpengaruh secara signifikan terhadap terjadinya banjir, masalah pokok disebabkan nilai infiltrasi yang lebih rendah dari curah hujan (Putra and Suprayogi, 2014).

Adapun visi pembangunan Kota Pekalongan mengarah pada peningkatan kesejahteraan dan kemandirian, serta salah satu misi untuk meningkatkan kualitas dan kuantitas sarana dan prasarana perkotaan yang ramah lingkungan maka membutuhkan dukungan sumber daya air dan kualitas lingkungan hidup yang berkelanjutan. Dengan demikian, berdasarkan beberapa urgensi tersebut diperlukan pembuatan sumur

resapan air hujan guna melestarikan potensi air tanah. Prinsip dasar konservasi air guna mencegah atau meminimalkan air yang hilang sebagai aliran permukaan dan menyimpannya semaksimal mungkin ke dalam bumi.

## **B. Rumusan Masalah**

Kota Pekalongan merupakan salah satu kota di Provinsi Jawa Tengah yang sering dilanda bencana banjir. Tingkat kepadatan penduduk sejumlah 6.729 jiwa per km memicu peningkatan pembangunan infrastruktur dan permukiman sehingga mengurangi luasan lahan resapan air hujan (Badan Pusat Statistik Kota Pekalongan, 2019). Penurunan kuantitas resapan air hujan memicu terjadinya peningkatan kuantitas air permukaan dan penurunan muka tanah di Kota Pekalongan (Yulianto *et al.*, 2019). Penanganan banjir yang sudah dilakukan belum optimal dan merupakan penyelesaian masalah jangka pendek. Tingkat banjir yang terjadi rata-rata sekitar 10-50 cm dengan ketinggian maksimum 70 cm. Banjir hampir selalu terjadi selama 10 tahun terakhir (Kartika *et al.*, 2019). Banjir yang merendam beberapa desa di Kota Pekalongan dapat menyebabkan berbagai masalah bagi kesehatan masyarakat (Mitrović *et al.*, 2019) bahkan kematian (George, 2011), kerugian ekonomi (Parida, 2019), dan gangguan psikologis yang serius (Yoda *et al.*, 2017).

Infiltrasi tanah perkotaan mengacu pada kemampuan tanah untuk memungkinkan pergerakan air ke dalam dan melalui profil tanah, sehingga secara langsung terkait dengan peresapan air yang dapat dimaksimalkan melalui efek ruang hijau perkotaan dan infrastruktur resapan air yang dibangun pada mitigasi limpasan air hujan dan fungsi hidrologi lainnya. Secara umum, semakin besar laju infiltrasi dan kapasitas tanah, semakin sedikit limpasan permukaan. Peningkatan infiltrasi tanah perkotaan memiliki dampak positif pada masalah kebutuhan air perkotaan (Ren *et al.*, 2020) dan penanganan permasalahan banjir untuk jangka panjang yang berkelanjutan.

Rumusan permasalahan pada studi ini menghasilkan beberapa pertanyaan penelitian, sebagai berikut :

1. Bagaimana kondisi akuifer dangkal ?
2. Berapakah kedalaman muka air tanah ?
3. Bagaimana karakteristik wilayah dan dimana titik lokasi sumur resapan yang sesuai ?
4. Bagaimana konstruksi sumur resapan pada masing-masing kecamatan?

### **C. Tujuan**

Tujuan pelaksanaan studi potensi dan penentuan sumur resapan sebagai upaya pengendalian banjir di Kota Pekalongan berbasis sistem informasi geografis sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui hasil indentifikasi kondisi akuifer dangkal.
2. Untuk mengetahui kedalaman muka air tanah.
3. Untuk mengidentifikasi karakteristik wilayah dan menentukan titik lokasi sumur resapan.
4. Untuk memberikan rekomendasi konstruksi sumur resapan pada masing-masing kecamatan.

### **D. Manfaat**

Manfaat pelaksanaan studi potensi dan penentuan sumur resapan sebagai upaya pengendalian banjir di Kota Pekalongan berbasis sistem informasi geografis sebagai berikut :

1. Bagi Pemerintah

Pemerintah Kota Pekalongan mendapatkan data, informasi, dan visualisasi hasil studi secara spasial yang mudah dipahami sebagai salah satu pertimbangan dalam penentuan kebijakan dan pelaksanaan upaya pengelolaan dan konservasi air tanah serta penanganan bencana banjir secara efisien, efektif, sistematis, dan berwawasan lingkungan guna mendorong terwujudnya pembangunan berkelanjutan.

## 2. Bagi Masyarakat

Masyarakat mendapatkan data dan informasi detail mengenai kondisi air tanah pada wilayahnya. Dengan pengetahuan ini diharapkan dapat meningkatkan kesadaran masyarakat dalam melakukan peresapan air hujan secara sukarela di sekitar huniannya serta penggunaan air tanah secara bijak dan berwawasan lingkungan.

## 3. Bagi Penyusun

Penyusun dapat memanfaatkan studi sebagai media untuk mengimplementasikan ilmu pengetahuan yang dimiliki dan untuk mengembangkan kompetensi diri dalam penyusunan penelitian ilmiah. Penulis berharap dapat menghasilkan suatu produk ilmiah baru yang dapat dimanfaatkan untuk penyelesaian permasalahan lingkungan hidup khususnya terkait sumberdaya air tanah dan penanganan bencana banjir yang sedang terjadi saat ini dan apabila terjadi di kemudian hari, serta memberikan sumbangsih bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

## **E. Sasaran**

Sasaran yang akan dicapai dari pelaksanaan studi, sebagai berikut:

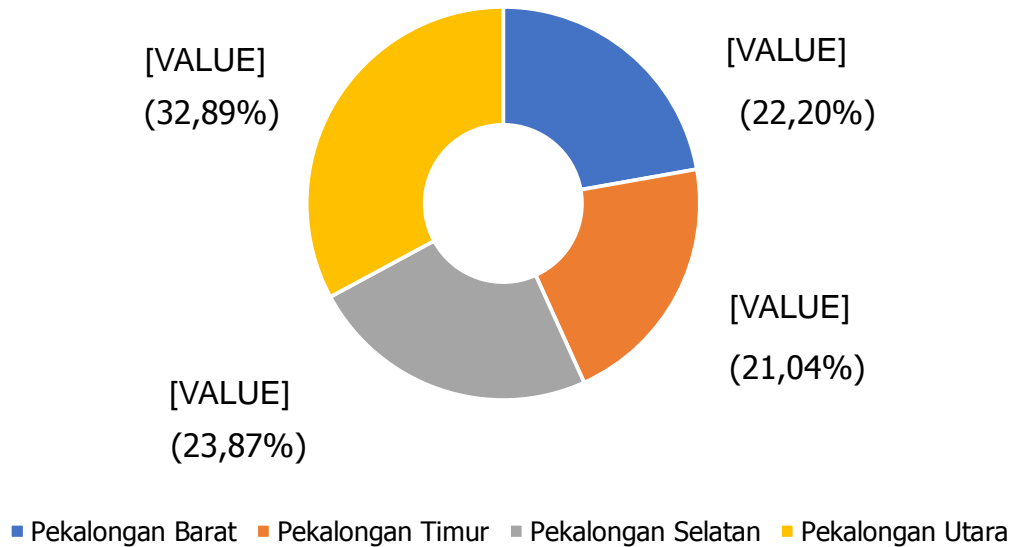
1. Memberikan peta kedalaman air tanah terkini sebagai bahan pemantauan.
2. Memberikan rekomendasi titik resapan air tanah.
3. Memberikan rekomendasi konstruksi sumur resapan air yang sesuai.

## **F. Ruang Lingkup**

### **1. Ruang Lingkup Wilayah**

Lingkup wilayah studi potensi dan kebutuhan sumur resapan berada di seluruh wilayah Kota Pekalongan, Provinsi Jawa Tengah. Posisi geografisnya antara  $6^{\circ} 50' 42''$  s.d.  $6^{\circ} 55' 44''$  Lintang Selatan dan  $109^{\circ} 37' 55''$  s.d.  $109^{\circ} 42' 19''$  Bujur Timur. Luas wilayah daratannya  $45,25 \text{ km}^2$  dan luas wilayah laut  $45,55 \text{ km}^2$ . Kota

Pekalongan secara administratif (**Gambar 1.21.2**) dibagi menjadi empat kecamatan dengan luas wilayah 4.525 Ha (**Gambar 1**), atau 0,14 % dari luas wilayah Jawa Tengah (Luas Jawa Tengah 3.254 ribu Ha), yaitu Kecamatan Pekalongan Barat, Pekalongan Timur, Pekalongan Selatan, dan Pekalongan Utara

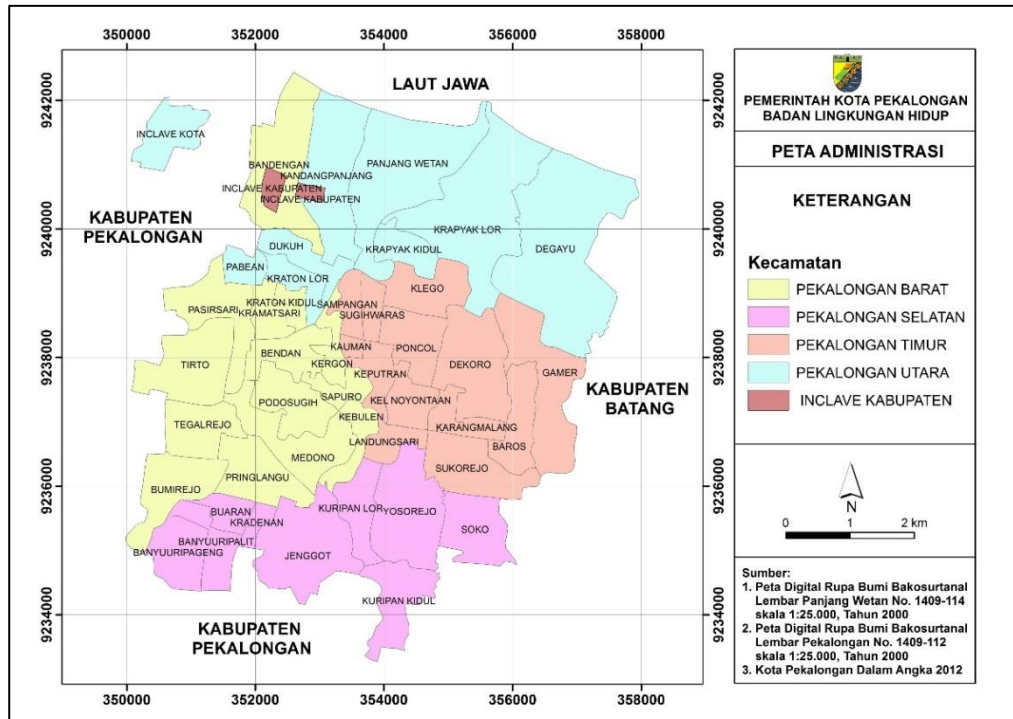


**Gambar 1.1 Luas Wilayah Menurut Kecamatan (Km<sup>2</sup>) di Kota Pekalongan**

Sumber : (Badan Pusat Statistik Kota Pekalongan, 2019)

Batas wilayah administrasi Kota Pekalongan, sebagai berikut :

- Sebelah utara : berbatasan dengan Laut Jawa
- Sebelah timur : berbatasan dengan Kabupaten Batang
- Sebelah selatan : berbatasan dengan Kabupaten Pekalongan dan Kabupaten Batang
- Sebelah barat : berbatasan dengan Kabupaten Pekalongan



**Gambar 1.2** Peta Administrasi Kota Pekalongan

Sumber : Pemerintah Kota Pekalongan, 2012

## 1. Ruang Lingkup Pelaksanaan Studi

Lingkup studi potensi dan penentuan sumur resapan sebagai upaya pengendalian banjir di Kota Pekalongan berbasis sistem informasi geografis adalah

### 1) Tahap Persiapan

Sebelum melakukan kegiatan pengumpulan data, maka tahap awal adalah persiapan. Adapun persiapan yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a) Persiapan penyusunan data sekunder
- b) Persiapan survey lapangan dan pengumpulan data primer

### 2) Penentuan lokasi

Penentuan lokasi diprioritaskan di lahan-lahan fasilitas umum, seperti jalan perkampungan, yang akan lebih fokus untuk diteliti dengan melihat pertimbangan :

- a) Kestrategisan lokasi
- b) Status dan kepemilikan lokasi
- c) Riwayat lokasi kawasan banjir



### 3) Pengumpulan Data dan Informasi

Proses pengumpulan data dan informasi dilakukan dengan melalui kegiatan pengumpulan data primer dan sekunder. Adapun metode yang dilakukan meliputi survey lapangan, dan penelaahan terhadap dokumen peraturan dan studi literatur.

#### a) Pengumpulan Data Primer.

Pengumpulan data primer menghasilkan data-data primer yang dilakukan melalui pengamatan dan pengukuran secara langsung ke lapangan.

#### b) Pengumpulan Data Sekunder,

Data sekunder yang dibutuhkan antara lain : data debit curah hujan, data kawasan rawan banjir, data karakteristik lahan.

### 4) Pengolahan data

Data dan informasi yang diperoleh disajikan baik dalam bentuk numerik tabel, peta maupun narasi.

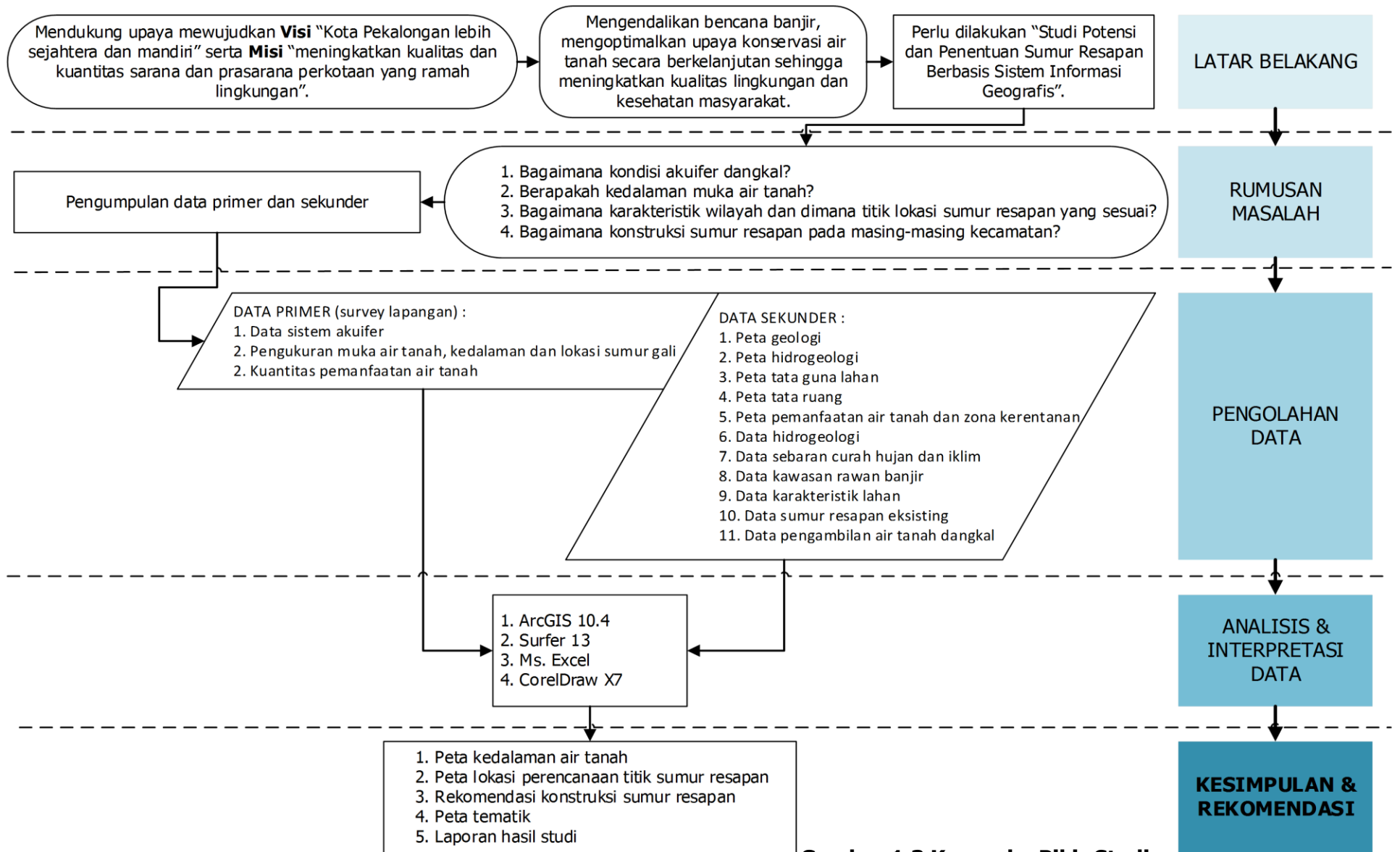
## 2. Ruang Lingkup Substansi dan Pembahasan

Lingkup substansi meliputi substansi ilmu yang digunakan sebagai landasan teori maupun konsep-konsep yang berpengaruh terhadap penelitian. Lingkup substansi mengenai aspek dalam penilaian potensi air tanah serta penentuan lokasi dan struktur sumur resapan dalam upaya pengendalian banjir melalui analisis pola spasial berbasis sistem informasi geografis. Substansi pada penelitian ini dikaji melalui aspek fisik dan keruangan.

Lingkup pembahasan pada studi ini yaitu mengenai penilaian potensi air tanah dan sumur resapan yang dianalisis melalui karakteristik spasial wilayah, sistem akuifer, kedalaman air tanah, daerah rawan bencana banjir, dan kuantitas pemanfaatan air tanah. Karakteristik wilayah studi merupakan penentu analisis yang dipengaruhi oleh dinamika perubahan penggunaan lahan, konsep tata ruang, kondisi geologi, hidrogeologi dan jenis tanah. Batasan dalam penelitian ini tidak membahas mengenai aspek demografi, sosial, budaya, ataupun hukum, namun berfokus pada potensi dan resapan air tanah dengan mengedepankan prinsip konservasi air.

## G. Kerangka Pikir

Kerangka pikir pelaksanaan studi potensi dan penentuan sumur resapan sebagai upaya pengendalian banjir di Kota Pekalongan berbasis sistem informasi geografis sebagai berikut (**Gambar 1.3**) :



**Gambar 1.3 Kerangka Pikir Studi**

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Air**

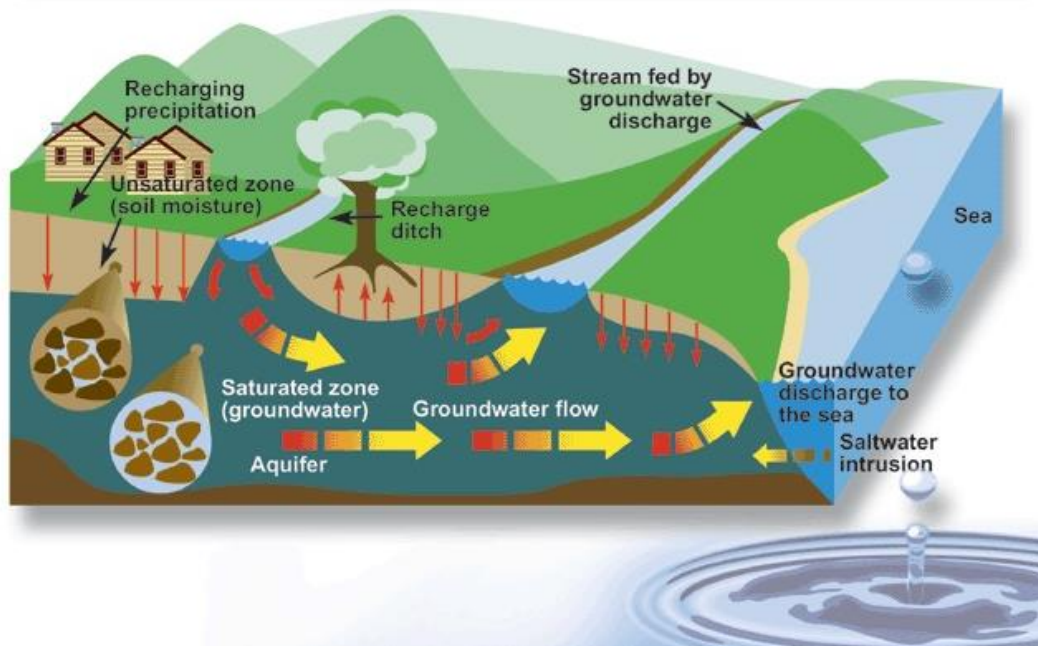
Air adalah sumber utama dari semua kehidupan dan itu harus tersedia secara memadai untuk semua tuntutan yang dibutuhkan seperti kebutuhan rumah tangga, pertanian, industri, rekreasi dan ekologi (Gedam and Dagalo, 2020). Sekitar 75% permukaan bumi ditutupi oleh air. Namun, ini hanya perkiraan karena sifat dinamis dan gerakan air yang permanen membuat sulit untuk secara andal menilai total cadangan air di bumi (du Plessis, 2017). Total tekanan eksternal dari paparan terkait air adalah penentu signifikan terhadap kesehatan manusia (Boelee *et al.*, 2019).

#### **B. Air Tanah**

Sumber Daya Air jumlahnya kurang dari 1% total ketersediaan air di dunia yang dapat dimanfaatkan untuk pemenuhan kebutuhan manusia (du Plessis, 2017) dan lebih dari 50% dari ketersediaan air tersebut dimanfaatkan dari air tanah (Milašinović *et al.*, 2019). Air tanah adalah salah satu sumber daya alam paling berharga yang mendukung kesehatan manusia dan pembangunan ekonomi. Karena ketersediaannya yang terus-menerus dan kualitas alami yang sangat baik, air tanah menjadi sumber penting pasokan air di banyak wilayah perkotaan dan pedesaan di dunia (Gedam and Dagalo, 2020).

Air cenderung tersimpan pada topografi yang lebih rendah daripada pada topografi yang lebih tinggi. Oleh karena itu, semakin tinggi ketinggian, semakin kecil potensi air tanah dan sebaliknya. Oleh karena itu data ketinggian atau elevasi diperlukan untuk dipertimbangkan dalam studi potensi air tanah. Kemiringan permukaan tanah adalah faktor lain yang mempengaruhi hidrologi daerah aliran

sungai tertentu. Ini terutama mempengaruhi proses limpasan permukaan dan secara sebagian menentukan resapan air tanah dari suatu daerah aliran sungai. Nilai kemiringan yang lebih rendah menunjukkan medan yang lebih datar (gentle slope) dan nilai kemiringan yang lebih tinggi menunjukkan medan yang curam dan bergelombang. Daerah lereng yang lebih rendah dari dataran datar memungkinkan infiltrasi dan perkolasi curah hujan sementara daerah lereng yang lebih tinggi menghasilkan limpasan cepat dari medan dan karenanya memberikan sedikit volume air untuk mengisi ulang air tanah. Dalam suatu DAS, efek gradien topografi memiliki pengaruh signifikan terhadap fluks daripada kedalaman dan gradien hidraulik. Ini dapat dikaitkan dengan masalah skala di mana efek dari gradien hidraulik air tanah dapat diabaikan tetapi efek dari gradien topografi tidak dapat diabaikan. Namun, paparan lereng lebih mempengaruhi faktor daripada gradien kemiringan untuk pengisian air tanah dan demikian juga untuk potensi air tanah (Gedam and Dagalo, 2020).



**Gambar 2.1 Aliran Air Tanah**

Sumber : (MVIHES, 2014)

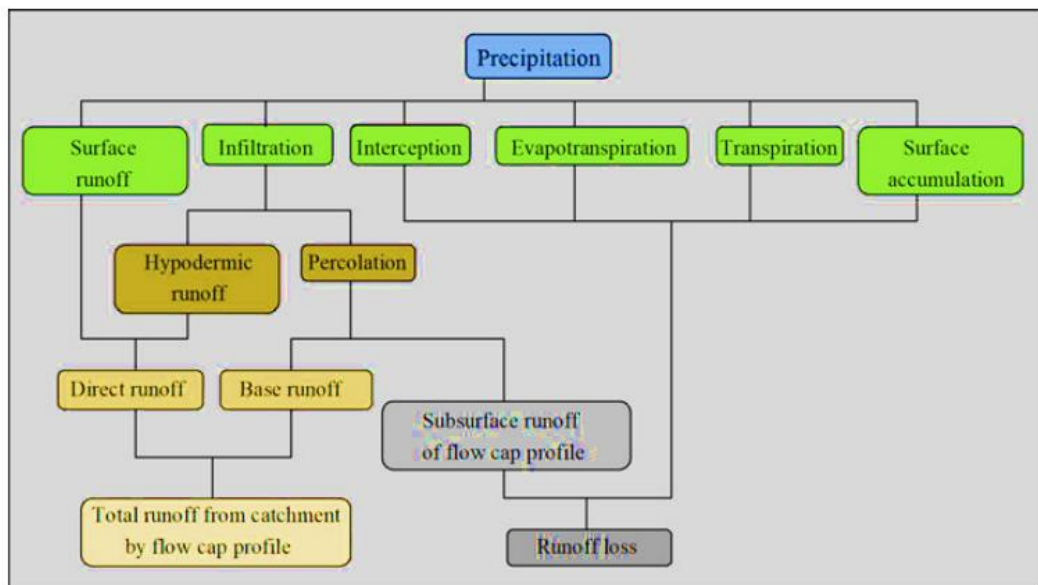
Geologi mempengaruhi porositas dan permeabilitas akuifer. Geologi atau litologi adalah salah satu parameter pengendali air tanah yang dipertimbangkan dalam studi air tanah yang memainkan peran penting dalam distribusi dan terjadinya air tanah. Permukaan lahan yang ditutupi oleh vegetasi seperti hutan dan pertanian dapat menahan air di akar tanaman sedangkan penggunaan tanah berbatu akan mempengaruhi resapan air tanah dengan meningkatkan limpasan selama curah hujan (Gedam and Dagalo, 2020).

Penggunaan lahan dan kondisi tutupan mempengaruhi siklus hidrologi dalam banyak hal terutama dengan mengubah perilaku limpasan permukaan dan demikian juga terkait pengisian ulang air tanah. Bahkan, juga mempengaruhi proses hidrologi lainnya seperti evapotranspirasi, transpirasi, infiltrasi, evaporasi dan intersepsi. Karena peningkatan populasi dan pengaruh antropogenik lainnya di banyak daerah ada perubahan penggunaan lahan dan tutupan dari satu bentuk ke bentuk lainnya (Jia *et al.*, 2019). Beberapa penggunaan lahan mendukung resapan air tanah dan potensi sementara yang lain membawa konsekuensi negatif terhadap resapan air tanah (Wang, Wang and Cheng, 2019). Misalnya, pemukiman dan daerah perkotaan terutama menghasilkan proses limpasan dan karenanya telah mengurangi imbuhan (recharge). Area pertanian mungkin tidak berkontribusi positif terhadap air tanah tergantung pada prosedur manajemen yang diambil untuk konservasi tanah dan air (Gedam and Dagalo, 2020).

### **C. Hujan**

Curah hujan memainkan peran penting dalam siklus hidrologi dan mengendalikan potensi air tanah. Keterwakilan data curah hujan adalah titik kunci dalam menentukan variabilitas spasial bidang curah hujan pada skala yang sangat kecil (Zekeňáková, Hudáková and Stec, 2020). Mengetahui sifat dan karakteristik curah hujan memudahkan untuk membuat konsep dan memperkirakan pengaruhnya terhadap limpasan,

infiltrasi, dan pengisian ulang air tanah. Kemungkinan resapan air tanah akan tinggi di tempat di mana curah hujan tinggi dan rendah di mana curah hujan rendah. Dapat juga dicatat bahwa fenomena imbuan air tanah adalah hasil dari efek jangka panjang daripada tinggi atau rendah yang tidak disengaja, khususnya untuk lingkungan lembab. Oleh karena itu, lebih masuk akal untuk mempertimbangkan pengaruh curah hujan jangka panjang daripada nilai curah hujan jangka pendek untuk menentukan pengaruh curah hujan terhadap imbuan air tanah (Gedam and Dagalo, 2020).



**Gambar 2.2 Skema Presipitasi**

Sumber : (Zeleňáková, Hudáková and Stec, 2020)

Pembentukan atau cara limpasan dapat dibagi menjadi jangka panjang dan pendek. Limpasan dibagi lagi menjadi permukaan, bawah permukaan dan bawah tanah. Dalam praktiknya, limpasan biasanya dibagi menjadi dua entitas yang lebih rinci: limpasan langsung dan limpasan dasar. Sementara limpasan langsung meliputi air mengalir ke permukaan, limpasan dasar sebagian besar terdiri dari air tanah saja (Gambar). Curah hujan dapat menurunkan atau menaikkan level air tanah, biasanya beberapa sentimeter. Aliran dasar dalam aliran alami

disuplai dengan air dari air tanah yang dangkal, dan aliran ini kemudian menjadi bagian dari jaringan hidrografi. Dalam cekungan alami yang besar, limpasan dasar dapat menjadi komponen penting limpasan, dan jarang itu dapat menjadi signifikan di cekungan kecil pada perkotaan di mana limpasan permukaan terjadi. Berbagai faktor mempengaruhi sumber yang menentukan sifat limpasan yaitu faktor iklim, faktor geografis, dan faktor antropogenik. Sumber utama limpasan permukaan adalah presipitasi atmosfer. Jumlah, luas dan waktu distribusi telah menentukan mode aliran air. Curah hujan membentuk bagian dari siklus sirkulasi air alami, yang memastikan pemulihan permukaan dan air tanah.

#### **D. Banjir**

Risiko bencana banjir berskala besar semakin meningkat dengan perubahan iklim. Suhu udara rata-rata telah meningkat secara global sebesar 0,72 ° C sejak abad ke-19, dan di wilayah Asia Timur, peningkatan curah hujan yang tinggi terkait dengan banjir yang sering dapat menyebabkan kerusakan serius pada infrastruktur, mata pencaharian, dan pemukiman (IPCC, 2014). Beberapa daerah di Pekalongan sudah di bawah rata-rata permukaan laut, kemungkinan besar sebagai dampak dari penurunan muka tanah. Dengan demikian, setelah laju penurunan muka tanah diterapkan dalam model, ditunjukkan bahwa setelah setahun, ketinggian genangan banjir meningkat pada kisaran 8 - 14 cm. Proyeksi lebih lanjut menunjukkan bahwa pada tahun 2025, ketinggian genangan di Jeruksari mendekati 1,5 meter sedangkan pada tahun 2050, mungkin mencapai 2,51 meter. Pada tingkat ini, banjir dapat sangat merusak kehidupan kota di Pekalongan. Seperti yang terjadi di Jakarta, tanggul pantai yang menjaga daerah pesisir adalah salah satu solusi yang diusulkan. Namun, ini hanya untuk jangka pendek karena penurunan muka tanah akan menurunkan ketinggian tanggul.

Sangat disarankan untuk mengontrol konsumsi air tanah untuk melawan penurunan muka tanah dan ancaman banjir (Pratama, 2019).

Infrastruktur konvensional (*gray infrastructure*) telah banyak digunakan untuk mengurangi risiko bencana banjir tetapi mungkin tidak cukup untuk mencegah bencana di masa depan karena besarnya dan intensitas bencana, peningkatan biaya pemeliharaan, dan pendapatan pajak yang terbatas. Di bawah kondisi alam dan sosial ekonomi ini, infrastruktur hijau telah mendapatkan perhatian sebagai salah satu strategi adaptasi terhadap banjir besar. Infrastruktur hijau (*green infrastructure*) didefinisikan sebagai "jaringan strategis wilayah alami dan semi alami yang direncanakan secara strategis dengan fitur lingkungan lainnya yang dirancang dan dikelola untuk merancang berbagai layanan ekosistem seperti pemurnian air, kualitas udara, ruang untuk rekreasi dan mitigasi dan adaptasi iklim. Infrastruktur hijau lebih unggul dari infrastruktur konvensional dalam hal biaya pengenalan dan pemeliharaan dan ketentuan layanan ekosistem; dengan demikian, pemanfaatan infrastruktur hijau dan/atau kombinasi infrastruktur konvensional dan infrastruktur hijau adalah solusi yang memungkinkan untuk pengurangan risiko bencana di masa (Yamanaka *et al.*, 2020).

Infrastruktur yang dapat digunakan dalam penanganan banjir menggunakan pendekatan teknologi infiltrasi ataupun retensi. Teknologi infiltrasi air hujan, antara lain *marshes*, lubang resapan (2-3, 20), tangki, sistem bioreaktor, jalur berpori; fitur karakteristiknya membantu mengembalikan jumlah air tanah melalui limpasan bawah permukaan; Teknologi retensi air hujan, antara lain: *wetlands*, kolam (Wahyudi, 2010), *vegetation roofs*, pengumpulan curah hujan (tangki dan tangki penyimpanan); cirinya membantu menjaga air hujan di tempat hujan, dan dengan demikian bertindak untuk mengurangi limpasan (Zeľeňáková *et al.*, 2020).



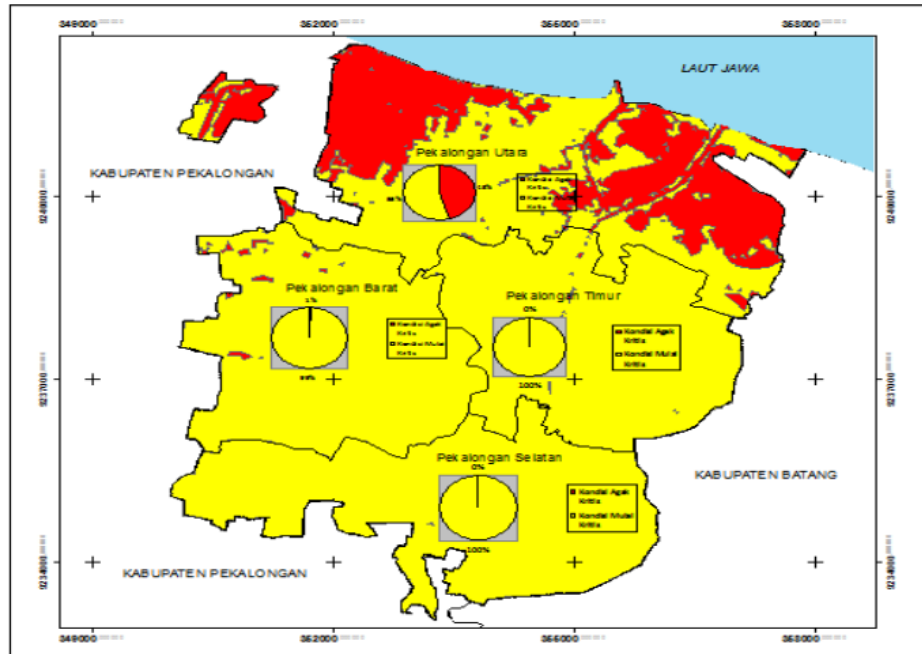
## E. Resapan Air

Daerah resapan air secara kontinyu mengalami penurunan maka timbul berbagai permasalahan lingkungan, seperti tingginya volume air larian permukaan atau limpasan sebagai pemicu terjadinya bencana banjir. Kondisi resapan air di wilayah Kota Pekalongan (Gambar ) yaitu kondisi agak kritis (16%) dan kondisi mulai kritis (84%) (Adibah *et al.*, 2013). Infrastruktur resapan air di perkotaan sangat mendesak untuk dibangun guna melestarikan sumberdaya air tanah dan mencapai keseimbangan sumber daya air secara keseluruhan dengan mengacu pada prinsip pengelolaan air perkotaan sebagai berikut :

1. untuk mengelola siklus air kota secara berkelanjutan (dengan mempertimbangkan permukaan dan air tanah serta wilayah sungai dan dampaknya terhadap erosi tanah);
2. untuk menjaga dan mengembalikan rezim aliran sedekat mungkin dengan karakter alami;
3. untuk melindungi dan memulihkan kualitas air (air permukaan dan air tanah);
4. untuk melindungi dan memulihkan kesehatan air hujan;
5. untuk melestarikan sumber daya air (dengan mempertimbangkan air hujan yang dianggap sebagai sumber daya);
6. untuk memperkuat lanskap perkotaan dan kesejahteraan dengan memasukkan langkah-langkah pengelolaan air hujan yang menawarkan banyak manfaat bagi lanskap (Zeleňáková *et al.*, 2020).

Upaya memaksimalkan resapan air salah satunya dapat menggunakan sumur resapan (2-3). Sumur resapan merupakan poros atau lubang resapan berdiameter besar yang digali atau dibor untuk memotong material permeabilitas rendah yang ada di dekat permukaan tanah. Diameter besar menyediakan penyimpanan air dan area permukaan yang lebih besar untuk infiltrasi lateral. Sumur resapan dibangun untuk menciptakan sistem hibrida. Cekungan menyediakan

penyimpanan dan peningkatan kualitas air, sementara sumur resapan memungkinkan tingkat infiltrasi yang lebih besar dengan memintas strata yang kurang konduktif yang terletak di dekat permukaan tanah. (Maliva, 2020).



**Gambar 2.3 Peta Sebaran Kondisi Resapan Air Kecamatan di Kota Pekalongan**

Sumber : (Adibah, Kahar and Sasmito, 2013)

Berdasarkan SNI 8456:2017 mengenai sumur dan parit resapan air hujan, bahwa persyaratan umum yang harus dipenuhi kaitannya dengan sumur resapan yaitu:

- a) Sumur resapan dan parit resapan air hujan ditempatkan pada lahan yang relatif datar dengan kemiringan maksimum <math><2\%</math>;
- b) Air yang masuk ke dalam sumur resapan dan parit resapan adalah limpasan air hujan;
- c) Penempatan sumur dan parit resapan air hujan harus mempertimbangkan keamanan bangunan sekitarnya;
- d) Sumur resapan dan parit resapan air hujan bisa dibuat secara individual dan komunal;
- e) Harus memperhatikan peraturan daerah setempat;

f) Hal-hal yang tidak memenuhi ketentuan ini harus disetujui oleh instansi yang berwenang.

Persyaratan teknis lainnya juga diatur dalam pembuatan sumur resapan, diantaranya yaitu:

- a) Sumur resapan air hujan yang digunakan untuk kedalaman air tanah >2 m, jika kedalaman air tanah < 2 m bisa menggunakan parit resapan air hujan.
- b) Penampang sumur resapan air hujan berbentuk segi empat atau lingkaran, dimungkinkan untuk bentuk lainnya dengan memperhatikan kemudahan dalam pengerjaan;
- c) Ukuran sisi penampang sumur resapan air hujan 80 cm sampai dengan 100 cm;
- d) Permeabilitas tanah

Struktur tanah yang dapat digunakan harus mempunyai nilai koefisien permeabilitas tanah > 2.0 cm/jam, dengan klasifikasi dalam

**Tabel** sebagai berikut:

**Tabel 2.1 Nilai koefisien permeabilitas tanah**

Koefisien Permeabilitas Tanah	Nilai	Jenis Tanah
Sedang	2,0 – 3,6 cm/jam atau 0,48 – 0,864 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /hari	Lanau
Agak Cepat	3,6 – 36 cm/jam atau 0,864 – 8,64 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /hari	Pasir halus
Cepat	>36 cm/jam atau 8,64 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /hari	Pasir kasar

Sumber : (Republik Indonesia, 2017b)

- e) Periode ulang hujan yang digunakan untuk perencanaan 2 tahun sekali terlampaui;
- f) Intensitas hujan ditentukan dengan analisis Intensity Duration Frequency (IDF) dari daerah lokasi pembangunan dengan durasi

hujan 2 jam dan periode ulang 2 tahunan, dengan perhitungan dengan rumus sebagai berikut:

Metode Mononobe

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{\frac{2}{3}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan

- I : Intensitas curah hujan (mm/jam)
- T : Lamanya curah hujan/durasi curah hujan (jam)
- R<sub>24</sub> : Curah hujan rencana dalam suatu periode ulang, yang nilainya didapat dari tahapan sebelumnya (tahapan analisis frekuensi)

- g) Koefisien limpasan (c) ditetapkan sebesar 0,95.
- h) Luas bidang tadah yang mempunyai kemiringan seperti atap rumah ditetapkan sebagai luas bidang proyeksi.
- i) Debit limpasan dihitung dengan metode rasional dengan parameter koefisien limpasan (c), intensitas hujan dan luas bidang tadah;
- j) Rumus yang dapat digunakan untuk perhitungan kedalaman sumur (H) dapat dilihat pada persamaan :

$$H = \frac{Q}{\omega \pi r K} \dots\dots\dots(2)$$

Harga  $\omega = 2$ , untuk sumur kosong berdinding kedap air atau sumur tanpa dinding dengan batu pengisi

Harga  $\omega = 5$ , untuk sumur kosong berdinding porous.

Keterangan :

- H : kedalaman parit (m)
- R : panjang parit (m)
- K : lebar parit (m)
- Q : debit andil banjir (Q = C.I.A) (m<sup>3</sup>/jam)

- k) Pipa outlet dan pipa inlet serta pipa pelimpah untuk mengalirkan kelebihan air atau genangan dan masuk ke sumur resapan digunakan bahan pipa PVC minimal 3 inchi, sedangkan untuk inlet

ke parit resapan air hujan dapat digunakan pipa PVC minimal 4 inci atau buis beton  $1\frac{1}{2}$  30 cm (gravel) atau buis beton 30 cm;

- l) Pipa ventilasi (air outlet) pada sumur maupun parit resapan mempunyai konstruksi yang rapat maka diperlukan pipa pembuang udara daru PVC  $1\frac{1}{2}$  in. untuk mencegah terhalangnya aliran dari debit andil banjir ke dalam sumur maupun parit resapan;
- m) Jarak penempatan sumur dan parit resapan air hujan terhadap bangunan, dapat dilihat pada **Tabel 1.2** berikut :

**Tabel 1.2 Jarak minimum sumur dan parit resapan air hujan terhadap bangunan**

No	Jenis Bangunan	Sumur Resapan Air Hujan (m)	Parit Resapan Air Hujan (m)
1	Pondasi bangunan/ tangki septik	1	1
2	Bidang resapan/ sumur resapan tangki septik	5	5
3	Sumur resapan air hujan/ sumur air bersih	3	-

Sumber : (Republik Indonesia, 2017b)

## **BAB III**

### **METODOLOGI**

Metodologi penelitian menciptakan paradigma baru terhadap perkembangan ilmu pengetahuan. Hasil paradigma baru biasanya tidak mencukupi dan disediakan untuk perubahan selanjutnya. Hal tersebut bergantung pada data dan fakta yang diperoleh dan dianalisis berdasarkan kaidah ilmiah. Masalah kuantitatif memiliki wilayah yang luas dan tingkat variasi yang kompleks. Instrumen yang digunakan telah ditentukan dan ditata dengan baik. Untuk menciptakan validitas yang tinggi juga diperlukan kecermatan dalam proses penentuan sampel, pengambilan data dan penentuan alat analisisnya.

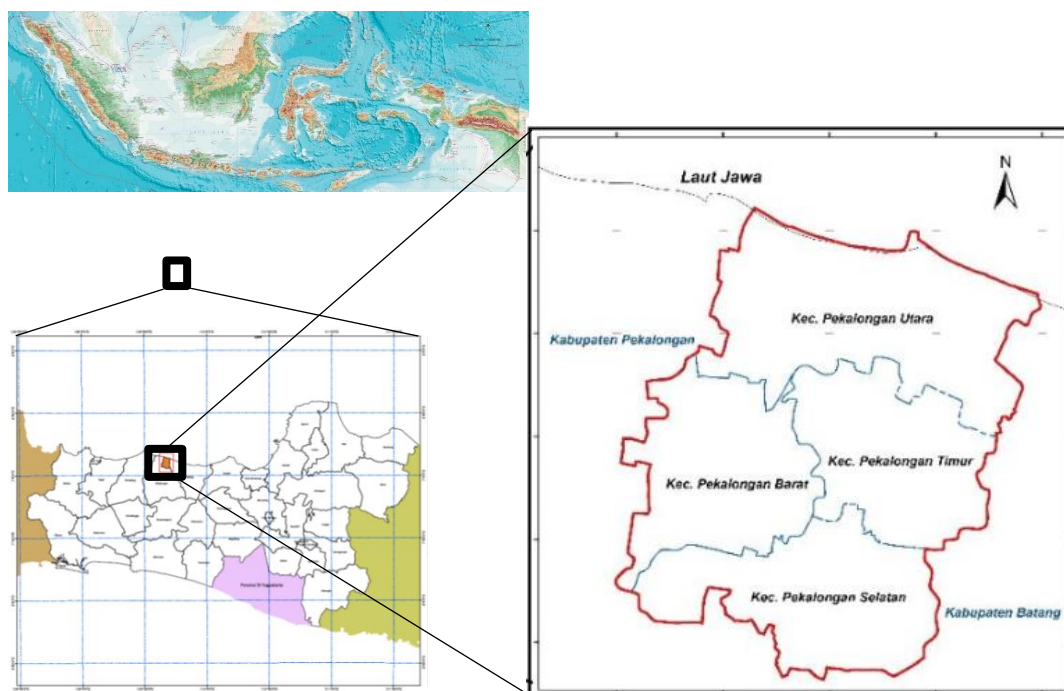
Penelitian deskriptif merupakan penelitian yang memberikan gambaran lebih jelas tentang suatu kondisi. Penelitian deskriptif (*descriptive research*) atau penelitian taksonomik (*taxonomic research*) dimaksudkan untuk eksplorasi dan klarifikasi terkait sesuatu fenomena yang sedang terjadi dengan cara mendeskripsikan variabel yang berkenaan dengan masalah dan unit yang diteliti. Pada suatu penelitian deskriptif, tidak menggunakan dan tidak melakukan pengujian hipotesis (Mulyadi, 2013). Dengan demikian, studi potensi dan penentuan sumur resapan sebagai upaya pengendalian banjir di Kota Pekalongan berbasis sistem informasi geografis menggunakan metodologi penelitian deskriptif kuantitatif.

#### **A. Lokasi dan Waktu Pelaksanaan**

##### **1. Lokasi Studi**

Lokasi studi potensi dan kebutuhan sumur resapan berada di seluruh wilayah Kota Pekalongan, Provinsi Jawa Tengah. Kota Pekalongan dianggap strategis karena letaknya pada perlintasan Jakarta – Semarang. Kota Pekalongan memiliki 27 kelurahan, 337 Rukun Warga dan 1.640 Rukun Tetangga. Kota Pekalongan secara

topografis terletak pada dataran rendah pantai Utara Pulau Jawa dengan ketinggian lahan antara 0 - 6 meter dpl. Keseluruhan wilayah berada pada kemiringan lereng 0-8% artinya sangat datar bahkan di beberapa tempat tertentu telah teridentifikasi memiliki ketinggian di bawah permukaan air laut seperti di Kawasan Pabean Kelurahan Padukuhan Kraton Kecamatan Pekalongan Utara akibat penurunan permukaan tanah (*land subsidence*) (Yulianto *et al.*, 2019; Chaussard *et al.*, 2013).



**Gambar 3.1 Orientasi Wilayah Kota Pekalongan**

Sumber : (Badan Informasi Geospasial, 2020; Pemerintah Kota Pekalongan, 2011)

Terdapat 4 (empat) jenis tanah di wilayah Kota Pekalongan, yaitu alluvial hidromorf, alluvial kelabu tua serta alluvial kelabu dan alluvial coklat kekelabuan. Sebaran tanah alluvial hidromorf yaitu di kawasan Utara kota. Sebaran alluvial kelabu tua di wilayah Timur dan Barat kota serta sebaran tanah alluvial kelabu dan alluvial coklat kekelabuan terdapat di sepanjang koridor ke arah selatan kota. Litologi batuan di Kota Pekalongan merupakan endapan sedimen alluvium, terbentuk pada jaman holosen periode tersier dengan

ketebalan  $\pm$  150 m yang terdiri dari kerikil, pasir, lanau dan lempung, endapan sungai dan rawa. Endapan alluvium ini terbentuk menutupi lapisan batuan anggota breksi formasi Ligung yang bersusunan andesit, lava andesit hornblend dan tufa yang merupakan bagian atas formasi Ligung yang terbentuk pada pliosen akhir-pliosen awal. Lapisan alluvium pada permukaan di sepanjang pantai didominasi oleh pasir sedangkan di daerah muara adalah lempung, endapan sungai dan rawa (Pemerintah Kota Pekalongan, 2018).

## 2. Waktu Pelaksanaan

Pelaksanaan studi potensi dan penentuan sumur resapan sebagai upaya pengendalian banjir di Kota Pekalongan berbasis sistem informasi geografis dilaksanakan dalam jangka waktu 5 (lima) bulan sesuai dengan rencana jadwal seperti tertera di Tabel 3.1 **Error! Reference source not found.** berikut :

**Tabel 2.1 Rencana Waktu Pelaksanaan Studi**

Uraian Kegiatan	Bulan ke				
	1	2	3	4	5
Persiapan peta dasar					
Pengumpulan dan telaah data sekunder					
Survey lapangan					
Pengolahan dan analisis data lapangan					
Penyusunan peta-peta tematik					
Penyusunan draft laporan akhir dan artikel ilmiah jurnal litbang					

## B. Metode Pengumpulan Data

### 1. Pengumpulan dan Telaah Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang sudah tersedia baik yang bersifat langsung digunakan atau data yang perlu ditelaah kembali, jenis data ini antara lain:

- Kondisi Hidrologi, meliputi: data klimatologi rata-rata bulanan meliputi: curah hujan, temperatur, kelembaban udara, dan



kecepatan angin minimal untuk periode selama 5 (lima) tahun. Telaah ini diarahkan terhadap analisa awal tentang kondisi lokasi studi dari aspek hidrologi yang akan banyak memberi masukan terhadap siklus hidrologi di daerah studi dan sekitarnya

- Kondisi Geologi, meliputi: telaah morfologi, stratigrafi, (umur dan jenis batuan), struktur geologi dan yang paling penting adalah data keberadaan dan penyebaran lapisan pembawa Air Tanah (akuifer) baik secara vertical dan horizontal
- Kondisi Hidrogeologi (permukaan dan bawah permukaan), meliputi: telaah pengelompokkan unit hidrogeologi berdasarkan jenis dan sikap batuan terhadap air. Penyebaran litologi akuifer baik secara vertical maupun horizontal

## **2. Pengambilan Data Primer**

Survei lapangan yang dilakukan berdasarkan titik minatan hidrogeologi yang bersumber kepada sumber daya air permukaan dan sumber daya air tanah. Sumberdaya air tanah yang dicari yakni air tanah bebas (*shallow wells, intermediate wells, etc.*) Selain itu dalam survei di lapangan dilakukan kegiatan sebagai berikut:

### **a. Survei geologi**

Evaluasi geologi dan hidrogeologi merupakan kajian terhadap parameter atau unsur-unsur fisik batuan yang berhubungan dengan sistem airtanah, baik yang menyangkut kuantitas maupun kualitasnya diantaranya jenis batuan yang berpotensi sebagai akuifer berdasarkan hasil pemetaan geologi terdahulu, macam litologi dan penyebaran secara lateral dan vertikal.

### **b. Pengamatan dan pengukuran sumber air permukaan/air tanah/shallow wells bebas terpilih dan representatif:**

- Mencatat nomor pengamatan, lokasi, dan nama sumber air permukaan

- Menentukan lokasi sumber air permukaan di peta lapangan dan mencatat ketinggiannya dari muka laut
- Mengamati dan mengukur sifat fisik air meliputi warna bau, rasa
- Mengamati litologi akuifer

### **C. Metode Analisis Data**

Tahap pengolahan dan analisis data dilakukan terhadap parameter hidrogeologi, hidrologi dan parameter teknis pendukung lainnya pada kondisi/waktu berbeda. Analisis data yang dibutuhkan menyangkut luasan lahan atau bangunan wilayah studi, data curah hujan, permeabilitas tanah. Perhitungan dibutuhkan dalam rangka penentuan lokasi maupun jumlah sumur resapan yang dibutuhkan di Kota Pekalongan berpedoman pada Standar Nasional Indonesia 8456:2017 tentang Sumur dan Parit Resapan Air Hujan (E. Resapan Air). Pengolahan data berbasis sistem informasi geografis menggunakan aplikasi ArcGIS 10.4.

## **BAB IV**

### **ANALISIS DATA**

Telaah dan analisis data dilakukan terhadap hasil pengumpulan data sekunder dan primer. Hasil telaah menggambarkan karakteristik wilayah Kota Pekalongan dan berbagai kondisi yang disampaikan dalam bentuk narasi, diagram, tabel maupun peta, sebagai bahan pembahasan pada bab selanjutnya.

#### **A. Demografi**

Kota Pekalongan secara geografis memiliki potensi strategis, karena dilalui jalur transportasi regional yang menghubungkan antara wilayah Provinsi Jawa Barat dengan Jawa Tengah dan mempunyai jalur transportasi antar kabupaten antara lain Kabupaten Pekalongan, Batang, Pemalang dan Banjarnegara. Untuk jarak terjauh Kota Pekalongan dari utara ke selatan mencapai  $\pm 9$  Km, sedangkan dari barat ke timur mencapai  $\pm 7$  Km. Kota Pekalongan memiliki garis pantai sepanjang + 6,15 Km dengan kecamatan pesisir terletak di Kecamatan Pekalongan Utara. Utara

Kota Pekalongan (**Error! Reference source not found.**) mempunyai 4 kecamatan yang terbagi menjadi 27 kelurahan yaitu Kecamatan Pekalongan Utara (7 kelurahan), Kecamatan Pekalongan Timur (7 kelurahan), Kecamatan Pekalongan Barat (7 kelurahan), dan Kecamatan Pekalongan Selatan (6 kelurahan). Rincian luas per kelurahan terdapat pada

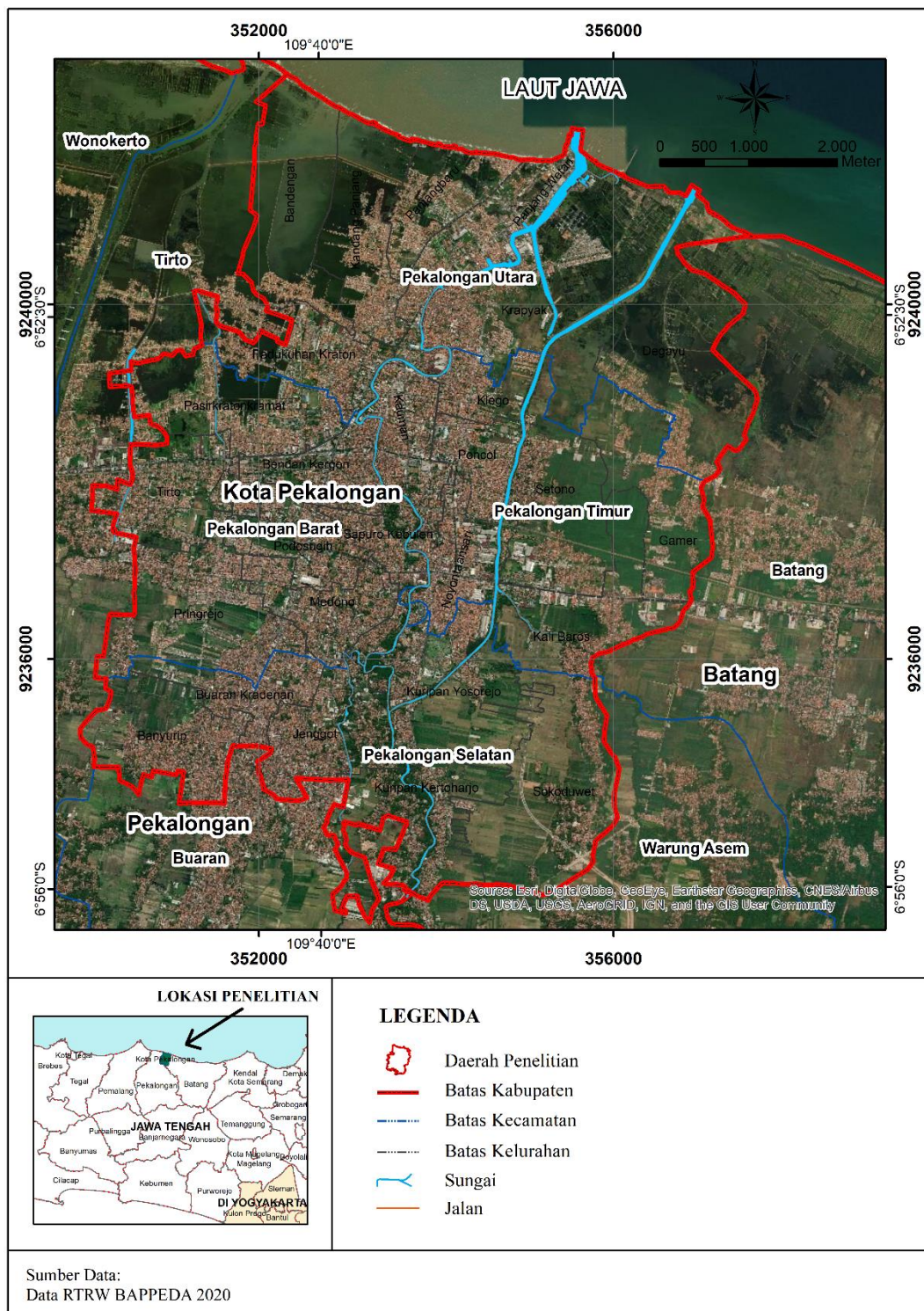
#### **Tabel 3.1.**

**Tabel 3.1 Luas Administrasi Kelurahan Kota Pekalongan**

No	Kecamatan	Kelurahan	Luas Wilayah (Km <sup>2</sup> )
1.	Pekalongan Barat	Medono	1,26
		Podosugih	0,95
		Titro	1,47
		Pringrejo	2,36
		Sapurokebulen	0,85
		Bendankergon	1,12
		Pasirkratonkramat	1,97
		Total	<b>10,00</b>
2.	Pekalongan Timur	Kauman	1,14
		Poncol	0,82
		Klego	0,86
		Gamer	1,78
		Noyontaansari	1,12
		Setono	1,96
		Kali Baros	1,95
		Total	<b>9,63</b>
3.	Pekalongan Selatan	Jenggot	1,52
		Banyurip	1,74
		Buarankradenan	0,93
		Kuripan Kertoarjo	2,03
		Kuripan Yosorejo	2,39
		Sokoduwet	2,86
		Total	<b>11,47</b>
4.	Pekalongan Utara	Bandengan	2,22
		Kandangpanjang	1,82
		Panjang Wetan	1,60
		Degayu	2,89
		Panjang Baru	1,13
		Krapyak	4,14
		Padukuhan Kraton	1,39
Total	<b>15,19</b>		

Sumber : (Bappeda, 2020)

Jumlah penduduk Kota Pekalongan tahun 2019 sejumlah 307.097 jiwa. Wilayah kecamatan dengan jumlah penduduk tertinggi berada di wilayah pekalongan barat sebesar 95.555 jiwa. Wilayah pekalongan timur memiliki jumlah penduduk terendah sejumlah 65.857 jiwa. Kepadatan penduduk mengalami peningkatan secara kontinyu setiap tahun (Tabel 4.2). Wilayah dengan penduduk terpadat berada di Kecamatan Pekalongan Barat, sedangkan wilayah dengan kepadatan penduduk terendah berada di Kecamatan Pekalongan Utara.



**Gambar 4.1 Citra Kota Pekalongan**

**Tabel 4.2 Kepadatan Penduduk Kota Pekalongan**

	Tahun						
	1993	1998	2003	2008	2013	2018	2019
Kepadatan penduduk (jiwa/km)	5.385	5.418	5.839	6.053	6.428	6.729	6.787

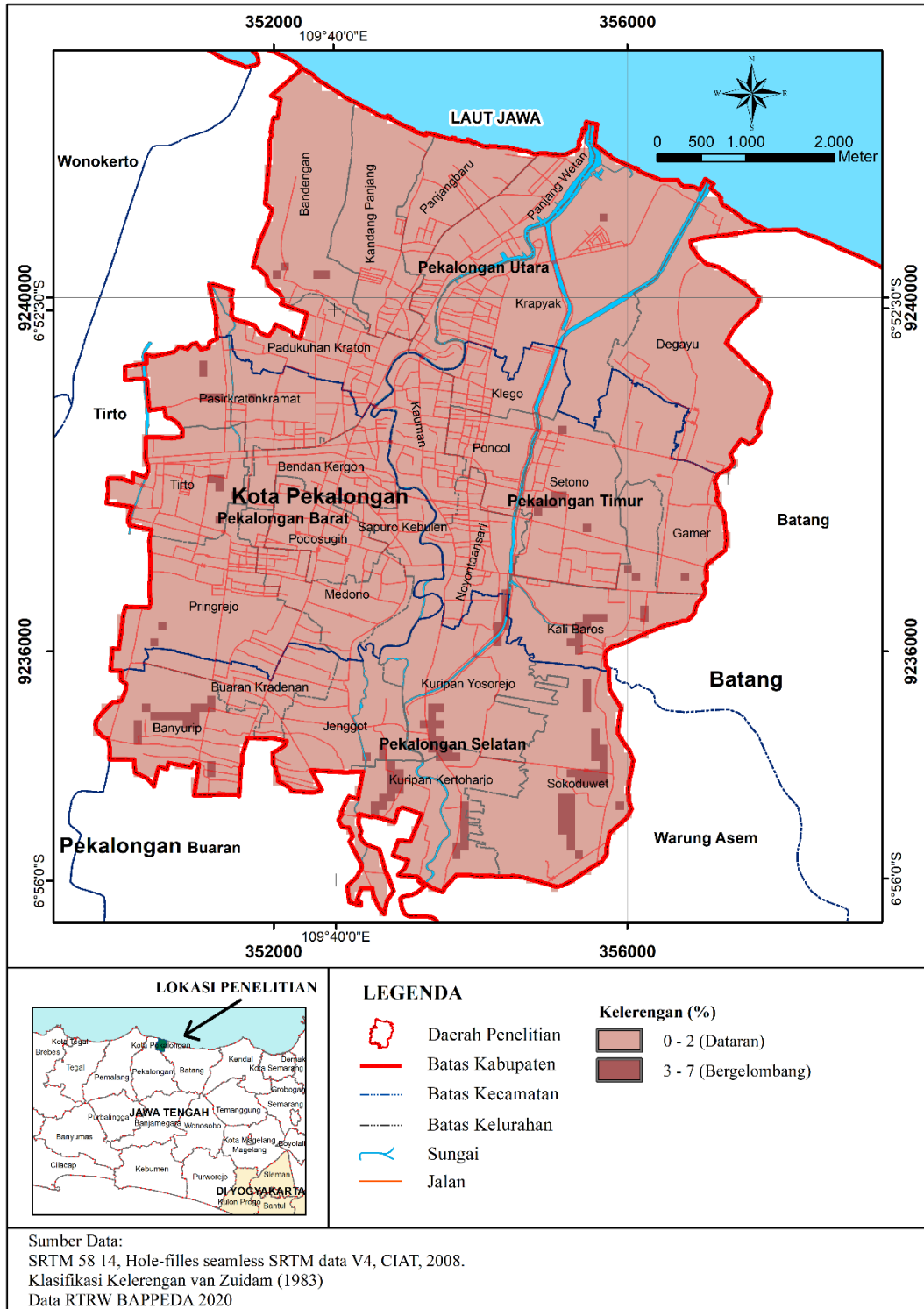
Sumber : (Badan Pusat Statistik Kota Pekalongan, 2019)

Potensi peningkatan kebutuhan air dapat dilihat dari adanya laju pertumbuhan yang cukup tinggi di Kota Pekalongan. Laju pertumbuhan penduduk tahun 2019 mencapai 0,86. Laju pertumbuhan tertinggi terjadi di kecamatan pekalongan selatan sebesar 1,39, sedangkan laju pertumbuhan penduduk terendah berada di Kecamatan Pekalongan Timur sebesar 0,45.

## **B. Topografi**

Kota Pekalongan merupakan wilayah dataran rendah di pantai utara Pulau Jawa dengan ketinggian lahan antara 1 meter di atas permukaan laut pada wilayah bagian utara sampai tertinggi 6 meter pada wilayah bagian selatan. Berdasarkan data DEM (Digital Elevation Model) hasil interpolasi titik tinggi RBI yang telah ada, seluas 45% dari wilayah Kota Pekalongan memiliki ketinggian di bawah 1 meter dengan luas 2101,54 ha, dan 54% merupakan wilayah dengan ketinggian 1-5 meter dengan luas 2527,28 ha, sedangkan untuk wilayah dengan ketinggian di atas 5 meter hanya 1% dari luas wilayah keseluruhan yaitu 32,19 ha.

Morfologi Kota Pekalongan sebagian besar bentuknya datar dengan kemiringan lereng 0 – 2%. Wilayah dengan morfologi bergelombang landai berada di wilayah kelurahan Kuripan Kertoharjo, Kuripan Yosorejo, Sokoduwet, Kali Baros, Gamer, Setono, dan Banyuurip (Gambar 4.2).



**Gambar 4.2 Morfologi Kota Pekalongan**

### C. Hidrologi

Kota Pekalongan sebagai kota yang berbatasan langsung dengan Laut Jawa memiliki beberapa muara sungai. Terdapat 4 (empat) sungai yang melewati wilayah Kota Pekalongan yaitu Sungai Meduri, Bremi, Pekalongan dan Banger. Keempat sungai tersebut termasuk ke dalam 3 (tiga) daerah aliran sungai (DAS) yaitu DAS Sengkarang, DAS Kupang dan DAS Gabus.

Kota Pekalongan merupakan dataran rendah sehingga laju aliran sungai menuju muara tidak terlalu deras karena berada pada wilayah muara sehingga setiap limbah yang dibuang ke sungai banyak yang mengendap. Beban pencemaran dari buangan limbah kegiatan di wilayah Kota Pekalongan maupun dari wilayah hulu (terutama Kabupaten Pekalongan) semakin meningkat kuantitasnya menyebabkan penurunan kualitas air permukaan di wilayah Kota Pekalongan. Penggunaan air permukaan sebagai air baku untuk air bersih harus melalui proses pengolahan hingga memenuhi standar kesehatan.

Curah hujan Kota Pekalongan berkisar antara 1.647 mm/tahun hingga 3.461 mm/tahun dengan rata-rata curah hujan per tahunnya sebesar 2.180,40 mm (**Tabel 4.3**). Curah hujan tertinggi terjadi di tahun 2014 dan terus mengalami penurunan hingga tahun 2019 (Tabel 4.4). Jumlah hari hujan di Kota Pekalongan mengalami peningkatan di tahun 2010 dan 2016 dengan siklus mengalami penurunan signifikan pada 2 tahun setelahnya, kemudian perlahan mengalami peningkatan kembali pada tahun berikutnya. Intensitas hujan meningkat dari bulan Desember, puncaknya di bulan Januari dan Februari.



**Tabel 4.3 Jumlah Curah Hujan Kota Pekalongan**

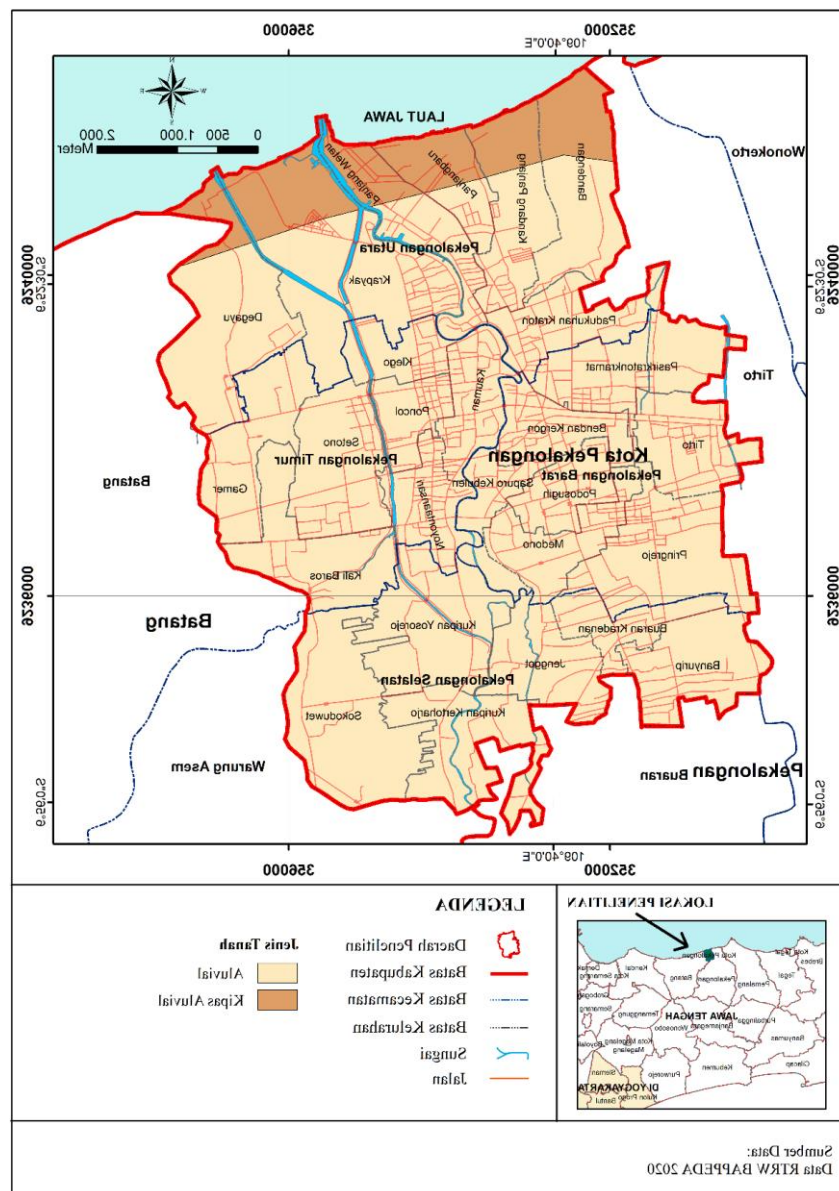
Tahun	Jumlah (Mm)										Rata2 Jumlah
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
Januari	286	548	14	711	1351	346	281	453	452	749	
Februari	121	483	19	165	700	509	457	283	454	313	
Maret	290	228	222	175	125	319	126	227	194	251	
April	183	166	320	172	73	224	262	150	168	163	
Mei	177	62	208	158	253	111	66	54	51	97	
Juni	337	22	366	144	152	32	49	36	97	16	
Juli	177	238	-	129	152	8	133	35	0	82	
Agustus	227	2	-	144	80	121	138	6	11	0	
September	126	260	8	37	6	0	286	30	1	0	
Oktober	204	96	36	15	23	1	188	84	44	69	
November	54	87	145	124	34	56	152	110	150	36	
Desember	214	189	216	234	512	412	339	179	88	55	
<b>Jumlah</b>	<b>2.396,00</b>	<b>2.381,00</b>	<b>1.554,00</b>	<b>2.208,00</b>	<b>3.461,00</b>	<b>2.139,00</b>	<b>2.477,00</b>	<b>1.647,00</b>	<b>1.710,00</b>	<b>1.831,00</b>	<b>2.180,40</b>
<b>Rata-Rata</b>	199,67	198,42	155,40	184,00	288,42	178,25	206,42	137,25	142,50	152,58	184,49

**Tabel 4.4 Jumlah Hari Hujan Kota Pekalongan**

Tahun	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Rata-rata
Januari	22	22	22	22	23	17	12	18	17	18	
Februari	8	13	15	11	19	17	22	17	19	17	
Maret	15	11	14	10	11	15	9	12	12	11	
April	14	10	11	10	9	10	12	12	9	10	
Mei	16	6	3	9	14	10	6	5	5	9	
Juni	10	3	3	11	8	2	7	6	5	2	
Juli	13	7	-	9	8	3	14	1	0	4	
Agustus	11	1	-	11	8	3	7	2	3	0	
September	8	3	1	8	1	0	15	4	1	0	
Oktober	10	7	4	3	4	1	10	7	4	3	
November	5	7	10	10	7	7	8	11	10	2	
Desember	21	12	12	17	15	15	18	9	8	4	
<b>Jumlah</b>	<b>153</b>	<b>102</b>	<b>95</b>	<b>131</b>	<b>127</b>	<b>119</b>	<b>140</b>	<b>104</b>	<b>93</b>	<b>80</b>	<b>114,4</b>
<b>Rata-Rata</b>	<b>12,750</b>	<b>8,500</b>	<b>9,500</b>	<b>10,917</b>	<b>10,583</b>	<b>9,917</b>	<b>11,667</b>	<b>8,667</b>	<b>7,750</b>	<b>6,667</b>	<b>9,692</b>

## D. Jenis Tanah

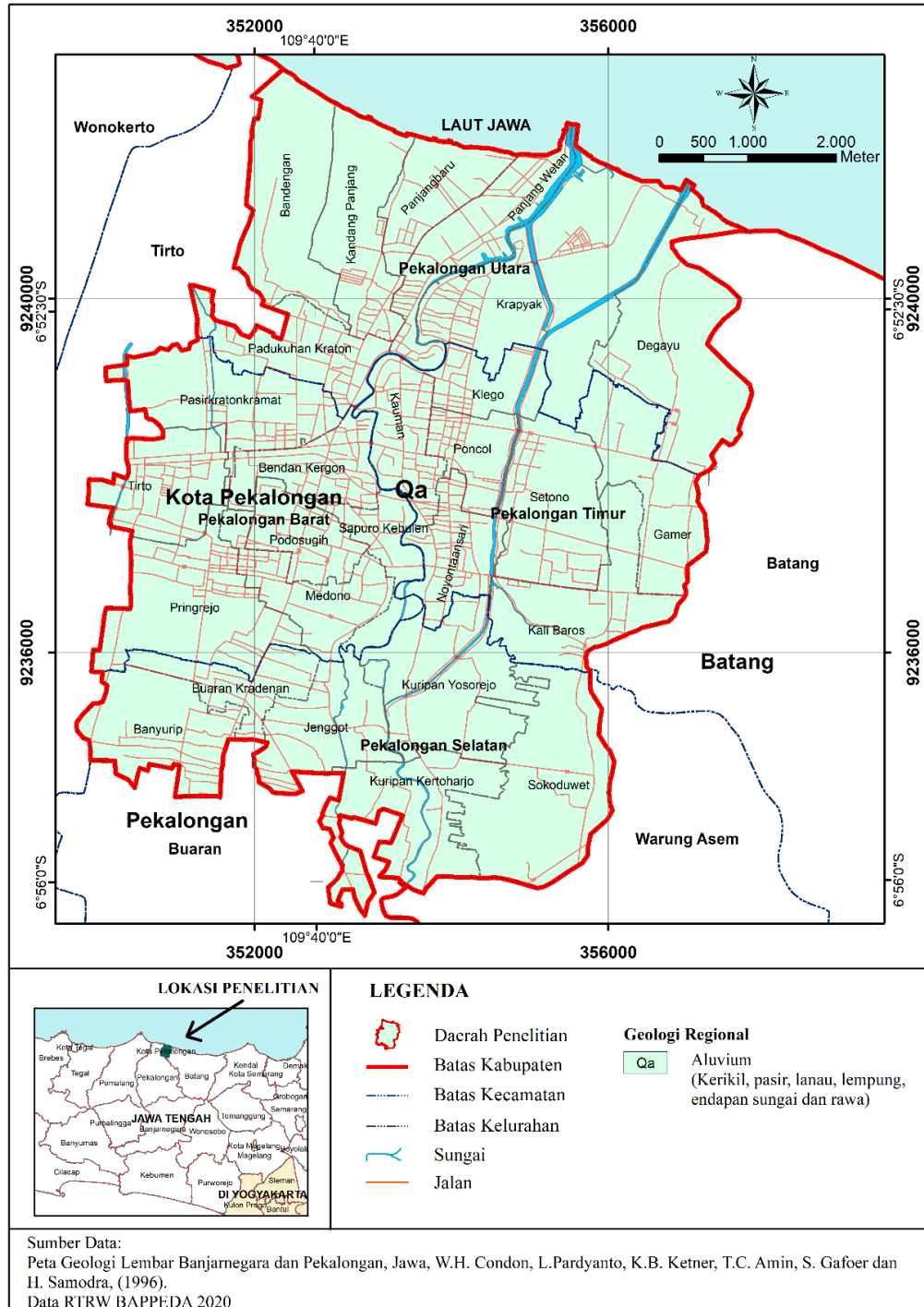
Jenis tanah yang terdapat di Kota Pekalongan antara lain adalah alluvial dan kipas alluvial. Jenis tanah alluvial tersebar di wilayah pesisir dengan muka tanah rendah, selebihnya memiliki jenis tanah kipas alluvial. Tekstur tanah yang berbutir kasar memiliki porositas yang lebih tinggi sehingga kemampuan tanah untuk meloloskan air atau menyerap air akan semakin besar dibandingkan dengan yang tekstur tanahnya lempung memiliki porositas kecil sehingga laju infiltrasi kecil (Norfadilah *et al.*, 2020).



**Gambar 4.3 Jenis Tanah Kota Pekalongan**

## E. Geologi

Wilayah kajian termasuk formasi alluvium yang terdiri dari batuan lempung, lumpur, lanau, pasir dan kerikil.



**Gambar 4.4** Peta Geologi Kota Pekalongan

## **F. Hidrogeologi**

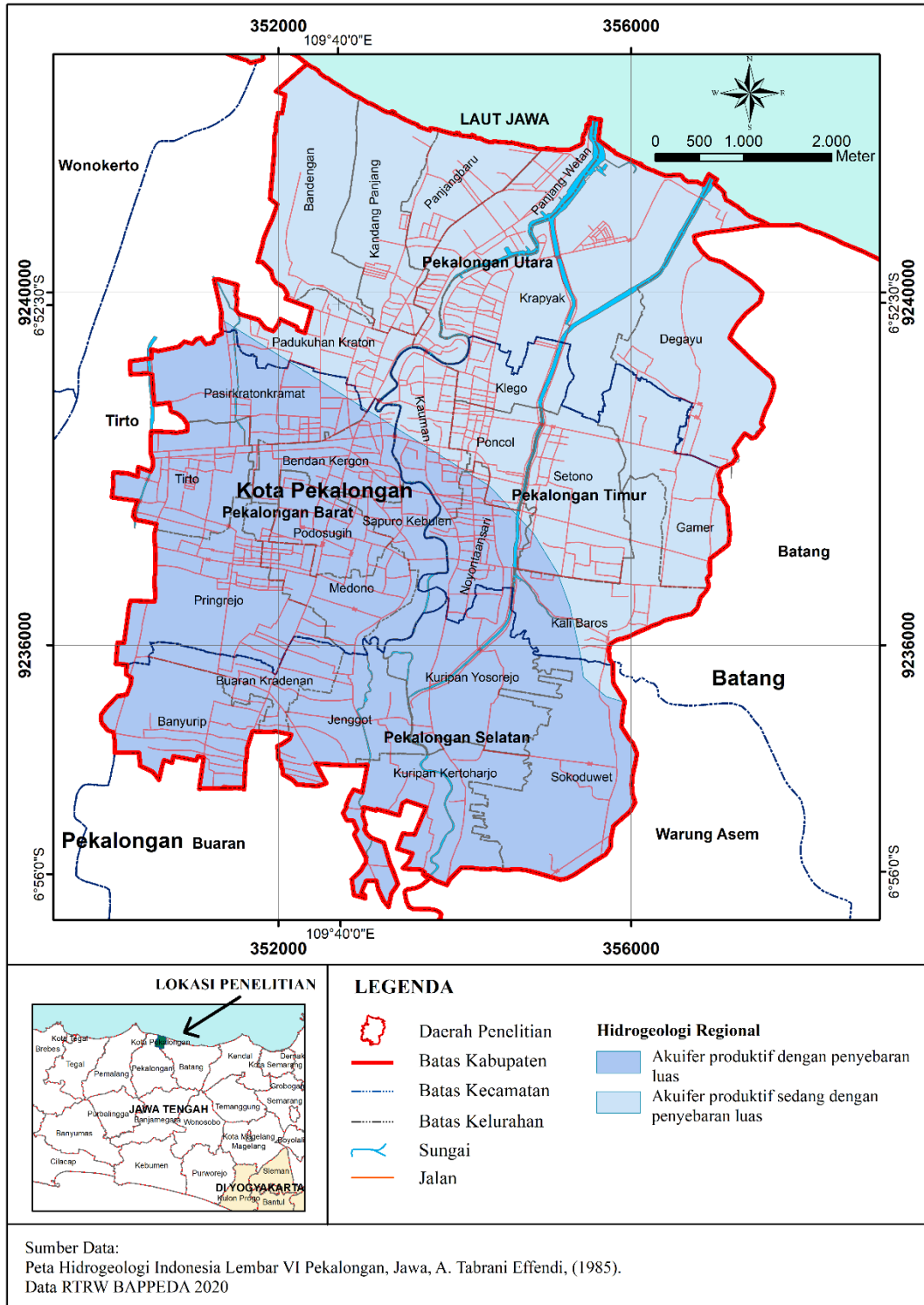
Kota Pekalongan termasuk kedalam Cekungan Air Tanah (CAT) Pekalongan – Pemalang (Putranto *et al.*, 2016). Berdasarkan peta hidrogeologi (Gambar 4.5) terdapat 2 jenis produktivitas akuifer di Kota Pekalongan, 2 jenis produktivitas akuifer sebagai berikut:

### **1. Akuifer produktif dengan persebaran luas:**

Akuifer dengan aliran melalui ruang antar butir, akuifer ini tersusun oleh formasi alluvium yang terdiri atas material berukuran lempung, lanau, pasir, kerikil dan berangkal dengan nilai kelulusan 2,68 m/hari.

### **2. Akuifer produktif sedang dengan persebaran luas:**

Akuifer dengan aliran melalui ruang antar butir, akuifer ini tersusun oleh formasi alluvium yang terdiri atas material berukuran lempung, lanau, pasir, kerikil dan berangkal dengan nilai kelulusan 1,3 m/hari.



**Gambar 4.5 Peta Hidrogeologi Kota Pekalongan**

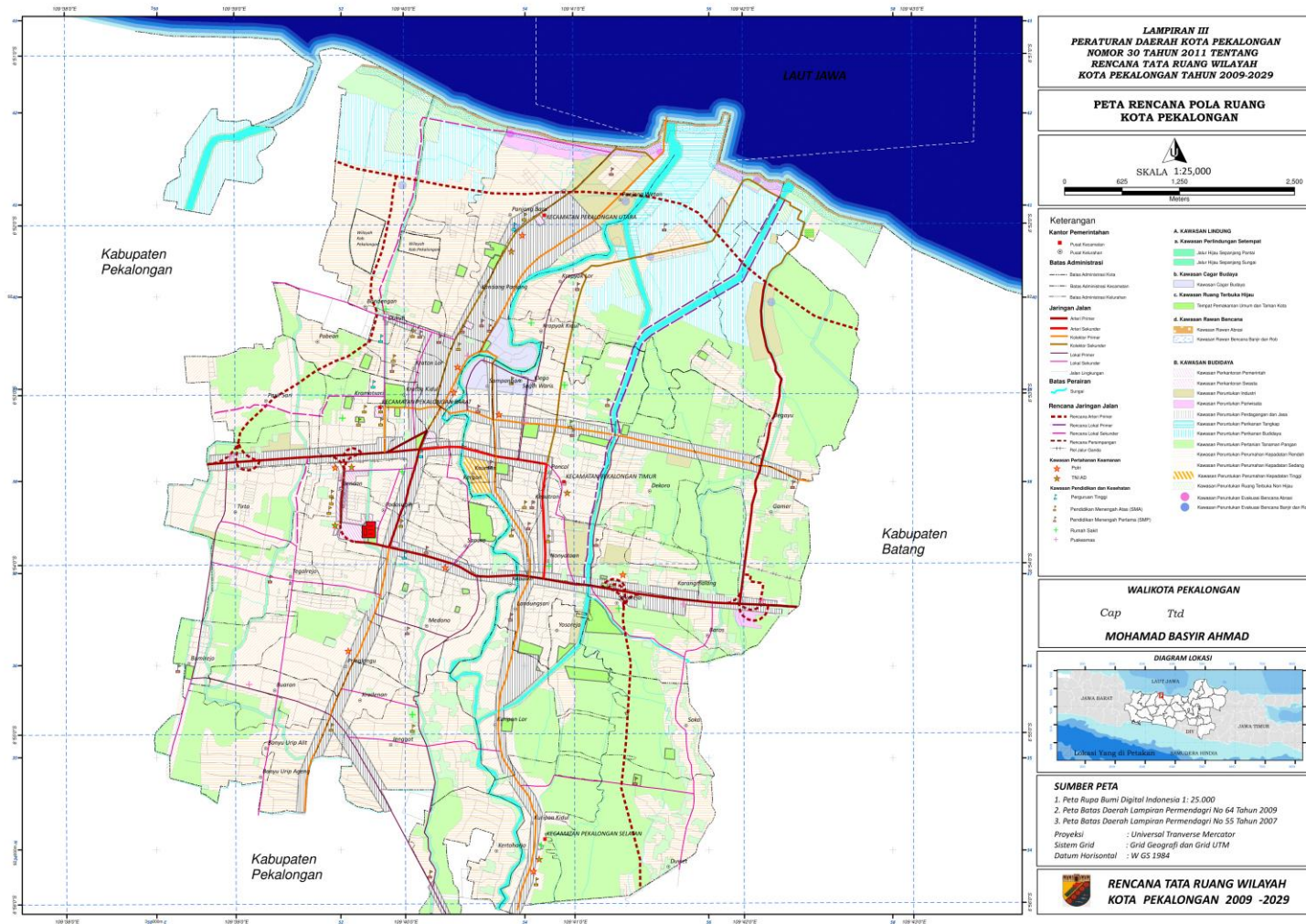
## G. RTRW

Prasarana air baku untuk air bersih dalam Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Pekalongan (**Gambar**) dilakukan dengan regionalisasi SPAM Petanglong, yang berasal dari wilayah Kabupaten Batang dan Kabupaten Pekalongan, terdiri atas:

- a) sumber air baku dari Sungai Kupang Sambong di Desa Cepagan Kecamatan Warungasem Kabupaten Batang, pemanfaatan melalui Instalasi Pengolah Air (IPA);
- b) sumber air baku dari mata air Desa Kembanglangit Kecamatan Blado Kabupaten Batang, pemanfaatan dengan pengambilan langsung;
- c) sumber air baku dari mata air di Desa Rogoselo Kecamatan Doro Kabupaten Pekalongan, pemanfaatan dengan pengambilan langsung; dan
- d) sumber air baku dari Sungai Wisnu di Desa Lolong Kecamatan Karanganyar Kabupaten Pekalongan, pemanfaatan melalui IPA.

Sistem pengendalian daya rusak air diatur sebagai berikut :

- a) memperbanyak infiltrasi air permukaan ke dalam tanah dengan melakukan penghijauan pada daerah-daerah lahan yang kosong;
- b) mengembangkan sistem polder / kolam retensi dan stasiun pompa di Kelurahan Kandang Panjang dan di Sungai Banger Lama Kelurahan Krapyak Lor Kecamatan Pekalongan Utara;
- c) menempatkan pintu air dan stasiun pompa di Sungai Sepucung Kelurahan Panjang Wetan, Sungai Sikenteng Kelurahan Krapyak Lor dan Sungai Banger Hilir Kelurahan Degayu; dan
- d) mengembangkan sistem tanggul penahan gelombang pasang (*revetment*) dan sistem pengarah aliran air laut (*groin*) untuk pengamanan pantai terhadap gelombang pasang dan abrasi.



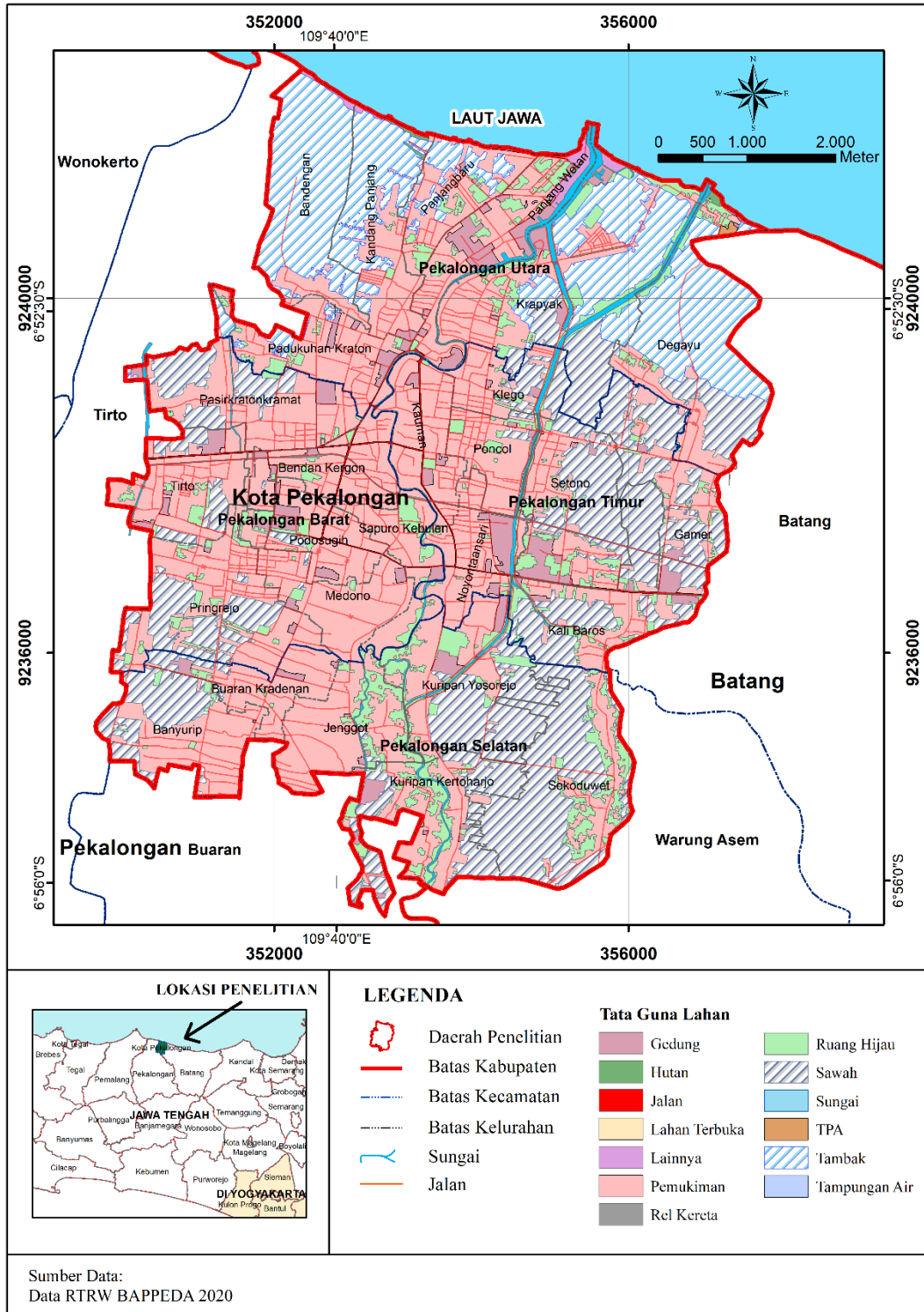
**Gambar 4.6 RTRW Kota Pekalongan Tahun 2009 - 2029**

## H. Tata Guna Lahan

Perubahan penggunaan lahan meliputi pergeseran penggunaan lahan menuju penggunaan lahan yang berbeda atau penambahan pada penggunaan lahan yang sudah ada. Dalam perkembangannya, perubahan pemanfaatan lahan menjadi suatu hal yang alamiah dalam suatu perkembangan kota. Perubahan suatu penggunaan lahan akan berpengaruh pada perubahan jenis penggunaan lahan yang lainnya. Sifat luasan lahan di suatu wilayah adalah tetap, ketika ada suatu perubahan penggunaan lahan akan menyebabkan berkurangnya atau bertambahnya luasan penggunaan lahan yang lainnya. Setiap perubahan dari suatu penggunaan lahan akan membawa dampak secara langsung maupun tidak langsung terhadap kehidupan masyarakat di sekitarnya. Dampak yang timbul bisa dampak positif maupun dampak negatif (Wijaya and Susetyo, 2017).

Penggunaan tanah di Kota Pekalongan dibedakan menjadi tanah sawah dan tanah kering. Tanah sawah luasnya setiap tahun berkurang, sebaliknya tanah kering mengalami peningkatan perluasan. Di Kota Pekalongan terdapat banyak penggunaan lahan sebagai lahan budidaya perikanan darat dan pertanian. Untuk budidaya perikanan darat meliputi tambak (payau) dan kolam ikan (tawar). Untuk keberadaan perikanan darat di Kota Pekalongan setiap tahunnya mengalami penambahan, khusus untuk tambak yang terdapat di Kecamatan Pekalongan Utara dan setiap tahunnya selalu mengalami penambahan luas.





**Gambar 4 Peta Tata Guna Lahan Kota Pekalongan**

### I. Area Rawan Bencana

Kota Pekalongan sebagai wilayah pesisir di pulau Jawa, memiliki tingkat resiko dan kejadian bencana tinggi. Bencana yang paling sering terjadi di Kota Pekalongan adalah banjir rob di samping bencana-

bencana lainnya yang pernah terjadi. Secara tektonik, Kota Pekalongan merupakan daerah yang relatif stabil karena tidak dilalui oleh suatu jalur struktur patahan aktif dan dengan litologi yang berupa endapan sedimen alluvium yang mempunyai sifat mengabsorpsi gelombang gempa karena karakteristik dari material pembentuknya. Berdasarkan hal tersebut maka tingkat seismisitas Kota Pekalongan sangat kecil.

Kota Pekalongan dengan karakteristik laut lepas tanpa adanya suatu penghalang alami yang dapat berupa gugusan karang ataupun hutan bakau menjadikan wilayah Kota Pekalongan rentan terjadi erosi pantai atau abrasi yang diakibatkan oleh gelombang laut. Abrasi/erosi pantai diakibatkan oleh proses alami (angin, gelombang, arus, pasang surut dan sedimentasi), dan aktivitas manusia (pembangunan pelabuhan, reklamasi pantai untuk pemukiman, pelabuhan udara dan industri serta penambangan pasir) ataupun kombinasi keduanya. Namun demikian penyebab utama di Kota Pekalongan adalah gerakan gelombang pada pantai terbuka. Disamping itu karena keterkaitan ekosistem maka perubahan hidrologis dan oceanografis juga dapat mengakibatkan abrasi/erosi kawasan pesisir.

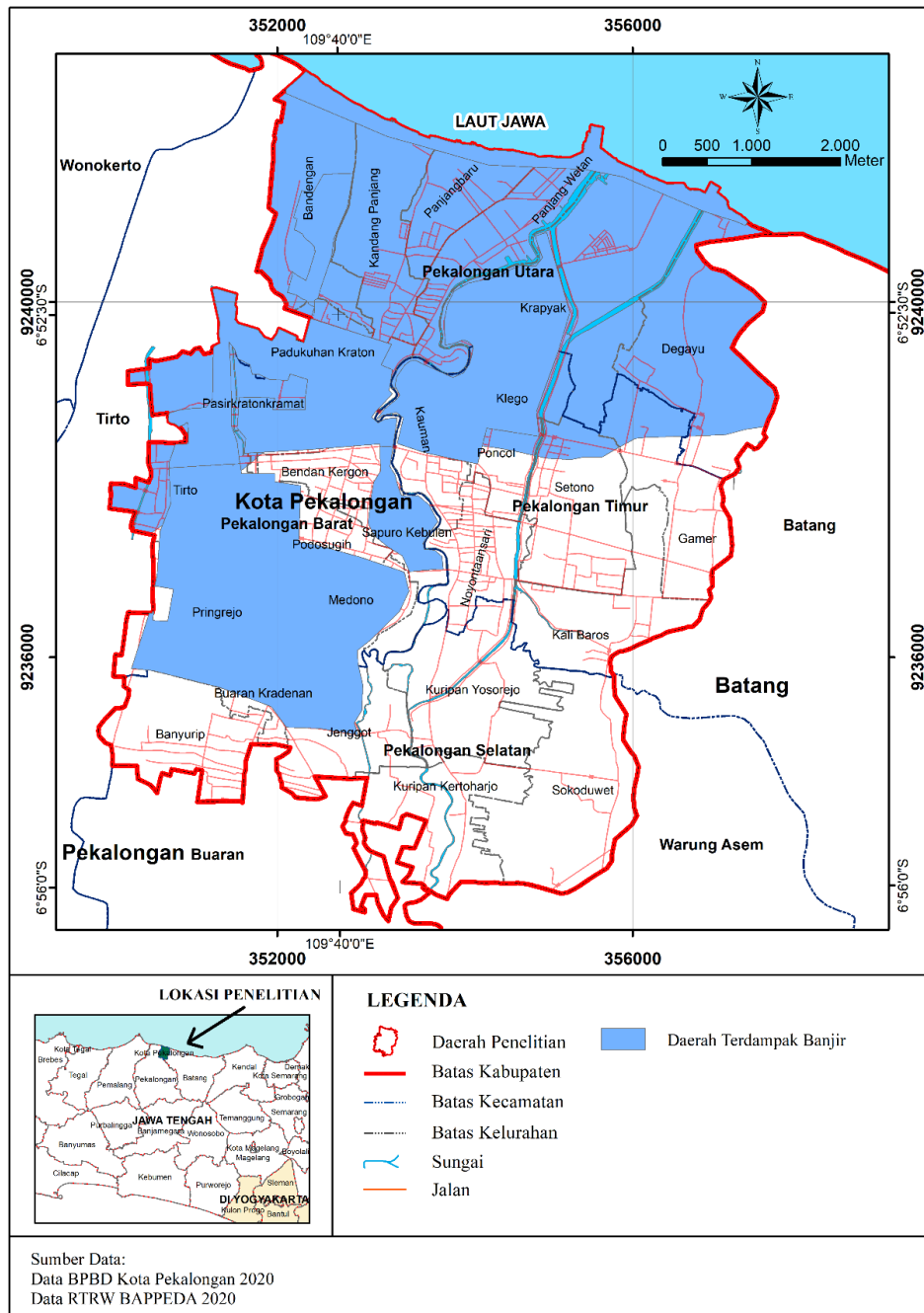
Peristiwa abrasi/erosi pantai dapat mengakibatkan gangguan terhadap kawasan pemukiman, pertambakan dan sarana perhubungan, sedangkan peristiwa pendangkalan atau sedimentasi di wilayah pantai dapat merupakan keuntungan dan sebaliknya dapat pula merupakan kerugian, hal ini sangat tergantung pada kondisi lingkungan setempat.

Di Kota Pekalongan pendangkalan atau sedimentasi terjadi di muara sungai Pekalongan yang mengakibatkan gangguan lalu lintas kapal perikanan dari dan ke Tempat Pelelangan Ikan (TPI). Selain itu terdapat intrusi air laut ke areal persawahan dan telah terjadi di hampir semua wilayah kelurahan pantai Kota Pekalongan. Penyebabnya adalah telah terjadi penebangan mangrove untuk pemukiman dan pertambakan serta eksploitasi air tanah yang berlebihan. Akibatnya kualitas air tanah cukup terdegradasi dan areal persawahan di beberapa tempat tidak

dapat lagi digunakan untuk menanam padi. Sedangkan pengambilan pasir pantai juga telah sering dilakukan oleh penduduk setempat namun belum sampai terjadi penambangan secara besar-besaran.

Di Kota Pekalongan walaupun tergolong wilayah landai, akan tetapi memiliki resiko bencana tanah longsor. Telah terjadi beberapa kali untuk bencana tanah longsor di Kota Pekalongan. Untuk wilayah yang rawan longsor adalah di beberapa titik tepi sungai yang terdapat di beberapa kelurahan. Beberapa daerah di pinggiran sungai Kota Pekalongan tidak memiliki penyangga sehingga mempunyai tingkat kerentanan gerakan tanah yang berpotensi terjadi longsor.

Bencana yang sering terjadi di Kota Pekalongan adalah bencana banjir (**Gambar**). Baik itu banjir genangan hujan maupun banjir rob akibat kenaikan muka air laut. Hampir di semua kecamatan terjadi bencana banjir yang diakibatkan genangan air hujan. Banjir menjadi potensi yang besar karena topografi wilayah Kota Pekalongan yang sangat datar dan merupakan kawasan muara dari beberapa sungai dari kawasan hulu di daerah lainnya. Bencana yang cukup signifikan memberikan dampak bagi masyarakat yang tinggal di Kota Pekalongan, khususnya Kecamatan Pekalongan Utara antara lain bencana banjir dan banjir rob/pasang. Bencana tersebut memberi dampak pada kehidupan masyarakat yang tinggal di Kota Pekalongan. Tidak hanya berdampak pada kerusakan infrastruktur dan sarana wilayah saja, melainkan juga pada kehidupan sosial dan ekonomi masyarakat setempat.

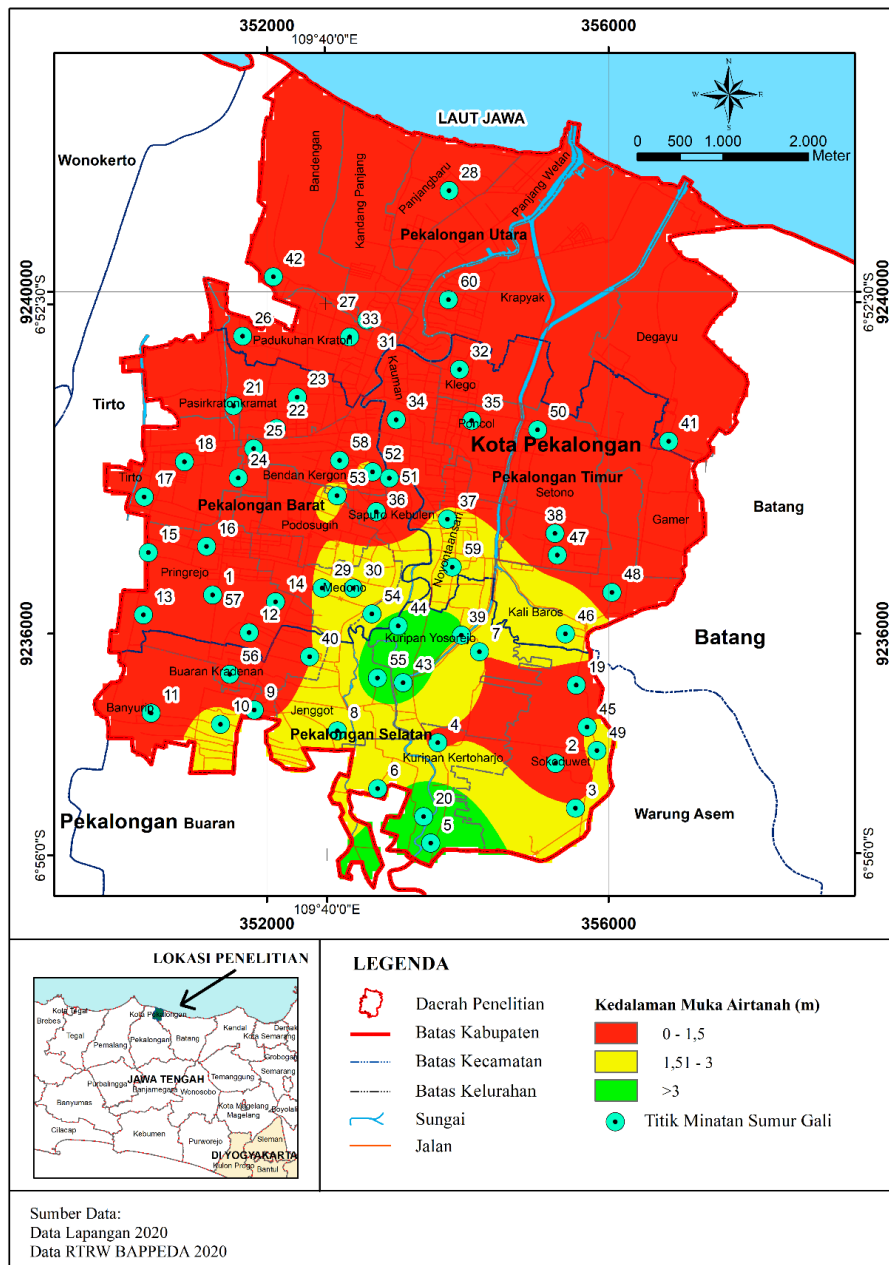


**Gambar 4.8 Area Rawan Bencana Banjir di Kota Pekalongan**

## J. Muka Air Tanah





Batas yang memisahkan daerah dengan pori-pori/rongga yang jenuh air dengan daerah yang tidak jenuh disebut Muka Air Tanah (MAT). Zona erosi (aeration) adalah zona yang dibatasi MAT dan permukaan tanah sedangkan zona di bawah MAT yang jenuh air disebut zona jenuh (saturation).







Level muka air tanah Kota Pekalongan diklasifikasikan dalam 3 (tiga) level yaitu 0 – 1,5 meter; 1,5 – 3 meter; dan di atas 3 meter. Wilayah pekalongan bagian utara, timur dan barat memiliki kedalaman air tanah tidak lebih dari 1,5 meter. Wilayah kecamatan pekalongan selatan memiliki 3 level muka air tanah tersebut, di mana di wilayah ini juga memiliki muka tanah yang lebih tinggi juga dibanding wilayah lain dr Kota Pekalongan. Data tersebut merupakan data primer hasil survey lapangan.

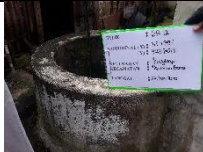







**Gambar 4.9 Peta Muka Air Tanah Kota Pekalongan**


**Tabel 4.5 Data Titik Minatan Survey Sumur Gali di Kota Pekalongan Tahun 2020**







NO.	KOORDINAT		KELURAHAN	KECAMATAN	ELEVASI (mdpl)	KEDALAMAN (m)	MUKA AIRTANAH (mdpl)	JARAK DENGAN SEPTIC TANK (m)	TATA GUNA LAHAN	FOTO
	X	Y								
1	351364	9236455	Gamer	Pekalongan Timur	4,239	1,5	2,739	20	Pemukiman	
2	355380	9234483	Sokoduwet	Pekalongan Selatan	8,267	0,7	7,567	4	Pemukiman	
3	355613	9233959	Sokoduwet	Pekalongan Selatan	11,824	1,5	10,324	10	Pemukiman	
4	354001	9234725	Kuripan Kidul	Pekalongan Selatan	8,019	1,2	6,819	12	Pemukiman	
5	353919	9233550	Kuripan Kidul	Pekalongan Selatan	12,191	4,6	7,591	3	Pemukiman	



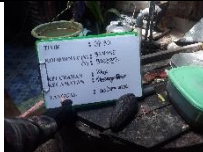



NO.	KOORDINAT		KELURAHAN	KECAMATAN	ELEVASI (mdpl)	KEDALAMAN (m)	MUKA AIR TANAH (mdpl)	JARAK DENGAN SEPTIC TANK (m)	TATA GUNA LAHAN	FOTO
	X	Y								
6	353297	9234189	Kuripan Kertoharjo	Pekalongan Selatan	8,356	1,5	6,856	7	Pemukiman	
7	354489	9235791	Yosorejo	Pekalongan Selatan	4,283	1,5	2,783	6	Pemukiman	
8	352827	9234865	Jenggot	Pekalongan Selatan	8,238	2	6,238	8	Pemukiman	
9	351851	9235109	Buaran Kradenan	Pekalongan Selatan	6,207	1,3	4,907	15	Pemukiman	
10	351458	9234941	Banyuurip	Pekalongan Selatan	5,073	1,9	3,173	5	Pemukiman	
11	350644	9235073	Banyuurip	Pekalongan Selatan	3,316	0,8	2,516	5	Pemukiman	

NO.	KOORDINAT		KELURAHAN	KECAMATAN	ELEVASI (mdpl)	KEDALAMAN (m)	MUKA AIR TANAH (mdpl)	JARAK DENGAN SEPTIC TANK (m)	TATA GUNA LAHAN	FOTO
	X	Y								
12	351791	9236013	Pringlangu	Pekalongan Barat	3,049	0,5	2,549	3	Pemukiman	
13	350555	9236221	Pringrejo	Pekalongan Barat	5,552	1	4,552	8	Pemukiman	
14	352102	9236374	Pringlangu	Pekalongan Barat	2,957	0,8	2,157	5	Pemukiman	
15	350612	9236952	Tirto	Pekalongan Barat	6,339	1	5,339	12	Pemukiman	
16	351294	9237022	Pringrejo	Pekalongan Barat	3,6	0,9	2,7	12	Pemukiman	
17	350565	9237603	Tirto	Pekalongan Barat	2,625	0,5	2,125	12	Pemukiman	

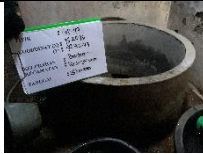




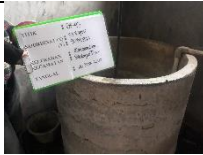




NO.	KOORDINAT		KELURAHAN	KECAMATAN	ELEVASI (mdpl)	KEDALAMAN (m)	MUKA AIR TANAH (mdpl)	JARAK DENGAN SEPTIC TANK (m)	TATA GUNA LAHAN	FOTO
	X	Y								
18	351036	9238012	Tirto	Pekalongan Barat	3,095	0,4	2,695	10	Pemukiman	
19	355622	9235400	Sokoduwet	Pekalongan Timur	6,552	0,9	5,652	20	Pemukiman	
20	353834	9233861	Kuripan Kertoharjo	Pekalongan Selatan	10,745	5,1	5,645	3	Pemukiman	
21	351609	9238669	Pasir Sari	Pekalongan Barat	2,752	0,3	2,452	7	Pemukiman	
22	352113	9238403	Kramat Sari	Pekalongan Barat	0,991	0,7	0,291	7	Pemukiman	
23	352356	9238768	Kramat Sari	Pekalongan Barat	4,043	0,9	3,143	4	Pemukiman	

NO.	KOORDINAT		KELURAHAN	KECAMATAN	ELEVASI (mdpl)	KEDALAMAN (m)	MUKA AIR TANAH (mdpl)	JARAK DENGAN SEPTIC TANK (m)	TATA GUNA LAHAN	FOTO
	X	Y								
24	351666	9237824	Pasir Kraton Kramat	Pekalongan Barat	1,482	0,6	0,882	12	Pemukiman	
25	351845	9238167	Bendan Kergon	Pekalongan Barat	3,806	0,3	3,506	4	Pemukiman	
26	351717	9239484	Padukuhan Kraton	Pekalongan Utara	1,328	0,3	1,028	3	Pemukiman	
27	353170	9239672	Kandang Panjang	Pekalongan Utara	1,405	0,4	1,005	4	Pemukiman	
28	354133	9241186	Panjang Baru	Pekalongan Utara	4,487	0,6	3,887	2,5	Pemukiman	
29	352646	9236535	Medono	Pekalongan Barat	6,662	1,6	5,062	4	Pemukiman	


NO.	KOORDINAT		KELURAHAN	KECAMATAN	ELEVASI (mdpl)	KEDALAMAN (m)	MUKA AIR TANAH (mdpl)	JARAK DENGAN SEPTIC TANK (m)	TATA GUNA LAHAN	FOTO
	X	Y								
30	353010	9236533	Medono	Pekalongan Barat	5,891	2,2	3,691	5	Pemukiman	
31	353170	9239672	Kandang Panjang	Pekalongan Utara	3,558	0,3	3,258	12	Pemukiman	
32	354255	9239092	Klego	Pekalongan Timur	2,637	0,6	2,037	12	Pemukiman	
33	352970	9239473	Kraton	Pekalongan Utara	4,962	0,5	4,462	5	Pemukiman	
34	353513	9238505	Sampang	Pekalongan Timur	2,677	1,4	1,277	4	Pemukiman	
35	354399	9238496	Poncol	Pekalongan Timur	2,497	0,6	1,897	7	Pemukiman	

NO.	KOORDINAT		KELURAHAN	KECAMATAN	ELEVASI (mdpl)	KEDALAMAN (m)	MUKA AIR TANAH (mdpl)	JARAK DENGAN SEPTIC TANK (m)	TATA GUNA LAHAN	FOTO
	X	Y								
36	353282	9237430	Sapuro Kebulen	Pekalongan Barat	5,678	0,6	5,078	1	Pemukiman	
37	354114	9237341	Noyontaan Sari	Pekalongan Timur	3,793	1,7	2,093	4	Pemukiman	
38	355371	9237174	Dekoro	Pekalongan Timur	2,214	1,1	1,114	15	Pemukiman	
39	354278	9235985	Yosorejo	Pekalongan Selatan	4,625	3,3	1,325	5	Pemukiman	
40	352500	9235732	Buaran Kradenan	Pekalongan Selatan	7,861	1,3	6,561	8	Pemukiman	
41	356705	9238252	Gamer	Pekalongan Timur	3,998	1,5	2,498	12	Pemukiman	

NO.	KOORDINAT		KELURAHAN	KECAMATAN	ELEVASI (mdpl)	KEDALAMAN (m)	MUKA AIR TANAH (mdpl)	JARAK DENGAN SEPTIC TANK (m)	TATA GUNA LAHAN	FOTO
	X	Y								
42	352076	9240179	Bandengan	Pekalongan Utara	0,752	1	-0,248	5	Pemukiman	
43	353595	9235428	Kuripan Lor	Pekalongan Selatan	4,907	4	0,907	8	Pemukiman	
44	353538	9236092	Kuripan Lor	Pekalongan Selatan	8,622	3,2	5,422	20	Pemukiman	
45	355748	9234908	Sokoduwet	Pekalongan Selatan	7,925	1,5	6,425	10	Pemukiman	
46	355495	9236001	Kalibaros	Pekalongan Timur	4,183	2,6	1,583	10	Pemukiman	
47	355400	9236921	Karangmalang	Pekalongan Timur	2,964	1,1	1,864	12	Pemukiman	

NO.	KOORDINAT		KELURAHAN	KECAMATAN	ELEVASI (mdpl)	KEDALAMAN (m)	MUKA AIRTANAH (mdpl)	JARAK DENGAN SEPTIC TANK (m)	TATA GUNA LAHAN	FOTO
	X	Y								
48	356040	9236485	Kalibaros	Pekalongan Timur	4,834	1,1	3,734	7	Pemukiman	
49	355864	9234633	Sokoduwet	Pekalongan Timur	9,508	1,7	7,808	7	Pemukiman	
50	355170	9238387	Setono	Pekalongan Selatan	0,939	1	-0,061	8	Pemukiman	
51	353433	9237822	Noyontaan	Pekalongan Timur	5,237	0,7	4,537	7	Pemukiman	
52	353236	9237894	Kergon	Pekalongan Barat	5,227	1,7	3,527	3	Pemukiman	
53	352822	9237616	Sapuro Kebulen	Pekalongan Barat	4,882	1,8	3,082	5	Pemukiman	

NO.	KOORDINAT		KELURAHAN	KECAMATAN	ELEVASI (mdpl)	KEDALAMAN (m)	MUKA AIR TANAH (mdpl)	JARAK DENGAN SEPTIC TANK (m)	TATA GUNA LAHAN	FOTO
	X	Y								
54	353231	9236233	Kebulen Sapuro	Pekalongan Barat	4,695	2,7	1,995	5	Pemukiman	
55	353295	9235484	Jenggot	Pekalongan Selatan	8,092	3,5	4,592	9	Pemukiman	
56	351566	9235527	Buaran	Pekalongan Selatan	4,293	0,7	3,593	10	Pemukiman	
57	351364	9236455	Pringrejo	Pekalongan Barat	2,551	1	1,551	7	Pemukiman	
58	352852	9238030	Bendan Kergon	Pekalongan Barat	5,885	1	4,885	4	Pemukiman	
59	354169	9236781	Landung Sari	Pekalongan Timur	4,504	2	2,504	4	Pemukiman	

NO.	KOORDINAT		KELURAHAN	KECAMATAN	ELEVASI (mdpl)	KEDALAMAN (m)	MUKA AIRTANAH (mdpl)	JARAK DENGAN SEPTIC TANK (m)	TATA GUNA LAHAN	FOTO
	X	Y								
60	354126	9239911	Krapyak Kidul	Pekalongan Utara	1,141	0,4	0,741	5	Pemukiman	



## **BAB V**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **A. Penentuan Debit Andil dan Kedalaman Sumur Resapan Air Hujan**

Dalam pembuatan sumur resapan membutuhkan adanya bidang tadah sebagai pengumpul air hujan. Luasan bidang tadah dalam hal ini berupa luas bangunan atau gedung. Perhitungan yang dilakukan pada studi ini diasumsikan bahwa luas bidang tadah menggunakan data tata guna lahan yang menunjukkan pemukiman, gedung baik sekolah, industri, dan lainnya secara umum. Kota Pekalongan, utamanya kecamatan Pekalongan Barat, termasuk dalam wilayah dataran yang padat penghuni. Hal ini berpengaruh besar terhadap peresapan air ke dalam tanah karena adanya bangunan beton yang menutupinya. Limpasan air hujan menjadi lebih besar dibandingkan dengan meresapnya air hujan ke dalam tanah.

Luas bidang tadah didapatkan melalui perhitungan geospasial dari *shapefile*, sehingga luasan yang terambil masih bersifat general. Bidang tadah yang dihitung memiliki beberapa asumsi, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.1 – 5.4, yang dijabarkan poin-poin sebagai berikut.

- a) Luas bidang tadah merupakan luas Kota Pekalongan secara umum;
- b) Luas bidang tadah dibagi per Kecamatan di Kota Pekalongan secara umum;
- c) Luas bidang tadah adalah luas Kota Pekalongan dengan muka air tanah  $>1,5$  m;
- d) Luas bidang tadah adalah Kota Pekalongan dengan tataguna lahan terbangun dengan muka air tanah  $>1,5$  m;
- e) Luas bidang tadah adalah Kota Pekalongan dengan muka air tanah  $>1,5$  yang diintegrasikan dengan data banjir;

- f) Luas bidang tadah adalah Kota Pekalongan dengan tata guna lahan pemukiman dan muka air tanah >1,5 yang diintegrasikan dengan data banjir;
- g) Luas bidang tadah adalah pembagian per kecamatan di Kota Pekalongan dengan tata guna lahan pemukiman dan muka air tanah >1,5 yang diintegrasikan dengan data banjir.

Asumsi pembagian bidang tadah ini dilakukan untuk membantu melihat secara keseluruhan kebutuhan sumur resapan di Kota Pekalongan dalam beberapa kondisi.

**Tabel 5.1 Luas Bidang Tadah Asumsi Poin a – b**

No	Wilayah Kecamatan	Permukiman (m <sup>2</sup> )	Gedung (m <sup>2</sup> )	Total (m <sup>2</sup> )
1.	Pekalongan Utara	4.878.790,53	577.703,79	5.456.494,32
2.	Pekalongan Barat	7.014.602,36	412.931,55	7.427.533,91
3.	Pekalongan Timur	4.645.613,62	571.948,83	5.217.562,45
4.	Pekalongan Selatan	4.939.819,48	302.029,37	5.241.848,84
5.	Kota Pekalongan	21.478.849,62	1.864.613,54	23.343.463,16

**Tabel 5.2 Luas Bidang Tadah Asumsi Poin c-f**

No	Wilayah Kota Pekalongan	Luas (m <sup>2</sup> )
1	Wilayah dengan MAT >1.5 m	10.479.462,26
2	Bangunan dengan MAT >1.5 m	5.859.484,71
3	Wilayah dengan MAT >1.5 m yang Terdampak Banjir	1.235.263,45
4	Bangunan dengan MAT >1.5 m yang Terdampak Banjir	1.183.416,21

**Tabel 5.3 Luas Bidang Tadah Asumsi Poin d per Kecamatan**

No	Kecamatan	Bangunan (m <sup>2</sup> )	Total Luas (m <sup>2</sup> )
1	Pekalongan Utara	0,00	0,00
2	Pekalongan Barat	1.025.334,59	1.025.334,59
3	Pekalongan Timur	1.286.347,45	1.410.471,35
		99.819,22	
		24.304,68	
4	Pekalongan Selatan	3.096.706,03	3.410.432,19
		271.280,21	
		42.445,95	
5	Kota Pekalongan	5.846.238,13	5.846.238,13

**Tabel 5.4 Luas Bidang Tadah Asumsi Poin g (bangunan dengan mat >1.5 m yang tidak terdampak banjir)**

No	Wilayah	Bangunan (m <sup>2</sup> )
1	Pekalongan Utara	0,00
2	Pekalongan Barat	832.720,49
3	Pekalongan Timur	0,00
4	Pekalongan Selatan	350.695,72
5	Kota Pekalongan	1.183.416,21

Dalam perencanaan pembuatan sumur resapan ditentukan salah satunya oleh faktor iklim. Faktor tersebut berupa banyaknya curah hujan yang merupakan salah satu komponen utama dalam analisis yang dilakukan. Curah hujan dibedakan menjadi tiga kelas yakni sebagai berikut.

**Tabel 5.5 Klasifikasi Curah Hujan**

Kelas	Curah Hujan
Rendah	<1.500 mm/tahun
Menengah	1.500-2.500 mm/tahun
Tinggi	(>2.500 mm/tahun)

Analisis yang dilakukan di wilayah Kota Pekalongan menggunakan data curah hujan dalam 10 tahun terakhir, yakni dari tahun 2010 hingga tahun 2019. Rata-rata jumlah curah hujan tersebut sebesar 2.180,40 mm/tahun, yang mana termasuk dalam curah hujan menengah. Hal ini dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Analisis curah hujan dilakukan dengan menggunakan probabilitas normal dengan menggunakan rumus  $XT = X + K * s$ , di mana

XT : hujan rencana dengan periode ulang T tahun

X : nilai rata-rata dari data hujan (mm)

K : faktor frekuensi, dengan nilai tergantung pada T (Tabel 5.8 Variabel Reduksi Gauss)

S : standar deviasi dari data hujan (mm)

Perhitungan tersebut secara lebih jelas dapat dilihat pada Tabel 5.6 Selanjutnya dilakukan perhitungan logaritma hujan tahunan atau banjir periode ulang. Perhitungan dijabarkan sebagai berikut.

Untuk periode ulang 2 tahun, nilai  $K=0$ , maka

$$\begin{aligned} XT &= X + K * s \\ &= 184,49 + 0 * 44,23 \\ &= 184,49 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI No 03-2453-2002 (Ramadhoni dan Sianturi, 2016), perencanaan sumur resapan air menggunakan periode ulang 5 tahun, sehingga perhitungan selanjutnya menggunakan hujan rancangan harian (R24) yakni 221,44 mm/hari. Tabel 5.7 menunjukkan hujan rencana periode ulang 2, 5, 20, 50, dan 100 tahun.

**Tabel 5.6 Perhitungan Curah Hujan**

Tahun	Curah Hujan $X_i$ (Mm)	$(X_i-X)$	$(X_i-X)^2$
2010	199,6666667	15,38	236,44
2011	198,42	14,13	199,56
2012	155,40	-28,89	834,63
2013	184,00	-0,29	0,08
2014	288,42	104,13	10.842,36
2015	178,25	-6,04	36,48
2016	206,42	22,13	489,59
2017	137,25	-47,04	2.212,76
2018	142,50	-41,79	1.746,40
2019	152,58	-31,71	1.005,31
Jumlah	1.843		17.604
Rata-rata	184,29		
Stan Dev	44,23		

**Tabel 5.7 Perhitungan Hujan Rencana Melalui Periode Ulang**

ta	X	Log X	K	S	XT
2	184,29	2,265502	0	44,23	184,29
5	184,29	2,265502	0,84	44,23	221,44
20	184,29	2,265502	1,64	44,23	256,821
50	184,29	2,265502	2,05	44,23	274,9538
100	184,29	2,265502	2,33	44,23	287,3371

**Tabel 5.8 Nilai Variabel Reduksi Gauss**

PUH	Peluang	KT
1,0014	0,999	-3,05
1,005	0,995	-2,58
1,01	0,99	-2,33
1,05	0,95	-1,64
1,11	0,9	-1,28
1,25	0,8	-0,84
1,33	0,75	-0,67
1,43	0,7	-0,52
1,67	0,6	-0,25
2	0,5	0
2,5	0,4	0,25
3,33	0,3	0,52
4	0,25	0,67
5	0,2	0,84
10	0,1	1,28
20	0,005	1,64
50	0,02	2,05
100	0,01	2,33
200	0,005	2,58
500	0,002	2,88
1000	0,001	3,09

Setelah curah hujan rencana ( $R_{24}$ ) didapatkan, perhitungan menggunakan metode monobe seperti dalam persamaan (1). Sesuai dengan SNI 8456:2017, lama hujan yang digunakan selama 2 jam, sehingga contoh perhitungan adalah sebagai berikut.

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I = \frac{221,44}{24} \left(\frac{24}{2}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$= 48,36 \text{ mm/jam} = 0,05 \text{ m/jam}$$

Perhitungan selanjutnya adalah perhitungan jumlah sumur resapan dengan menghitung debit andil banjir. Rumus yang digunakan yakni menggunakan persamaan  $Q = C.I.A$ , di mana C bernilai 0,95 dan A merupakan luas bidang tadah dalam  $m^2$ . Setelah diketahui nilai Q, selanjutnya menghitung H menggunakan persamaan (2), tergantung pada keadaan tanah dan jenis konstruksi sumur.

$$H = \frac{Q}{\omega \pi r K}$$

Perhitungan berikut ini diasumsikan bahwa bidang tadah merupakan satu Kota Pekalongan :

$$A = 23.343.463,16 \text{ m}^2$$

$$Q = 0,95 * 0,048 * 23.343.463,16$$

$$= 1.072.476,90$$

$K = 1,8 \times 10^{-2}$  cm/detik (Saputra, 2017 dalam Gunawan, 2018) untuk jenis tanah porus

$$= 0,648 \text{ m/jam}$$

$K = 0,02$  m/jam untuk jenis tanah lanau (Republik Indonesia, 2017b)

Penentuan koefisien permeabilitas (K) berdasarkan pada litologi Kota Pekalongan yang merujuk pada Gambar 5.15.

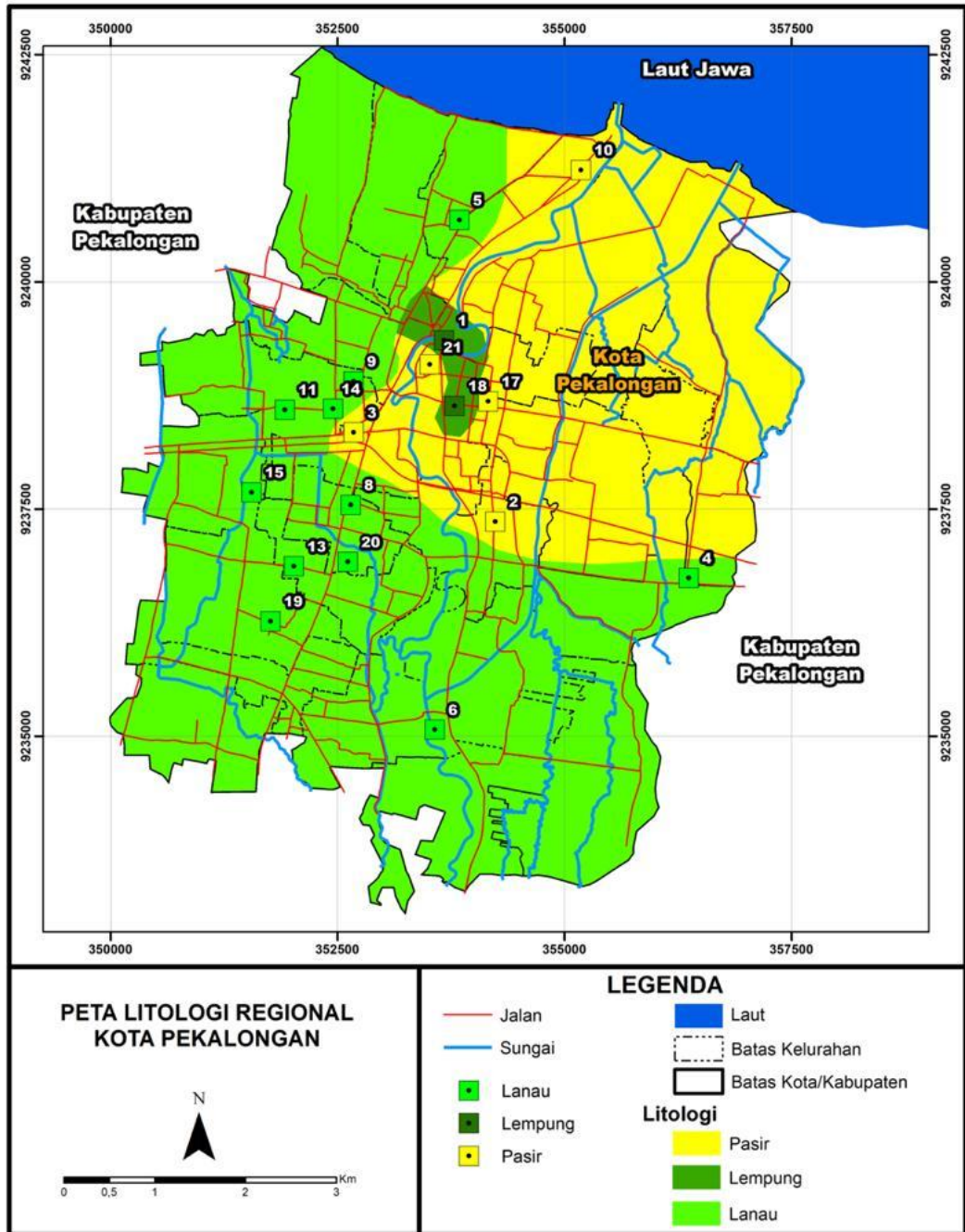
$\omega = 2$ , untuk sumur kosong berdinding kedap air

$\omega = 5$ , untuk sumur kosong berdinding porus

$$H = \frac{1.072.476,90}{2 \times 3,14 \times 1 \times 0,648}$$

$$= 263.544,10$$

Jika menggunakan kedalaman sumur resapan 3m (Republik Indonesia, 2017b) dengan jenis tanah porus maka dibutuhkan 87.848 unit sumur resapan dengan dinding kedap.



**Gambar 5.15 Peta Litologi Kota Pekalongan**

Perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 5.9 – 5.16

**Tabel 5.9 Perhitungan debit andil (Q) pada asumsi poin (a-b)**

Variabel	Satuan	Pekalongan Utara	Pekalongan Barat	Pekalongan Timur	Pekalongan Selatan	Kota Pekalongan
R24j	mm/hari	221,44	221,44	221,44	221,44	221,44
t	jam	2	2	2	2	2
K	Lanau	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Pasir	0,648	0,648	0,648	0,648	0,648
Dinding Kedap		2	2	2	2	2
Dinding Porus		5	5	5	5	5
R	m	1	1	1	1	1
A	m <sup>2</sup>	5.456.494,32	7.427.533,91	5.217.562,45	5.241.848,84	23.343.463,16
C	Ketetapan	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Q	m <sup>3</sup> /jam	250.689,63	341.245,79	239.712,30	240.828,10	1.072.476,90

**Tabel 5.10 Perhitungan jumlah sumur (H) pada asumsi poin (a-b)**

No	I		Q	H	H	H	H
	mm/jam	m/jam	m <sup>3</sup> /jam	kedap/lanau	porus/lanau	kedap/pasir	porus/pasir
1	Pekalongan Utara						
	48,36	0,05	250.689,63	1.995.936,54	798.374,62	61.602,98	24.641,19
2	Pekalongan Barat						
	48,36	0,05	341.245,79	2.716.925,10	1.086.770,04	83.855,71	33.542,29
3	Pekalongan Timur						
	48,36	0,05	239.712,30	1.908.537,41	763.414,97	58.905,48	23.562,19
4	Pekalongan Selatan						
	48,36	0,05	240.828,10	1.917.421,16	766.968,46	59.179,67	23.671,87
5	Kota Pekalongan						
	48,36	0,05	1.072.476,90	8.538.828,86	3.415.531,54	263.544,10	105.417,64
	Kebutuhan sumur resapan			2.846.276	1.138.511	87.848	35.139



**Tabel 5.11 Perhitungan debit andil (Q) pada asumsi poin (c-f)**

Variabel	Satuan	MAT >1,5 m	Bangunan - MAT >1,5m	MAT >1,5m - Terdampak Banjir	Bangunan - MAT >1,5m - Terdampak Banjir
R24j	mm/hari	221,44	221,44	221,44	221,44
t	jam	2	2	2	2
K	Lanau	0,02	0,02	0,02	0,02
	Pasir	0,648	0,648	0,648	0,648
Dinding Kedap		2	2	2	2
Dinding Porus		5	5	5	5
R	m	1	1	1	1
A	m <sup>2</sup>	10.479.462,26	5.859.484,71	1.235.263,45	1.183.416,21
C	Ketetapan	0,95	0,95	0,95	0,95
Q	m <sup>3</sup> /jam	481.461,61	269.204,36	56.752,14	54.370,11

**Tabel 5.12 Perhitungan jumlah sumur (H) pada asumsi poin (c-f)**

No	I	I	Q	H	H	H	H
	mm/jam	m/jam	m <sup>3</sup> /jam	kedap/lanau	porus/lanau	kedap/pasir	porus/pasir
1	Kota Pekalongan dengan MAT >1.5 m						
	48,36	0,05	481.461,61	3.833.293,04	1.533.317,21	118.311,51	47.324,61
	Kebutuhan sumur resapan			1.277.764	511.106	39.437	15.775
2	Kota Pekalongan pada lahan terbangun dengan MAT >1.5 m						
	48,36	0,05	269.204,36	2.143.346,80	857.338,72	1.190.748,22	476.299,29
	Kebutuhan sumur resapan			714.449	285.780	396.916	158.766
3	Kota Pekalongan yang terdampak banjir dengan MAT >1.5 m						
	48,36	0,05	56.752,14	451.848,26	180.739,30	251.026,81	100.410,72
	Kebutuhan sumur resapan			150.616	60.246	83.676	33.470
4	Kota Pekalongan pada lahan terbangun yang terdampak banjir dengan MAT >1.5 m						
	48,36	0,05	54.370,11	432.883,01	173.153,20	240.490,56	96.196,22
	Kebutuhan sumur resapan			144.294	57.718	80.164	32.065

**Tabel 5.13 Perhitungan debit andil (Q) pada asumsi poin (d) per kecamatan Kota Pekalongan**

Variabel	Satuan	Pekalongan Utara	Pekalongan Barat	Pekalongan Timur	Pekalongan Selatan	Kota Pekalongan
R24	mm/hari	221,44	221,44	221,44	221,44	221,44
t	jam	2	2	2	2	2
K	Lanau	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Pasir	0,648	0,648	0,648	0,648	0,648
Dinding kedap		2	2	2	2	2
Dinding porous		5	5	5	5	5
R	m	1	1	1	1	1
A	m <sup>2</sup>	0,00	1.025.334,59	1.410.471,35	3.410.432,19	5.846.238,13
C	Ketetapan	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Q	m <sup>3</sup> /jam	0,00	47.107,31	64.801,78	156.686,68	268.595,77

**Tabel 5.14 Perhitungan jumlah sumur (H) pada asumsi poin (d) per kecamatan Kota Pekalongan**

No.	I mm/jam	I m/jam	Q m <sup>3</sup> /jam	H kedap/lanau	H porus/lanau	H kedap/pasir	H porus/pasir
1	Pekalongan Utara						
	48,36	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Kebutuhan sumur resapan			0	0	0	0
2	Pekalongan Barat						
	48,36	0,05	47.107,31	375.058,17	150.023,27	11.575,87	4.630,35
	Kebutuhan sumur resapan			125.019	50.008	3.859	1.543
3	Pekalongan Timur						
	48,36	0,05	64.801,78	515.937,73	206.375,09	15.924,00	6.369,60
	Kebutuhan sumur resapan			171.979	68.792	5.308	2.123
4	Pekalongan Selatan						
	48,36	0,05	156.686,68	1.247.505,42	499.002,17	38.503,25	15.401,30
	Kebutuhan sumur resapan			415.835	166.334	12.834	5.134
5	Kota Pekalongan						
	48,36	0,05	268.595,77	2.138.501,32	855.400,53	66.003,13	26.401,25
	Kebutuhan sumur resapan			712.834	285.134	22.001	8.800

**Tabel 5.15 Perhitungan debit andil (Q) pada asumsi poin (g) per kecamatan Kota Pekalongan**

Variabel	Satuan	Pekalongan Utara	Pekalongan Barat	Pekalongan Timur	Pekalongan Selatan	Kota Pekalongan
R24	mm/hari	221,44	221,44	221,44	221,44	221,44
t	jam	2	2	2	2	2
K	Lanau	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
	Pasir	0,648	0,648	0,648	0,648	0,648
Dinding kedap		2	2	2	2	2
Dinding porous		5	5	5	5	5
R	m	1	1	1	1	1
A	m <sup>2</sup>	0,00	832.720,49	0,00	350.695,72	1.183.416,21
C	Ketetapan	0,95	0,95	0,95	0,95	0,95
Q	m <sup>3</sup> /jam	0,00	38.257,97	0,00	16.112,14	54.370,11

**Tabel 5.16 Perhitungan jumlah sumur (H) pada asumsi poin (g) per kecamatan Kota Pekalongan**

No.	I mm/jam	I m/jam	Q m <sup>3</sup> /jam	H kedap/lanau	H porus/lanau	H kedap/pasir	H porus/pasir
1	Pekalongan Utara						
	48,36	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Kebutuhan sumur resapan			0	0	0	0
2	Pekalongan Barat						
	48,36	0,05	38.257,97	304.601,67	121.840,67	9.401,29	3.760,51
	Kebutuhan sumur resapan			101.534	40.614	3.134	1.254
3	Pekalongan Timur						
	48,36	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Kebutuhan sumur resapan			0	0	0	0
4	Pekalongan Selatan						
	48,36	0,05	16.112,14	128.281,34	51.312,54	3.959,30	1.583,72
	Kebutuhan sumur resapan			42.760	17.104	1.320	528
5	Kota Pekalongan						
	48,36	0,05	54.370,11	432.883,01	173.153,20	13.360,59	5.344,23
	Kebutuhan sumur resapan			144.294	57.718	4.454	1.781

## B. Kebutuhan dan Penempatan Sumur Resapan per Kecamatan

Berdasarkan perhitungan debit andil dan kedalaman sumur resapan air hujan (SRAH) yang dibutuhkan serta karakteristik wilayah Kota Pekalongan maka direkomendasikan penempatan sumur resapan pada wilayah terbangun dengan kedalaman muka air tanah lebih dari 1,5 meter dengan prioritas wilayah rawan banjir. Mengacu pada perhitungan tabel 20 – 21 asumsi poin (d) didapatkan kebutuhan sumur resapan pada tabel 5.17 dan prioritas kawasan rawan banjir pada tabel 25.

**Tabel 45.17 Kebutuhan SRAH pada lahan terbangun dengan kedalaman MAT >1,5m**

No	Kecamatan	Jumlah SRAH	Kedalaman SRAH
1	Pekalongan Utara	0	-
2	Pekalongan Barat	50.008	1,5 - 2 m
3	Pekalongan Timur	68.792	1,5 m
4	Pekalongan Selatan	166.334	1,5 - 3 m
5	Kota Pekalongan	285.134	1,5 - 3 m

**Tabel 55.18 Kebutuhan SRAH pada lahan terbangun di area rawan banjir dengan kedalaman MAT >1,5m**

No	Kecamatan	Jumlah SRAH	Kedalaman SRAH
1	Pekalongan Utara	0	-
2	Pekalongan Barat	40.614	1,5m
3	Pekalongan Timur	0	-
4	Pekalongan Selatan	17.104	1,5 m
5	Kota Pekalongan	57.718	1,5 m

Kebutuhan sumur resapan air hujan di Kota Pekalongan dapat dipenuhi secara bertahap dengan melakukan pemilihan kawasan yang sesuai untuk penempatan sumur resapan air hujan pada lahan terbangun yang memiliki kedalaman muka air tanah >1,5 meter kemudian di *overlay* dengan kawasan rawan banjir. Kebutuhan sumur resapan air hujan secara keseluruhan di Kota Pekalongan yaitu 285.134 unit. Rekomendasi penempatan awal sumur resapan air hujan di Kota

Pekalongan dijelaskan dalam tabel 26 – 28. Kecamatan Pekalongan Utara memiliki kedalaman muka air tanah antara 0,3 m – 1 m sehingga tidak dapat dipasang sumur resapan air hujan.

Area lahan terbangun Kota Pekalongan dengan kedalaman muka air tanah lebih dari 1,5 meter dan bukan merupakan wilayah rawan banjir dapat dilakukan instalasi sumur resapan air hujan guna menghindari peningkatan limpasan air hujan pada wilayah dengan elevasi lebih rendah, meningkatkan kuantitas dan kualitas air tanah, serta mengurangi dampak penurunan muka tanah dan intrusi air laut.

Kebutuhan sumur resapan air hujan untuk penanganan banjir yaitu 57.718 unit. Zona prioritas penempatan awal direkomendasikan pada wilayah rawan banjir yaitu Kelurahan Medono, Podosugih, Bendan Kergon, dan Buaran Kradenan dengan 547 unit sumur resapan air hujan (Tabel 5.22). Alternatif penanganan banjir di area rawan banjir dengan muka air tanah <1,5m dapat dilakukan dengan pemasangan parit resapan air hujan, biopori, kolam pengumpul air hujan, ataupun kolam retensi (Republik Indonesia, 2009; 2017b).

**Tabel 5.19 Rekomendasi penempatan awal sumur resapan air hujan di Kecamatan Pekalongan Barat**

KECAMATAN	LUAS (m <sup>2</sup> )	JUMLAH SRAH	KELURAHAN	KEDALAMAN SRAH (m)
Pekalongan Barat	1.025.335	50.008		
PB_1	23.017	230	Medono	2
PB_2	7.887	79	Medono	2
PB_3	3.331	33	Podosugih	1,5
PB_4	3.799	38	Podosugih	1,5
PB_5	3.721	37	Medono	1,5
PB_6	12.569	126	Podosugih	1,5
PB_7	3.357	34	Bendan Kergon	1,5
	JUMLAH	577 unit SRAH		

**Tabel 5.20 Rekomendasi penempatan awal sumur resapan air hujan di Kecamatan Pekalongan Timur**

KECAMATAN	LUAS (m <sup>2</sup> )	JUMLAH SRAH	KELURAHAN	KEDALAMAN SRAH (m)
Pekalongan Timur	1.410.471	68.792		
PT_1	2.579	26	Noyotaansari	1,5
PT_2	2.478	25	Noyotaansari	1,5
PT_3	15.083	151	Noyotaansari	1,5
PT_4	10.597	106	Noyotaansari	1,5
PT_5	2.284	23	Kali Baros	1,5
PT_6	2.874	29	Kali Baros	1,5
JUMLAH		359 unit SRAH		

**Tabel 5.21 Rekomendasi penempatan awal sumur resapan air hujan di Kecamatan Pekalongan Selatan**

KECAMATAN	LUAS (m <sup>2</sup> )	JUMLAH SRAH	KELURAHAN	KEDALAMAN SRAH (m)
Pekalongan Selatan	3.410.432	166.334		
PS_1	14.470	145	Banyurip	1,5
PT_2	6.158	62	Jenggot	2
PT_3	4.331	43	Jenggot	1,5
PT_4	3.018	30	Buaran Kradenan	1,5
PT_5	2.254	23	Buaran Kradenan	1,5
PT_6	4.607	46	Jenggot	2
PT_7	5.235	52	Kuripan Yosorejo	3
PT_8	1.662	17	Kuripan Yosorejo	3
JUMLAH		417 unit SRAH		

**Tabel 5.22 Rekomendasi prioritas penempatan awal sumur resapan air hujan di Kota Pekalongan dalam upaya penanganan banjir**

ZONA PRIORITAS	LUAS (m <sup>2</sup> )	JUMLAH SRAH	KELURAHAN	KEDALAMAN SRAH (m)
PB_1	23.017	230	Medono	2
PB_2	7.887	79	Medono	2
PB_3	3.331	33	Podosugih	1,5
PB_4	3.799	38	Podosugih	1,5
PB_5	3.721	37	Medono	1,5
PB_7	3.357	34	Bendan Kergon	1,5
PS_3	4.331	43	Jenggot	1,5
PS_4	3.018	30	Buaran Kradenan	1,5
PS_5	2.254	23	Buaran Kradenan	1,5
JUMLAH		547 unit SRAH		



### C. Konstruksi Sumur Resapan Air Hujan

Pembuatan sumur resapan air hujan memiliki beberapa tipe konstruksi (Republik Indonesia, 2017b) sebagai berikut :

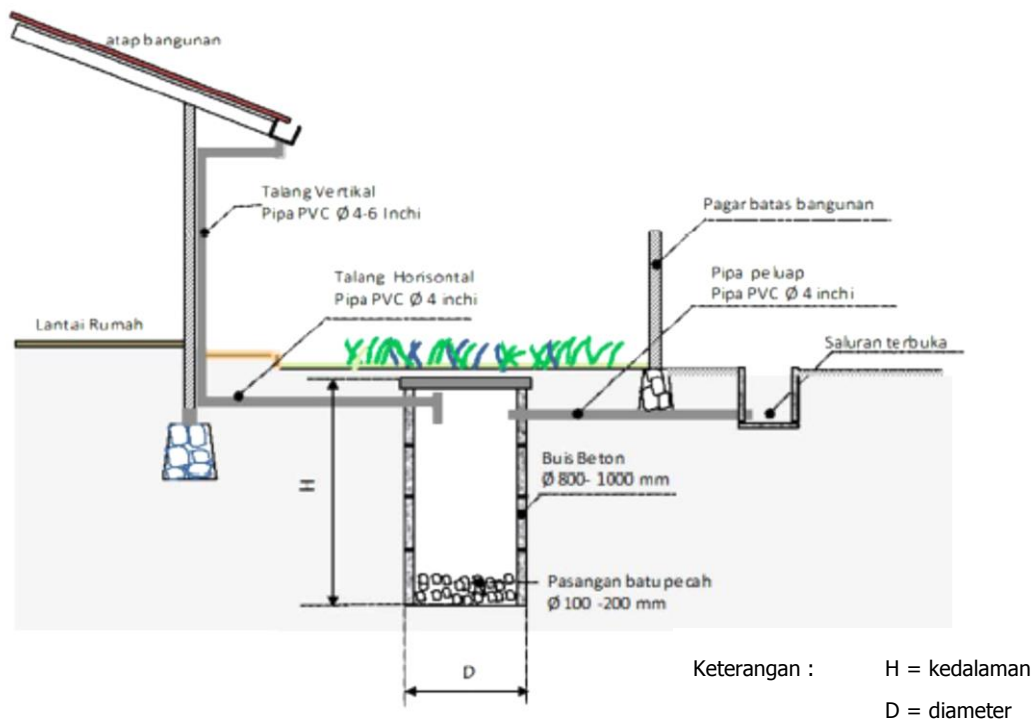
1. tipe I. untuk sumur resapan air hujan dengan dinding tanah.
2. tipe II. untuk sumur resapan air hujan dengan dinding pasangan batako/bata merah tanpa dipelester dan diantara pasangan diberi celah lubang.
3. tipe III. sumur resapan air hujan dengan dinding buis beton.
4. tipe IV. sumur resapan air hujan dengan dinding buis beton porus.

Berdasarkan analisis karakteristik wilayah dan hasil survey lapangan, sumur resapan yang akan ditempatkan pada wilayah rekomendasi dapat menggunakan konstruksi tipe II dan IV. Dinding berpori pada sumur resapan air hujan akan memudahkan aliran limpasan air hujan yang masuk dan bergerak secara lateral maupun vertikal di dalam tanah sehingga sebarannya lebih merata. Pengisian ulang air tanah selain untuk menampung air limpasan hujan juga dapat meningkatkan kuantitas dan kualitas air tanah serta mengurangi dampak penurunan muka tanah (*land subsidence*) dan intrusi air laut. Guna memenuhi kebutuhan pemasangan sumur resapan yang tinggi dengan biaya yang lebih rendah maka direkomendasikan pemilihan konstruksi tipe II. Konstruksi SRAH tipe II dinilai sesuai dengan karakteristik wilayah dan mampu melaksanakan fungsinya dengan baik pada kawasan rekomendasi penempatan di Kota Pekalongan.

Konstruksi sumur resapan air hujan tipe II dapat dibuat sebagai berikut (Republik Indonesia, 2009, 2017) :

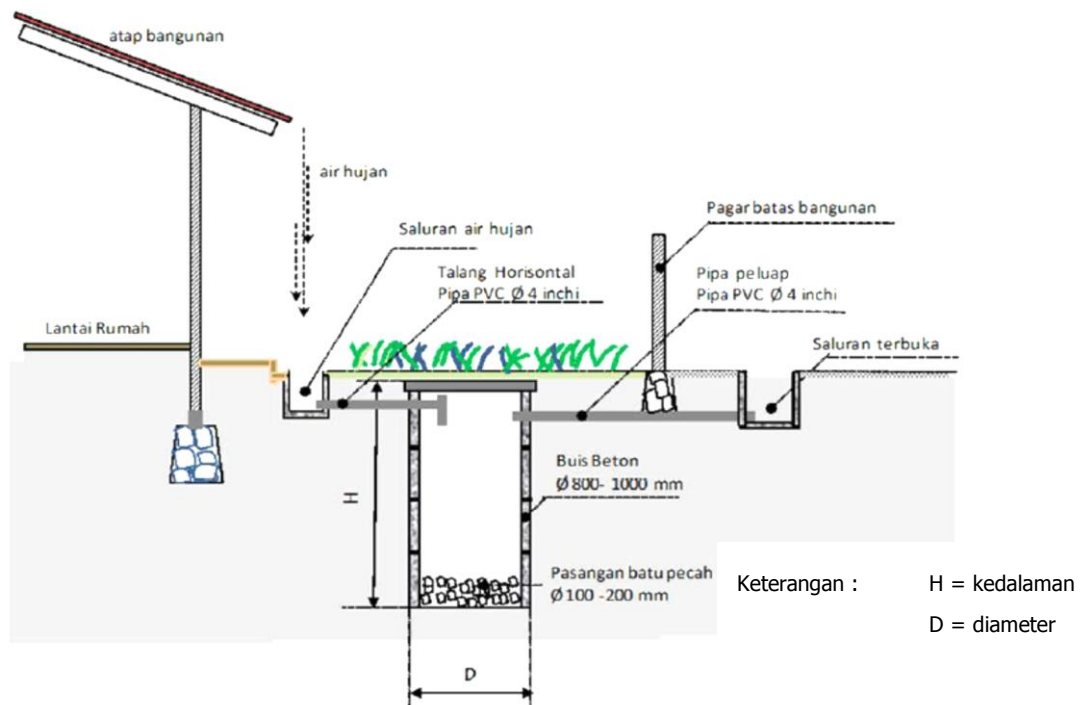
1. dibuat dalam bentuk bundar atau empat persegi dengan menggunakan batako atau bata merah dengan celah lubang tanpa dipelester;
2. dibuat pada kedalaman di atas muka air tanah;

3. dilengkapi dengan memasang filter dapat berupa pasangan batu pecah atau ijuk, koral serta pasir;
4. dilengkapi dengan bak kontrol yang dibangun berjarak  $\pm 50$  cm dari sumur resapan dangkal yang berfungsi sebagai pengendap;
5. sumur resapan dangkal dan bak kontrol dilengkapi dengan penutup yang dapat dibuat dari beton bertulang atau plat besi;
6. membuat saluran air dari talang rumah (Gambar 5.2) atau saluran air (Gambar 5.3) di atas permukaan tanah untuk dimasukkan ke dalam sumur dengan ukuran sesuai jumlah aliran. Sumur resapan yang sumber airnya dialirkan melalui talang bangunan tidak perlu membuat bak kontrol;



**Gambar 5.2 Contoh pemasangan bangunan SRAH melalui pipa talang**

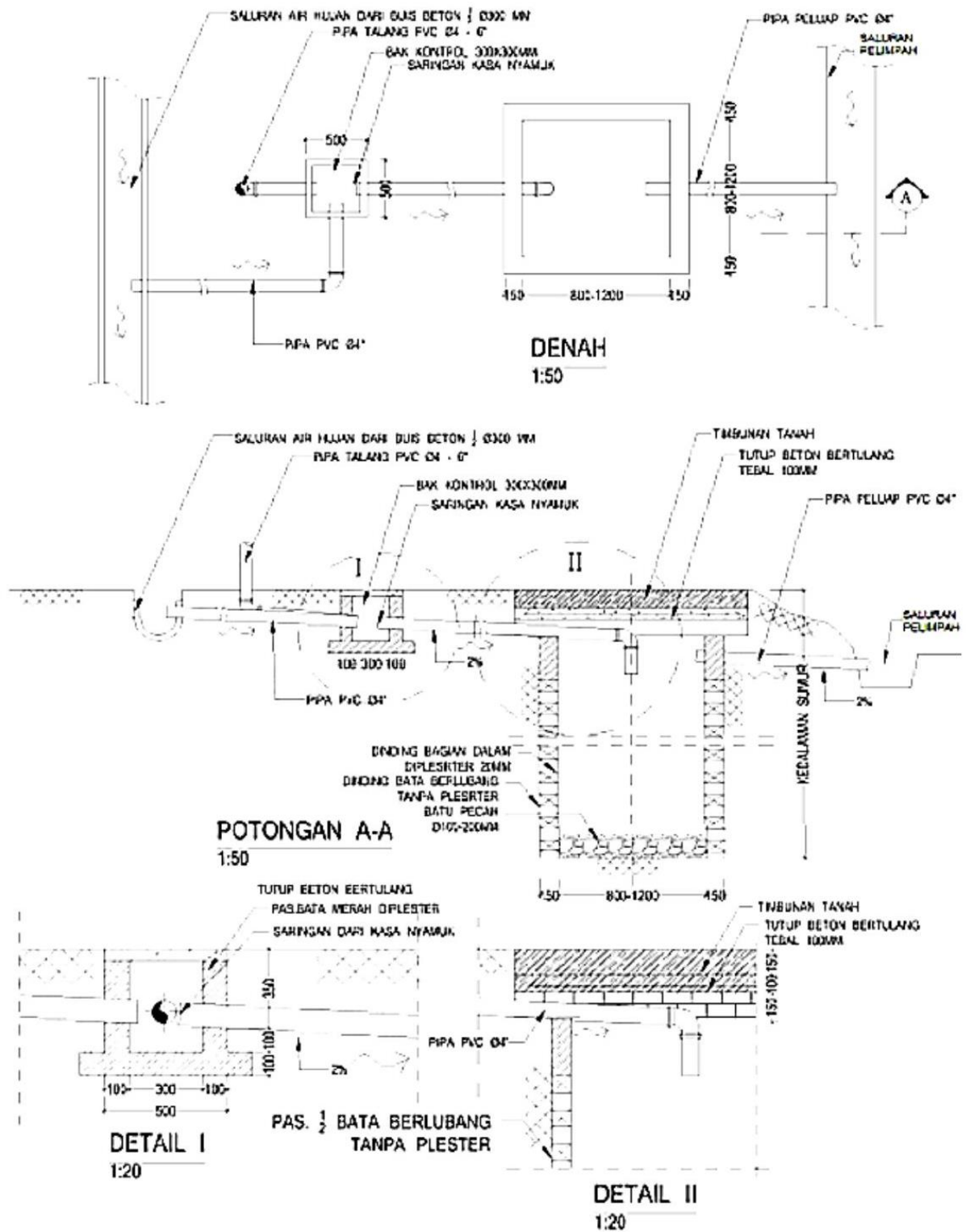
Sumber : (Republik Indonesia, 2017b)



**Gambar 5.3 Contoh pemasangan bangunan SRAH melalui saluran air hujan**

Sumber : (Republik Indonesia, 2017b)

7. memasang pipa pembuangan yang berfungsi sebagai saluran limpasan jika air dalam sumur resapan sudah penuh; dan
8. membersihkan bak kontrol dan sumur resapan dangkal dengan mengangkat filter pada setiap menjelang musim penghujan atau disesuaikan dengan kondisi tingkat kebersihan filter.



**Gambar 5.4 Detail konstruksi SRAH tipe II**

Sumber : (Republik Indonesia, 2017b)

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **A. Kesimpulan**

Kesimpulan dari studi potensi dan penentuan sumur resapan sebagai upaya pengendalian banjir di Kota Pekalongan berbasis sistem informasi geografis sebagai berikut :

1. Kebutuhan sumur resapan untuk menampung limpasan dan genangan air hujan pada wilayah rawan banjir Kota Pekalongan yaitu 57.718 unit.
2. Rekomendasi penempatan awal sumur resapan air hujan dalam upaya penanganan banjir dapat dilakukan pada kelurahan Medono, Podosugih, Bendan Kergon, dan Buaran Kradenan dengan 547 unit.
3. Kecamatan Pekalongan Utara dan Pekalongan Timur yang merupakan area rawan banjir namun memiliki kedalaman muka air tanah kurang dari 1,5 meter maka tidak dapat dilakukan instalasi sumur resapan air hujan. Alternatif resapan air hujan pada area dengan kedalaman muka air tanah kurang dari 1,5 meter dapat dilakukan dengan menggunakan parit resapan air hujan dan biopori, serta pemanfaatan air hujan melalui kolam penampungan air hujan atau kolam retensi.
4. Instalasi sumur resapan air hujan pada lahan terbangun dengan kedalaman muka air tanah  $>1,5\text{m}$  diluar area rawan banjir sebanyak 227.416 unit dengan kedalaman sumur antara 1,5 hingga 4 meter.
5. Berdasarkan karakteristik wilayah Kota Pekalongan pada lahan yang direkomendasikan sebagai penempatan sumur resapan air hujan dapat menggunakan konstruksi tipe II.

## **B. Saran**

Saran dari studi potensi dan penentuan sumur resapan sebagai upaya pengendalian banjir di Kota Pekalongan berbasis sistem informasi geografis sebagai berikut :

1. Perlu dilakukan tindak lanjut hasil penelitian dengan melakukan pengecekan lapangan terhadap lokasi rekomendasi penempatan sumur resapan dengan memperhatikan persyaratan umum dan teknis (Republik Indonesia, 2009, 2017).
2. Perlu dilakukan pemeliharaan sumur resapan air hujan secara rutin dengan melakukan pemantauan, pembersihan saluran talang / saluran air hujan, pembersihan/penggantian filter (Republik Indonesia, 2009), serta uji kualitas air hujan yang masuk ke dalam SRAH (Republik Indonesia, 2017a).
3. Perlu dilakukan sosialisasi dan kerjasama dengan penduduk sekitar guna pengelolaan sumur resapan air hujan secara terpadu dan swadaya mandiri bagi daerah yang memiliki kapasitas mencukupi (Tsuyuguchi *et al.*, 2020).

## DAFTAR PUSTAKA

- Adibah, N., Kahar, S. and Sasmito, B. (2013) 'Aplikasi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis Untuk Analisis Daerah Resapan Air (Studi Kasus : Kota Pekalongan)', *Jurnal Geodesi Undip*, 2(2), pp. 141–153.
- Badan Informasi Geospasial (2020) *Portal Informasi Indonesia*. Available at: <https://www.indonesia.go.id/archipelago> (Accessed: 21 March 2020).
- Badan Pusat Statistik Kota Pekalongan (2019) *Kota Pekalongan Dalam Angka 2019*. 33750.1902. Pekalongan: BPS Kota Pekalongan.
- Boelee, E. *et al.* (2019) 'Water and health: From environmental pressures to integrated responses', *Acta Tropica*. Elsevier, 193(March), pp. 217–226. doi: 10.1016/j.actatropica.2019.03.011.
- Chaussard, E. *et al.* (2013) 'Sinking cities in Indonesia: ALOS PALSAR detects rapid subsidence due to groundwater and gas extraction', *Remote Sensing of Environment*. Elsevier Inc., 128, pp. 150–161. doi: 10.1016/j.rse.2012.10.015.
- Gedam, K. and Dagalo, S. (2020) 'Journal of Hydrology: Regional Studies Identification of Groundwater Potential Zones Using Proxy Data : Case study of Megech Watershed , Ethiopia', *Journal of Hydrology: Regional Studies*. Elsevier, 28(January), p. 100676. doi: 10.1016/j.ejrh.2020.100676.
- George, P. (2011) 'Health impacts of floods', *Prehospital and Disaster Medicine*, 26(2), p. 137. doi: 10.1017/S1049023X11000148.
- IPCC (2014) *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability. Summaries, frequently asked questions, and cross-chapter boxes. In: A Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Jia, X. *et al.* (2019) 'Groundwater depletion and contamination: Spatial

- distribution of groundwater resources sustainability in China', *Science of the Total Environment*. Elsevier B.V., 672, pp. 551–562. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.03.457.
- Kartika, F. D. S., Helmi, M. and Amirudin (2019) 'Meta-analysis of community's adaptation pattern with tidal flood in Pekalongan City, Central Java, Indonesia', *E3S Web of Conferences*, 125(2019), pp. 1–4. doi: 10.1051/e3sconf/201912509001.
- Maliva, R. G. (2020) 'Vadose Zone Infiltration Systems', in *Anthropogenic Aquifer Recharge*. Springer Nature Switzerland AG, pp. 567–601. doi: 10.1007/978-3-030-11084-0\_17.
- Milašinović, M. *et al.* (2019) 'Coupled groundwater hydrodynamic and pollution transport modelling using Cellular Automata approach', *Journal of Hydrology*, 576(June), pp. 652–666. doi: 10.1016/j.jhydrol.2019.06.062.
- Mitrović, V. L., O'Mathúna, D. P. and Nola, I. A. (2019) 'Ethics and Floods: A Systematic Review', *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 13(4), pp. 817–828. doi: 10.1017/dmp.2018.154.
- Muliawati, D. N. and Mardiyanto, M. A. (2015) 'Perencanaan Penerapan Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan (Eko-Drainase) Menggunakan Sumur Resapan Di Kawasan Rungkut', *Jurnal Teknik ITS*, 4(1), pp. D16–D20. Available at: <http://ejournal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/8833>.
- Mulyadi, M. (2013) 'Penelitian Kuantitatif Dan Kualitatif Serta Pemikiran Dasar Menggabungkannya', *Jurnal Studi Komunikasi dan Media*, 15(1), pp. 127–138. doi: 10.31445/jskm.2011.150106.
- MVIHES (2014) *GROUNDWATER MAPPING AND EDUCATION*. Available at: <https://www.mvihes.bc.ca/current-initiatives/groundwater-study> (Accessed: 23 March 2020).



- Norfadilah, I., Dwiatmoko, M. U. and Novianti, Y. S. (2020) 'Laju Infiltrasi Pada Danau Bekas Tambang Alluvial Yang Dipengaruhi Karakteristik Sifat Fisik Tanah', *Jurnal Himasapta*, 5(1), pp. 13–17. doi: 10.20527/jhs.v5i1.2047.
- Parida, Y. (2019) 'Economic impact of floods in the Indian states', *Environment and Development Economics*, pp. 1–24. doi: 10.1017/s1355770x19000317.
- Pemerintah Kota Pekalongan (2011) *PERATURAN DAERAH KOTA PEKALONGAN NOMOR 30 TAHUN 2011 TENTANG RENCANA TATA RUANG WILAYAH KOTA PEKALONGAN TAHUN 2009 – 2029*. Pekalongan.
- Pemerintah Kota Pekalongan (2018) *PERATURAN DAERAH KOTA PEKALONGAN NOMOR 9 TAHUN 2018 TENTANG PERUBAHAN ATAS PERATURAN DAERAH KOTA PEKALONGAN NOMOR 4 TAHUN 2016 TENTANG RENCANA PEMBANGUNAN JANGKA MENENGAH DAERAH KOTA PEKALONGAN TAHUN 2016-2021*. Pekalongan.
- du Plessis, A. (2017) 'Global Water Availability, Distribution and Use', in *Freshwater Challenges of South Africa and its Upper Vaal River*. Springer International Publishing, pp. 3–11. doi: 10.1007/978-3-319-49502-6\_1.
- Pratama, M. B. (2019) 'Tidal Flood in Pekalongan: Utilizing and Operating Open Resources for Modelling', in *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering PAPER*. IOP Publishing Ltd, pp. 1–10. doi: 10.1088/1757-899X/676/1/012029.
- Putra, A. P. and Suprayogi, S. (2014) 'Rancangan Sumur Resapan di Sub DAS Garang Hilir Kota Semarang, Jawa Tengah', *Jurnal Bumi Indonesia*, 3(3), pp. 1–10. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Putranto, T. T., Widiarso, D. A. and Yuslihanu, F. (2016) 'Studi Kerentanan Air Tanah Terhadap Kontaminan Menggunakan Metode Drastic di Kota

- Pekalongan', *Teknik*, 37(1), pp. 26–31. doi: 10.14710/teknik.v37i1.9637.
- Ren, X. *et al.* (2020) 'Effect of infiltration rate changes in urban soils on stormwater runoff process', *Geoderma*, 363(114158), pp. 1–11. doi: 10.1016/j.geoderma.2019.114158.
- Republik Indonesia (2009) *Pemanfaatan Air Hujan*.
- Republik Indonesia (2017a) *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017 Tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan Dan Persyaratan Kesehatan Air Untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua dan Pemandian Umum, Kementerian Kesehatan*. Indonesia.
- Republik Indonesia (2017b) 'SNI 8456:2017 Sumur dan parit resapan air hujan'.
- Sa'ud, I. and Wiguna, I. P. A. (2013) 'Penentuan Alternatif Penanggulangan Genangan Akibat Peubahan Tataguna Lahan di Wilayah Surabaya', *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XVII*, p. B-6-1-B-6-8. Available at: <http://mmt.its.ac.id/download/SEMNAS/SEMNAS XVII/MP/6. Ismail Sa'ud.pdf>.
- Tsuyuguchi, B. B. *et al.* (2020) 'Governance of alluvial aquifers and community participation: a social-ecological systems analysis of the Brazilian semi-arid region', *Hydrogeology Journal*, 28(5), pp. 1539–1552. doi: 10.1007/s10040-020-02160-8.
- Wahyudi, S. I. (2010) 'PERBANDINGAN PENANGANAN BANJIR ROB DI LA BRIERE ( PRANCIS ), ROTTERDAM ( BELANDA ) DAN PERSPEKTIF DI SEMARANG ( INDONESIA )', 4, pp. 29–35.
- Wang, Y. Q., Wang, Z. F. and Cheng, W. C. (2019) 'A review on land subsidence caused by groundwater withdrawal in Xi'an, China', *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*. Bulletin of

- Engineering Geology and the Environment, 78(4), pp. 2851–2863. doi: 10.1007/s10064-018-1278-6.
- Wijaya, A. and Susetyo, C. (2017) 'Analisis Dinamika Pola Spasial Penggunaan Lahan pada Wilayah Terdampak Kenaikan Muka Air Laut di Kota Pekalongan', *Jurnal Teknik ITS*. Surabaya, 6(2).
- Yamanaka, S. *et al.* (2020) 'Role of flood-control basins as summer habitat for wetland species - A multiple-taxon approach', *Ecological Engineering*. Elsevier, 142(October 2019), p. 105617. doi: 10.1016/j.ecoleng.2019.105617.
- Yoda, T. *et al.* (2017) 'Relationship between Long-term Flooding and Serious Mental Illness after the 2011 Flood in Thailand', *Disaster Medicine and Public Health Preparedness*, 11(3), pp. 300–304. doi: 10.1017/dmp.2016.148.
- Yulianto, F. *et al.* (2019) 'Analysis of the dynamics of coastal landform change based on the integration of remote sensing and gis techniques: Implications for tidal flooding impact in pekalongan, central Java, Indonesia', *Quaestiones Geographicae*, 38(3), pp. 17–29. doi: 10.2478/quageo-2019-0025.
- Zeleňáková, M., Hudáková, G. and Stec, A. (2020) *Rainwater Infiltration in Urban Areas*. 89th edn. Edited by V. P. Singh et al. Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG. doi: 10.1007/978-3-030-34698-0.