

PENINJAUAN SISTEM POLDER GROGOL DALAM MENGHADAPI BANJIR

Vittorio Kurniawan¹, Wati Asriningsih Pranoto², dan Fernando Putra Ongga³

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
vkurniawan@ft.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
watip@ft.untar.ac.id

³Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
fernando.325190057@stu.untar.ac.id

Masuk: 12-07-2023, revisi: 21-07-2023, diterima untuk diterbitkan: 28-07-2023

ABSTRACT

Floods that often occur due to high rainfall inflicts social problems and other social impacts on the community. Therefore, a capable drainage system is necessary which comprises drainage channels with adequate capacities as well as pumps with sufficient capacities and operational rules. The study focuses on hydrological and hydraulical analysis on the system of Polder Grogol, West Jakarta. The estimation of design flood discharge employs Soil Conservation Service method with 5 years return period for Semeru and Makaliwe channels. The results of hydraulical analysis shows both channels are still adequate in draining design flood discharge. However, the existing pumping system is no longer sufficient to keep the reservoir's water level below the bottom of reservoir's inlet channel. There are several options to lower the reservoir water level. In this study, the approach is to add a new pump with the capacity of 0,25 m³/s without changing the formation of existing pumps. The analysis results reveals the additional pump manages to lower the reservoir water level below the targeted elevation.

Keywords: polder; pump; operating; flood

ABSTRAK

Banjir yang kerap terjadi pada saat curah hujan yang tinggi sering kali menyebabkan masalah-masalah sosial dan memberikan dampak yang cukup besar bagi masyarakat. Karena itu, dibutuhkan saluran drainase dengan kapasitas yang memadai disertai dengan kapasitas pompa dan pola pengoperasiannya yang juga baik. Studi ini berfokus pada analisis hidrologi dan analisis hidraulika pada sistem Polder Grogol, Jakarta Barat. Perhitungan debit banjir rencana menggunakan metode *Soil Conservation Service* dengan periode ulang 5 tahun untuk saluran Semeru m³/s dan saluran Makaliwe. Nilainya juga dibandingkan dengan menggunakan peranti lunak HEC-HMS 4.10. Hasil analisis hidraulika menunjukkan bahwa kedua saluran tersebut masih cukup untuk mengalirkan debit banjir desain. Namun, sistem pompa eksisting tidak cukup untuk mempertahankan tinggi muka air Waduk Grogol di bawah elevasi dasar saluran inlet waduk. Karena itu, diperlukan penambahan pompa baru sebesar 0,25 m³/s tanpa mengubah formasi pompa eksisting. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan ini berhasil menurunkan elevasi muka air waduk di bawah elevasi target.

Kata kunci: polder; pompa; pola operasi; banjir

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Banjir telah mengakibatkan kerugian yang besar baik dari segi korban jiwa maupun ekonomi. Kerugian pada negara bagian Iowa (Amerika Serikat) selama 500 tahun sekitar ratusan juta dollar Amerika. (Yildirim & Demir, 2019), banjir pada Kanada telah memakan korban 200 jiwa pada abad 20 dan kerugian lebih dari 2 miliar dollar Kanada (Jakob & Church, 2011). Banjir juga menelan 25000 jiwa, lebih dari 60 miliar dollar Amerika, dan kerugian-kerugian lain yang tidak bisa dikuantifikasi (Simonovic, 2011).

Indonesia juga tidak terlepas dari bahaya banjir. Studi di Aceh Utara tahun 2014-2019 menunjukkan ratusan ribu orang yang terdampak oleh banjir dan kerugian material sebesar 675 miliar rupiah (Zalmita, Fitria, & Taher, 2021). Banjir di Kelurahan Rawa Makmur (Kota Bengkulu) diklaim telah menimbulkan kerugian sebesar 1,7 miliar rupiah dan Kabupaten Bandung sebesar 11 triliun rupiah (Jayantara, 2020).

Pengendalian banjir di Jakarta telah dilakukan sejak zaman kolonial. Banjir yang terjadi di Batavia saat itu melumpuhkan aktivitas kota. Pada awal perencanaan kota ini dimaksudkan untuk membangun sebuah kota yang mirip dengan kota-kota yang ada di Belanda, maka dari itu banyak dibangun kanal-kanal (Ginting, 2015). Pada saat hujan deras turun, menyebabkan banjir yang seringkali menimbulkan masalah sosial dan dampak yang cukup besar bagi masyarakat, seperti kerugian secara material yang rusak akibat tergenang banjir, aktivitas masyarakat yang terganggu, hingga kesehatan masyarakat yang terancam akibat penyakit yang rentan menyebar ketika terjadi banjir.

Hal tersebut menjadi permasalahan yang serius, apalagi jika terjadi di kota-kota besar yang perputaran ekonomi cukup besar seperti Jakarta. Dilansir dari SindoNews.com (2020), banjir yang terjadi pada awal tahun 2020 di wilayah Jakarta Barat dengan tinggi genangan mencapai 50-80 cm, khususnya di Jalan Letnan Jenderal S.Parman pada Rabu pagi tanggal 1 Januari 2020. Dikarenakan curah hujan yang sangat tinggi dan durasi hujan yang cukup panjang hingga mencapai 377 mm/hari, dimulai dari sore hari tanggal 31 Desember 2019 hingga pagi hari tanggal 1 Januari 2020, akibatnya banjir pun tak bisa terhindarkan.

Tak hanya banjir yang terjadi di awal tahun 2020, Kota Jakarta sering mengalami banjir setiap tahunnya. Seperti yang dilansir dari CNN News Indonesia (2016), menurut keterangan dari warga yang tinggal di Jalan Semeru Raya, kelurahan Grogol, wilayah tersebut tetap mengalami banjir di saat curah hujan tinggi meski pompa pada Waduk Grogol berjalan normal. Pada tahun 2015, banjir juga terjadi di Jalan Dokter Makaliwe dengan ketinggian genangan air mencapai lutut orang dewasa.

Maka dari itu, pembangunan bangunan khusus seperti sistem polder sangat berguna untuk mengurangi debit banjir. Pengoperasian pompa sangat penting karena muka air di waduk pasti akan meningkat, yang disebabkan oleh curah hujan yang tinggi dan dapat menyebabkan banjir. Manajemen pola pengoperasian pompa juga memiliki peranan yang sangat penting, yakni untuk memberikan informasi tentang waktu terbaik untuk mulai pemompaan dan menghentikan pemompaan berdasarkan karakteristik debit banjir yang masuk/*inflow* ke dalam waduk (Purnaditya, 2018).

Namun, selain memperhatikan debit banjir yang masuk ke dalam waduk, hal lain yang harus menjadi perhatian adalah pemeliharaan pompa dari benda-benda yang seharusnya tidak masuk/melewati pompa. Tentunya, dengan adanya keberadaan benda-benda asing yang ikut terpompa, dapat mengakibatkan menurunnya masa layan pompa dan mengurangi efisiensi dalam memompa air..

Oleh karena itu, operasi dan pemeliharaan sistem polder harus dilaksanakan dengan upaya menjaga dan mengamankan sistem polder agar selalu dapat dengan baik guna memperlancar pelaksanaan operasi dan mempertahankan kelestariannya melalui kegiatan perawatan, perbaikan, pencegahan dan pengamanan yang harus dilakukan secara terus menerus. Pemeliharaan sistem polder mencakup semua kegiatan teknis yang diperlukan untuk menjaga fungsi polder dalam kondisi baik, misalnya inspeksi, perbaikan dan pembersihan wilayah kerja (Adi & Wahyudi, 2020).

Studi ini berfokus pada analisis hidrologi dan analisis hidraulika, dimana analisis tersebut dilakukan dengan meninjau kemampuan saluran drainase dalam melimpaskan air hujan pada saluran Semeru dan Makaliwe dan mengevaluasi kinerja dari pompa pada sistem Polder Grogol dalam memompakan air ke saluran utama.

Intensitas Hujan

Dalam hal menentukan debit banjir rencana, dibutuhkan nilai intensitas curah hujan. Intensitas hujan adalah jumlah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan per satuan waktu. Besarnya intensitas hujan berbeda-beda, tergantung dari lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Intensitas hujan diperoleh dengan cara melakukan analisis data hujan baik secara statistik maupun secara empiris (Kamarwan, 1997). Persamaan berikut ini merupakan persamaan Mononobe yang digunakan untuk memperoleh nilai intensitas hujan (SNI 2415:2016 Tata cara perhitungan debit banjir rencana, 2016).

$$I = \frac{R_T}{24} \cdot \left(\frac{24}{t_c}\right)^{\frac{2}{3}} \tag{1}$$

- I : intensitas hujan (mm/jam)
- R_T : curah hujan harian maksimum (mm)
- t_c : waktu konsentrasi (jam)

Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan untuk mengalirkan air dari titik yang paling jauh pada daerah aliran ke titik peninjauan yang telah ditentukan. Persamaan berikut merupakan persamaan Kirpich yang digunakan untuk mencari waktu konsentrasi (SNI 2415:2016 Tata cara perhitungan debit banjir rencana, 2016).

$$t_c = 0,0195 \cdot L^{0,77} \cdot S^{-0,385} \tag{2}$$

- t_c : waktu konsentrasi (menit)
- L : panjang saluran (m)

S : kemiringan lereng/saluran (m/m)

Perhitungan Debit Banjir Rencana

Besarnya debit banjir untuk luas DAS hingga 5.000 hektar dapat diperkirakan dengan metode rasional praktis (SNI 2415:2016 Tata cara perhitungan debit banjir rencana, 2016). Debit rencana untuk daerah perkotaan umumnya dirancang untuk membuang genangan air secepatnya. Dikutip dari Kodoatie (2013) yang mengacu pada Chow, Maidment, & Mays (1988), terdapat beberapa asumsi yang digunakan dalam metode rasional, seperti:

1. Curah hujan mempunyai intensitas yang merata
2. Debit puncak bukan merupakan hasil dari intensitas hujan yang lebih tinggi dengan durasi yang lebih pendek
3. Lama curah hujan sama dengan waktu konsentrasi dari daerah aliran
4. Puncak banjir dan intensitas curah hujan memiliki periode ulang yang sama

Selain metode rasional, penentuan besar debit banjir rencana juga bisa menggunakan metode hidrograf satuan sintetis. Beberapa metode yang tersedia adalah metode hidrograf satuan sintetis *Soil Conservation Service* (HSS-SCS), hidrograf satuan sintetis *Snyder* (HSS-Snyder) & hidrograf satuan sintetis *Nakayasu* (HSS-Nakayasu) (SNI 2415:2016 Tata cara perhitungan debit banjir rencana, 2016).

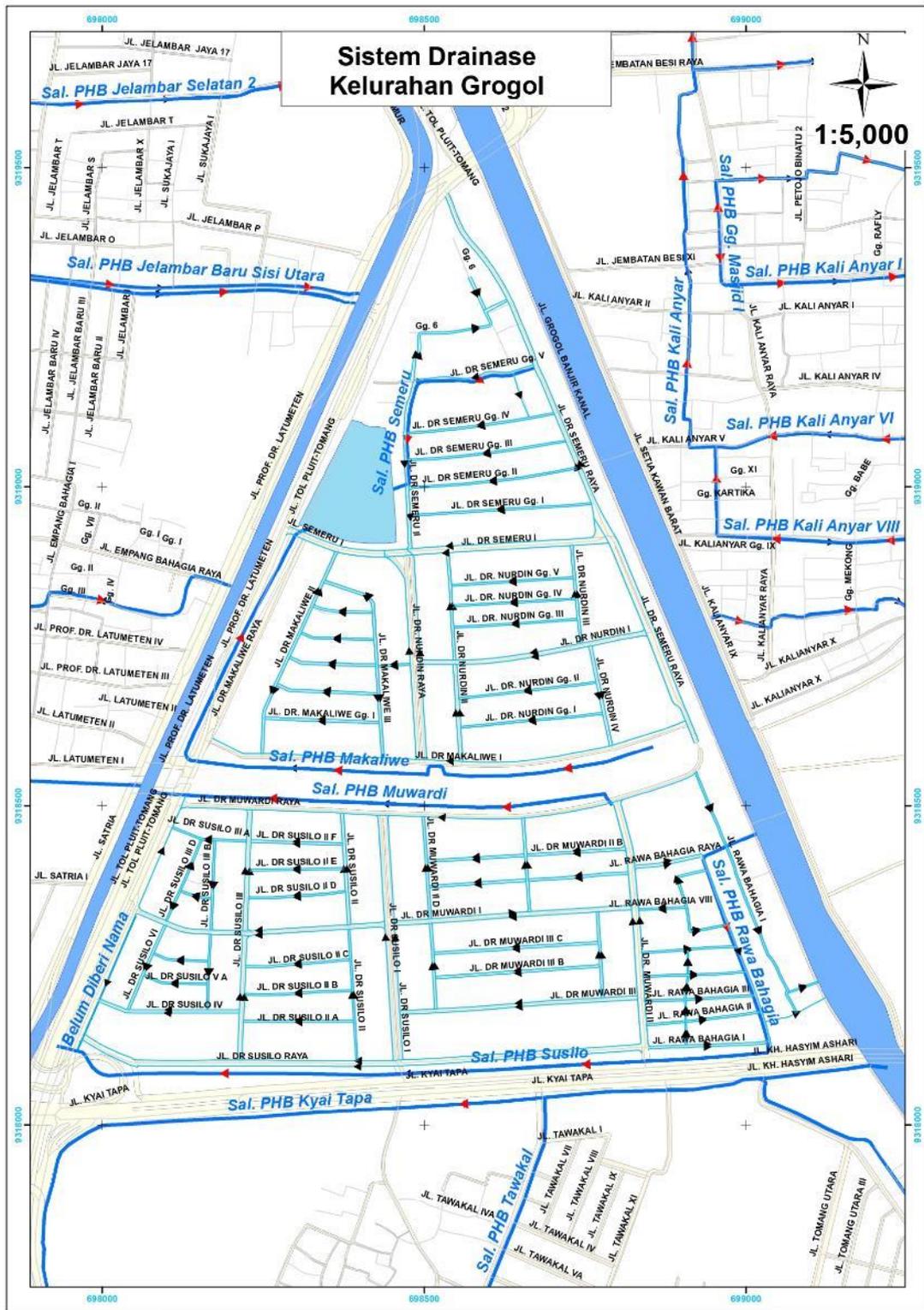
2. METODE PENELITIAN

Lokasi

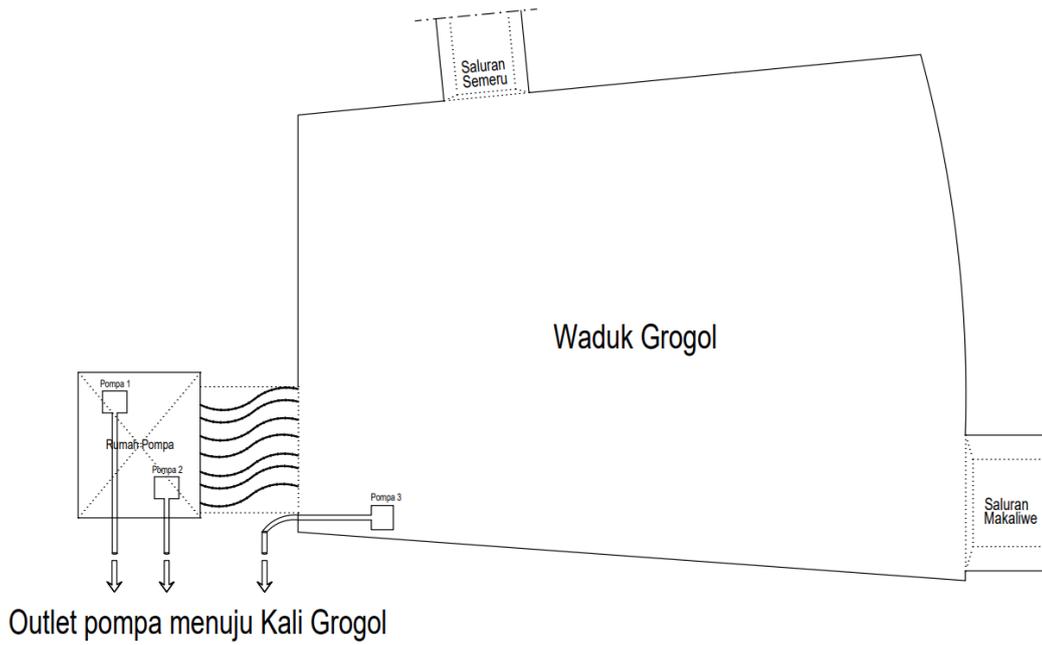
Penelitian mengenai analisis kapasitas saluran dan analisis hidraulika Polder Grogol dilakukan pada Waduk Grogol merupakan salah satu waduk yang berada di wilayah Jakarta Barat, berlokasi di Jl. KP Kramat RT 08/RW 09, Kelurahan Grogol, Kecamatan Grogol Petamburan, Jakarta Barat. Berdasarkan data dari Suku Dinas Sumber Daya Air Jakarta Barat (2022), Waduk Grogol memiliki luas daerah tangkapan sebesar 42,844 ha atau 428.440.000 m² dan memiliki kapasitas tampungan sebesar 78.361,2 m³. Waduk Grogol dilengkapi dengan 3 unit pompa yang terdiri dari 2 buah pompa dengan kapasitas 1 m³/s dan 1 unit pompa dengan kapasitas 0,7 m³/s.

Jaringan drainase pada daerah tangkapan Polder Grogol ditampilkan pada Gambar 1. Terlihat bahwa saluran penghubung (PHB) Semeru dan Makaliwe adalah saluran utama pada sistem Polder Grogol dan saluran-saluran kecil lainnya masuk ke dua saluran tersebut. Kedua saluran tersebut masuk ke Waduk Grogol dan kemudian dipompa ke Kali Grogol.

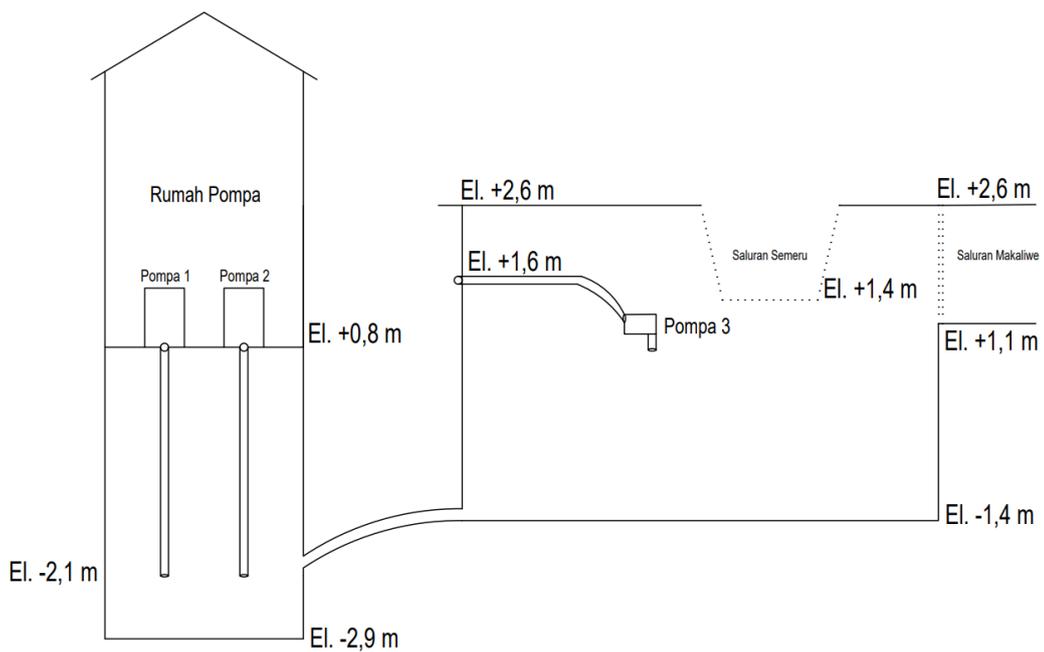
Gambar tampak atas dan tampak samping Waduk Grogol ditunjukkan pada Gambar 2 dan Gambar 3. Gambar 2 menggambarkan posisi inlet waduk dari saluran Makaliwe dan Semeru serta pompa pada waduk. Gambar 3 menggambarkan elevasi-elevasi dari komponen polder yaitu elevasi dasar saluran, dasar waduk, tanggul waduk, dan dasar kolam pompa. Tabel 1 menunjukkan kapasitas pompa dan pola operasinya yaitu elevasi muka air waduk ketika pompa harus menyala atau mati.



Gambar 1. Peta Jaringan Drainase Eksisting Wilayah Kelurahan Grogol (Suku Dinas Sumber Daya Air Kota Administrasi Jakarta Barat, 2022)



Gambar 2. Denah Waduk Grogol



Gambar 3. Tampak samping Waduk Grogol

Tabel 1. Pola operasi pompa eksisting

Rumah Pompa	Nomor Pompa	Level Pompa (On)	Level Pompa (Off)	Kapasitas Pompa Terpasang (m ³ /s)
Pompa 1	1	+0,4	+0,4	1,0
Pompa 2	2	+0,6	+0,6	1,0
Pompa 3	3	+0,8	+0,8	0,7

Langkah-langkah Analisis

Selanjutnya dilakukan analisis hidrologi dan hidraulika pada penelitian ini, dimulai dengan melakukan analisis hidrologi, diperlukan data curah hujan harian selama minimal 10 tahun pengamatan dari stasiun pencatatan curah hujan. Analisis hidrologi dilakukan untuk memperkirakan besarnya debit banjir yang akan dihadapi oleh Polder Grogol. Berdasarkan perolehan data curah hujan harian, dilakukan analisis frekuensi curah hujan harian, namun sebelumnya harus menguji kecocokan distribusi yang sesuai terlebih dahulu. Setelah langkah tersebut dilakukan, bisa dicari besarnya nilai curah hujan rencana. Kemudian, langkah selanjutnya adalah menentukan besarnya intensitas hujan sehingga dapat memperoleh debit banjir rencana.

Pada penelitian ini, analisis hidraulika dilakukan pada dua aspek, yakni analisis debit saluran Semeru & Makaliwe; dan analisis pola operasi pompa pada Polder Grogol. Untuk analisis debit saluran, dari hasil perhitungan hidrologi akan menghasilkan nilai debit banjir rencana, yang nantinya akan dibandingkan dengan nilai kapasitas debit yang mampu dilimpaskan oleh saluran.

Polder harus didesain agar air tidak meluap dari waduk dan membanjiri sekitarnya. Biasanya, muka air tertinggi pada waduk ditetapkan di elevasi dasar inlet waduk agar air dari saluran tetap dapat mengalir masuk. Selain itu, muka air terendah pada waduk juga diatur agar pompa selalu menghisap air bukan udara. Karena itu, hal-hal yang harus diperhatikan dalam analisis hidraulika pada polder adalah:

1. Besar kapasitas pompa.
2. Elevasi muka air rendah (MAR) atau *low water level* (LWL)
3. Elevasi muka air normal (MAN) atau *mean water level* (MWL)
4. Elevasi muka air banjir (MAB) atau *high water level* (HWL)
5. Elevasi nyala/mati pompa.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

Pada proses analisis hidrologi, data curah hujan yang digunakan diperoleh dari Badan Meteorologi Klimatologi Geofisika pada Stasiun Meteorologi Kemayoran. Stasiun ini dipakai karena stasiun Kemayoran adalah lokasi yang paling dekat dengan lokasi studi dan mempunyai data lengkap. Data yang dipakai adalah dari tahun 2012 hingga tahun 2021 (Tabel 2).

Tabel 2. Curah hujan maksimum harian pada Stasiun Meteorologi Kemayoran dari 2012 sampai 2021

Tahun	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
R (mm/hari)	59,0	81,0	62,0	177,0	115,0	71,0	66,0	90,5	277,5	94,1

Penentuan distribusi yang paling cocok menggunakan metode Kolmogorov-Smirnov. Ada 4 distribusi yang akan diuji yaitu yaitu metode Normal, Lognormal, Gumbel, dan Log Pearson 3. Perbedaan maksimum antara distribusi empiris dengan teoritis adalah 0,41 karena jumlah data (n) adalah 10 dengan derajat kepercayaan (α) adalah 0,41. Hasil analisis diperlihatkan pada Tabel 3

Tabel 3. Uji kecocokan distribusi dengan metode Kolmogorov-Smirnov

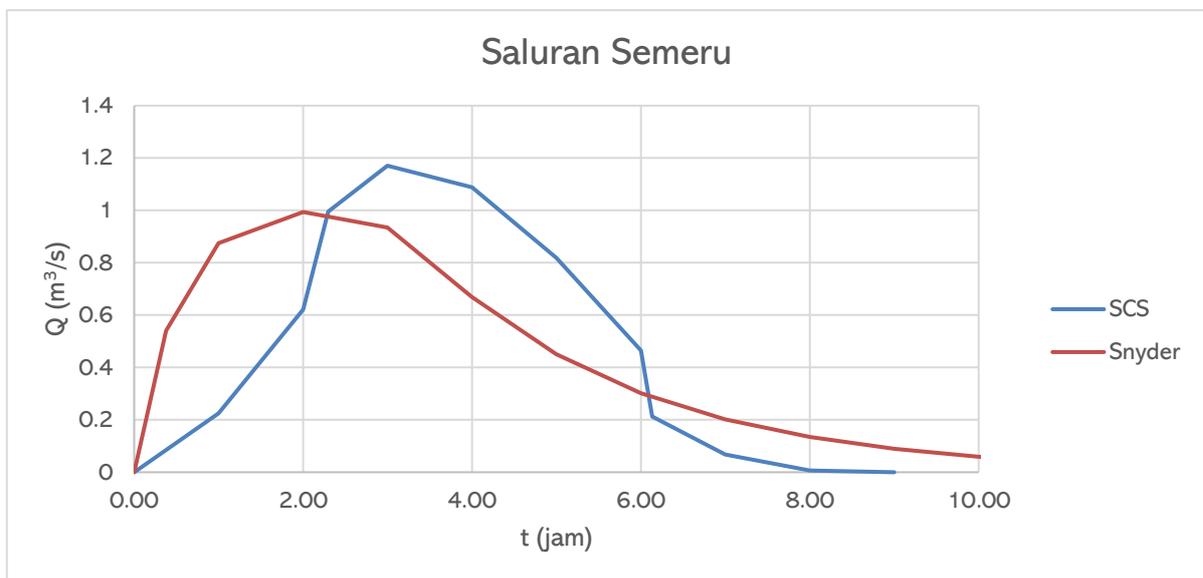
Distribusi Sebaran	ΔP kritis	ΔP maksimum	Kesimpulan
Normal	0,41	0,60	Tolak ($\Delta P_{cr} < \Delta P_{maks}$)
Lognormal	0,41	0,66	Tolak ($\Delta P_{cr} < \Delta P_{maks}$)
Gumbel	0,41	0,16	Terima ($\Delta P_{cr} > \Delta P_{maks}$)
Log Pearson 3	0,41	0,07	Terima ($\Delta P_{cr} > \Delta P_{maks}$)

Pengujian kecocokan distribusi menunjukkan bahwa distribusi Gumbel dan Log Pearson 3 dapat diterima. Karena distribusi Log Pearson 3 mempunyai selisih antara distribusi empiris dengan teoritis yang terkecil, distribusi Log Pearson 3 dipilih sebagai distribusi yang mewakili populasi data ini.

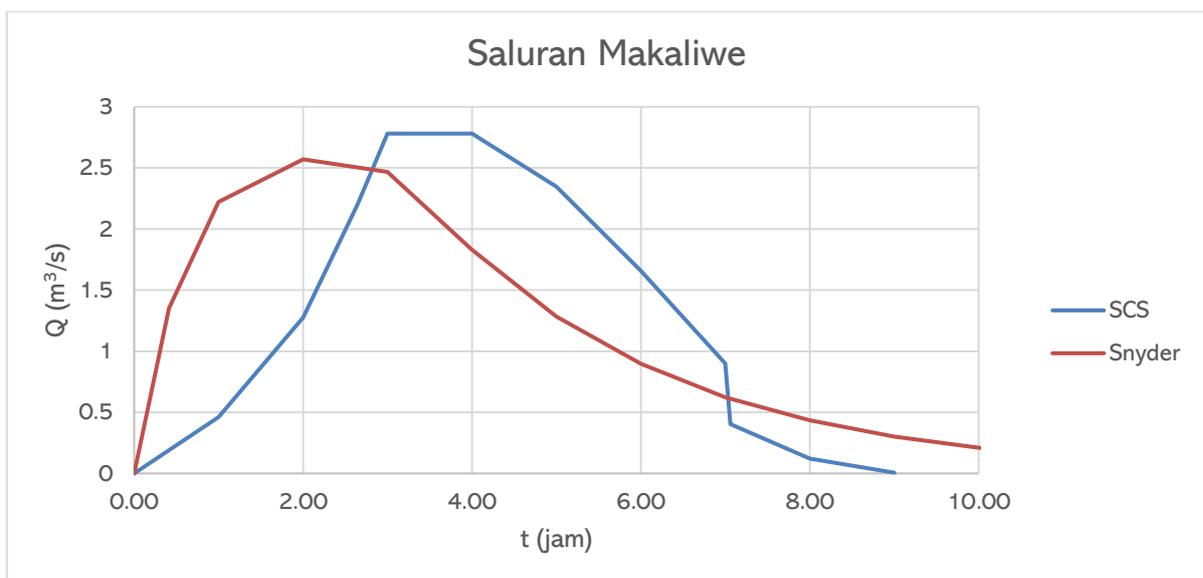
Luas tangkapan Polder Grogol adalah 42,844 ha dan DKI Jakarta adalah kota metropolitan. Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 12 Tahun 2014 (2014), periode ulang yang menjadi dasar desain untuk Polder Grogol adalah 2-5 tahun. Artikel ini akan memakai kala ulang 5 tahun sebagai acuan analisis yaitu sebesar 137,05 mm/hari. Berbagai nilai debit banjir desain pada saluran ditampilkan pada Tabel 4, Gambar 4, dan Gambar 5.

Tabel 4. Rekapitulasi debit banjir rencana

Metode	Perhitungan Manual		Hasil HEC-HMS	
	Saluran Semeru (m ³ /s)	Saluran Makaliwe (m ³ /s)	Saluran Semeru (m ³ /s)	Saluran Makaliwe (m ³ /s)
SCS	1,17	2,78	1,18	2,31
Snyder	0,99	2,57	1,40	3,50



Gambar 4. Hidrograf banjir di saluran Semeru dengan perhitungan manual metode HSS SCS dan Snyder



Gambar 5. Hidrograf banjir di saluran Makaliwe dengan perhitungan manual metode HSS SCS dan Snyder

Dari hasil perhitungan manual dan hasil dari peranti lunak HEC-HMS, diperoleh nilai yang cukup berdekatan. Dari keempat metode yang digunakan untuk perhitungan debit banjir rencana, dipilih metode *Soil Conservation Service* (SCS) untuk menjadi nilai debit banjir rencana, yakni 1,56 m³/s untuk saluran Semeru dan 3,70 m³/s untuk saluran Makaliwe. Pemilihan hasil dari metode *Soil Conservation Service* (SCS) sebagai nilai debit banjir rencana dikarenakan dari keempat metode, metode *Soil Conservation Service* (SCS) menunjukkan hasil debit banjir rencana yang paling moderat.

Analisis Kapasitas Saluran

Analisis kapasitas saluran ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan saluran dalam melimpaskan debit banjir. Dari hasil analisis hidrologi, diperoleh nilai debit banjir puncak sebesar 1,56 m³/s untuk saluran Semeru dan 3,70 m³/s untuk saluran Makaliwe dengan menggunakan metode *Soil Conservation Service* (SCS) dalam perhitungannya. Nilai ini dibandingkan dengan nilai kapasitas saluran dengan metode Manning.

Tabel 5. Tabulasi analisis kapasitas saluran Semeru dan Makaliwe

Parameter	Saluran Semeru	Saluran Makaliwe
Bentuk saluran	Trapesium	Trapesium
Lebar atas saluran (m)	1,75	3
Lebar bawah saluran (m)	1,2	2
Permukaan saluran	Batu kali, disiar	Batu kali, disiar
Koefisien manning (n)	0,025	0,025
Kedalaman saluran (m)	1,2	1,5
Kemiringan dasar saluran (m/m)	0,001	0,001
Panjang sisi miring saluran (m)	1,32	1,8028
Keliling basah, P (m)	3,84	5,6055
Luas penampang basah, A (m ²)	1,77	3,75
R = A / P (m)	0,461	0,669
Kecepatan aliran, v (m/s)	0,755	0,968
Kapasitas debit saluran, Q _{sal} (m ³ /s)	1,34	3,62
Debit banjir puncak, Q (m ³ /s)	1,56	3,70
Kondisi saluran	Tidak meluap	Tidak meluap

Berdasarkan perhitungan di Tabel 5, debit banjir periode ulang 5 tahun yang mengalir di saluran Semeru dan Makaliwe masih lebih kecil daripada kapasitas saluran. Karena itu, kedua saluran tersebut masih cukup untuk mengalirkan debit banjir.

Analisis Pola Operasi Eksisting Pompa Polder Grogol

Analisis hidraulika yang dilakukan pada Polder Grogol bertujuan untuk mengetahui perilaku hidraulika yang terjadi pada suatu sistem. Berdasarkan informasi dari operator pompa, tinggi MAN (muka air normal) pada Waduk Grogol dijaga pada ketinggian +0,3 m (Suku Dinas Sumber Daya Air Kota Administrasi Jakarta Barat, 2022). Tabel 6 menunjukkan kapasitas pompa pada Polder Grogol beserta dengan pola operasinya.

Sistem polder dianggap berhasil bila air pada saluran mampu mengalir ke dalam waduk dan air tidak melebihi elevasi tertentu. Pada kasus ini, air tidak boleh melebihi elevasi dasar saluran (DS) inlet waduk agar tidak menghambat aliran banjir yang masuk ke dalam waduk. Gambar 3 menunjukkan elevasi DS Semeru adalah +1,4 m sedangkan DS Makaliwe adalah +1,1 m. Karena itu, tinggi muka air (TMA) pada Waduk Grogol tidak boleh melebihi elevasi +1,1 m.

Muka air waduk dapat diketahui dengan memperhitungkan debit banjir yang masuk dan debit pompa yang mengeluarkan air dari waduk serta luas genangan. Dengan asumsi efisiensi pompa adalah 80 %, hasil simulasi pola operasi Polder Grogol eksisting ditunjukkan pada Gambar 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Pola operasi pompa eksisting (Suku Dinas Sumber Daya Air Kota Administrasi Jakarta Barat, 2021)

Rumah Pompa	Nomor Pompa	Level Pompa (On)	Level Pompa (Off)	Kapasitas Pompa (m ³ /s)
Pompa 1	1	+0,4	+0,4	1,0
Pompa 2	2	+0,6	+0,6	1,0
Pompa 3	3	+0,8	+0,8	0,7



Gambar 6. Fluktuasi muka air dan pompa untuk pola operasi eksisting

Tabel 7. Analisis pola operasi Polder Grogol eksisting

T (jam)	Inflow		V _{in} (m ³)	S ₀ (m ³)	El ₀ (m)	Pompa			V _{out} (m ³)	S _t (m ³)	El _t (+m)
	Semeru (m ³ /s)	Makaliwe (m ³ /s)				1 m ³ /s	1 m ³ /s	0,7 m ³ /s			
0	0,00	0,00	0,00	35262.54	0,40	-	-	-	0	35262.54	0,4
1	0,22	0,46	1235.00	36497.54	0,53	0,80	-	-	1440	35057.54	0,390
2	0,62	1,28	4649.01	39706.56	0,73	0,80	0,80	-	4320	35386.56	0,406
3	1,17	2,78	10526.33	45912.88	1,16	0,80	0,80	0,56	6768	39144.88	0,598
4	1,09	2,78	14076.34	53221.23	1,47	0,80	0,80	0,56	7776	45445.23	0,920
5	0,82	2,35	12660.85	58106.07	1,66	0,80	0,80	0,56	7776	50330.07	1,169
6	0,46	1,66	9514.79	59844.86	1,65	0,80	0,80	0,56	7776	52068.86	1,258
7	0,07	0,90	5559.16	57628.02	1,43	0,80	0,80	0,56	7776	49852.02	1,145
8	0,01	0,12	1969.18	51821.21	1,04	0,80	0,80	0,56	7776	44045.21	0,848
9	0,00	0,01	239.29	44284.50	0,64	0,80	0,80	-	7776	36508.50	0,464
10	0,00	0,00	11.29	36519.79	0,46	0,80	-	-	5328	31191.79	0,192
11	0,00	0,00	0,00	31191.79	0,19	-	-	-	1440	29751.79	0,119
12	0,00	0,00	0,00	29751.79	0,12	-	-	-	0	29751.79	0,119

Penjelasan dari kolom-kolom pada Tabel 7 adalah:

1. Inflow pada saluran Semeru dan Makaliwe diambil dari HSS SCS.
2. V_{in} adalah volume inflow yaitu volume banjir yang masuk ke dalam waduk. Parameter ini dihitung dengan mencari luas di bawah kurva hidrograf.
3. S_0 adalah volume awal waduk yaitu volume awal pada jam tersebut ditambah dengan volume banjir.
4. El_0 adalah elevasi muka air dari S_0 yaitu S_0 dibagi dengan luas genangan.
5. Ada 3 pompa dan pompa yang beroperasi bergantung kepada El_0 .
6. V_{out} adalah volume outflow yang menggambarkan volume air yang dikeluarkan pompa dan dihitung dengan mencari luas di bawah kurva outflow pompa.
7. S_t adalah volume tampungan waduk setelah waduk dipompa.
8. El_t adalah TMA waduk setelah dipompa. Nilai ini dicari dengan membagi S_t dengan luas genangan.

Terlihat bahwa TMA waduk melebihi DS Makaliwe yaitu +1,1 m yang telah ditetapkan sebagai TMA maksimum. Elevasi maksimum ini ditandai dengan garis hijau putus-putus pada Gambar 6. Ini terjadi di jam ke-5, ke-6, dan ke-7. Karena itu, perlu ada solusi agar TMA Waduk Grogol tidak melebihi batas yang ditetapkan.

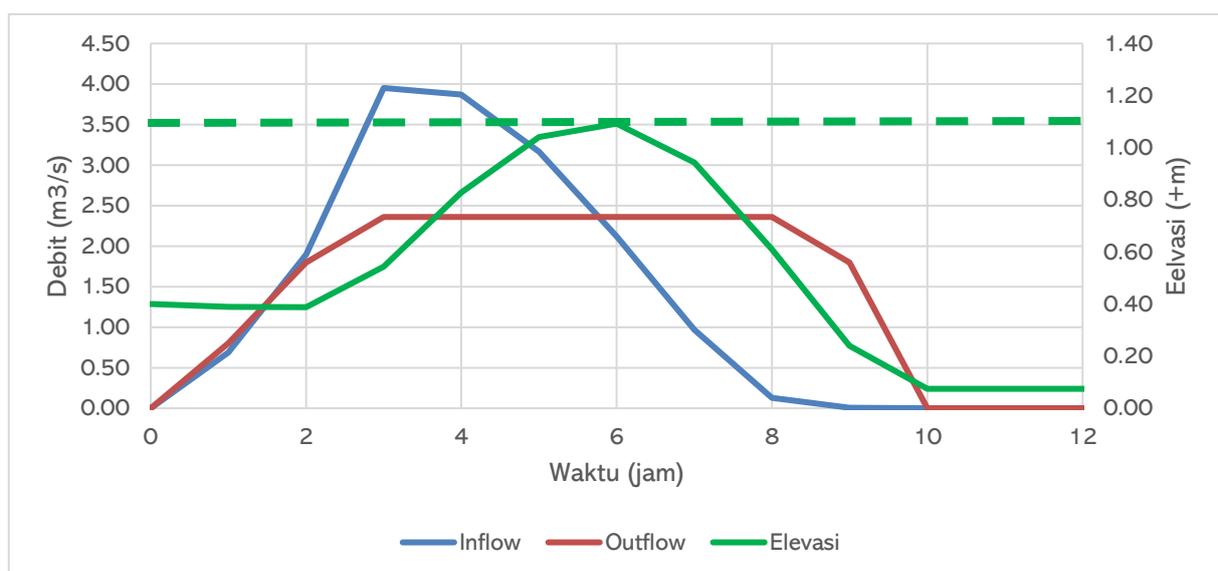
Analisis Pola Operasi Rencana Pompa Polder Grogol

Ada beberapa cara untuk menurunkan TMA pada waduk. Yang umum diterapkan adalah penambahan kapasitas pompa, penambahan tampungan, atau perubahan pola operasi pompa. Perubahan pola operasi pompa bisa berupa modifikasi elevasi nyala atau mati dari pompa.

Pada artikel ini, langkah yang diambil adalah hanya dengan menambah pompa baru tanpa mengubah konfigurasi pompa eksisting. Formasi pompa rencana ditampilkan pada Tabel 8 yaitu penambahan pompa baru sebesar 0,2 m³/s dengan elevasi nyala/mati +0,5 m. Hal ini didapat dari beberapa kali percobaan. Gambar 7 dan Tabel 9 menunjukkan bahwa penambahan pompa baru sebesar 0,2 m³/s berhasil menurunkan TMA waduk di bawah elevasi target yaitu +1,1 m (garis hijau putus-putus).

Tabel 8. Pola operasi pompa rencana

Rumah Pompa	Nomor Pompa	Level Pompa (On)	Level Pompa (Off)	Kapasitas Pompa (m ³ /s)
Pompa 1	1	+0,4	+0,4	1,0
Pompa 2	2	+0,6	+0,6	1,0
Pompa 3	3	+0,8	+0,8	0,7
Pompa 4	4	+0,5	+0,5	0,2



Gambar 7. Fluktuasi muka air dan pompa untuk pola operasi rencana

Tabel 9. Analisis pola operasi Polder Grogol rencana

T (jam)	Inflow		V _{in} (m ³)	S ₀ (m ³)	E ₀ (m)	Pompa				V _{out} (m ³)	S _t (m ³)	E _t (+m)
	Semeru (m ³ /s)	Makaliwe (m ³ /s)				1 m ³ /s	1 m ³ /s	0,7 m ³ /s	0,25 m ³ /s			
0	0,00	0,00	0,00	35262,54	0,40	-	-	-	-	0,00	35262,54	0,40
1	0,22	0,46	1235,00	36497,54	0,46	0,80	-	-	-	1440,00	35057,54	0,39
2	0,62	1,28	4649,01	39706,56	0,63	0,80	0,80	-	0,20	4680,00	35026,56	0,39
3	1,17	2,78	10526,33	45552,88	0,93	0,80	0,80	0,56	0,20	7488,00	38064,88	0,54
4	1,09	2,78	14076,34	52141,23	1,26	0,80	0,80	0,56	0,20	8496,00	43645,23	0,83
5	0,82	2,35	12660,85	56306,07	1,47	0,80	0,80	0,56	0,20	8496,00	47810,07	1,04
6	0,46	1,66	9514,79	57324,86	1,53	0,80	0,80	0,56	0,20	8496,00	48828,86	1,09
7	0,07	0,90	5559,16	54388,02	1,38	0,80	0,80	0,56	0,20	8496,00	45892,02	0,94
8	0,01	0,12	1969,18	47861,21	1,04	0,80	0,80	0,56	0,20	8496,00	39365,21	0,61
9	0,00	0,01	239,29	39604,50	0,62	0,80	0,80	-	0,20	7488,00	32116,50	0,24
10	0,00	0,00	11,29	32127,79	0,24	-	-	-	-	3240,00	28887,79	0,07
11	0,00	0,00	0,00	28887,79	0,07	-	-	-	-	0,00	28887,79	0,07
12	0,00	0,00	0,00	28887,79	0,07	-	-	-	-	0,00	28887,79	0,07

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis hidrologi dan hidraulika yang dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa TMA waduk pada sistem polder eksisting sudah melampaui elevasi DS inlet waduk. Karena itu, solusi yang dipilih adalah penambahan pompa baru dengan kapasitas 0,25 m³/s. Hasil simulasi membuktikan bahwa penambahan pompa ini berhasil menurunkan TMA waduk di bawah elevasi target.

Sistem polder juga bisa dioptimasi dengan mengubah elevasi nyala/mati pompa. Optimasi bisa dilakukan dengan persamaan penelusuran aliran (*routing*) yang dikalikan dengan durasi analisis seperti yang ditunjukkan di bawah:

$$I - O = \frac{dS}{dt}$$

$$V_{in} - V_{out} = S$$

Penerapan persamaan di atas pada Polder Grogol menunjukkan bahwa volume air yang dipompa (V_{out}) lebih besar daripada volume banjir (V_{in}) ditambah tampungan (S). Padahal sebaiknya V_{out} harus kurang lebih sama dengan V_{in} ditambah S. Hal ini bisa dilakukan dengan mengecilkan interval waktu (*time step*) perhitungan dan juga dengan mengubah elevasi nyala/mati pompa. Khususnya pada kasus ini, elevasi mati sebaiknya dibuat lebih tinggi daripada elevasi nyala.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, H. P., & Wahyudi, S. I. (2020). *OPERASI DAN PEMELIHARAAN PADA DRAINASE SISTEM POLDER*. Semarang: UNISSULA PRESS.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill Book Company.
- CNN News Indonesia. (2016). Diambil kembali dari Rumah Warga Tetap Tergenang Meski Ada Kanal Banjir Barat: <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20160202010819-20-108199/rumah-warga-tetap-tergenang-meski-ada-kanal-banjir-barat>
- Ginting, S. (2015). *Kajian dan Efektivitas Pengendalian Banjir Di DKI Jakarta*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.

- Jakob, M., & Church, M. (2011). The Trouble with Floods. *Canadian Water Resources Journal*.
- Jayantara, I. G. (2020). Implementasi QGIS untuk Mengestimasi Kerugian Ekonomi Akibat Banjir di Kabupaten Bandung. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*.
- Kamarwan, S. S. (1997). *Drainase Perkotaan (Edisi 1)*. Andi: Gunadarma.
- Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. (2014). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 12/PRT/M/2014 Tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan*. Jakarta : Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- Kodoatie, R. J. (2013). *Rekayasa dan Manajemen Banjir Kota*. Yogyakarta: Andi.
- Purnaditya, N. P. (2018). *MITIGASI BANJIR MELALUI OPERASI POMPA DENGAN PENDEKATAN HIDROGRAF SATUAN SINTETIS PADA WADUK TOMANG*. Padang: Universitas Andalas.
- Simonovic, S. (2011). Managing food risk, reliability and vulnerability. *Journal of Flood Risk Management*.
- SindoNews.com. (2020). Diambil kembali dari Jalan S Parman Terendam Air 50 Cm, Tol Grogol Tak Bisa Dilintasi: <https://metro.sindonews.com/berita/1484623/170/jalan-s-parman-terendam-air-50-cm-tol-grogol-tak-bisa-dilintasi>
- SNI 2415:2016 Tata cara perhitungan debit banjir rencana. (2016). Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Suku Dinas Sumber Daya Air Kota Administrasi Jakarta Barat. (2021). Standar Operasional Prosedur Pengoperasian Pompa Stasioner Grogol. Jakarta: Suku Dinas Sumber Daya Air Kota Administrasi Jakarta Barat.
- Suku Dinas Sumber Daya Air Kota Administrasi Jakarta Barat. (2022). Data Waduk Grogol. Jakarta.
- Yildirim, E., & Demir, I. (2019). An integrated web framework for HAZUS-MH flood loss. *Natural Hazards*.
- Zalmita, N., Fitria, A., & Taher, A. (2021). Tingkat Kerugian Ekonomi pada Bencana Banjir di Aceh Utara Tahun 2014-2019. *Jurnal Geografi*.