

# GEOLOGI DAN ANALISIS DAYA DUKUNG BATUAN PADA FONDASI AREA MAIN DAM BENDUNGAN JRAGUNG, DAERAH DESA CANDIREJO, KECAMATAN PRINGAPUS, KABUPATEN SEMARANG

Apri Untung Hertanto, Puji Pratiknyo, Achmad Subandrio

Prodi Teknik Geologi, Fakultas Teknologi Mineral, UPN "Veteran" Yogyakarta

Jl. SWK (104) Lingkar Utara, Condongcatur, Depok, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55283

**Sari** – Lokasi penelitian terletak di Bendungan Jragung yang secara administratif berada di Desa Candirejo, Kecamatan Pringapus, Kabupaten Semarang. Secara geografis daerah penelitian berada pada UTM Zona 49S dengan koordinat 447250 mE – 450250 mE dan 9207000 mN – 9210000 mN. Luasan daerah penelitian yaitu 3 km x 3 km dengan luasan 9 km<sup>2</sup>. Berdasarkan analisis aspek geomorfologi, pola pengaliran di daerah penelitian termasuk ke dalam pola pengaliran subdendritik. Sedangkan pembagian bentuk lahan terdiri dari Tubuh Sungai (F1), Dataran Aluvial (F2), Lembah Struktural (S1), Lereng Struktural (S2), Perbukitan Struktural (S3), dan Dataran Vulkanik (V1). Stratigrafi daerah penelitian dari tua ke muda yaitu Satuan batulempung Kerek (Miosen Tengah - Miosen Akhir), kemudian di atasnya terendapkan secara selaras Satuan napal Kalibeng Anggota Banyak (Miosen Akhir - Pliosen Awal), kemudian di atasnya terendapkan secara tidak selaras Satuan endapan vulkanik Ungaran (Holosen), dan kemudian di atasnya terendapkan secara tidak selaras Satuan endapan aluvial (Holosen). Struktur geologi daerah penelitian yaitu *shear joint* (kekar gerus), sesar naik, dan lipatan memiliki arah tegasan utama ( $\sigma_1$ ) relatif sama yaitu berarah relatif NE – SW. Litologi di bawah fondasi *main dam* Bendungan Jragung yaitu batulempung, batupasir, dan batulanau. Kualitas batuan termasuk kelas C rendah (CL), C rendah – C sedang (CL – CM), dan C sedang (CM). Nilai SPT (*Standard Penetration Test*) didapatkan nilai N-SPT >50. Hasil pengujian WPT (*Water Pressure Test*) didapatkan nilai Lu>20 pada beberapa kedalaman. Total nilai daya dukung batuan Metode Terzaghi yaitu 50.607.793,7236 ton. Total nilai daya dukung batuan Metode Bowles yaitu 44.723.969,65 ton. Total berat volume material timbunan yaitu 18.478.437,64491 ton.

**Kata Kunci** : Bendungan, Daya Dukung Batuan, Jragung, Semarang, Timbunan

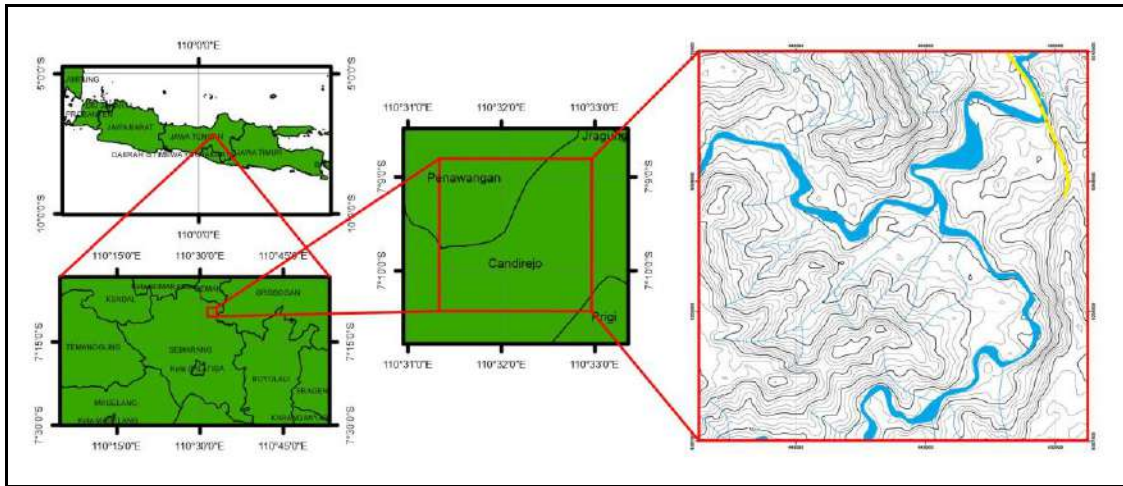
## PENDAHULUAN

Bendungan adalah bangunan yang berupa urukan tanah, urukan batu, dan beton, yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang, atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 27/PRT/M/2015 Tentang Bendungan).

Bendungan Jragung merupakan bendungan yang terletak di Desa Candirejo, Kecamatan Pringapus, Kabupaten Semarang. Terletak pada aliran Sungai Jragung, DAS (Daerah Aliran Sungai) Jragung, WS (Wilayah Sungai) Jragung Seluna (Jragung, Tuntang, Serang, Lusi, Juana). Secara geografis daerah penelitian berada pada UTM Zona 49S dengan koordinat 447250 mE – 450250 mE dan 9207000 mN – 9210000 mN. Luasan daerah penelitian yaitu 3 km x 3 km dengan luasan 9 km<sup>2</sup>. Karena merupakan bendungan yang sedang dalam proses pembangunan pada tahap awal maka diperlukan penelitian awal berupa keadaan geologi dan karakteristik geologi teknik salah satunya berupa analisis daya dukung batuan pada area Bendungan Jragung.

Daya dukung batuan perlu diketahui untuk menghitung dan merencanakan sebuah dimensi beban struktur yang akan dibangun. Apabila daya dukung batuan tidak mampu menerima beban dari struktur yang direncanakan, dengan data daya dukung batuan yang telah diketahui dapat dilakukan perlakuan tertentu agar nilai daya dukung batuan dapat mencapai nilai yang diinginkan. Penimbunan dan pemadatan merupakan salah satu perlakuan tertentu untuk mendapatkan nilai daya dukung batuan.

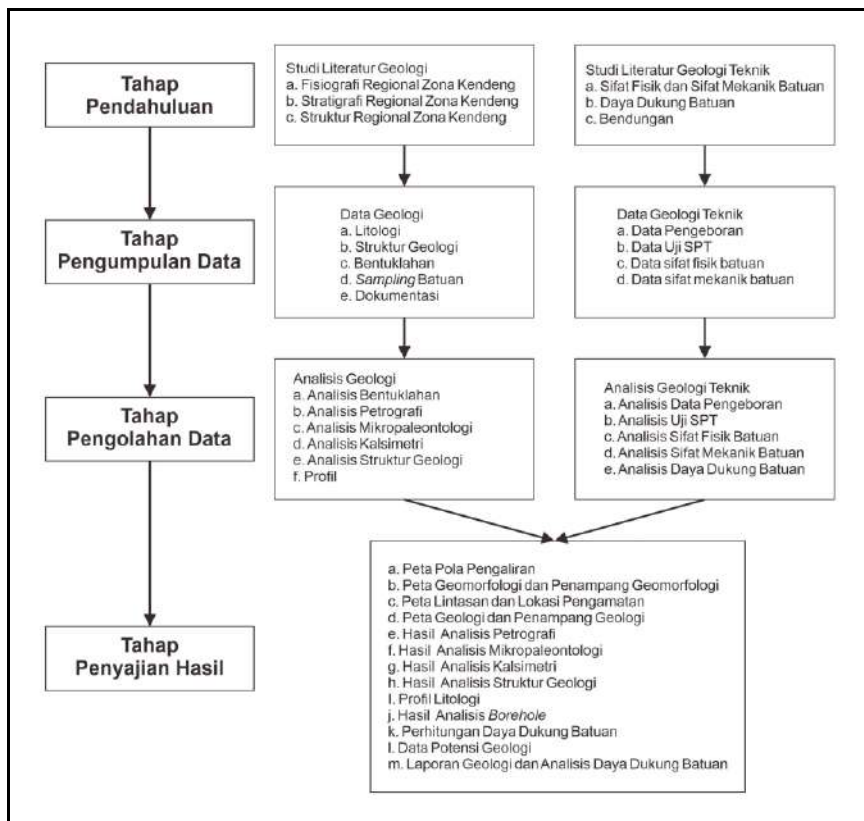
Penjelasan di atas melatarbelakangi penulis untuk melakukan penelitian dengan judul "Geologi dan Analisis Daya Dukung Batuan pada Fondasi Area *Main Dam* Bendungan Jragung, Daerah Desa Candirejo, Kecamatan Pringapus, Kabupaten Semarang".



Gambar 1. Peta Indeks dan Peta Topografi Daerah Penelitian di Area Bendungan Jragung. *As Main Dam* Bendungan Jragung Ditunjukkan oleh *Trace* Berwarna Kuning.

**METODOLOGI PENELITIAN**

Metodologi penelitian dibagi menjadi empat tahap yaitu tahap pendahuluan, tahap pengumpulan data, tahap analisis data, dan tahap penyusunan laporan dan penyajian.

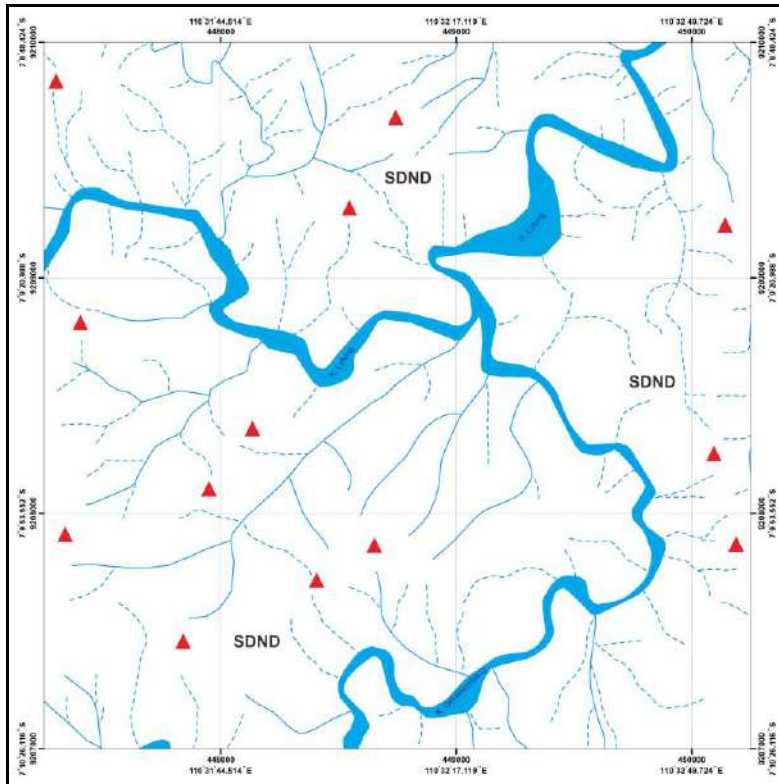


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

**GEOLOGI DAERAH PENELITIAN**

**Pola Pengaliran Daerah Penelitian**

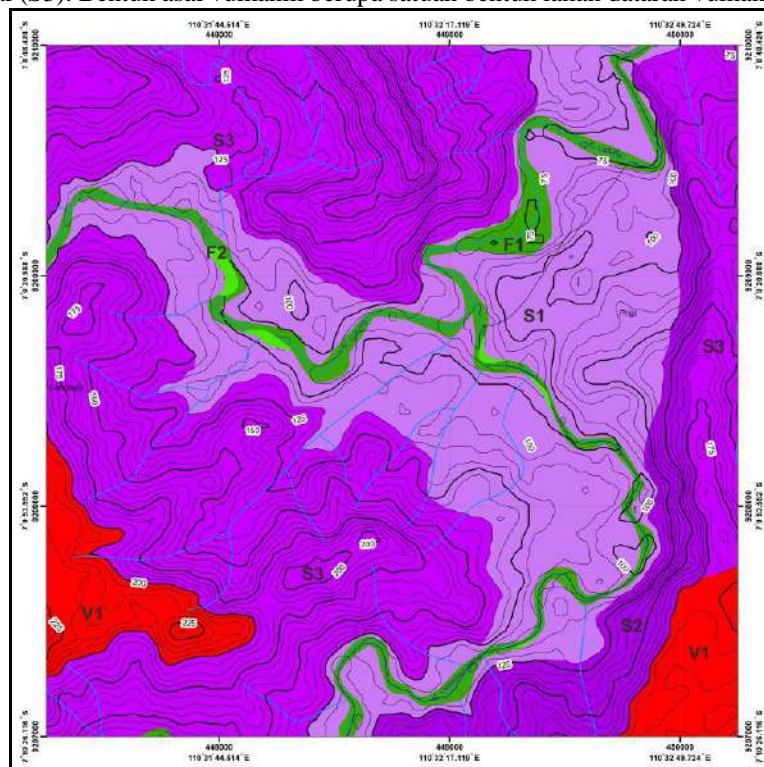
Pola pengaliran yang berkembang di daerah penelitian merupakan pola pengaliran subdendritik. Faktor pengontrol pola pengaliran subdendritik yaitu jenis batuan yang bersifat kedap air dan berbutir halus.



Gambar 3. Pola Pengaliran Daerah Penelitian

**Geomorfologi Daerah Penelitian**

Bentuk asal yang terdapat di daerah penelitian yaitu bentuk asal fluvial, struktural, dan vulkanik. Bentuk asal fluvial dibagi menjadi dua yaitu satuan bentuk lahan tubuh sungai (F1) dan dataran aluvial (F2). Bentuk asal struktural dibagi menjadi tiga yaitu satuan bentuk lahan lembah struktural (S1), lereng struktural (S2), dan perbukitan struktural (S3). Bentuk asal vulkanik berupa satuan bentuk lahan dataran vulkanik (V1).

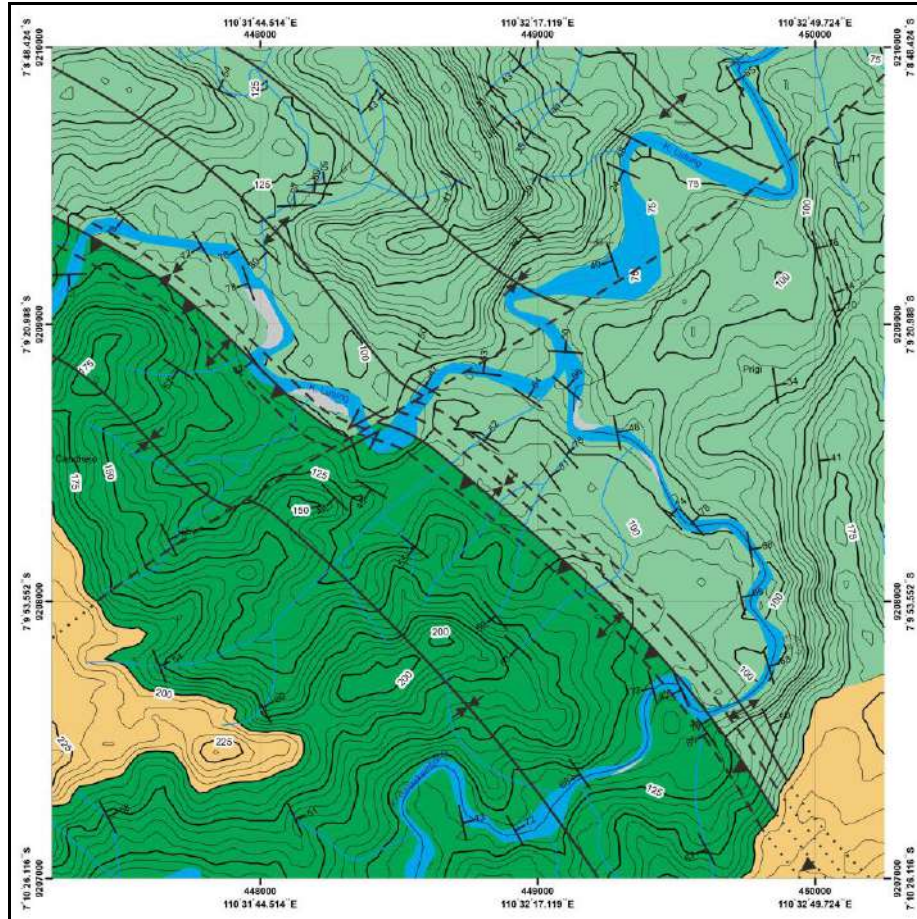


Gambar 4. Persebaran Bentuklahan Daerah Penelitian



**Stratigrafi Daerah Penelitian**

Stratigrafi di daerah penelitian tersusun oleh empat satuan batuan dari tua ke muda yaitu Satuan batulempung Kerek (Miosen Tengah - Miosen Akhir), kemudian di atasnya terendapkan secara selaras Satuan napal Kalibeng Anggota Banyak (Miosen Akhir - Pliosen Awal), kemudian di atasnya terendapkan secara tidak selaras Satuan endapan vulkanik Ungaran (Holosen), dan kemudian di atasnya terendapkan secara tidak selaras Satuan endapan aluvial (Holosen).



Gambar 5. Persebaran Satuan Batuan Daerah Penelitian

Umur Geologi				Satuan Batuan Tak Resmi			
Juta Tahun Lalu	Masa	Zaman	Kala	Litostratigrafi	Ciri Litologi		
0.0117	Kenzozokum	Kuartar	Holosen	Satuan endapan aluvial	Satuan endapan aluvial Material lepas hasil dari rombakan batuan yang lebih tua.		
2.580			Pleistosen	N23	Satuan endapan vulkanik Ungaran	Satuan endapan vulkanik Ungaran Material lepas hasil dari kegiatan vulkanisme Gunung Ungaran berupa breksi vulkanik dengan fragmen andesit dengan tingkat kompaksi yang sangat rendah.	
				N22	Ketidakselarasan		
				N21			
5.333		Tersier	Neogen	Akhir	Satuan napal Kalibeng Anggota Banyak	Satuan napal Kalibeng Anggota Banyak Napal, perselingan napal dengan batupasir karbonatan, napal sisipan batupasir karbonatan, dan batupasir kenikilan karbonatan.	
				Awal			
				N19			
				N18			
11.63 12.35			Miosen		Akhir	Satuan batulempung Kerek	Satuan batulempung Kerek Batulempung karbonatan, perselingan batulempung karbonatan dengan batupasir karbonatan.
					N17		
	N16						
	N15						
			Tengah	N14			

Gambar 6. Kolom Stratigrafi Tidak Resmi Daerah Penelitian

**Satuan batulempung Kerek**

Satuan ini menempati luasan 37 % daerah penelitian, pada morfologi dengan bentuk lembah dan perbukitan. Satuan ini terdiri dari dominasi litologi batulempung karbonatan, perselingan batulempung karbonatan dengan batupasir karbonatan. Berdasarkan hasil analisis foraminifera planktonik didapatkan umur Miosen Tengah -

Miosen Akhir (N14 - N16). Berdasarkan hasil analisis foraminifera bentonik didapatkan Zona Bathimetri Batial Luar. Satuan ini memiliki hubungan selaras dengan Satuan napal Kalibeng Anggota Banyak di atasnya.

**Satuan napal Kalibeng Anggota Banyak**

Satuan ini menempati luasan 57 % daerah penelitian pada morfologi dengan bentuk lembah, lereng dan perbukitan. Satuan ini terdiri dari dominasi litologi napal, perselingan napal dengan batupasir karbonatan, napal sisipan batupasir karbonatan, dan batupasir kerikilan karbonatan. Berdasarkan hasil analisis foraminifera planktonik didapatkan umur Miosen Akhir - Pliosen Awal (N17 - N19). Berdasarkan hasil analisis foraminifera bentonik didapatkan Zona Bathimetri Batial Tepi. Satuan ini memiliki hubungan selaras dengan Satuan batulempung Kerek di bawahnya serta tidak selaras dengan Satuan endapan vulkanik Ungaran di atasnya.

**Satuan endapan vulkanik Ungaran**

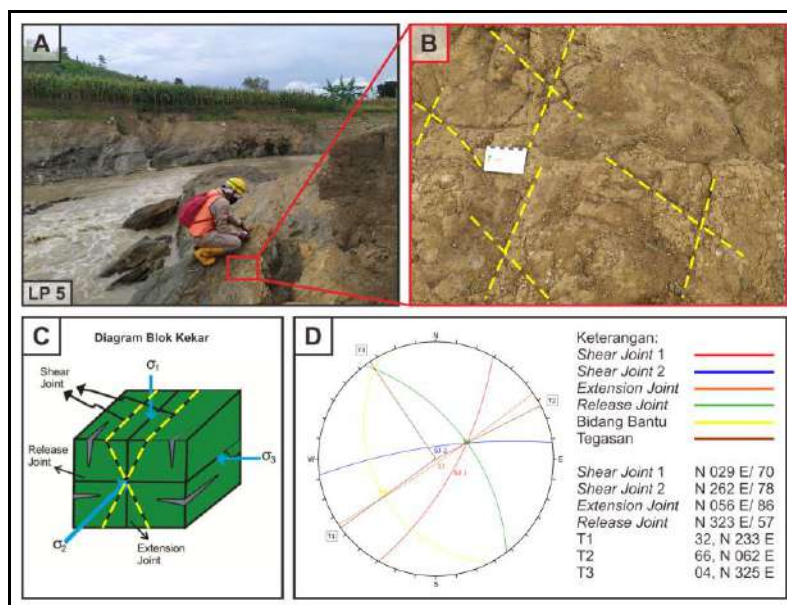
Satuan ini menempati luasan 5 % daerah penelitian pada morfologi berupa dataran. Satuan ini terdiri dari material lepas hasil dari kegiatan vulkanisme Gunung Ungaran. Satuan ini terdiri dari breksi vulkanik dengan fragmen andesit dengan tingkat kompaksi yang sangat rendah. Umur satuan ini diinterpretasi berumur Holosen berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Sukardi dan T. Budhitrisna (1992). Satuan ini memiliki hubungan tidak selaras dengan Satuan napal Kalibeng Anggota Banyak di bawahnya dan tidak selaras dengan Satuan endapan aluvial di atasnya.

**Satuan endapan aluvial**

Satuan ini menempati luasan 1 % daerah penelitian pada morfologi berupa tubuh sungai. Satuan ini terdiri dari material lepas hasil dari rombakan batuan yang lebih tua. Material dijumpai dengan ukuran beragam mulai dari pasir sampai bongkah. Umur satuan ini diinterpretasi berumur Holosen berdasarkan penelitian sebelumnya oleh Sukardi dan T. Budhitrisna (1992). Satuan ini memiliki hubungan tidak selaras dengan Satuan endapan vulkanik Ungaran di bawahnya.

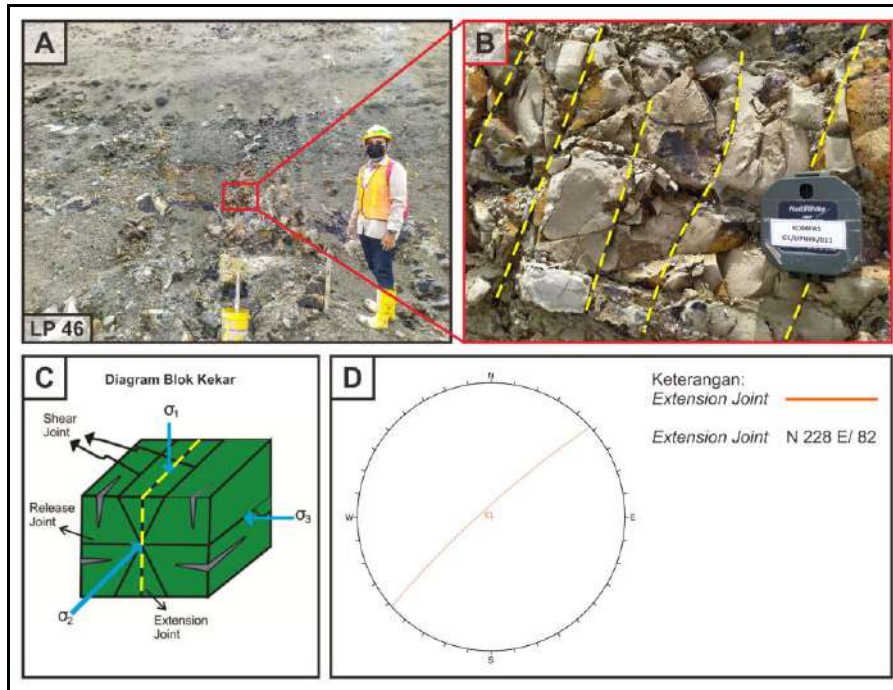
**Struktur Geologi Daerah Penelitian**

Struktur geologi yang dijumpai di daerah penelitian yaitu *shear joint* (kekar gerus), *tension joint* (kekar tarik), sesar naik, dan lipatan. *Shear joint* dijumpai di LP 5 dan LP 51 yang memiliki arah tegasan utama ( $\sigma_1$ ) berarah relatif NE – SW. *Tension joint* dijumpai di LP 43 dan LP 46 yang memiliki arah umum berarah relatif NE – SW sehingga diinterpretasi sebagai *extension joint*. Sesar naik dijumpai di LP 11 dan LP 32. Berdasarkan analisis stereografis kedua sesar naik didapatkan nama sesar yaitu *right reverse slip fault* menurut klasifikasi Rickard (1971). Lipatan diinterpretasi keberadaannya berdasarkan adanya kedudukan lapisan batuan yang berkebalikan. Terdapat enam area yang memiliki kedudukan lapisan batuan yang berkebalikan yaitu antara LP 36 dengan LP 37, LP 63 dengan LP 64, LP 4 dengan LP 51, LP 43 dengan LP 61, LP 43 dengan LP 44, dan LP 30 dengan LP 32. Berdasarkan hasil analisis stereografis pada enam area lipatan didapatkan arah tegasan utama ( $\sigma_1$ ) didominasi berarah relatif NE – SW.

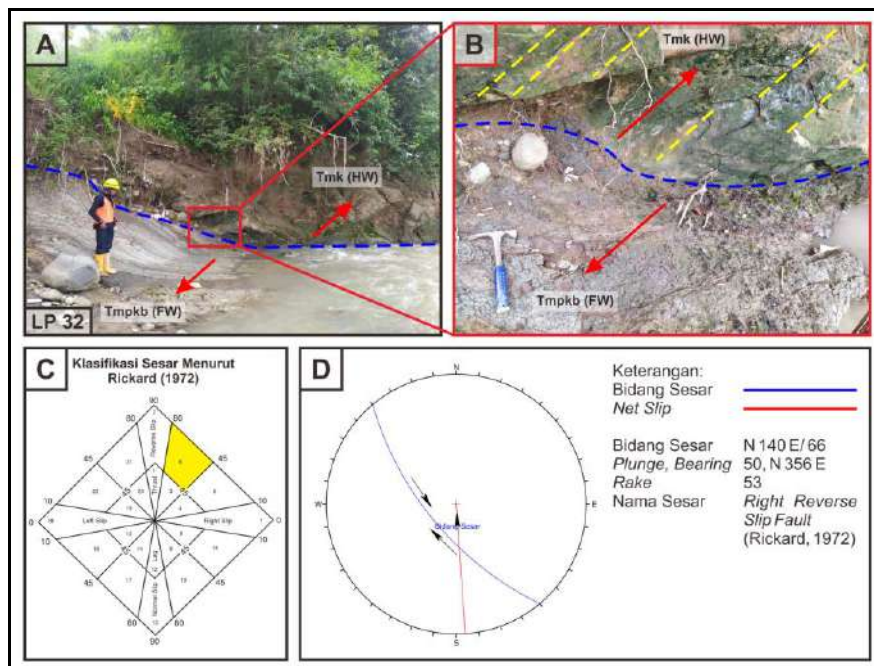


Gambar 7. Foto Singkapan (A), Foto Close up (B), Diagram Blok Kekar (C), dan Analisis Stereografis (D) *Shear Joint* LP 5. Bidang Kekar Ditunjukkan oleh Trace Berwarna Kuning. Azimuth Foto N 335° E.





Gambar 8. Foto Singkapan (A), Foto *Close up* (B), Diagram Blok Kekar (C), dan Analisis Stereografis (D) *Tension Joint* LP 46. Bidang Kekar Ditunjukkan oleh *Trace* Berwarna Kuning. Azimuth Foto N 076° E.

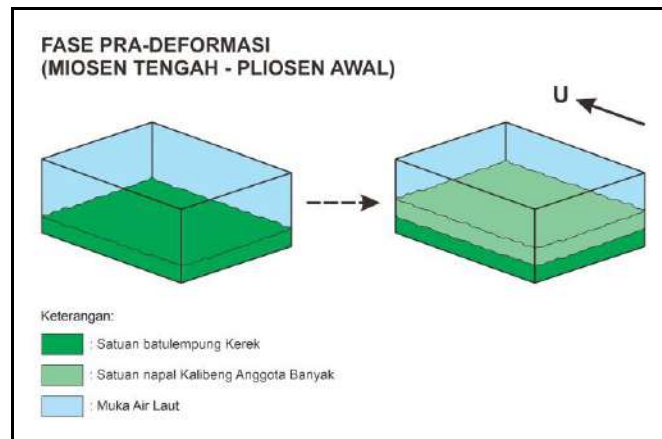


Gambar 9. Foto Singkapan (A), Foto *Close up* (B), Klasifikasi Sesar Rickard (1972) (C), dan Analisis Stereografis (D) Sesar Naik LP 32. Gores-garis pada Bidang Sesar Ditunjukkan oleh *Trace* Berwarna Kuning. Azimuth Foto N 280° E.

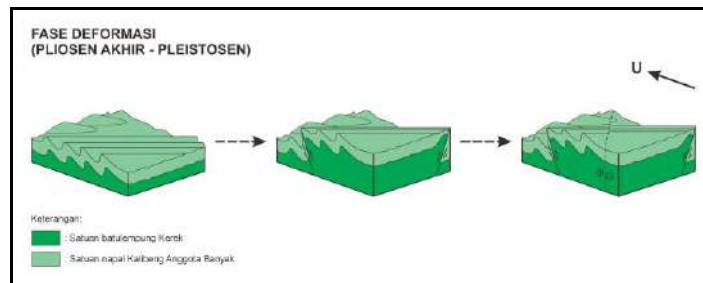
**Sejarah Geologi Daerah Penelitian**

Sejarah geologi daerah penelitian diinterpretasi berdasarkan data hasil pemetaan, data hasil analisis laboratorium, dan studi literatur dari penelitian terdahulu. Sejarah geologi bisa dikatakan cukup kompleks karena daerah penelitian tersusun oleh satuan batuan dengan umur yang berbeda-beda, mengalami gejala deformasi baik pensesaran maupun penglipatan, serta mengalami fenomena geomorfologi seperti adanya indikasi *inversed topography* (pembalikan topografi). Keadaan geologi yang didapatkan mencerminkan hasil proses geologi dari masa lampau hingga saat ini. Peneliti membagi sejarah geologi daerah penelitian menjadi

tiga tahap yaitu Fase Pra-Deformasi (Oligosen Akhir - Miosen Tengah), Fase Deformasi (Miosen Akhir - Pliosen), dan Fase Pasca-Deformasi (Pleistosen).



Gambar 10. Ilustrasi Sejarah Geologi Daerah Penelitian pada Fase Pra-Deformasi



Gambar 11. Ilustrasi Sejarah Geologi Daerah Penelitian pada Fase Deformasi



Gambar 12. Ilustrasi Sejarah Geologi Daerah Penelitian pada Fase Pasca-Deformasi

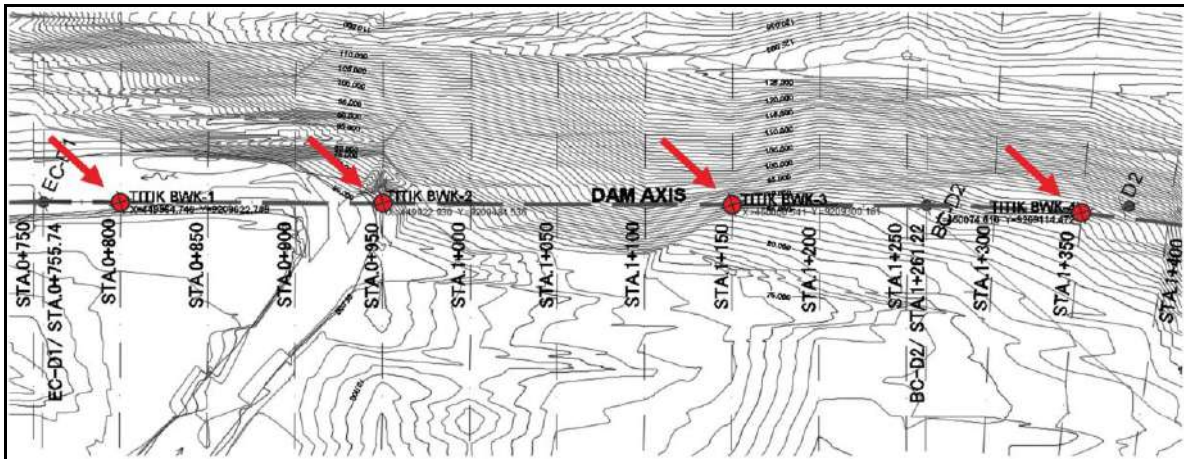
## ANALISIS DAYA DUKUNG BATUAN

### Analisis Data Pengeboran

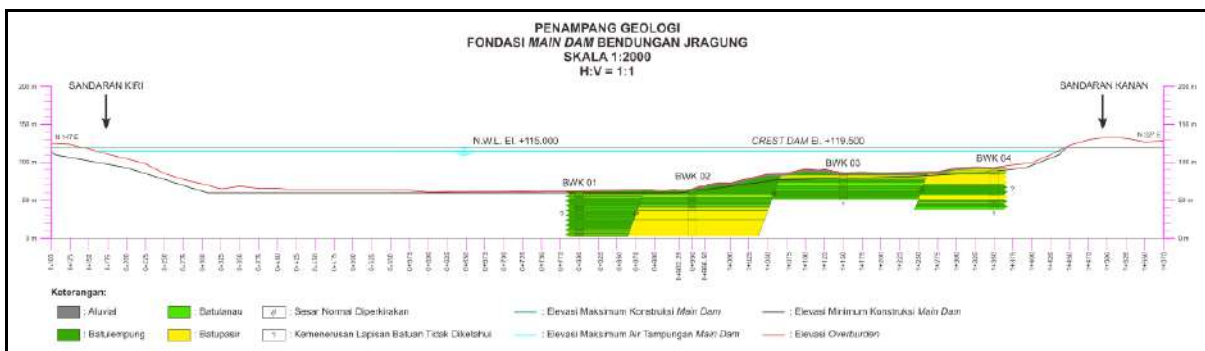
Analisis data pengeboran dilakukan pada *borehole* BWK 01 (Sta 0+800), BWK 02 (Sta 0+958), BWK 03 (Sta 1+150), dan BWK 04 (Sta 1+350). Empat lokasi pengeboran tersebut termasuk ke dalam Satuan napal Kalibeng Anggota Banyak. Berdasarkan data *borehole* didapatkan litologi di bawah fondasi area main dam berupa perselingan batulempung, batulanau, dan batupasir.

Tabel 1. Rincian Data Lokasi Pengeboran Bendungan Jragung Paket II oleh PT Wijaya Karya - PT Basuki Rahmanta Putra

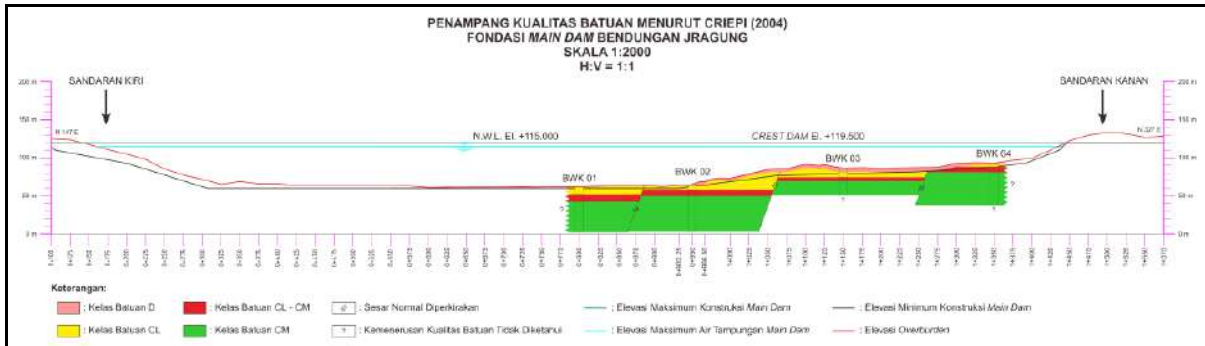
No	ID Lubang	Koordinat		Elevasi (m)	Kedalaman (m)	Lokasi
		X	Y			
1.	BWK 01	449864.740	9209622.789	62.210	60	As Main Dam Sta 0+800
2.	BWK 02	449926.059	9209477.172	65.203	62	As Main Dam Sta 0+958
3.	BWK 03	450000.541	9209300.181	86.448	35	As Main Dam Sta 1+150
4.	BWK 04	450074.510	9209114.472	93.127	55	As Main Dam Sta 1+350



Gambar 13. Titik Lokasi Pengboran Bendungan Jragung Paket II oleh PT Wijaya Karya - PT Basuki Rahmanta Putra



Gambar 14. Penampang Geologi Fondasi Main Dam Bendungan Jragung

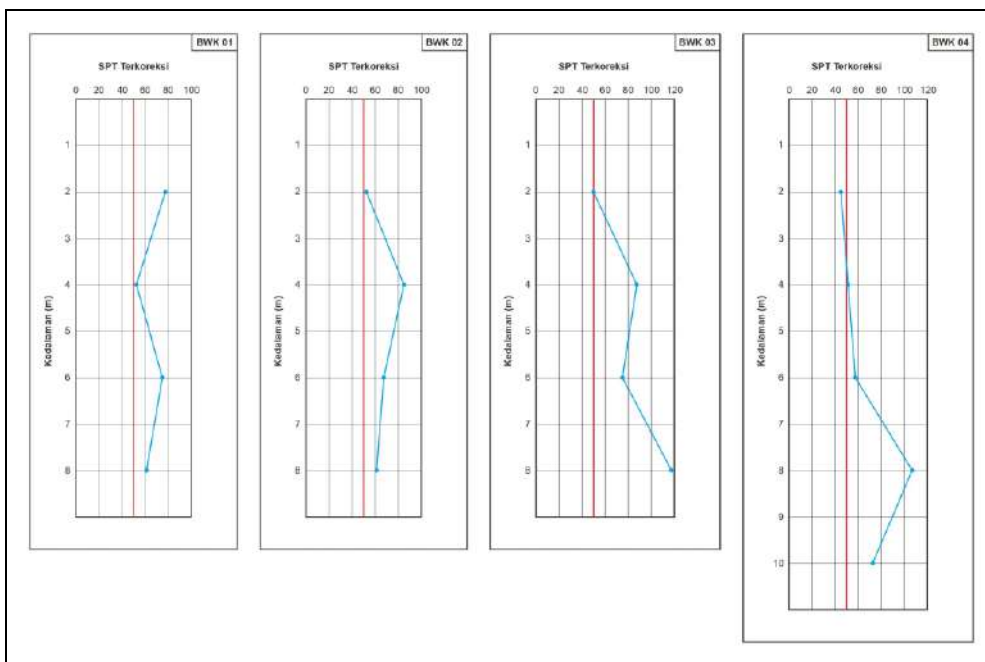


Gambar 15. Penampang Kualitas Batuan Menurut CRIEPI (2004) Fondasi Main Dam Bendungan Jragung

**Analisis Data SPT (Standard Penetration Test)**

Analisis data SPT (*Standard Penetration Test*) dilakukan pada empat titik yang sama dengan titik *borehole*. Berdasarkan data SPT (*Standard Penetration Test*) didapatkan nilai N-SPT >50 yang termasuk konsistensi material kategori *very dense* dalam Terzaghi & Peck (1967) dan sudah memenuhi syarat untuk menjadi fondasi batuan area *main dam*.





Gambar 16. Grafik Nilai N-SPT *Borehole* BWK 01, BWK 02, BWK 03, dan BWK 04. Batas Nilai N-SPT 50 Ditunjukkan oleh Garis Berwarna Merah. Banyak Pukulan N-SPT Ditunjukkan oleh Garis Berwarna Biru.

**Perhitungan Daya Dukung Batuan Metode Terzaghi**

Perhitungan daya dukung batuan Metode Terzaghi dapat dihitung berdasarkan data hasil analisis laboratorium dan dimensi fondasi area *main dam*. Data laboratorium yang diperlukan berupa parameter sifat fisik dan sifat mekanik batuan yaitu nilai  $c$  (kohesi),  $\gamma$  (berat satuan), dan  $\phi$  (sudut geser). Data dimensi fondasi area *main dam* yang diperlukan yaitu  $B$  (lebar fondasi),  $L$  (panjang fondasi), dan  $D$  (dalam fondasi).

Tabel 2. Jenis Litologi dan Nilai *Properties* Batuan pada Area *Main Dam* Untuk Perhitungan Daya Dukung Batuan Metode Terzaghi

Litologi	<i>Properties</i> Batuan			Faktor Daya Dukung Terzaghi		
	$\gamma$	$c$	$\phi$	$N_c$	$N_q$	$N_y$
Batulempung	17,0439	1,245	25,994	27,09	14,21	9,84
Batulanau	18,7208	2,19	38,32	77,5	61,55	78,61
Batupasir	18,5247	3,14	43,15	134,58	126,5	211,56

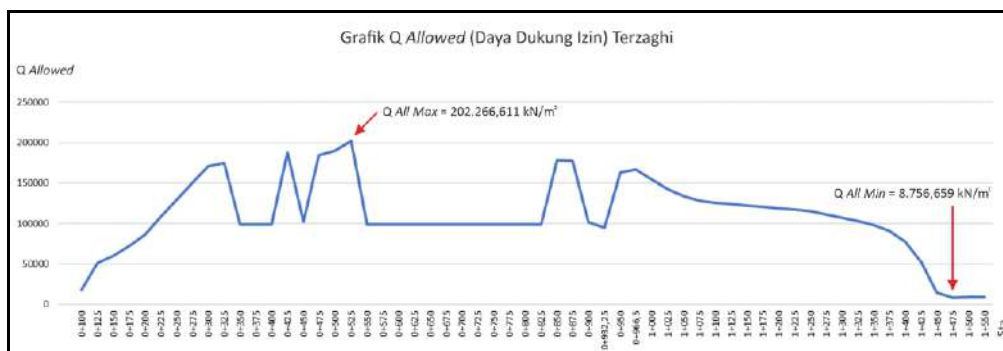


Gambar 17. Geometri (A) dan Detail Dimensi (B) Fondasi *Main Dam* Tampak Atas



Tabel 4. Perhitungan q *Ultimate* (Daya Dukung Maksimal) dan q *Allowed* (Daya Dukung Izin) Metode Terzaghi pada Fondasi Area *Main Dam* pada Tiap Segmen. Nilai q *Allowed* Minimum Ditunjukkan oleh *Trace* Berwarna Merah. Nilai q *Allowed* Maksimum Ditunjukkan oleh *Trace* Berwarna Biru Muda.

Sta	Qult		FK	Qall		Qall Total
	B1	B2		B1	B2	
0+100	54799,61267		3	18266,53756		18266,53756
0+125	95619,62505	58904,14655	3	31873,20835	19634,71552	51507,92386
0+150	111372,2578	69532,52186	3	37124,08594	23177,50729	60301,59323
0+175	130903,4486	87110,26114	3	43634,48287	29036,75371	72671,23658
0+200	152358,0841	106857,0354	3	50786,02804	35619,01181	86405,03985
0+225	187378,3511	139416,2475	3	62459,45036	46472,0825	108931,5329
0+250	221749,7302	167973,2963	3	73916,57675	55991,09875	129907,6755
0+275	255812,7656	197235,2781	3	85270,92187	65745,0927	151016,0146
0+300	288545,8252	224379,2191	3	96181,94173	74793,07302	170975,0148
0+325	297986,687	226065,6356	3	99328,89566	75355,21185	174684,1075
0+350	297986,687		3	99328,89566		99328,89566
0+375	297986,687		3	99328,89566		99328,89566
0+400	297986,687		3	99328,89566		99328,89566
0+425	307740,648	254943,5931	3	102580,216	84981,19772	187561,4137
0+450	307740,648		3	102580,216		102580,216
0+475	297499,6737	255959,9833	3	99166,55791	85319,99444	184486,5523
0+500	260917,3229	308733,5526	3	86972,44096	102911,1842	189883,6252
0+525	297986,687	308903,1467	3	99328,89566	102967,7156	202296,6112
0+550	297986,687		3	99328,89566		99328,89566
0+575	297986,687		3	99328,89566		99328,89566
0+600	297986,687		3	99328,89566		99328,89566
0+625	297986,687		3	99328,89566		99328,89566
0+650	297986,687		3	99328,89566		99328,89566
0+675	297986,687		3	99328,89566		99328,89566
0+700	297986,687		3	99328,89566		99328,89566
0+725	297986,687		3	99328,89566		99328,89566
0+750	297986,687		3	99328,89566		99328,89566
0+775	297986,687		3	99328,89566		99328,89566
0+800	297986,687		3	99328,89566		99328,89566
0+825	297986,687		3	99328,89566		99328,89566
0+850	301790,0741	233713,9316	3	100596,6914	77904,64386	178501,3352
0+875	297986,687	233713,9316	3	99328,89566	77904,64386	177233,5395
0+900	305558,1931		3	101852,731		101852,731
0+932,25	284230,0069		3	94743,33562		94743,33562
0+950	271854,0083	217605,0003	3	90618,00276	72535,00009	163153,0028
0+966,5	289973,7933	209621,6684	3	96657,93109	69873,88946	166531,8206
1+000	260274,1153	202074,5127	3	86758,03843	67358,17092	154116,2094
1+025	246129,194	182704,0422	3	82043,06468	60901,34741	142944,4121
1+050	231881,439	170603,6905	3	77293,81299	56867,89683	134161,7098
1+075	223390,694	161690,1939	3	74463,56468	53896,73129	128360,296
1+100	220590,6891	157542,3367	3	73530,22972	52514,11225	126044,342
1+125	217734,4633	155177,8505	3	72578,15442	51725,95016	124304,1046
1+150	214873,6839	152785,637	3	71624,56131	50928,54566	122553,107
1+175	212045,7294	150430,8018	3	70681,90981	50143,6006	120825,5104
1+200	209175,8431	148038,5883	3	69725,28105	49346,1961	119071,4771
1+225	206353,9202	145656,0259	3	68784,64007	48552,00862	117336,6487
1+250	203024,8375	143056,3258	3	67674,94582	47685,44193	115360,3878
1+275	196258,0204	138499,0709	3	65419,34015	46166,35697	111585,6971
1+300	189466,1904	132892,3205	3	63155,39681	44297,44017	107452,837
1+325	182649,3474	127285,5701	3	60883,11581	42428,52337	103311,6392
1+350	175022,1662	121291,0122	3	58340,72207	40430,33741	98771,05948
1+375	161035,8279	111749,9169	3	53678,60931	37249,97229	90928,5816
1+400	137347,9939	95453,44633	3	45782,66465	31817,81544	77600,48009
1+425	91791,5859	65298,87778	3	30597,1953	21766,29259	52363,4879
1+450	26269,97938	17199,68917	3	8756,659794	5733,229724	14489,88952
1+475	26269,97938		3	8756,659794		8756,659794
1+500	27344,10531		3	9114,701769		9114,701769
1+550	27344,10531		3	9114,701769		9114,701769



Gambar 20. Grafik q *Allowed* (Daya Dukung Izin) Terzaghi



Berdasarkan hasil perhitungan  $q_{ultimate}$  (daya dukung maksimal) dan  $q_{allowed}$  (daya dukung izin) Metode Terzaghi, nilai  $q_{allowed}$  (daya dukung izin) berkisar antara  $8.756,660 \text{ kN/m}^2$  ( $875,6660 \text{ ton/m}^2$ ) hingga  $202.296,611 \text{ kN/m}^2$  ( $20.229,6611 \text{ ton/m}^2$ ) dengan nilai rata-rata  $109.517,108 \text{ kN/m}^2$  ( $10.951,7108 \text{ ton/m}^2$ ). Kemudian total daya dukung yang digunakan yaitu hasil perkalian antara nilai  $q_{allowed}$  (daya dukung izin) paling kecil dikalikan dengan total luas fondasi. Nilai  $q_{allowed}$  (daya dukung izin) paling kecil dipilih untuk mengetahui kemungkinan terburuk semisal fondasi mengalami kegagalan konstruksi seperti keruntuhan atau penurunan. Sehingga didapatkan:

$$\text{Total daya dukung Metode Terzaghi} = q_a \times \text{luas fondasi} = 875,6660 \text{ ton/m}^2 \times 57.793,4908 \text{ m}^2 = 50.607.793,7236 \text{ ton.}$$

**Perhitungan Daya Dukung Batuan Metode Bowles**

Perhitungan daya dukung batuan Metode Bowles dapat dihitung berdasarkan data hasil analisis laboratorium dan dimensi fondasi area *main dam*. Data laboratorium yang diperlukan berupa parameter sifat fisik dan sifat mekanik batuan yaitu nilai UCS (*Uniaxial Compression Test*) dan RQD (*Rock Quality Designation*). Data dimensi fondasi area *main dam* yang diperlukan yaitu B (lebar fondasi), L (panjang fondasi), dan D (dalam fondasi).

Tabel 5. Jenis Litologi dan Nilai *Properties* Batuan pada Area *Main Dam* Untuk Perhitungan Daya Dukung Batuan Metode Bowles

Litologi	Properties Batuan		Konversi Data	
	qr (mPa)	RQD (%)	qr (kN/m <sup>2</sup> )	RQD (desimal)
Batulempung	11,031	75	11031	0,75
Batulanau	11,753	70	11753	0,7
Batupasir	17,581	80	17581	0,8

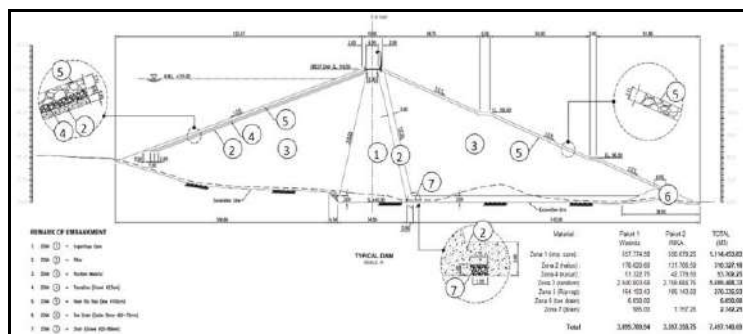
Litologi	Qult (kN/m <sup>2</sup> )	FK	Qall (kN/m <sup>2</sup> )	Qall (ton/m <sup>2</sup> )	Total Qall (ton/m <sup>2</sup> )
Batulempung	6204,9375	3	2068,3125	206,83125	773,85825
Batulanau	5758,97	3	1919,656667	191,9656667	
Batupasir	11251,84	3	3750,613333	375,0613333	

Gambar 21. Perhitungan  $q_{Ultimate}$  (Daya Dukung Maksimal) dan  $q_{Allowed}$  (Daya Dukung Izin) Metode Bowles pada Fondasi Area *Main Dam*

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan nilai  $q_{allowed}$  (daya dukung izin) keseleruhan sebesar  $7.738,583 \text{ kN/m}^2$  ( $773,8583 \text{ ton/m}^2$ ). Total daya dukung Metode Bowles =  $q_a \times \text{luas fondasi} = 773,8583 \text{ ton/m}^2 \times 57.793,4908 \text{ m}^2 = 44.723.969,65 \text{ ton.}$

**Perhitungan Material Timbunan**

Perhitungan material timbunan dilakukan untuk mengetahui berat volume total yang akan ditopang oleh konstruksi fondasi area *main dam*. Area *main dam* direncanakan akan ditimbun oleh tujuh jenis material timbunan yaitu *clay* (timbunan inti), *filter halus*, *random*, *gravel* (transisi), *rip - rap*, *toe drain*, dan *drain*. Berat volume didapatkan dengan mengalikan volume timbunan dengan berat jenis material pada masing-masing jenis material. Kemudian berat volume masing-masing jenis material dijumlahkan untuk mengetahui berat volume total material timbunan. Berdasarkan hasil perhitungan material timbunan didapatkan berat volume total sebesar  $18.478.437,64 \text{ ton.}$



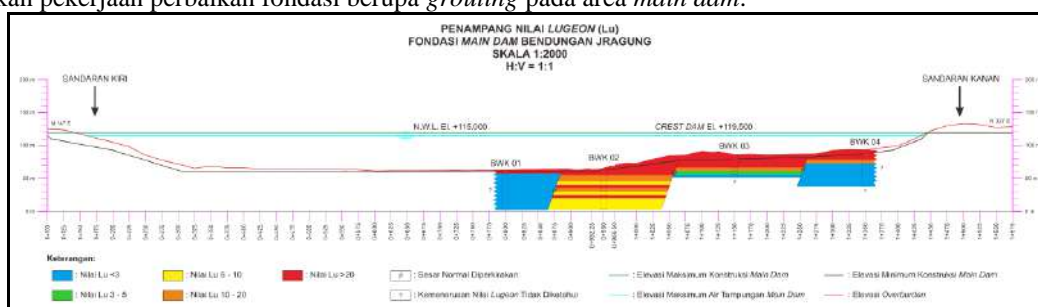
Gambar 22. Desain Konstruksi *Main Dam* Bendungan Jragung Tampak Samping Beserta Jenis Material Timbunan

Tabel 6. Perhitungan Material Timbunan pada Fondasi Area *Main Dam*

Jenis Material	Lokasi <i>Borrow</i> Material	Volume (m3)	Berat Jenis	Volume x Berat Jenis	Total
Clay (Timbunan Inti)	Borrow Candirejo	1114453,83	2,616	2915411,219	18478437,64
Filter Halus	Kali Gendol	310327	2,67	828573,09	
Random	Penawangan	93702,25	2,765	259086,7213	
Gravel (Transisi)	Kali Gendol	5699488,33	2,411	13741466,36	
Rip-Rap	Gunung Mergi	270336	2,636	712605,696	
Toe Drain	Kali Gendol	6090	2,411	14682,99	
Drain	Kali Gendol	2742,25	2,411	6611,56475	

**Rekomendasi Perbaikan Fondasi**

Berdasarkan hasil pengujian kelulusan air metode WPT (*Water Pressure Test*) atau dikenal sebagai *Lugeon Test* pada *borehole* BWK 01, BWK 02, BWK 03 dan BWK 04 didapatkan nilai *Lugeon* pada fondasi *main dam* Bendungan Jragung sangatlah besar dikarenakan pada beberapa kedalaman memiliki nilai  $Lu > 20$ . Berdasarkan standar nilai *Lugeon* yang diizinkan untuk fondasi bendungan (Kementerian PU, 2005) yaitu  $Lu < 3$ , maka perlu dilakukan pekerjaan perbaikan fondasi berupa *grouting* pada area *main dam*.

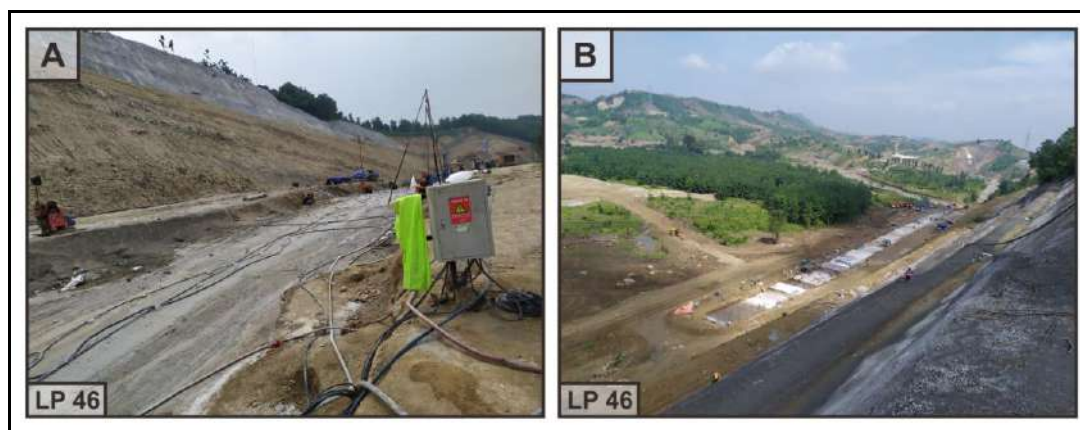


Gambar 23. Penampang Nilai *Lugeon* (Lu) Fondasi *Main Dam* Bendungan Jragung

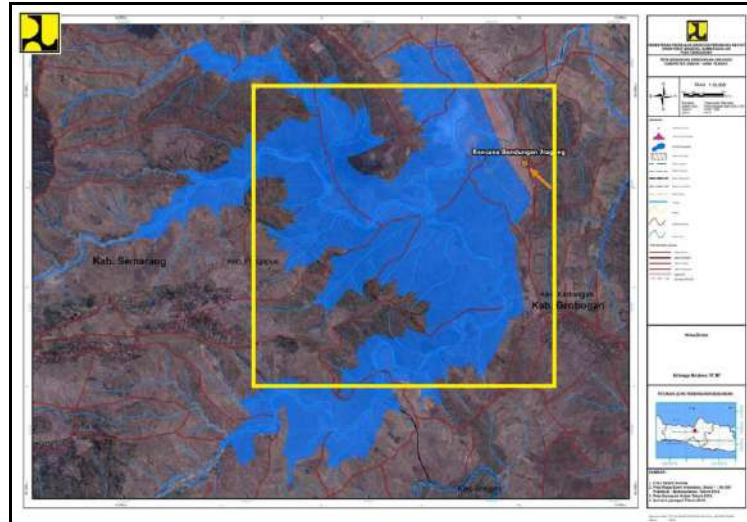
**POTENSI DAERAH PENELITIAN**

**Potensi Positif**

Batuan yang dijadikan fondasi area *main dam* berupa perselingan litologi napal dan batupasir karbonatan yang termasuk ke dalam Satuan napal Kalibeng Anggota Banyak memiliki konsistensi yang cukup kuat untuk menahan beban di atasnya apabila ditimbun oleh material. Hal ini didukung oleh hasil analisis pengeboran, hasil analisis pengujian SPT, dan perhitungan daya dukung batuan baik menggunakan metode Terzaghi maupun Bowles yang dibandingkan dengan perhitungan material timbunan.



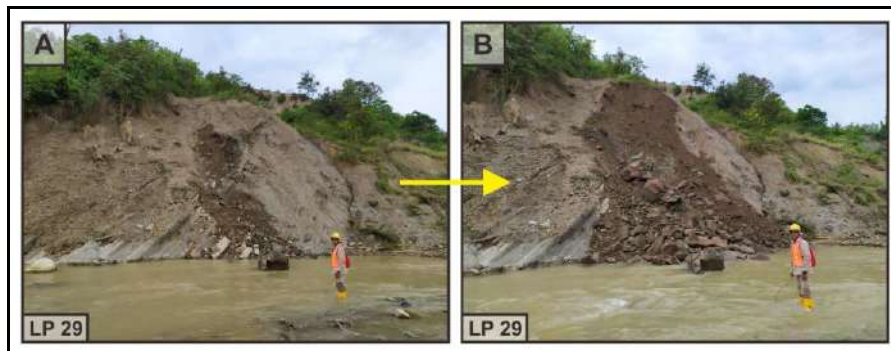
Gambar 24. Foto Tampak Samping (A) dan Tampak Atas (B) Singkapan Perselingan Napal dengan Batupasir Karbonatan pada Satuan napal Kalibeng Anggota Banyak Sebagai Fondasi Area *Main Dam* Bendungan Jragung



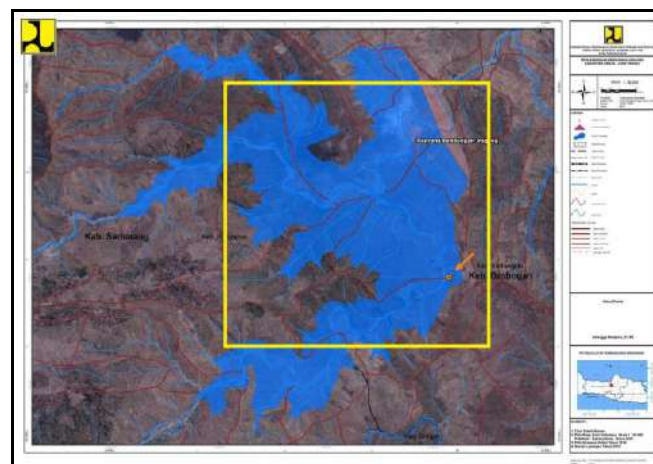
Gambar 25. Peta Citra *Landsat* Beserta Area Genangan Bendungan Jragung (Kementerian PUPR, 2016). Lokasi Penelitian Ditunjukkan oleh Kotak Berwarna Kuning. Lokasi Potensi Batuan Sebagai Tumpuan Konstruksi Bangunan *Main Dam* Ditunjukkan oleh Titik Berwarna Oranye.

### Potensi Negatif

Berdasarkan pemetaan geologi khususnya di area genangan pada LP 29 rawan terjadi longsor dikarenakan batuan telah mengalami pelapukan tingkat lanjut dan kelerengan memiliki tingkat kemiringan yang curam. Adanya potensi negatif tanah longsor di area genangan ini dapat menyebabkan cepatnya laju sedimentasi di dasar area genangan bendungan.



Gambar 26. Sebelum (A) dan Sesudah (B) Terjadinya Tanah Longsor di Area Genangan Bendungan Jragung LP 29



Gambar 27. Peta Citra *Landsat* Beserta Area Genangan Bendungan Jragung (Kementerian PUPR, 2016). Lokasi Penelitian Ditunjukkan oleh Kotak Berwarna Kuning. Lokasi Potensi Longsor di Area Genangan Ditunjukkan oleh Titik Berwarna Oranye.



**KESIMPULAN**

Berdasarkan data lapangan dan kajian pengolahan data, didapatkan beberapa kesimpulan yaitu:

1. Pola pengaliran daerah penelitian termasuk ke dalam pola pengaliran subdendritik.
2. Bentuk asal daerah penelitian dibagi menjadi tiga yaitu bentuk asal fluvial, struktural, dan vulkanik. Bentuk asal fluvial berupa Satuan bentuk lahan Tubuh Sungai (F1) dan Dataran Aluvial (F2). Bentuk asal struktural berupa Satuan bentuk lahan Lembah Struktural (S1), Lereng Struktural (S2), dan Perbukitan Struktural (S3). Bentuk asal vulkanik berupa Satuan bentuk lahan Dataran Vulkanik (V1).
3. Stratigrafi daerah penelitian dibagi menjadi empat satuan litostratigrafi tak resmi. Susunan satuan batuan dari tua ke muda yaitu Satuan batulempung Kerek, kemudian di atasnya terendapkan secara selaras Satuan napal Kalibeng Anggota Banyak, kemudian di atasnya terendapkan secara tidak selaras Satuan endapan vulkanik Ungaran, dan kemudian di atasnya terendapkan secara tidak selaras Satuan endapan aluvial.
4. Struktur geologi daerah penelitian berdasarkan hasil analisis stereografis *shear joint* (kekar gerus), sesar naik, dan lipatan memiliki arah tegasan utama ( $\sigma_1$ ) relatif sama yaitu berarah relatif NE - SW.
5. Sejarah geologi daerah penelitian dibagi menjadi tiga tahap yaitu Fase Pra-Deformasi (Miosen Tengah - Pliosen Awal), Fase Deformasi (Pliosen Akhir - Pleistosen), dan Fase Pasca-Deformasi (Pleistosen - Holosen).
6. Pengujian SPT (*Standard Penetration Test*) pada area *main dam* didapatkan nilai N-SPT >50 (lebih dari 50) yang termasuk konsistensi material kategori *very dense* dalam Terzaghi & Peck (1967). Sehingga batuan dianggap memiliki kekerasan yang keras dan memenuhi syarat untuk menjadi fondasi batuan area *main dam*.
7. Total nilai daya dukung batuan pada fondasi area *main dam* menggunakan Metode Terzaghi didapatkan nilai 50.607.793,7236 ton. Sedangkan menggunakan Metode Bowles didapatkan nilai 44.723.969,65 ton.
8. Total berat volume material timbunan area *main dam* didapatkan nilai 18.478.437,64491 ton.
9. Total nilai perhitungan daya dukung batuan baik Metode Terzaghi maupun Metode Bowles lebih besar jika dibandingkan dengan total nilai perhitungan volume berat material timbunan area *main dam*, sehingga fondasi area *main dam* dinyatakan aman dan dapat menopang konstruksi *main dam* Bendungan Jragung beserta material timbunan.
10. Fondasi area *main dam* perlu dilakukan pekerjaan perbaikan fondasi berupa *grouting* dikarenakan nilai *Lugeon* pada beberapa kedalaman memiliki nilai  $Lu > 20$ . Sedangkan standar nilai *Lugeon* yang diizinkan untuk fondasi bendungan (Kementerian PU, 2005) yaitu  $Lu < 3$ .
11. Potensi geologi daerah penelitian dibagi menjadi potensi positif dan potensi negatif. Potensi positif khususnya area *main dam* berdasarkan perhitungan daya dukung batuan memiliki konsistensi yang cukup kuat untuk menahan beban di atasnya apabila ditimbun oleh material. Sedangkan potensi negatif khususnya di area genangan rawan terjadi longsor sehingga dapat meningkatkan laju sedimentasi di dasar bendungan.

**DAFTAR PUSTAKA**

- Affandi, D. 2014. Kriteria Material Konstruksi Untuk Bendungan Urukan (Studi Kasus Bendungan Sindangheula). *Jurnal Teknik Hidraulik*, 5(2), 165-180.
- Alavi, A. H., & Sadrossadat, E. 2016. New Design Equations for Estimation of Ultimate Bearing Capacity of Shallow Foundations Resting on Rock Masses. *Geoscience Frontiers*, 7(1), 91-99.
- Alemdag, S., Gurocak, Z., Solanki, P., & Zaman, M. 2008. Estimation of Bearing Capacity of Basalts at The Atasu Dam Site, Turkey. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 67(1), 79-85.
- ASTM 2487-90. 1999. *Standard Test Methods for Well Graded Gravel*. West Conshohocken: ASTM International.
- Asy'ari, M.A., Hidayatullah, R., Kahar, S. B., & Kristiyono, M. 2021. Pengaruh *Grouting* Terhadap Nilai *Lugeon* pada Batuan Dasar Pondasi Bendungan Tapin. *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, 5(2), 103-116.
- Badan Standardisasi Nasional. 2008. *SNI 4153:2008. Cara uji penetrasi lapangan dengan SPT*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- BBWS Pemali Juana. 2020. *Profil Balai Besar Wilayah Sungai Pemali Juana*. Semarang: BBWS Pemali Juana.
- Bemmelen, R. W. Van. 1949. *The Geology of Indonesia Vol. 1 A*. Government Printing Office, The Hague, Amsterdam.
- Bowles, J. E. 1984. *Physical and Geotechnical Properties of Soil*. United States of America: McGraw-Hill Inc.
- Bowles, J.E. 1996. *Foundation Analysis and Design, fifth ed*. New York: McGraw-Hill Inc.
- Central Research Institute of Electric Power Industry. 2004. *Safety Culture Assessment Guidelines*. Japan Nuclear Technology Institute.
- Coates, D. F. 1981. Rock Mechanics principles. Monograph 874. *Energy, Mines, and Resources, Canada*.
- Das, B. M. 2011. *Principles of Foundation Engineering*. Connecticut: Cengage Learning.
- De Genevraye, P., dan Samuel, L. 1972. Geology of the Kendeng Zone (Central & East Java), *Proceedings Indonesian Petroleum Association, 2nd Annual Convention*, 17-30.

- Departemen Pekerjaan Umum. 2005. *Pedoman Penyelidikan Geoteknik Untuk Fondasi Bangunan Air*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Dickinson, W. R., Snyder, W. S., & Matthews, V. (1978). *Plate tectonics of the Laramide orogeny* (Vol. 3, pp. 355-366). Matthews.
- Gaib, D. T. 2016. Perencanaan Peningkatan Kapasitas Produksi Air Bersih Ibukota Kecamatan Nuangan. *Jurnal Sipil Statik Vol.4 No.8 Agustus 2016 (481-490)*, 481-491.
- Garg, S. K. 2009. *Irrigation Engineering and Hydraulic Structure*. Delhi: Khanna Publishers.
- Hardian, R. A., Pudyono., Soenaryo, A. 2010. *Studi Alternatif Perencanaan Bangunan Pengelak (Diversion) Berbentuk Tapal Kuda pada Bangunan Titab di Kabupaten Buleleng Bali*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Harding, T. P. 1974. Petroleum traps associated with wrench faults. *AAPG bulletin*, 58(7), 1290-1304.
- Howard, A. D. 1967. Drainage analysis in geologic interpretation: a summation. *AAPG bulletin*, 51(11), 2246-2259.
- Kementrian Pekerjaan Umum Ditjen SDA. Direktorat Sungai, Danau dan Waduk. 2005. *Pedoman Grouting Untuk Bendungan*. Kementrian Pekerjaan Umum Ditjen SDA.
- Kementerian PUPR. 2016. *Data Bendungan Jragung: Peta Citra Landsat Bendungan Jragung*. Kementerian PUPR.
- Kumbhojkar, A. S. 1993. Numerical evaluation of Terzaghi's  $N \gamma$ . *Journal of Geotechnical Engineering*, 119(3), 598-607.
- Merifield, R. S., Lyamin, A. V., & Sloan, S. W. 2006. Limit Analysis Solutions for The Bearing Capacity of Rock Masses Using the Generalised Hoek–Brown Criterion. *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 43(6), 920-937.
- Pangesti, D.R. 2005. *Pedoman Grouting untuk Bendungan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Direktorat Sungai dan Waduk.
- Pannekoek, A. J. 1949. Outline of the Geomorphology of Java. Reprint from *Tijdschrift van Het Koninklijk Nederlandsch Aardrijkskundig Genootschap*, vol. LXVI part 3, E.J. Brill, Leiden, pp. 270-325.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan. 2015. *Rakyat Republik Indonesia*. Nomor 27/PRT/M/2015 Tentang Bendungan.
- Pringgoprawiro, H. 1983. Biostratigrafi dan Paleogeografi Cekungan Jawa Timur Utara, Suatu Pendekatan Baru. *Desertasi Doktor*, Institut Teknologi Bandung.
- Rachman, S. 2019. Analysis Rock Mass Rating (RMR) Elevation Inlet Diversion Tunnel Luewikeris. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1363, No. 1, p. 012044). IOP Publishing.
- Rai, M. A., Kramadibrata, S., & Wattimena, R. K. 2014. *Mekanika Batuan*. Bandung: Penerbit ITB.
- Satyana, A. H., & Purwaningsih, M. E. 2002. Lekukan Struktur Jawa Tengah: Suatu Segmentasi Sesar Mendatar. *Prosiding Akatan Ahli Geologi Indonesia (IAGI)*, Yogyakarta, 1-14.
- Satyana, A. H. 2005. Structural Indentation of Central Java: A Regional Wrench Segmentation. In *Proceedings Joint Convention 30th HAGI, 34th IAGI, 14th PERHAPI, Surabaya*. Surabaya (Vol. 193, p. 204).
- Satyana, A. H. 2006. New Insight on Tectonics of Central Java, Indonesia, and Its Petroleum Implications. In *American Association of Petroleum Geologists (AAPG) International Conference and Exhibition* (p. 90061).
- Sosrodarsono, S., & Takeda, K. 1977. *Bendungan Type Urukan*.
- Sukardi., T. Budhitrinsa. 1992. *Peta Geologi Regional Lembar Salatiga, Jawa Tengah*. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Talobre, J. A. 1967. Rock mechanics and its application. *Dunod, Paris, 442p (in French)*.
- Terzaghi. 1946. Rock Defects and Loads on Tunnel Supports. In: Proctor, R.V., White, T.L. (Eds.). *Rock Tunneling with Steel Supports*. Commercial Shearing and Stamping Company, Youngstown, OH, pp. 17e99.
- Terzaghi, K. 1967. Settlement of point bearing pile foundation; Settlement of floating pile foundation.
- SNI. 2008. *Cara Uji Penetrasi Lapangan dengan SPT*. Badan Standardisasi Nasional.
- Van Zuidam, R.A. 1985. *Aerial Photo-Interpretation Terrain Analysis and Geomorphology Mapping*. Smith Publisher The Hague, ITC.
- Verstappen, H. T., Van Zuidam, R. A., van de Weg, R. F., Meijerink, A. M. J., Nossin, J. J., & Karmon, M. 1975. *ITC System of Geomorphological Survey: Use of Aerial Photographs in Geomorphology*. ITC.
- Wesley, L. D. 2010. *Mekanika Tanah, untuk Tanah Endapan dan Residu*. Yogyakarta: ANDI Yogyakarta.