

出國報告

(出國類別：考察)

印尼 Wlingi 水庫考察及清淤改善工作會議

服務機關：經濟部水利署

姓名職稱：賴建信署長、黃宏莆主任秘書、郭耀程副局長
、蔡展銘課長、江俊生科長

派赴國家：印尼

出國期間：108 年 12 月 9 日至 12 月 13 日

報告日期：109 年 1 月

目次

| | |
|----------------|----|
| 壹、摘要..... | 2 |
| 貳、目的..... | 2 |
| 參、印尼水環境概況..... | 3 |
| 肆、考察過程..... | 4 |
| 伍、心得及建議事項..... | 11 |
| 陸、參考資料..... | 12 |

壹、摘要

為強化台灣水庫整體防淤能力及延長水庫使用年限，經濟部水利署近年持續擴大辦理各項水庫清淤工作，並已完成增設石門及曾文水庫水力排砂隧道，近年重大颱風期間並有效排除水庫淤積，其中石門水庫發電專管改造為水力排砂專管於 105 年梅姬颱風於 26 小時排砂 70 萬噸，另曾文水庫象鼻引水鋼管亦是全球首創有效排除異重流，整體排砂技術已獲其它國家肯定。考量氣候變遷及極端降雨影響，為持續策進台灣水庫防淤工作並與國際接軌，本次赴印尼行程主要考察東爪哇 Bratans 河上游淤積嚴重的 Wlingi 水庫及其防淤作法，並與印尼人員召開工作會議技術交流，同時分享臺灣水力排砂經驗及推銷水利技術。經考察結果，本次現勘 Wlingi 水庫淤積問題相對複雜，雖印尼已採取設置攔砂壩、水庫清淤及沖淤等諸多作為，惟受水庫集水區火山爆發火山灰影響及河川平坦不利河川輸砂，目前水庫淤積仍高達 81%，且該水庫來砂及排砂環境均不利水庫庫容維持，因台灣亦有類似水庫，未來印尼如何使 Wlingi 水庫持續維持功能及防淤作為，值得持續關注及參考借鏡。

貳、目的

臺灣因山區地質脆弱，加上近年氣候變遷使降雨集中，造成土石經洪水沖刷淤積於野溪、河道及水庫等情況，又經歷 921 地震、艾利及莫拉克風災後水庫淤積情形更趨嚴重。為減少水庫淤積、延長水庫壽命及提升供水穩定，本署近年積極推動各項水庫清淤及減淤工作，已完成石門水庫發電鋼管改造及曾文水庫防淤隧道，並獲致良好排砂成效，另目前正在推動石門水庫阿姆坪、南化及白河水庫等防淤隧道工程，未來完成後將可提升各水庫防淤能力，維持水庫庫容及提高供水穩定。

考量台灣水庫集水區土砂條件特殊性，要維持水庫庫容相當不易，為了解及蒐集國外水庫案例及防淤作法，爰安排本次行程。其中，印尼 Wlingi 水庫受集水區 Kelud 火山灰影響致水庫淤積嚴重，雖印尼雖已採繞庫渠道、加強水庫清淤及集水區保育等水庫防淤工作，但目前水庫仍淤積嚴重，考量台灣諸多水庫集水區地質來砂條件亦為粉砂土地質，水庫面臨泥砂問題及集水區環境與 Wlingi 水庫類似，爰期藉由本次考察印尼 Wlingi 水庫及工作會議技術交流，作未來台灣水庫經營及水資源管理案例參考。另本次工作交流會議，亦說明台灣近年水力排砂推展經驗，以促進台灣水利技術及產業行銷國際。

參、印尼水環境概況

一、地理位置

印尼位於亞洲大陸及澳洲之間，橫跨赤道，東西長 5,160 公里，南北長 1,600 公里，分隔太平洋及印度洋，北鄰菲律賓，西隔麻六甲海峽，與馬來西亞及新加坡相望。土地面積約為 192 萬平方公里，由 1.7 萬餘個島嶼組成，主要包括加里曼丹、巴布亞、蘇門答臘、蘇拉威西及爪哇等五大島(如圖 1)。

二、氣候及人口

印尼氣候屬熱帶雨林型氣候，高溫潮溼，常年如夏，分為乾季 5~9 月及雨季 10~4 月，無颱風，氣候穩定。印尼平均氣溫因地勢而異，沿海平原為 28°C，內陸山區為 26°C，高山區則為 24°C。由於海域遼闊，受海潮洋流影響，濕度偏高，平均溼度約在 70%至 90%之間。

印尼總人口約 2 億 6,351 萬人，居世界第四大，平均人口密度約為 124 人/平方公里。惟人口密度分布不均，印尼都市人口占總人口約 45%，都市人口年增率約 1.7%，最大城市雅加達人口約 1 千萬人。



圖 1、印尼主要島嶼及 Wlingi 水庫位置圖

三、東爪哇 Brantas 流域概況

本次考察 Wlingi 水庫位於東爪哇 Brantas 流域上游(如圖 2)，河流長度約 320 公里，集水區面積 1.1 萬平方公里，年平均降雨量約 2,000 釐米，降雨集中於 12 月至隔年 3 月，河川年逕流量約 118 億立方公尺。目前流域主要面臨主要問題包括：1.水庫及河道淤積問題嚴重；2.河流污染嚴重，水質不佳；3.雨季造成中下游淹水等問題亟待解決。

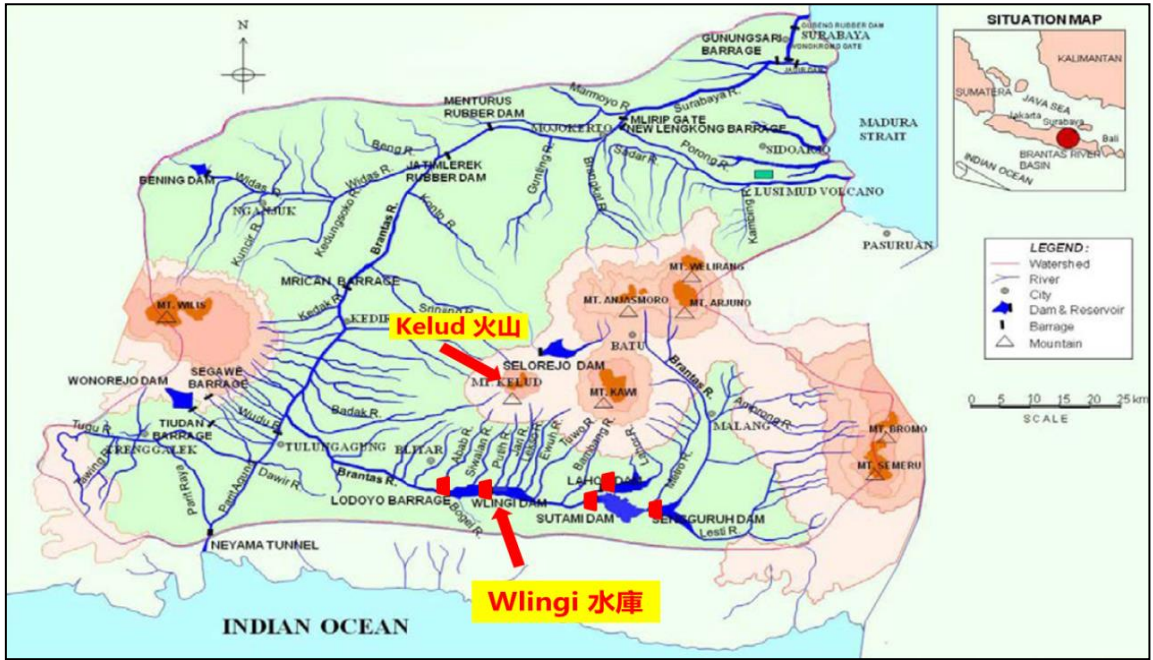


圖 2、東爪哇 Brantas 流域及 Wlingi 水庫位置

肆、考察過程

本次考察自 108 年 12 月 9 日至 13 日，計 5 天，扣除來回交通時間，於印尼實際考察及技術交流天數為 3 天，各日行程及其重點如表 1，地點如圖 3。主要行程包括拜訪印尼東爪哇流域 PJTI 水務公司、Wlingi 水庫防淤改善技術交流、現地考察 Sutami 水庫、Wlingi 水庫及 Lodoyo 攔河堰，並與印尼水利人員召開水庫清淤改善交流工作會議。

表 1、行程重點

| 日期 | 地點 | 行程 | 備註 |
|----------|-----------------|------------------------------|-------------------------------------|
| 12/9(一) | 臺灣(桃園) -> 印尼雅加達 | 去程 | 現地考察人員包括：黃宏莆主任秘書、郭耀程副局長、蔡展銘課長及江俊生科長 |
| 12/10(二) | 印尼雅加達->瑪琅 | 參訪 PJTI 水務公司 | |
| 12/11(三) | 瑪琅 | 考察 Sutami、Wlingi 及 Lodoyo 水庫 | |
| 12/12(四) | 瑪琅->雅加達 | 與印尼召開水庫清淤技術交流工作會議 | 賴建信署長至雅加達會合參加工作會議 |
| 12/13(五) | 印尼雅加達->臺灣(桃園) | 回程 | |

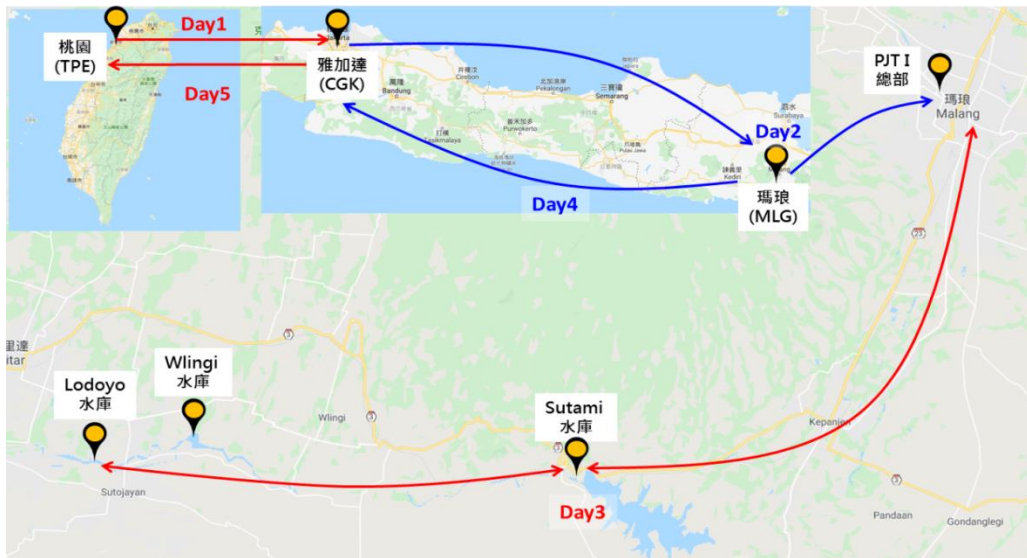


圖 3、各日過程及地點

一、至 PJTI 水務公司交流

Jasa Tirta I(縮寫為 PJT I)為印尼國有水務公司，於 1990 年 2 月成立，總部位於東爪哇島瑪琅(Malang)，管轄範圍為辦理 Brantas 河、Bengawan Solo 河、Jratun-Seluna 河、Serayu-Bogowonto 河及 Toba-Asahan 河等 5 條河川流域河川整治、水資源管理、灌溉及水利設施建設管理(如圖 4)。本次現地考察人員至 PJTI 水務公司交流，主要針對 PJTI 水務公司轄管 Wlingi 水庫現況淤積問題及防淤改善相關工作進行技術交流(如圖 5 及圖 6)，PJTI 公司並分享該水庫清淤經驗，以及介紹水庫淤泥做為農地回填、營建骨材及下游沖刷河道補淤等去化方式供參考，另 PJTI 水務公司亦介紹展示近期完成 Brantas 流域水文水情監測系統，透過即時監測傳輸將轄管各水庫及河流之降雨、流量及水庫蓄水情形傳回 PJTI 水務公司監控中心，進行發電及供水操作。



圖 4、Jasa Tirta I(PJT I)管轄範圍



圖 5、與 PJTI 公司人員技術交流情形



圖 6、與 PJTI 公司人員合影

二、現地考察：

本次勘查 Wlingi 水庫主要位於東爪哇島 Brantas 河流域上游，因該水庫目前防淤排砂操作亦須與上下游水庫聯合操作，整體排砂條件甚為相關，爰本次爰一併就近安排考察 Wlingi 水庫上游之 Sutami 水庫及下游之 Lodoyo 攔河堰，3 座水源設施設基本資料如表 2，水庫管理單位均為 PJTI 水務公司，其 3 座水庫均面臨嚴重淤積問題，目前水庫淤積率均為 50% 以上。

表 2、本次勘查之水庫基本資料

| 水庫名稱 | 完工年份 (西元) | 滿水位標高 (m) | 呆水位標高 (m) | 設計容量 (百萬 m ³) | 現況容量 (萬 m ³) | 淤積率 (%) |
|---------------|-----------|-----------|-----------|---------------------------|--------------------------|---------|
| Sutami | 1972 | 272.5 | 246.0 | 343 | 161 | 53% |
| Wlingi | 1977 | 163.5 | 162.0 | 24.0 | 4.6 | 81% |
| Lodoyo | 1980 | 136.0 | 130.5 | 5.2 | 2.6 | 50% |

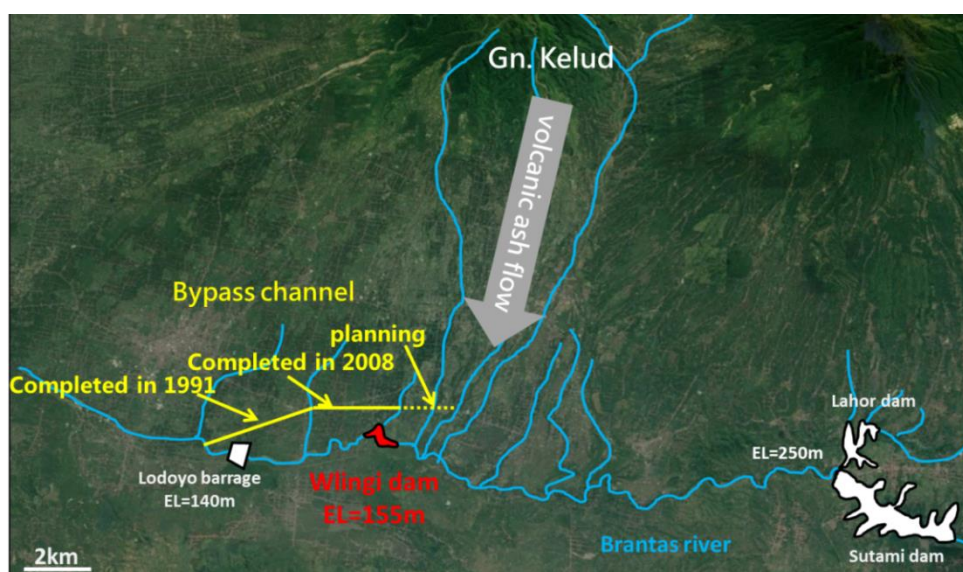


圖 7、Sutami、Wlingi 水庫及 lodoyo 攔河堰位置圖

(一)Sutami 水庫

Sutami 水庫位於 Wlingi 水庫上游約 20 公里，大壩為土石壩，原設計庫容 3.4 億立方公尺，1972 年完工營運，目前水庫庫容 1.6 億立方公尺，水庫淤積約 53%，目前淤積嚴重，其集水區面積約 2,050 平方公里，水庫年入流量 15 億噸。Sutami 水庫功能主要為灌溉及發電供能，為 Brantas 流域最上游水庫，為中下游用水之供水樞紐，另在雨季時亦扮演下游 Wlingi 水庫及 Lodoyo 攔河堰水力沖淤排砂之調控放水功能。另水力發電部分，裝機容量為 3x35MW，每年發電量 4.8 億度電。另為減少水庫淤積及發電進水口取水影響，目前水庫管理單位每年約清淤 40 萬立方公尺。現勘情形詳圖 8 及圖 9。



圖 8、Sutami 水庫壩前蓄水情形



圖 9、Sutami 水庫上游蓄水情形

(二)Wlingi 水庫

1.水庫概況

Wlingi 水庫於 1979 年興建完成，營運迄今 40 年，壩址位於東爪哇島 Brantas 河上，水庫主要標的為發電、灌溉及防洪等功能，水庫原設計容量 2,400 萬立方公尺，壩型為土石壩，溢洪道設計流量 470cms，設有 2 座 27MW 水力發電機組(計 54 MW)。營運期間受集水區 Kelud 火山爆發產生大量火山灰而造成水庫淤積嚴重，其中，1990 年及 2014 年火山爆發各造成庫容減少 500 萬立方公尺及 260 萬立方公尺，歷年淤積變化如表 2，目前水庫庫容僅剩 461 萬立方公尺，水庫淤積率 81%。依據日本及印尼估算調查，每次火山爆發約有 6,000 萬立方公尺火山灰散落在水庫集水區，受降雨影響每年流入河川火山灰約 650 萬立方公尺，造成下游河川及水庫淤積嚴重，影響水庫功能及河川安全。

表 2、Wlingi 水庫歷年淤積變化

| 年份 | 實際容量(萬 M ³) | 水庫淤積率 |
|--|-------------------------|--------|
| 1979 | 2,400 | 0.0% |
| 1982 | 1,832 | 23.6% |
| 1985 | 1,444 | 39.8% |
| 1988 | 950 | 60.4% |
| 1990 年克盧德火山爆發(庫容減少 500 萬 M ³ ，造成 20%淤積) | | |
| 1990 | 460 | 80.8% |
| 1995 | 494 | 79.4% |
| 2004 | 441 | 81.6% |
| 2009 | 438 | 81.7% |
| 2013 | 483 | 79.88% |
| 2014 年克盧德火山爆發(庫容減少 260 萬 M ³ ，造成 11%淤積) | | |
| 2015 | 220 | 90.8% |
| 2017 | 461 | 80.8% |

2. 印尼已採 Wlingi 水庫防淤作為

針對 Wlingi 水庫淤積嚴重問題，印尼目前已採取防淤作為包含建置 300 個攔砂設施(如攔沙壩、沉砂池，圖 10)、陸挖與浚漂、空庫排砂及由日本協助完成 2 階段繞庫排砂渠道(圖 11)，惟成效有限，目前水庫淤積率仍高達 80.8%，現勘情形詳圖 12~17。



圖 10、Wlingi 水庫上游設置攔砂壩

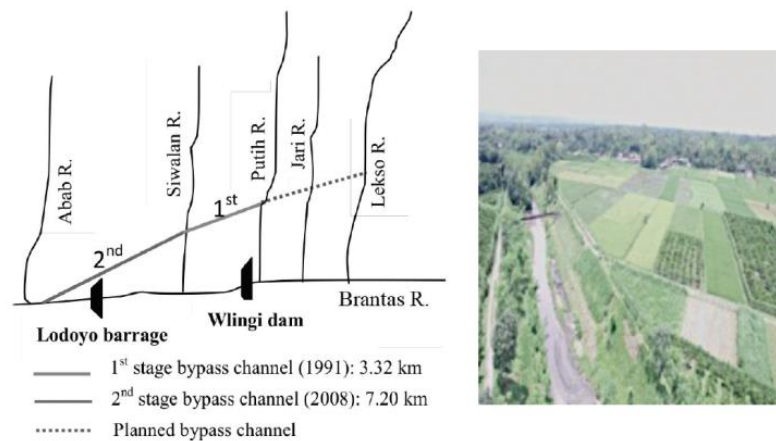


圖 11、Wlingi 水庫繞庫排砂渠道示意圖



圖 12、Wlingi 水庫發電取水閘門



圖 13、Wlingi 水庫蓄水情形



圖 14、Wlingi 水庫淤泥堆置區



圖 15、Wlingi 水庫淤泥堆置區農作種植情形



圖 16、Wlingi 水庫繞庫排砂渠道



圖 17、Wlingi 水庫繞庫排砂渠道

(三)Lodoyo 攔河堰考察

Lodoyo 攔河堰位於 Wlingi 水庫下游約 7 公里，其功能主要攔水發電使用，興建於 1950 年，設計容量為 520 萬噸，目前有效庫容為 260 萬噸，水庫淤積率約為 50%。此攔河堰擋水閘門操作設計部分與台灣較不同之處為擋水閘門吊裝系統設計，設置 1 組橫跨於攔河堰壩墩上方天車進行吊掛置放作業，並可透過天車將擋水閘門吊回廠房內進行保養維護，不須每個閘門獨立安裝 1 組或需要操作持以吊車進行吊裝，該設計吊裝作業相對彈性。現勘情形詳圖 18~21。



圖 18、Lodoyo 攔河堰水庫排砂操作討論



圖 19、Lodoyo 攔河堰



圖 20、Lodoyo 攔河堰天車軌道設置情形



圖 21、Lodoyo 攔河堰天車吊掛設施情形

四、水庫清淤技術交流工作會議

本次工作會議由台灣及印尼相互分享水庫防淤改善案例及交流，印尼參與單位包括經濟統籌部、公共工程及住房部水資源署及 PJTI 公司人員等，本次臺灣人員除分享台灣水庫整體防淤策略外，亦展示 105 年梅姬颱風石門水庫於 26 小時內排砂 70 萬立方公尺之影片及案例說明，並針對印尼 Wlingi 水庫未來可能防淤改善及水庫整體防淤工作交換意見，印尼對台灣水庫排砂、智慧監測及集水區管理表示興趣。會議交流情形詳圖 22~23。



圖 22、工作會議技術交流情形



圖 23、技術交流會後合影

伍、心得及建議事項

一、本次考察印尼 Brantas 河上游 Sutami、Wlingi 水庫及 Lodoyo 攔河堰淤積問題及防淤改善作法，主要成果及心得如下：

(一)Wlingi 水庫已營運 40 年，印尼雖已投入包括繞庫排砂設施、水庫集水區整治、水庫清淤及水力沖淤排砂等各項水庫防淤工作，惟受 Bratans 河坡度平緩及集水區內的 Kelud 火山爆發火山灰，目前水庫淤積率仍高達 81%，顯示 Wlingi 水庫集水區來砂及河川排砂條件均不利水庫庫容維持。

(二)為提升 Wlingi 水庫及 Lodoyo 攔河攔河段輸砂能力及減少水庫淤積，印尼 PJTI 公司採取 Sutami、Wlingi 及 Lodoyo 水庫聯合操作，並以上游 Sutami 水庫（目前庫容約 1.6 億噸）為放水沖淤排砂樞紐，因降水量集中在雨季，考量下游取水口用水，每年 Wlingi 利用 Sutami 水量空庫排砂 2 次，每次水量約 1,000 萬立方公尺，沖砂比約 0.03，年排砂約 30-60 萬方；另水庫人工清淤每年 40 萬方。

(三)Wlingi 水庫火山灰淤泥因含礦物質，可回收處理做建材再利用、農地回填或補充下游河道沖刷，爰河川及水庫管理單位希望水庫繞庫排砂淤泥可以回歸河道，惟因下游尚有許多取水口，排砂期間必須考量取水水質影響與兼顧供水穩定，另繞庫排砂至下游河道可能影響河川生態及造成淤積影響排洪安全，其須整體考量。

(四)Wlingi 水庫及 Lodoyo 攔河堰繞庫排砂渠道分別於 1991 年及 2008 年完成第 1 階段(3.3 公里)及第 2 階段(7.2 公里)工程，其主要功能為攔阻 Kelud 火山爆發後火山灰泥流直接流入水庫造成淤積，因原規劃第 3 階段工程因其經濟效益仍待檢討，爰目前尚未辦理。

二、本次考察建議事項如下：

(一) Wlingi 水庫先前受日本協助，印尼在處理水庫防淤及水力沖淤排砂技術已有一定成熟度，惟因該水庫淤積問題相對複雜且不利水庫庫容維持，爰評估該水庫仍有水力沖淤模擬及排砂操作最佳化技術交流及集水區監測管理等水利產業需求，建議後續適時向印尼持續推銷臺灣水利技術，促進產業發展。

(二)目前國內水庫淤泥多運載至施工中海港填海造陸或做非主要結構地基回填或部分做磚塊或與水泥拌合做河川保護設施，其淤泥去化數量有限。本次考察 Wlingi 水庫淤泥抽運至鄰近區域土地做永久堆置並於上方耕作，及做為農地改良使用，除可有效去化水庫淤泥外並可兼顧農業生產，可作為未來台灣水庫淤泥去化參考。

(三)Wlingi 水庫集水區來砂及河川排砂條件均不利水庫庫容維持，因其與台灣部份水庫面

臨淤積問題相似，建議持續關注此水庫印尼防淤情形，以作為未來台灣水庫防淤工作借鏡。

陸、參考資料

1. Assessment of Sedimentation in Wlingi and Lodoyo Reservoirs: A Secondary Disaster Following the 2014 Eruption of Mt. Kelud, Indonesia, Fahmi Hidayat, Pitojo T. Juwono, 2014.
2. Sediment Management of Reservoirs in Volcanic Area: Case of Wlingi and Lodoyo Reservoirs in Indonesia, Fahmi Hidayat, Pitojo T. Juwono, 2017.
3. Sediment Flushing Simulation and Sediment Distribution in Wlingi Reservoir, Rizhandi Nugroho Nusantoro; Dian Sisingih; Very Dermawan, International Research Journal of Advanced Engineering and Science, Volume 4, Issue 1, pp. 1-9, 2018.
4. Direct Benefit Analysis of Sutami Reservoir Dredging for Electricity Generation, Setiyantono, Pitojo Tri Juwono, and Suhardjono, International Research Journal of Advanced Engineering and Science, Volume 4, Issue 2, pp. 409-420, 2019.
5. <https://www.industryabout.com/country-territories-3/2836-indonesia/hydro-energy/45220-wlingi-dam>.