

## RANCANG BANGUN ALAT PEMANTAUAN ELEVASI AIR BENDUNGAN

**Pranu Arisanto**

Prodi Teknologi Konstruksi Bangunan Air Politeknik Pekerjaan Umum Semarang  
E-mail : pranu.arisanto@pu.go.id

### ABSTRAK

Keamanan bendungan direncanakan dari proses desain, konstruksi dan terus berlangsung selama bendungan difungsikan. Pada tahapan operasi, pemeliharaan dan pemantauan, kebijakan keamanan bendungan oleh pengelola sangat bergantung pada data yang tersaji dari instrumentasi dan pengamatan secara visual. Kebutuhan pembacaan instrumentasi sangat beragam dengan interval waktu dari jam, hari, minggu bahkan bulan. Kebutuhan akan pengamatan yang tepat, cepat dalam melaporkan data dapat dibantu dengan peralatan pengamatan elektronik. Pelaksanaan pemantauan keamanan bendungan salah satunya adalah mengamati level muka air, baik di daerah hulu sebagai masukan air ke waduk, muka air di tampungan, rembesan dan bocoran di tubuh bendungan, muka air daerah hilir bendungan sebagai luaran dan muka air tanah. Elevasi muka air ini dapat diamati secara langsung dengan visual dan alat ukur. Guna menunjang keamanan bendungan dan analisis perilaku tubuh bendungan, pengamatan perlu ditingkatkan dengan bantuan peralatan pembaca muka air otomatis. Dengan peralatan otomatis ini pembacaan dapat diatur sesuai kebutuhan pada setiap jam, menit bahkan detik. Rancang bangun peralatan ini cukup sederhana dan terbilang murah yaitu dengan menggunakan sensor ultrasonik yang membaca muka air kemudian diproses oleh *mikrokontroler*. Data yang terekam di dalam *mikrokontroler* ditampilkan di monitor dan datanya dapat disimpan secara otomatis pada interval waktu yang diinginkan. Peralatan ini juga dapat dijadikan sebagai bagian dari *early warning system* dengan menambahkan perangkat komunikasi seperti GSM atau WIFI.

**Kata Kunci :** Bendungan; mikrokontroler; pemantauan; EWS.

### PENDAHULUAN

Pengamatan bendungan sangat menentukan kondisi bendungan baik untuk operasi, pemeliharaan maupun pencegahan kondisi darurat atau peringatan dini bahaya keruntuhan bendungan. Kebutuhan pengamatan yang tepat, akurat dan cepat semakin menjadi prioritas pengelola bendungan mengingat isu perubahan iklim yang berakibat pada curah hujan yang tinggi pada waktu yang pendek dan masa kering yang lebih Panjang. Bendungan, khususnya tipe

urugan tanah memiliki kerentanan terhadap *fluktuasi* air yang ekstrim. Naik turunnya muka air bendungan secara cepat dapat berakibat longornya tubuh bendungan kearah hulu sedangkan jika terjadi *overtopping* dapat dipastikan bendungan akan runtuh (Adamo., et al.,2021).

Pengamatan bendungan dilakukan dengan mengkombinasikan pengamatan visual dan pemanfaatan peralatan instrumentasi. Pada bagian bendungan yang terlihat secara visual (pengamatan secara langsung) dapat memberikan

masukannya terhadap pembacaan instrumentasi. Sebagai contoh; pengamatan tubuh bendungan pada area dengan kondisi vegetasi yang lebih subur dibandingkan dengan lokasi yang lain merupakan salah satu indikasi adanya konsentrasi air. Kondisi pengamatan visual tersebut kemudian dapat dikonfirmasi dengan pembacaan peralatan antara lain instrumentasi *pizometer*, apakah elevasi air pori di daerah tersebut mengindikasikan adanya kenaikan garis *freatik*. Begitu juga pada pengamatan di drainase kaki, apakah volume air rembesan bertambah atau ada perubahan perilaku tertentu. Dengan mengkombinasikan pengamatan visual dan pengamatan dari instrumentasi didalam tubuh bendungan, pengelola bendungan dapat melakukan interpretasi kondisi yang sedang terjadi di dalam tubuh bendungan (Wahyuningrum., et al.,2019).

## TINJAUAN PUSTAKA

Beberapa pengamatan dan instrumentasi bendungan membutuhkan keahlian dan peralatan dengan teknologi yang tinggi dan biaya yang cukup mahal. Namun, pada saat sekarang ini telah muncul beberapa perangkat keras dan lunak yang bersifat *open source* (pengembangan terbuka) sehingga dapat digunakan tanpa memerlukan ijin atau *royalty*. Salah satu perangkat tersebut adalah *mikrokontroller Arduino uno* dengan sensor *ultrasonic* (Willy., et al., 2020). Pada makalah ini pembahasan dibatasi pada pembacaan muka air yang dapat diaplikasikan untuk mengukur (1) elevasi pada bangunan ukur di inlet bendungan, (2) bangunan ukur rembesan pada drainase kaki, (3) elevasi muka air

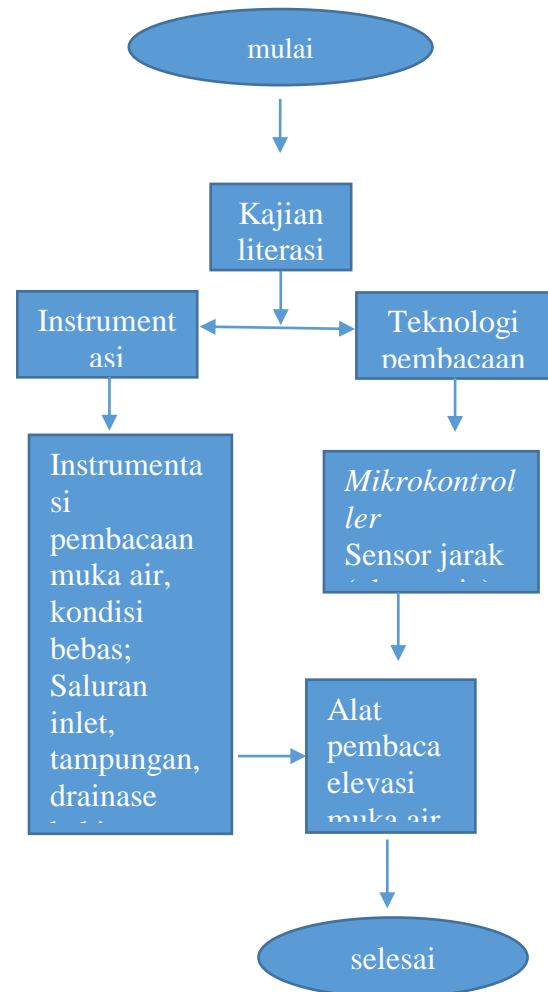
di waduk (4) elevasi air pada sumur pantau dan (5) elevasi pada saluran outlet bendungan.

Tempat pengukuran di atas memiliki prinsip yang sama yaitu mengukur muka air untuk mendapatkan data. Pada dasarnya pengukuran elevasi muka air tersebut dapat diukur secara manual oleh petugas pemantauan dengan datang kelokasi kemudian mencatat elevasi muka air pada mistar ukur. Petugas melakukan pengukuran, pencatatan dan memindahkan data tersebut kekomputer untuk dianalisa kondisi bendungan, baik dari segi tampungan yang berguna untuk operasi dan segi rembesan dan muka air tanah di bawah bendungan sebagai bagian dari kewanaman bendungan. Rancang bangun peralatan ini diharapkan dapat menyederhanakan proses tersebut dengan pembacaan dilakukan oleh sensor ultrasonic.

Pembacaan data dapat disesuaikan dengan kebutuhan dari pembacaan per menit, jam, hari atau bulan sesuai dengan perintah yang disematkan dalam *mikrokontroller*. Data dapat disimpan dilokasi dengan menggunakan *logger* data atau sekaligus dikirimkan ke kantor pengamatan dan jika perlu dapat melakukan multi fungsi dengan menyimpan di lokasi, mengirim ke kantor pengamatan dan mengirim ke pusat control pengelola bendungan. Dengan bantuan tersebut tugas pengamat menjadi lebih sederhana yaitu dengan mengamati bendungan secara visual dan melakukan validasi terhadap data yang disajikan oleh alat pemantauan. Peralatan ini juga mampu menjadi bagian dari *early warning system* (ews) (Siahaan., et al., 2018).

## METODE PENELITIAN

Rancang bangun peralatan ini dilakukan dengan mengkaji kebutuhan pemantauan pada bendungan terutama pada pembacaan elevasi muka air. Dari hasil kajian ditemukan beberapa tempat yang membutuhkan pembacaan elevasi muka air secara sederhana namun memiliki peranan yang sangat penting pada operasi dan pemeliharaan bendungan, bahkan beberapa tempat seperti elevasi waduk, drainase kaki dan muka air tanah di bawah bendungan erat kaitannya dengan perilaku tubuh bendungan yang bermuara pada keamanan bendungan. Dengan meningkatkan kapasitas peralatan ini diharapkan pengelola bendungan dapat terbantu dan personil dilapangan dapat memiliki data yang baik sehingga pelaksanaan operasi, pemeliharaan dan pemantauan dapat lebih optimal. Berikut disajikan gambaran secara umum dasar pemikiran peralatan pembacaan elevasi pada instrumentasi bendungan pada gambar 1, Tahapan alur rencana rancang bangun peralatan.



Gambar 1. Tahapan alur rencana rancang bangun peralatan (Sumber: Penulis, 2023)

Bagian penting yang diperoleh dari pembacaan elevasi muka air pada beberapa instrumentasi tersebut adalah:

1. Saluran inlet bendungan, saluran ini dapat berupa sungai atau sudetan sungai yang diarahkan ke waduk. Kondisi debit pada saluran ini cukup penting untuk diketahui dengan pasti karena akan berpengaruh pada pelaksanaan operasi dan keamanan bendungan. Pada kegiatan operasi, data elevasi air (yang terdapat pada bangunan ukur) dapat di konversikan menjadi debit aliran. Debit aliran yang masuk ke waduk sebagai data yang berurutan sangat penting digunakan

untuk pelaksanaan dan perencanaan pola operasi bendungan. Dengan data yang baik neraca air dan alokasi air dapat dijalankan dengan tepat, tentunya dibarengi dengan data yang lainnya. Data debit ini juga dapat digunakan juga untuk kewanaman bendungan dengan memperkirakan tampungan waduk yang ada kemudian akan bertambah seberapa besar dari pengukuran inlet tersebut. Debit masuk besar yang berpotensi memenuhi tampungan waduk sampai dengan batas aman tampungan dapat memberikan peringatan dini kepada pengelola bendungan sehingga memiliki kesempatan untuk mengeluarkan air dari tampungan sehingga keseimbangan didalam tampungan bendungan dapat tercapai (Adamo., et al.,2021).

2. Tampungan bendungan atau waduk sangat terkait dengan aliran inlet tersebut di atas. Dengan mengetahui elevasi waduk dapat digunakan menjadi salah satu data yang dapat digunakan untuk pelaksanaan operasi dan kewanaman bendungan. Dengan data elevasi ini pengelola dapat memperkirakan volume yang ada pada waduk sehingga saat mengeluarkan air untuk air minum, irigasi, pembangkit listrik ataupun keperluan yang lainnya dapat terukur dengan baik sehingga kondisi surplus dan devisa dapat di atur sedemikian rupa sehingga disegi kebutuhan tercukupi sepanjang tahun dan dari segi kewanaman bendungan tetap dapat terjaga (Adamo., et al.,2021).
3. Drainase kaki, digunakan untuk membaca debit air yang merembes melalui tubuh bendungan. Kondisi rembesan air secara umum terjadi pada bendungan tipe urugan dan merupakan kondisi yang normal namun dengan catatan. Salahsatu catatan penting yang harus diperhatikan pada drainase kaki ini adalah debit air. Debit air pada saluran kaki berhubungan juga dengan kondisi tampungan waduk. Semakin besar air yang ditampung normalnya rembesan akan semakin banyak, sehingga pengamatan pada saluran kaki ini dapat juga dihubungkan dengan pembacaan muka air waduk. Kondisi tidak normal seperti debit air tiba-tiba menjadi besar tidak sesuai dengan tren yang biasanya terukur mengindikasikan ada kejadian tertentu pada tubuh bendungan. Dengan pemasangan alat ini kondisi ini dapat dideteksi secara dini baik dari kepemilikan data yang secara seri dan menerus sehingga dapat membuat pola tren naik turunnya debit air, sekaligus dapat dijadikan peralatan peringatan dini waspada terhadap keruntungan tubuh bendungan (Omafumi., et al, 2017)
4. Saluran outlet  
Pengeluaran air bendungan perlu dikendalikan dengan baik untuk menjaga kewanaman bendungan dan daerah hilir bendungan, sekaligus pemanfaatan air untuk menjaga neraca air dan alokasi air dapat berjalan sesuai dengan rencana. Kebutuhan air terutama untuk irigasi memiliki variasi yang cukup beragam, dari segi kebutuhan

tanaman yang berbeda, sampai dengan alokasi (faktor k) air jika kebutuhan irigasi tidak dapat dipenuhi secara ideal. Dengan peralatan ini data keluaran air dari bendungan dapat termonitoring dan dapat digunakan juga sebagai bagian dari perhitungan kondisi volume tampungan secara real time.

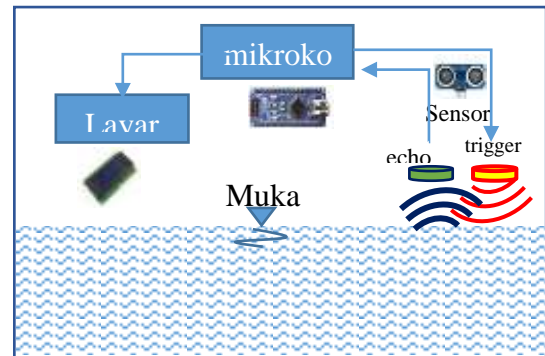
5. Sumur pantau muka air tanah  
 Pemantauan untuk kewanaman bendungan yang lainnya yang cukup sederhana namun dapat dijadikan salah satu representasi kondisi tubuh bendungan maupun kondisi pondasi bendungan adalah pemantauan muka air tanah di hilir bendungan. Dengan pemantauan ini kejadian abnormal dapat memberikan peringatan dini pada kejadian yang mungkin beresiko terhadap kewanaman bendungan.

Dari beberapa instrumen tersebut dapat membantu pengelola bendungan untuk pengambilan keputusan. Keputusan yang perlu diambil secara cepat antara lain untuk operasi bendungan (pemberian air) dan dalam kondisi darurat bendungan, selain itu data dapat dijadikan rujukan untuk pemeliharaan rutin dan berkala. Perlu tidaknya bendungan dilakukan pemeliharaan, memerlukan data pendukung yang dapat memastikan kondisi bendungan baik dari sisi tampungan sampai dengan keamanan bendungan.

### HASIL PENELITIAN

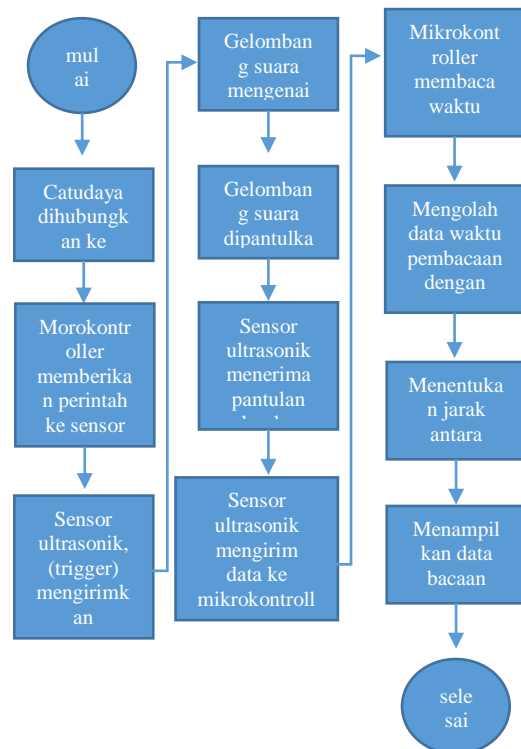
Hasil rancang bangun peralatan pada saat ini sampai dengan pembacaan sensor terhadap muka air dengan ditampilkan pada layar, dengan menggunakan peralatan antara lain;

*mikrocontroller arduino*, sensor ultrasonic dan layar LCD 6x24. Sistem kinerja peralatan dijelaskan dalam skema peralatan pada gambar. 2 berikut:



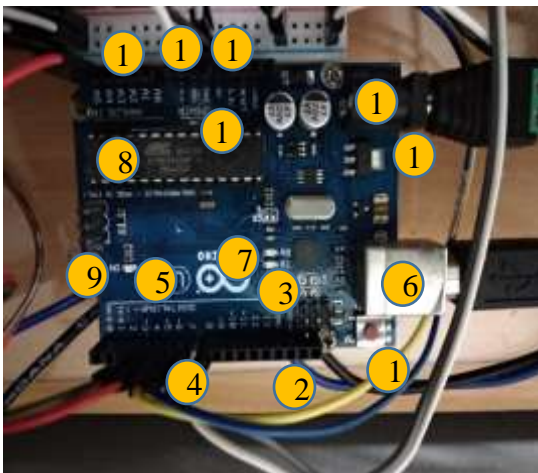
Gambar 2. Skema kerja peralatan pembaca muka air (Sumber: Penulis, 2023)

Dari gambar tersebut dijelaskan urutan kerja peralatan pada skema kerja alat gambar 3 sesuai diagram dibawah ini:



Gambar 3. Proses pembacaan muka air (Sumber: Penulis, 2023)

Pembacaan alat tentunya dengan dilakukan kalibrasi dengan mistar atau *peilscale* untuk mengetahui kesesuaian pengukuran dengan kondisi pemeriksaan manual. Didalam rancang bangun perlatan ini, ada dua tahapan yang cukup penting (1) skematik kabel antara sensor, layar dan mikrocontroller, (2) bahasa pemrograman dalam *mikrokontroller*. Skema kabel pada *mikrokontroller* disesuaikan dengan Pin yang terdapat pada *mikrokontroller* yang memiliki fungsi-fungsi tersendiri. Berikut dijelaskan pada gambar 4, contoh mikrokontroller arduino uno yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4. Mikrokontroller Arduino uno (Sumber: Dokumentasi penulis, 2023)

Adapun penjelasan tiap nomor di atas adalah:

1. Reset Button untuk restart program.
2. AREF. Referensi tegangan analog.
3. Ground Pin.
4. Digital Input/Output. Pin 0-13 untuk I/O digital.
5. PWM.
6. USB Connection. untuk kabel programmer USB.
7. TX/RX. Kirim/terima data.
8. ATmega328P.
9. Power LED Indicator.
10. Voltage Regulator.
11. DC Power Barrel Jack.
12. 3.3V Pin.

13. 5V Pin. Menyediakan tegangan 5V.
14. Ground Pin.
15. Analog Pin.

Bahasa pemrograman dengan *software arduino ide*, contoh penggunaan 3 sensor ultrasonik dan 2 layar pada satu *mikrokontroller* pada gambar 5 berikut ini:

```

Sensor_furva | Arduino 1.8.10
File Edit Sketch Tools Help

Sensor_furva

// defines pins numbers ultrasonic sensor1.
const int trigPin1 = 3;
const int echoPin1 = 4;

// defines variables sensor1
long duration1;
int distance1;

// defines pins numbers ultrasonic sensor2.
const int trigPin2 = 5;
const int echoPin2 = 6;

// defines variables sensor2
long duration2;
int distance2;

// defines pins numbers ultrasonic sensor3.
const int trigPin3 = 7;
const int echoPin3 = 8;

// defines variables sensor3
long duration3;
int distance3;

// define pins number:
int buzzerPin = 9;
int pinOutputBuzzer = 10;

// define pins number LCD pin A4 and A5
// Set the LCD address to 0x28 for a 16 chars and 2 line display using I2C
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

// Set the LCD address to 0x20 for a 16 chars and 2 line display
LiquidCrystal_I2C lcd(0x20, 16, 2); // Set the display data out pin as per I2C

#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Set the display data out pin as per I2C

```

Gambar 5. *Software* Bahasa pemrograman *Arduino ide* (Sumber: Dokumentasi penulis, 2023)



Gambar 6. Percobaan alat pada *flume* (Sumber: Dokumentasi penulis, 2023)

Gambar 6 di atas menunjukkan hasil pembacaan muka air yang dilakukan di *flume* laboratorium politeknik Pekerjaan Umum. Hasil pembacaan dengan kalibrasi mistar ukur didapatkan kesesuaian. Ketelitian pembacaan dapat diatur dalam satuan cm atau mm.

## KESIMPULAN

Penggunaan alat ini cukup praktis, murah dan dapat membantu pengelola bendungan untuk melaksanakan pengamatan bendungan. Hasil dari pengamatan tersebut sangat erat kaitannya dengan operasi dan pemeliharaan. Kebutuhan untuk membuat peralatan ini cukup sederhana antara lain mikrocontroller, sensor ultrasonik dan layar, jika ingin dikembangkan menjadi sistem telemetri perlu penambahan modul komunikasi GSM atau WIFI.

Peralatan ini pada dasarnya adalah peralatan yang terbuka (*opensource*) untuk dikembangkan dan banyak dijual di pasar dengan harga yang cukup terjangkau, sehingga sangat membuka peluang bagi pengelola bendungan untuk

berkreatifitas dan mengembangkan berbagai peralatan lainnya guna mendukung operasi, pemeliharaan dan pemantauan bendungan.

Dari hasil percobaan di laboratorium didapatkan peralatan dapat berkerja sesuai dengan pengukuran secara manual, bahkan dalam ketelitian milimeter. Namun, kemampuan untuk bertahan di lapangan dan seberapa lama peralatan ini dapat digunakan (*durability*) masih dalam tahapan perconaan. Pemilihan *mikrocontroller*, sensor dan layar mperlu lebih teliti melihat spesifikasi karena di pasar komponen tersebut memiliki variasi yang sangat banyak. Slahsatu contohnya sensor yang digunakan untuk dalam ruangan dan di luar ruangan berbeda tipe, begitujuga batasan ketelian dan jangkauan pengukuran.

## DAFTAR PUSTAKA

- A. P. U. Siahaan, Nogar Silitonga, Muhammad Iqbal, Solly Aryza, Wirda Fitriani, Zuhri Ramadhan, Zuraidah Tharo, Rusiadi, Rahmad Hidayat, H. A. Hasibuan, M. D. T. P. Nasution, Ali Ikhwan, Zulfi Azhar, Mhd. Irwan Dwitama Harahap, 2018 “Arduino Uno-based water turbidity meter using LDR and LED sensors” *International Journal of Engineering & Technology, International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4) (2018) 2113-2117,
- Adamo, Nasrat., Al-Ansari, Nadhir., Sissakian, Varoujan., Laue, Jan., Knutsson, Sven., 2021 “Dam Safety: Use of Instrumentation in Dams “*Journal of Earth Sciences*

- and Geotechnical Engineering, Vol.11, No.1, 2021, 145-202 ISSN: 1792-9040 (print version), 1792-9660 (online) <https://doi.org/10.47260/jesge/1115> Scientific Press International Limited,
- Budiharto Widodo, 2020 “Menguasai Pemrograman Arduino dan Robot”, <http://widodo.com/lecturer/Belajar-ArduinoWidodo.pdf>.
- Omafunmi O. E, Kolo J. G, Oladipo A. S, Diabana P. D, and Ojo A. S, 2017” A Review on Effects and Control of Seepage through Earth-fill Dam” Current Journal of Applied Science and Technology”, 22(5): 1-11, 2017; Article no. CJAST. 28538 Previously known as British Journal of Applied Science & Technology ISSN: 2231-0843, NLM ID: 101664541,
- U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, 2011 “Design Standards No. 13 Embankment Dams Chapter 5: Protective Filters Phase 4 (Final)” <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/designstandards-datacollectionguides/designstandards.html>
- U.S. Department of the Interior Bureau of Reclamation, 2014 “Design Standards No. 13 Embankment Dams Chapter 11: Instrumentation and Monitoring Phase 4 (Final)” <https://www.usbr.gov/tsc/techreferences/designstandards-datacollectionguides/designstandards.html>
- Wahyuningrum, Catur Ayu., Sari, Y. Chandra., Kresnanto, Nindyo Cahyo, 2019 “Building Information Modeling (BIM) for Dams-Literature Review and Future Needs” Journal of Civil Engineering Forum, January 2020, 6(1): 61-68, DOI 10.22146/jcef.51519,
- Willy, Riyanto Bambang Adi, Yudianto Doddi, Wicaksono Albert, 2020 “Application of TRMM Data to the Analysis of Water Availability and Flood Discharge in Duriangkang Dam” Journal of Civil Engineering Forum, January 2020, 6(1): 79-88, DOI 10.22146/jcef.51521,