

**PINTU AIR IRIGASI ELEKTROMEKANIS KOMBINASI ALIRAN ATAS DAN BAWAH**  
*ELECTROMECHANICAL IRRIGATION GATE WITH OVERFLOW  
AND UNDERFLOW COMBINATION*

**Oleh:**

**Susi Hidayah<sup>1)</sup>, Aditya Prihantoko<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>Balai Litbang Irigasi, Puslitbang Sumber Daya Air, Balitbang, Kementerian PUPR  
Jl. Cut Meutia Bekasi, Indonesia 17113

<sup>2)</sup>Balai Litbang Penerapan Teknologi Jalan dan Jembatan, Puslitbang Kebijakan dan Penerapan Teknologi,  
Balitbang, Kementerian PUPR  
Jl. Raya Waru No. 20 Waru Sidoarjo, Indonesia

Komunikasi Penulis, email: [hidayahsusi@gmail.com](mailto:hidayahsusi@gmail.com), [aprihantoko@gmail.com](mailto:aprihantoko@gmail.com)

Naskah ini diterima pada 6 September 2016; revisi pada 1 November 2016;  
disetujui untuk dipublikasikan pada 21 April 2017

**ABSTRACT**

*Discharge adjustment in an essential activity in irrigation network. This commonly done using underflow irrigation gate (e.g. sliding gate) which have disadvantages regarding the hydraulic property of flow and floating debris. The overflow irrigation gate (e.g. skot beam) can overcome this but is difficult to operate. It is necessary to combine the important features of both structures so that the disadvantages can be avoided. This paper explains results on the development of double flow sliding gate with underflow and overflow combination which is designed to overcome the undesired hydraulic properties (energy loss) and inaccuracies of flow measurement because of sedimentation. The gate was designed to be easily operated using a solar powered electromechanical system that can be monitored and controlled remotely. Additionally, the gate also built using alternative materials that are GFRP honeycomb composite. The method used is laboratory and field tests on the designed double flow irrigation gate. Physical test results showed the value of materials qualified with predicted loading on the gate. The hydraulic test provided that the gate can predict discharge accurately during water level of 10, 20, and 30 cm. The gate can also control discharge effectively to fulfill fluctuating water balance needs in the service area. This results could be used as a reference to apply the concept of double flow sliding gate which is stated in the Indonesia Irrigation Planning Criteria 08, 2013.*

**Keywords:** *gate, combination, overflow and underflow, GFRP, double flow sliding gate*

**ABSTRAK**

Pengaturan debit merupakan aktivitas penting dalam operasi jaringan irigasi. Hal ini umumnya dilakukan menggunakan pintu bukaan bawah (misalnya pintu sorong) yang memiliki kelemahan terkait sifat hidrolis aliran dan benda hanyut. Kelemahan ini tidak terjadi pada pintu bukaan atas (misalnya skot balok) namun tipe pintu ini sulit dioperasikan, untuk itu, diperlukan pintu air irigasi kombinasi aliran atas dan bawah sehingga kelemahan-kelemahan ini dapat dihindari. Makalah ini memaparkan hasil pengembangan pintu air irigasi elektromekanis kombinasi aliran atas dan bawah yang dapat mampu mengatasi permasalahan kehilangan energi dan ketidakakuratan bangunan ukur karena sedimentasi. Pintu ini didesain agar mudah dioperasikan menggunakan sistem elektromekanis bertenaga surya yang dapat dimonitor dan dikontrol dari jarak jauh. Selain itu, pintu dibuat menggunakan bahan alternatif komposit GFRP *honeycomb*. Metode yang dilakukan yaitu uji laboratorium dan lapangan terhadap desain pintu aliran atas dan bawah. Berbagai hasil uji menunjukkan bahwa pintu air secara fisik memenuhi nilai syarat pembebanan. Secara hidraulik, pintu dapat memberikan prediksi debit yang akurat pada kombinasi variasi tinggi muka air di atas ambang 10, 20, dan 30 cm. Pintu air ini juga dapat mengatur debit secara efektif untuk memenuhi perubahan kebutuhan air di areal layanan. Hasil penelitian ini dapat bermanfaat sebagai referensi konsep pintu air sorong ganda seperti yang terdapat dalam.

**Kata kunci:** *pintu air, kombinasi, aliran atas dan bawah, GFRP, pintu sorong ganda*

## I. PENDAHULUAN

Pelaksanaan operasi jaringan irigasi di Indonesia sebagian besar menggunakan pintu sorong. Pintu sorong ini termasuk dalam pintu pembilas bawah, yang mempunyai beberapa keunggulan antara lain tinggi muka air hulu dapat dikontrol dengan tepat, struktur kuat dan sederhana, serta sedimen yang diangkut oleh saluran hulu dapat melewati pintu bilas. Selain beberapa keunggulan tersebut, ada beberapa kelemahan dalam pelaksanaan operasi jaringan irigasi, yaitu kebanyakan benda-benda hanyut dapat tersangkut di pintu, dan yang paling utama kehilangan energi di hilir cukup besar (Binilang, 2014), hal ini cukup berpengaruh besar dalam pemberian air irigasi. Pintu skot balok yang termasuk pintu dengan aliran atas, yang kehilangan energinya cukup kecil juga memiliki beberapa kelemahan, diantaranya pemasangan dan pemindahan balok memerlukan banyak waktu serta ada kemungkinan dicuri orang atau dioperasikan oleh orang yang tidak berwenang.

Pengembangan bahan pintu air irigasi sudah dilakukan dengan bahan alternatif lain yang memiliki sifat tahan korosif, lebih ringan, ekonomis, namun secara kekuatan tetap mampu menahan beban operasional pintu air. Pintu air yang dikembangkan antara lain berbahan *Glass Fiber Reinforce Polymer (GFRP)* yang telah diteliti oleh Balai Irigasi pada tahun 2009, 2010, dan 2011. Menurut Tusi, Setiawan, & Sofiyuddin (2010) bahwa GFRP memiliki sifat yang baik sebagai bahan pintu air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa GFRP dengan ketebalan 10 mm dan bentang 50 cm memiliki modulus elastisitas 40.500 kg/cm<sup>2</sup>. Pengujian juga menunjukkan bahwa bahan ini memiliki defleksi yang memenuhi persyaratan pada saat pembebanan. Bahan lain yang dapat digunakan sebagai bahan pintu adalah panel sarang tawon (*honeycomb*). Menurut Prihantoko, Joubert, & Rahmandani (2015) bahwa penggunaan komposit GFRP dan *honeycomb* memiliki peluang sebagai pengganti baja dan kayu. Hasil pengujian laboratorium dan analisis beban untuk ukuran pintu 50 cm dan tinggi muka air maksimum 60 cm menunjukkan bahwa tipe kombinasi dengan ketebalan *honeycomb* 8 mm ini mampu menahan beban operasional pintu sebesar 440% dari beban hidrodinamik air sebesar 90 kg/cm<sup>2</sup>.

Pengoperasian jaringan irigasi dilaksanakan oleh mantri/juru secara manual. Selain keterbatasan sumber daya manusia, kendala pelaksanaan operasi sering dirasakan apabila lokasi pintu air jauh dari permukiman. Selama ini pintu irigasi yang dilengkapi penggerak menggunakan listrik

AC atau listrik PLN dalam operasinya. Selain itu sebaran lokasi infrastruktur irigasi di lokasi yang jauh dari akses listrik mengharuskan adanya inovasi penggunaan sumber energi alternatif serta kontrol otomatis.

Tenaga surya telah banyak digunakan secara luas di masyarakat, sehingga alternatif sumber energi ini tentunya juga sangat memungkinkan digunakan sebagai tenaga penggerak pintu air elektromekanis. Pemakaian solar panel sebagai sumber energi untuk irigasi antara lain untuk pompa irigasi tetes dilakukan kajian oleh Balai Irigasi (2015), untuk pompa di sumur bor, Aminuddin, Suwardji, & Basuki (2014), untuk pompa irigasi tetes, serta Sirait, Saptomo, & Purwanto (2015) pada rancang bangun sistem otomatisasi irigasi pipa lahan sawah berbasis tenaga surya. Hasan (2012) juga telah melakukan rancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Pulau Saugi untuk berbagai keperluan salah satunya untuk pompa irigasi. Kumar, Reddy, Adake, & Rao (2015) melaksanakan penelitian penggunaan tenaga surya sebagai sumber alternatif pompa irigasi tetes untuk meningkatkan efektifitas dan efisiensi irigasi.

Kontrol jarak jauh dalam pengelolaan irigasi juga sudah mulai dikembangkan beberapa tahun belakangan. (Zheng, Li, Wu, Ye, Ji, Deng, & Guo, 2011) menggunakan sistem pengelolaan irigasi berdasarkan *Wireless Sensor Network (WSN)*, *Global Positioning System (GPS)*, dan *Geographic Information System (GIS)* teknologi. *Personal Digital Assistant (PDA)* mengintegrasikan modul koordinator, modul GPS, dan modul *General Packet Radio Service (GPRS)*. Hal ini dapat memantau dan mengontrol WSN melalui koordinator ZigBee, mengumpulkan informasi pertanian dari node WSN, memperoleh informasi GPS dari masing-masing lokasi pengambilan sampel dan pertukaran data dengan *server* melalui GPRS. *Server* dapat mengawasi beberapa lokasi, pertukaran data, memvisualisasikan informasi dan menawarkan dukungan keputusan irigasi secara *real-time*.

Tulisan ini bertujuan untuk mengembangkan pintu air jenis pintu kombinasi aliran atas dan bawah yang mampu mengatasi permasalahan kehilangan energi, ketidakakuratan bangunan ukur karena sedimentasi, kemudahan operasi karena digerakkan secara elektromekanis. Tujuan lain yaitu agar pintu air dapat dimonitoring dengan kontrol jarak jauh dalam pelaksanaan operasi pintu, terutama pada lokasi yang jauh dari pemukiman dengan menggunakan sumber energi alternatif.

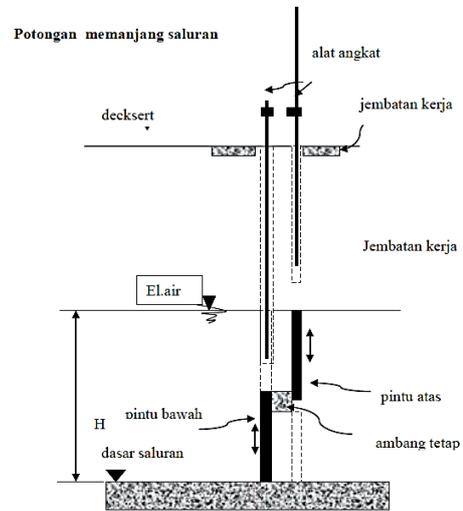
## II. TINJAUAN PUSTAKA

Pintu sorong memiliki gerbang geser vertikal yang beroperasi di dalam alur sponeng. Ujung tajam terdapat secara memanjang horisontal pada bagian bawah daun pintu air (Gambar 1). Bentuk ini merupakan bentuk ideal yang dipakai di laboratorium karena memberikan garis pemisah aliran yang baik. Namun demikian penggunaan secara luas pada pintu air biasanya tidak dibuat tajam. Fenomena lokal suatu aliran berupa loncat air (*hydraulic jump*) dapat terjadi di hilir pintu sorong yang merupakan kondisi aliran akibat dari peralihan aliran superkritik ke aliran kritis atau sub kritis. Proses peralihan tersebut mengakibatkan terjadinya kehilangan energi yang cukup besar (Binilang, 2014). Kehilangan energi aliran yang terjadi tergantung pada rasio antara kedalaman air sebelah hilir terhadap kedalaman sebelah hulu loncat air.

Kehilangan energi yang dimungkinkan terjadi pada jaringan irigasi dapat dikendalikan antara lain dengan merancang kemiringan saluran, pemilihan jenis bangunan air, pemilihan material, serta meminimalisir penyempitan mendadak misalnya titik pertemuan dengan boks, atau pilar jembatan. Pemilihan jenis bangunan pengatur salah satunya dengan penggabungan dua kondisi yang menguntungkan atau keunggulan pintu sorong dan ambang tetap diduga mampu memberikan keuntungan secara hidraulik pada pengaturan air di jaringan irigasi. Kriteria Perencanaan Irigasi 08 mengemukakan prinsip pengembangan pintu sorong ganda atau kombinasi aliran atas dan bawah.

Pintu kombinasi aliran atas dan bawah berdasarkan KP-08 tahun 2013 (Direktorat Irigasi dan Rawa, 2013b) seperti terlihat pada Gambar 2. Pemasangan pintu sorong ganda sebagai pintu pengatur elevasi air membutuhkan bangunan (beton) ambang tetap. Fungsi operasional pintu tipe ini adalah agar dapat mengatur elevasi muka air di sebelah hulu melalui bukaan atas (*overflow*) dalam kondisi debit air saluran masuk normal dan

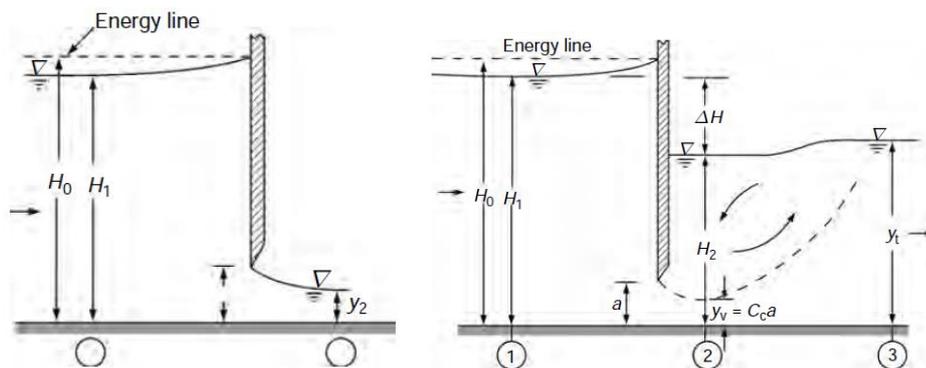
melalui bukaan bawah (*underflow*) bila keadaan debit air saluran masuk di bawah normal. Pengoperasian masing-masing pintu ini dilakukan secara independen. Karena daun pintu ganda difungsikan untuk mengatur keluaran air lewat atas dan lewat bawah, maka masing-masing pintu dapat dioperasikan naik-turun secara independen. Pintu yang digunakan sebagai pintu aliran atas juga berfungsi sebagai ambang untuk menaikkan tinggi muka air di hulu saluran.



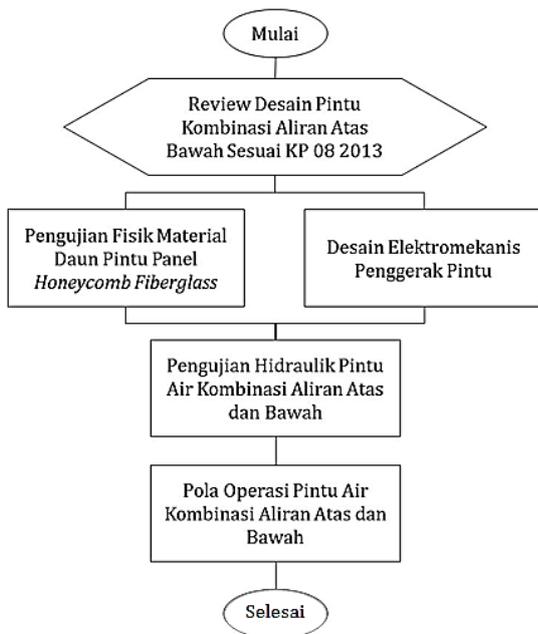
**Gambar 1** Pintu Air Sorong Ganda Kombinasi Aliran Atas dan Bawah (Direktorat Irigasi dan Rawa, 2013b)

## III. METODOLOGI

Penelitian dilakukan dengan menggabungkan keunggulan bangunan pengatur muka air yaitu pintu sorong dengan ambang tetap dan ditambahkan desain pengembangan penggerak elektromekanis. Pengujian dilakukan terhadap karakteristik bahan pintu air serta pengujian hidraulik. Berdasarkan neraca air di salah satu lokasi studi juga dilakukan simulasi operasi pintu air kombinasi aliran atas dan bawah sebagai acuan penggunaan pintu air. Secara garis besar metode penelitian yang dilakukan seperti pada Gambar 3.



**Gambar 2** Pintu Sorong Aliran Bebas (Kiri) dan Aliran Tenggelam (Kanan) (Sumber: Subramanya, 2009)



**Gambar 3** Bagan Alir Pelaksanaan Penelitian

Pintu air kombinasi atas dan bawah didesain berdasarkan hasil identifikasi kelemahan dan kelebihan pintu sorong, skot balok, dan pintu romijn. Pengembangan juga dilakukan pada mekanis pintu dengan kontrol elektromekanis, serta dilakukan uji laboratorium dan uji lapangan. Data primer yang digunakan adalah hasil uji pengaliran di laboratorium dan di lapangan.

Pengujian fisik dilakukan terhadap bahan pintu antara lain kuat lentur, MOE, kuat tarik, ketahanan aus, penyerapan air serta berat jenis. Pengujian dilakukan di Balai Bahan, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pemukiman, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR).

Pengujian hidrolika terhadap fisik pintu air dilakukan di Laboratorium Hidrolika, Balai Litbang Teknologi Irigasi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan jarak antar pintu serta ketinggian bukaan pada pintu aliran bawah untuk memperoleh kombinasi antara aliran atas dan aliran bawah yang paling optimal. Pengamatan dilakukan dengan pengukuran ketinggian air di hulu pintu dan di hilir pintu. Sesuai dengan KP-04 (Direktorat Irigasi dan Rawa, 2013) bahwa pengukuran dilakukan pada jarak antara 2 sampai 3 kali tinggi maksimum air. Tinggi maksimum air yang ada di depan pintu yaitu 50 cm, sehingga jarak pengukuran pintu di bagian hulu minimum sebesar 100 cm atau 1 meter dan pada jarak 150 cm atau 1,5 m dari pintu aliran bawah. Penempatan pintu kombinasi aliran atas dan bawah dapat dilihat pada Gambar 4. Bagian depan dan belakang pintu air dipasang *point gauge*

untuk mengukur ketinggian air. Pengujian pola operasi pintu air dilakukan dengan menggunakan variasi debit yang melewati saluran, dengan tiga ketinggian pintu aliran atas yaitu 10 cm, 20 cm, dan 30 cm. Variabel lain yang dibuat variasinya yaitu debit air di saluran ( $Q$ ), jarak antara pintu aliran atas dan bawah (3 variasi), dan tinggi bukaan pintu aliran bawah seperti terlihat pada Tabel 1. Jarak pada prototip optimum didapatkan berdasarkan hasil pengujian aliran tersebut.

**Tabel 1** Skenario Pengujian Hidraulik Pintu Kombinasi Aliran Atas Bawah

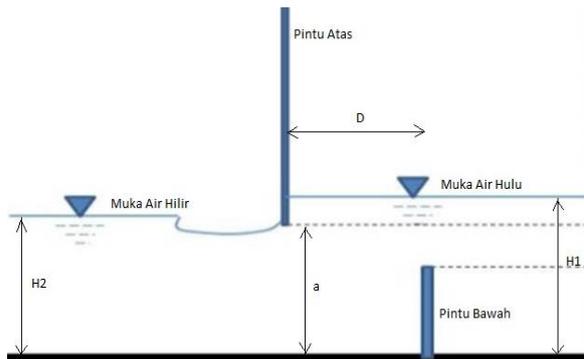
No	D (cm)	a (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	Q (lt/dt)	Cd
1		5,0	*	*		**
2	15	7,5	*	*		**
3		10,0	*	*		**
4		2,5	*	*		**
5	30	5,0	*	*	Q1	**
6		7,5	*	*		**
7		2,5	*	*		**
8	45	5,0	*	*		**
9		7,5	*	*		**
10		3,5	*	*		**
11	15	5,0	*	*		**
12		7,5	*	*		**
13		3,5	*	*		**
14	30	5,0	*	*	Q2	**
15		7,5	*	*		**
16		3,5	*	*		**
17	45	5,0	*	*		**
18		7,5	*	*		**
19		5,0	*	*		**
20	15	7,5	*	*		**
21		10,0	*	*		**
22		5,0	*	*	Q3	**
23	30	6,5	*	*		**
24		7,5	*	*		**
25	45	5,0	*	*		**
26		6,5	*	*		**

\*Diamati

\*\*Dihitung

Pengembangan mekanis pintu dengan kontrol elektromekanis dilaksanakan dengan melakukan identifikasi teknologi penggerak pintu, kemudian dianalisis kelebihan dan kekurangannya. Hasil analisis tersebut digunakan sebagai dasar

pengembangan mekanis serta kontrol elektromekanisnya, dan sumber tenaga yang digunakan.



**Gambar 4** Pengujian Hidrolika Pintu Air

Kajian terhadap pola operasi pintu aliran atas dan bawah menggunakan data pola operasi daerah irigasi (DI) Bondoyudo di Kabupaten Lumajang dan Kabupaten Jember yang merupakan DI kewenangan pusat dengan luas 11.784 Ha. Hasil kajian ini kemudian dibuat grafik hubungan antara debit air yang dibutuhkan dengan ketinggian air di saluran. Kebutuhan air dapat dilihat di neraca air yang ada di daerah irigasi tersebut.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### 4.1. Bahan Alternatif Pintu Air

Pintu air kombinasi dikembangkan dengan bahan alternatif selain besi dan kayu yaitu dengan bahan *Glass Fiber Reinforce Polymer* (GFRP). Pintu GFRP ini cukup baik kinerjanya di lapangan. Berdasarkan hasil pengamatan dan monitoring selama 4 tahun menunjukkan bahwa pintu masih berfungsi baik secara struktur dan fungsional. Pintu GFRP yang dikembangkan sebelumnya bersifat pejal sehingga untuk dimensi yang kecil cenderung berat jika dioperasikan, dan kekuatannya berlebih dalam meredam beban yang ada, oleh karena itu dikembangkan alternatif bahan pintu GFRP yang lebih ringan, namun tetap kuat secara struktur. Material pintu tidak bersifat pejal secara keseluruhan, namun digunakan komposit antara panel yang berbentuk seperti sarang tawon pada bagian dalam dan ditutup dengan panel GFRP pada bagian luar. Spesifikasi material pintu air ini disajikan pada Tabel 2.

Pengujian terhadap bahan alternatif pintu telah dilaksanakan oleh Prihantoko et al. (2015) di laboratorium Bahan Bangunan Puslitbang Permukiman. Pengujian kuat lentur dilakukan terhadap sampel bahan berukuran 500 mm x 150 mm x 10 mm. Selama pengujian berlangsung, sampel tidak mengalami patah tetapi hanya mengalami retakan kecil. Hal ini menunjukkan bahwa sifat bahan cukup elastis. Hasil pengujian

pintu dengan tebal panel 10 mm dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 2** Spesifikasi Pintu Air Komposit GFRP dan *Honeycomb* (Prihantoko et al., 2015)

No	Material	Spesifikasi	Dimensi
1	Panel <i>Honeycomb</i>	PP8-80	Tebal 8 mm
2	Panel GFRP	<i>Lantex Coremat XM</i>	Tebal 10 mm
3	Lapisan Pembuatan	<i>CSM E-Glass 450 TGI</i>	1 lapis
4	Matrix pengisi	<i>Yukalac 157 BQTN-EX</i>	

**Tabel 3** Hasil Uji Laboratorium Bahan Panel Pintu Komposit GFRP dan *Honeycomb* (Prihantoko et al., 2015)

No	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian
1	Kuat Lentur, rata-rata	kg/cm <sup>2</sup>	624
2	MOE, rata-rata	kg/cm <sup>2</sup>	5,9x 10 <sup>4</sup>
3	Kuat Tarik, rata-rata	kg/cm <sup>2</sup>	670,3
4	Ketahanan aus, rata-rata	mm/menit	0,090
5	Penyerapan Air, rata-rata	(%)	0,6
6	BJ, rata-rata	gr/cm <sup>3</sup>	0,9

Hasil pengujian menunjukkan pintu alternatif berbahan *fiber glass* dengan inti *Honeycomb* cukup mampu menahan beban yang bekerja pada pintu. Dengan kuat lentur 624 kg/cm<sup>2</sup> tersebut atau 6,24 ton/m<sup>2</sup>, maka pintu kuat menahan tekanan air sampai kedalaman 6,24 m.

Pengembangan desain digunakan 3 variasi ukuran ketinggian pintu sebagai pintu aliran atas, yaitu tinggi 10 cm, 20 cm dan 30 cm. Sedangkan pintu aliran bawah yang berfungsi mengalirkan debit sesuai kebutuhan air di hilir memiliki ketinggian 1 meter. Sistem penggerak pintu diletakkan di atas permukaan tanah agar dapat bergerak untuk menggerakkan pintu di bawahnya, hal ini bertujuan untuk meminimalisir kerusakan sistem akibat efek aliran air.

##### 4.2. Sistem Penggerak Pintu Air Elektromekanis Kombinasi Aliran Atas Bawah

Pengembangan penggerak pintu air adalah melengkapi kontrol elektromekanis. Hal ini untuk memudahkan pelaksanaan operasi jika lokasi pintu berada jauh dari permukiman serta untuk lebih mengefisiensikan waktu operasi. Konsep elektromekanis pintu menggunakan *pneumatic*

*linier* dengan kompresor sebagai pengangkat pintunya, serta monitoring data, dan perintah bukaan pintu akan menggunakan *website*. Desain elektromekanis pintu dapat dilihat pada Gambar 6. Berdasarkan hasil identifikasi teknologi pintu air didapatkan bahwa *pneumatic linier* dipilih sebagai penggerak pintu elektromekanis jika dibandingkan dengan motor listrik. Keunggulan *pneumatic linier* disajikan dalam Tabel 4.

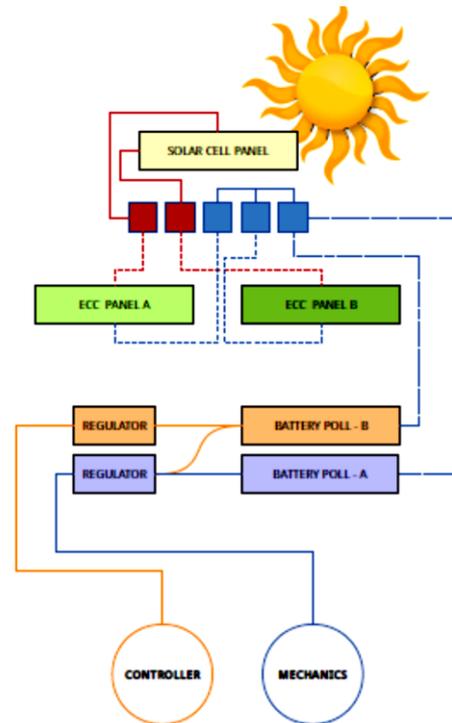
Tabel 4 menjelaskan perbedaan karakteristik penggunaan motor listrik dan *pneumatic linier*. Dari tabel tersebut terlihat secara efisiensi perubahan tenaga motor listrik lebih terlihat efisien, sedangkan dari sumber tenaga *pneumatic linier* mempunyai keunggulan karena hanya membutuhkan tenaga matahari dalam operasinya, sehingga lebih optimal.

Arus DC dari panel surya yang dibutuhkan oleh kompresor untuk menggerakkan *pneumatic linier* lebih optimal dibandingkan dengan arus DC (listrik PLN) yang dibutuhkan motor listrik, meskipun dibutuhkan tahapan yang lebih panjang, namun hal ini sesuai dengan tujuan awal agar pintu dapat dimonitor terutama untuk lokasi yang jauh dari permukiman dan sebagian besar belum tersedia arus listrik PLN.

Pengembangan sistem penggerak pintu elektromekanis (Gambar 6) dilakukan dengan menambahkan penggunaan 2 gir di kanan dan kiri panel pintu. Gir berputar searah jarum jam berfungsi membuka pintu serta menahan posisi pintu pada kondisi statis saat membuka. Penggerak elektromekanis menggunakan tenaga yang dihasilkan oleh solar panel dan untuk hidroliknya digerakkan oleh kompresor. Sumber catu daya (Gambar 5) menggunakan tenaga surya dengan daya 150 Wp per satu sistem, dan baterai yang digunakan 152 Ah.

Pengaturan bukaan pintu menggunakan beberapa tipe, yaitu manual, semi otomatis serta otomatis. Sistem kontrol elektromekanis pada pintu air

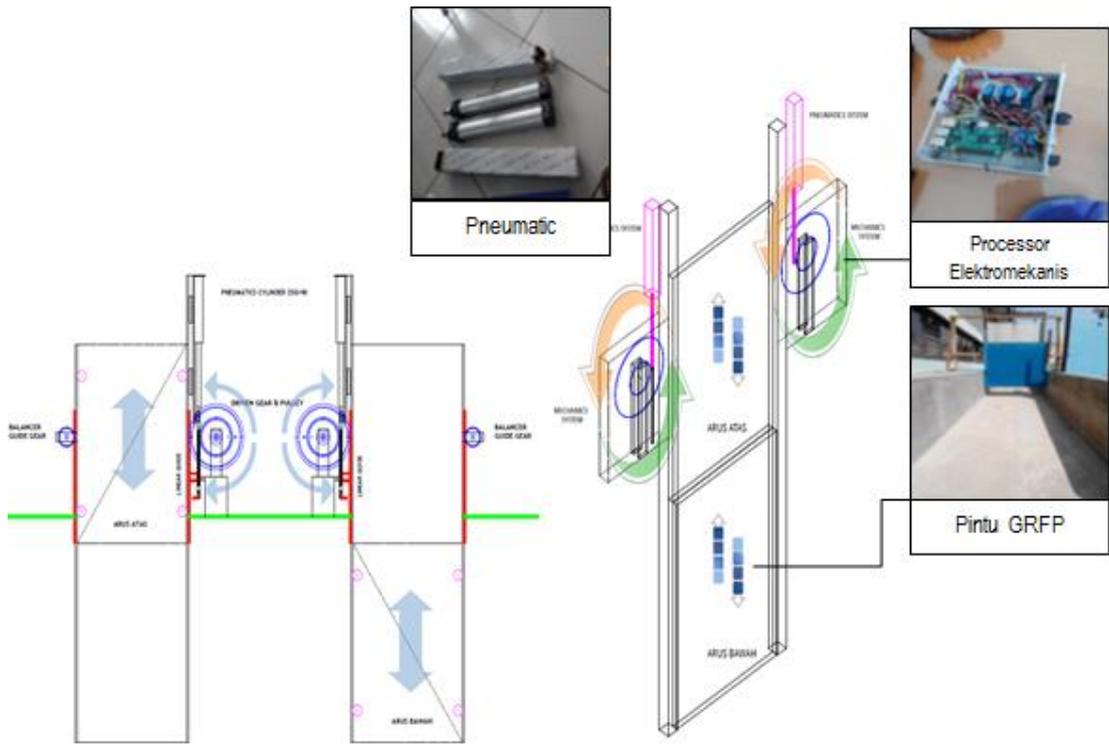
kombinasi aliran atas dan bawah ini menggunakan koneksi internet (*VPN connection*). Konsep operasi pintu ini seperti pada Gambar 7 memungkinkan tiga pilihan pengoperasian tersebut. Pengaturan pintu secara otomatis menggunakan data debit sebagai dasar operasi pintu, sehingga jika debit yang mengalir sudah sesuai yang direncanakan maka operasi pintu akan berjalan. Pengaturan dengan semi otomatis dilaksanakan jika terdapat permasalahan pada alat ukur debit yang digunakan sebagai dasar pengolahan data pada sistem otomatisnya. Pengaturan tipe ini akan menggunakan perintah secara manual namun dari jarak jauh (*remote system*) melalui *website*, sedangkan untuk pengaturan manual menggunakan tombol pada pintu air kombinasi aliran atas dan bawah.



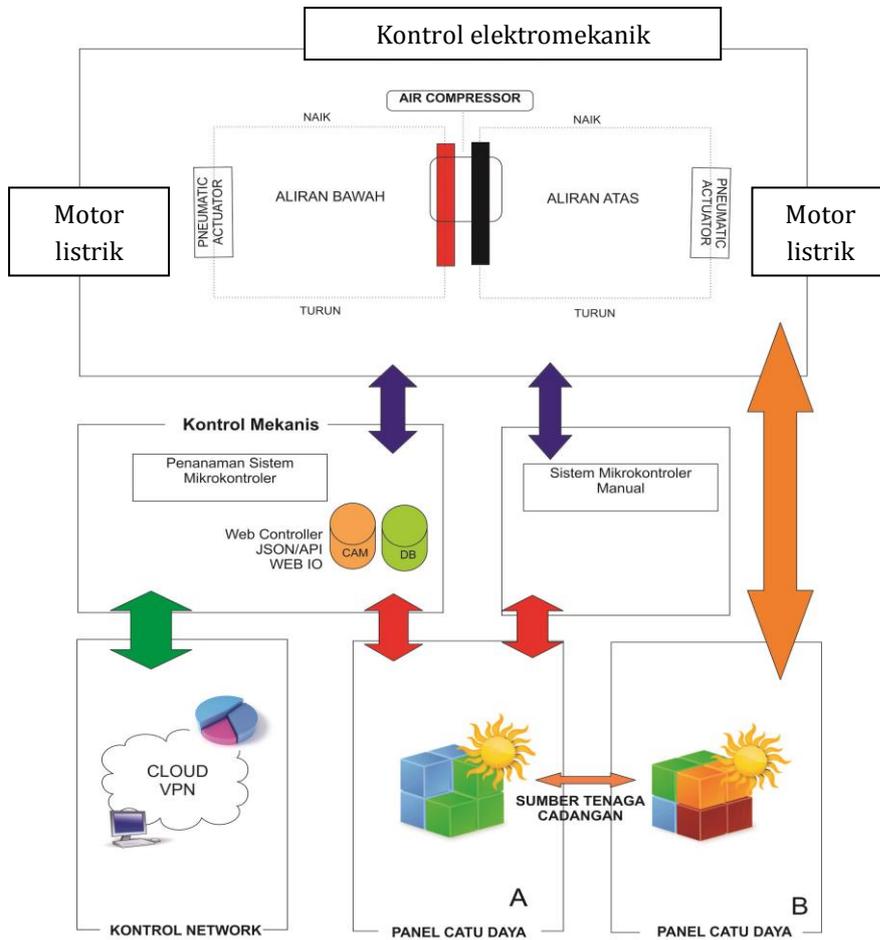
**Gambar 5** Konsep Sumber Catu Daya pada Pintu Air Kombinasi Aliran Atas dan Bawah

**Tabel 4** Perbandingan Motor Listrik dan *Pneumatic Linier*

No	Karakteristik	<i>Pneumatic Linier</i>	Motor listrik
1	Konsep peralatan	<i>Pneumatic</i>	Putaran mesin
2	Sumber tenaga	DC (Panel Surya)	AC ( Listrik PLN)
3	Efisiensi Tenaga	Mengubah tenaga dari solar panel ke kompresor (motor DC) kemudian ke tekanan angin untuk menggerakkan <i>pneumatic linier</i> .	Mengubah tenaga dari listrik PLN (AC) ke motor listrik (lebih efisien dari segi tenaga)
4	Kemudahan operasi	Mudah dioperasikan	Mudah dioperasikan
5	Pemeliharaan	Mudah dilaksanakan	Mudah dilaksanakan
6	Biaya Konstruksi	Lebih murah dibanding menggunakan motor listrik	Lebih mahal dibanding menggunakan <i>pneumatic linier</i>
7	Kegunaan	Pintu Ukuran Kecil	Pintu ukuran besar



**Gambar 6** Desain Pintu Elektromekanis Kombinasi Aliran Atas dan bawah



**Gambar 7** Konsep Elektromekanis Pintu Air Kombinasi Aliran Atas dan Bawah

### 4.3. Pola Operasi Pintu Air Kombinasi Aliran Atas Bawah

Berdasarkan hasil pengujian dengan variasi tinggi pintu bawah (10, 20, 30 cm), bukaan pintu atas (h), dan jarak pintu bawah terhadap pintu atas (D), didapatkan debit terukur di hilir pintu kombinasi aliran atas dan bawah.

**Tabel 5** Hasil Pengujian Pintu Kombinasi dengan Ambang Pintu Bawah 10 cm

No	Q (lt/dt)	D (cm)	h (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	Cd
1			5,0	17,9	3,0	0,813
2		15	7,5	16,0	5,0	0,668
3			10,0	16,2	4,8	0,586
4			2,5	30,9	2,1	1,096
5	48,51	30	5,0	16,1	4,2	0,877
6			7,5	16,2	4,5	0,660
7			2,5	31,0	2,2	1,094
8		45	5,0	16,0	4,2	0,881
9			7,5	16,0	4,2	0,668
10			3,5	39,3	2,5	1,007
11		15	5,0	25,3	3,6	0,936
12			7,5	20,0	5,1	0,795
13			3,5	39,2	2,5	1,008
14	70,05	30	5,0	31,4	2,9	0,821
15			7,5	18,2	5,4	0,859
16			3,5	37,9	2,8	1,027
17		45	5,0	23,4	3,9	0,983
18			7,5	18,4	5,4	0,852
19			5,0	45,9	3,3	1,002
20		15	7,5	33,3	4,1	0,841
21			10,0	26,0	6,3	0,801
22			5,0	43,0	3,3	1,040
23	106,45	30	6,5	34,4	4,0	0,933
24			7,5	27,6	5,3	0,953
25			5,0	42,6	3,4	1,045
26		45	6,5	33,8	3,9	0,943
27			7,5	28,9	5,0	0,924

Data hasil perhitungan untuk Cd pada Tabel 5, Tabel 6, dan Tabel 7 juga menunjukkan hasil perhitungan terhadap nilai koefisien Cd untuk masing-masing kombinasi antara variasi ketinggian pintu aliran atas, jarak antara pintu aliran atas dengan pintu aliran bawah serta tinggi

bukaan pintu aliran bawah. Perhitungan Cd menggunakan Persamaan 1.

$$Cd = \frac{Q}{b \cdot h \cdot (2g \cdot (H1 - h))^{0,5}} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- Cd = Koefisien Debit
- Q = debit (lt/dt)
- B = lebar pintu (cm)
- H = tinggi bukaan pintu (cm)
- H1 = tinggi air diatas ambang (cm)

Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan pintu yang memiliki nilai koefisien debit (Cd) yang mendekati nilai yang disarankan yaitu 0,94 ada pada kombinasi pintu dengan jarak antar pintu 30 cm. Untuk itu kombinasi yang dipilih untuk pemasangan pintu di lapangan adalah pada jarak 30 cm. Dengan nilai koefisien debit (Cd) mendekati nilai yang ada pada standar perencanaan KP-04 (Direktorat Irigasi dan Rawa, 2013a), maka pintu air memiliki tingkat akurasi pengukuran/ prediksi debit yang baik. Dari nilai tersebut maka pintu ini layak digunakan untuk pengaturan dan pengukuran air di dalam saluran. Hasil perhitungan nilai Cd ini kemudian akan digunakan untuk membuat grafik lengkung debit yang akan digunakan sebagai dasar pembuatan program bukaan pintu elektromekanis. Berdasarkan lengkung debit ini pula pintu akan dibuka dan ditutup sesuai kebutuhan debit air di hilir. Pintu ini memiliki kemampuan untuk mengukur debit sehingga tepat digunakan pada bangunan bagi dan atau sadap. Bangunan pengatur yang sekaligus sebagai pengukur yang terpasang pada masing-masing saluran tentunya diperlukan pada setiap percabangan.

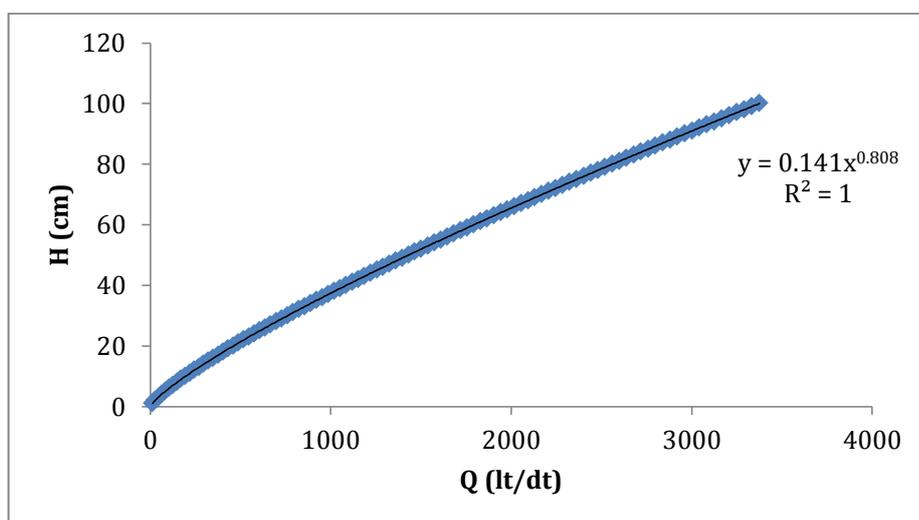
Hasil pengujian juga menunjukkan pintu air elektromekanis dapat berfungsi dengan baik pada saat kondisi saluran penuh. Hal ini menunjukkan kinerja pintu air dapat berfungsi optimal pada ketinggian maksimal satu meter. Untuk memudahkan operasional di tingkat lapangan dan juga keperluan otomatisasi pintu irigasi, maka perlu dibuat kurva hubungan antara rasio tinggi aliran di hulu pintu (h<sub>1</sub>) dan bukaan pintu (h) dengan koefisien debit (Cd). Terdapat perbandingan antara tinggi air di hulu pintu (H1) dalam cm dan debit yang dialirkan (Q) dalam satuan lt/dt. Lengkung debit pintu aliran atas dengan tinggi ambang 10 cm, 20 cm, dan 30 cm seperti pada Gambar 8, Gambar 9, dan Gambar 10.

**Tabel 6** Hasil Pengujian Pintu Kombinasi dengan Ambang Pintu Bawah 20 cm

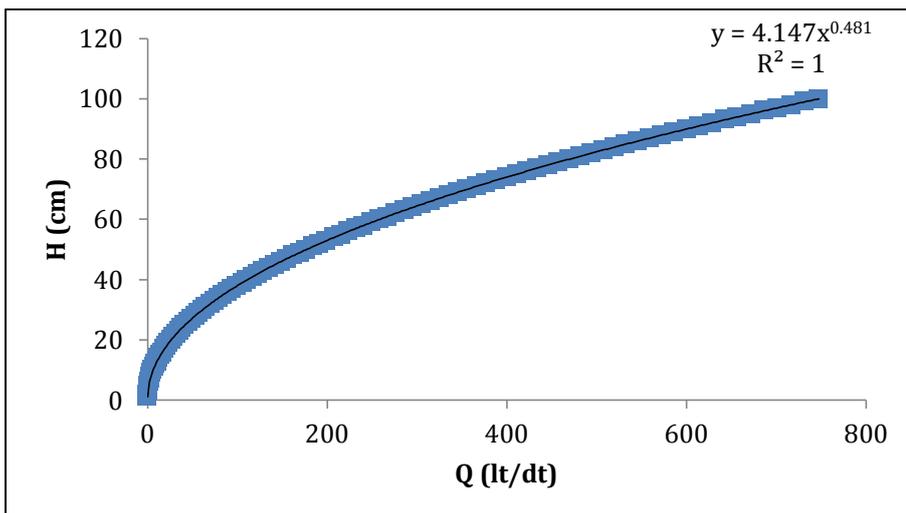
No	Q (lt/dt)	D (cm)	h (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	Cd
1	54,37	15	3,0	38,5	1,9	0,916
2			4,0	28,5	2,7	0,827
3			5,0	27,5	3,1	0,690
4	54,37	30	3,0	36,7	2,0	0,940
5			4,0	28,0	3,5	0,835
6			5,0	27,9	3,7	0,684
7	54,37	45	3,0	37,1	2,0	0,934
8			4,0	28,2	4,2	0,832
9			5,0	28,2	4,2	0,680
10	88	15	5,0	41,8	3,0	0,873
11			7,5	32,6	4,1	0,705
12			9,5	30,7	4,2	0,606
13	88	30	4,0	50,2	2,4	0,974
14			5,0	37,5	3,0	0,929
15			7,5	30,5	4,7	0,736
16	88	45	4,0	49,0	2,5	0,987
17			5,0	36,7	3,3	0,941
18			7,5	30,8	5,5	0,732
19	125,14	15	9,5	40,5	4,7	0,712
20			12,0	40,6	4,5	0,587
21			15,0	36,9	4,8	0,537
22	125,14	30	7,5	41,4	4,0	0,863
23			9,5	36,5	5,0	0,763
24			12,0	33,4	6,9	0,679
25	125,14	45	5,0	45,4	3,7	1,186
26			7,5	33,7	6,6	0,981
27			9,5	33,8	6,6	0,804

**Tabel 7** Hasil Pengujian Pintu Kombinasi dengan Ambang Pintu Bawah 30 cm

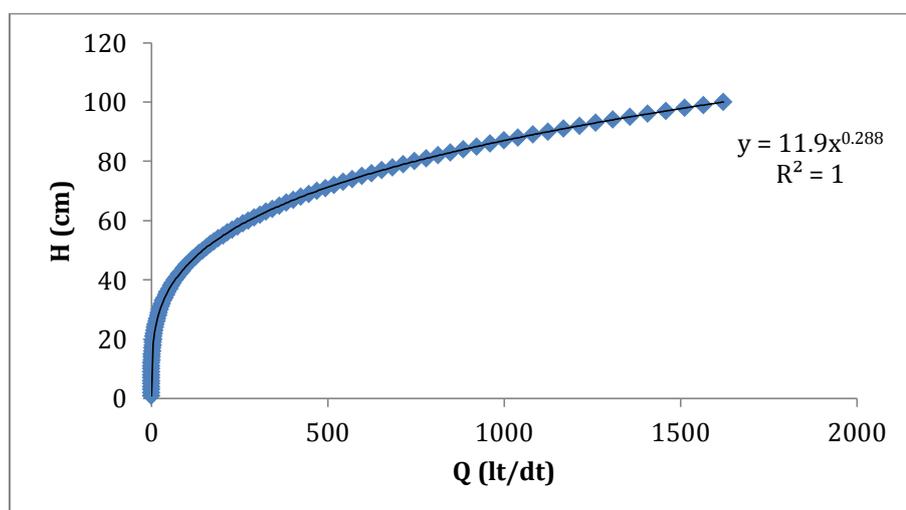
No	Q (lt/dt)	D (cm)	h (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	Cd
1	54,37	15	3,2	39,5	2,2	0,849
2			4,0	37,2	2,5	0,710
3			5,0	37,5	2,8	0,575
4	54,37	30	3,2	39,5	2,0	0,849
5			4,0	37,8	2,2	0,704
6			5,0	38,2	2,6	0,568
7	54,37	45	3,2	37,9	2,3	0,868
8			4,0	38,0	3,3	0,702
9			5,0	38,2	2,8	0,568
10	84,47	15	4,0	52,1	2,3	0,917
11			5,0	42,1	2,9	0,835
12			7,0	41,2	3,4	0,622
13	84,47	30	4,0	49,0	1,7	0,948
14			5,0	41,3	3,2	0,844
15			7,0	39,8	2,7	0,634
16	84,47	45	4,0	47,6	1,8	0,963
17			5,0	40,9	4,1	0,849
18			7,0	40,8	3,0	0,625
19	117,14	15	8,5	46,7	3,3	0,671
20			9,8	44,4	4,2	0,612
21			12,5	43,6	4,7	0,506
22	117,14	30	7,0	47,9	3,2	0,788
23			8,5	44,5	3,8	0,692
24			9,8	42,1	4,1	0,633
25	117,14	45	6,5	42,6	5,6	0,903
26			7,0	47,0	3,7	0,796
27			8,5	42,8	5,0	0,708



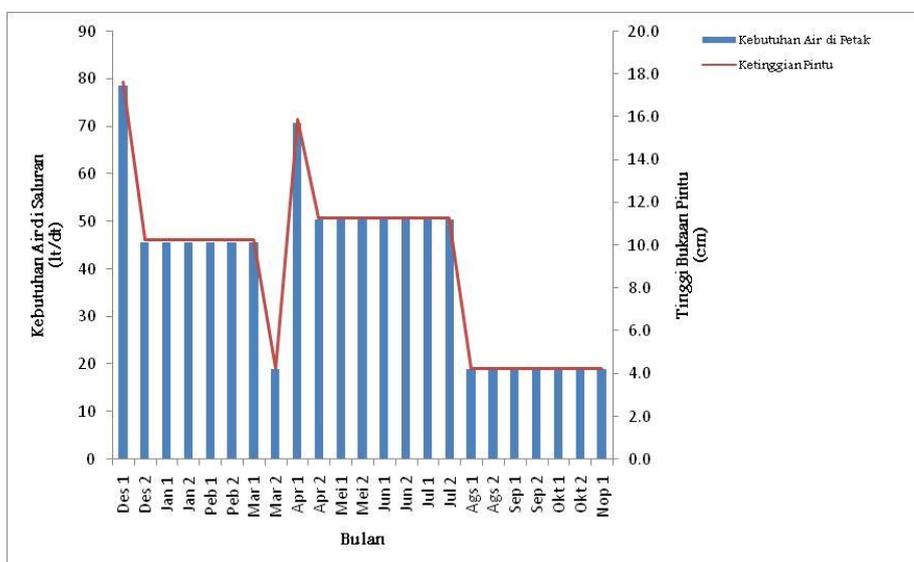
**Gambar 8** Lengkung Debit Pintu Kombinasi dengan Tinggi Pintu Bawah 10 cm



Gambar 5 Lengkung Debit Pintu Kombinasi dengan Tinggi Pintu Bawah 20 cm



Gambar 10 Lengkung Debit Pintu Kombinasi dengan Tinggi Pintu Bawah 30 cm



Gambar 6 Grafik Kebutuhan Air Setiap Periode serta Tinggi Buka-an Pintu

Pola operasi pintu air kombinasi berdasarkan neraca air di lokasi studi yaitu Saluran Sekunder Rejoagung DI Bondoyudo. Neraca tersebut digunakan untuk menentukan kebutuhan air di saluran. Dengan diketahuinya kebutuhan air di saluran maka dapat diketahui tinggi bukaan pintu yang dibutuhkan agar debit yang melalui pintu sesuai dengan debit yang dibutuhkan oleh petak-petak tersier. Luas petak tersier yang dialiri seluas 63 Ha dengan lebar saluran 75 cm. Gambar 11 menunjukkan kebutuhan air serta bukaan pintu pada waktu tertentu.

Pada Gambar 11 dapat dilihat bahwa bukaan tinggi pintu yang dimaksud adalah pintu aliran bawah. Tinggi bukaan pintu disesuaikan dengan kebutuhan air yang ada di hilir. Kebutuhan air tinggi pada saat tahap pengolahan lahan dan kebutuhan air sedikit saat tahap panen. Dari neraca air di daerah irigasi yang ada juga memperlihatkan bahwa penggunaan air dengan metode giliran. Metode giliran yang selama ini diterapkan sudah cukup baik artinya pembagian air masih belum bisa dikatakan baik karena masih ada beberapa petani yang tidak mendapatkan air. Pola operasi yang baik diharapkan mampu mengatasi permasalahan tersebut.

Pola operasi yang kurang baik pada pintu air mengakibatkan tidak meratanya pembagian air di suatu daerah irigasi. Pola operasi pintu yang dimaksud disini adalah dibuka dan ditutupnya pintu untuk mengalirkan air ke petak-petak sawah. Debit yang masuk ke saluran berpengaruh juga pada pola operasi pintu. Tinggi muka air yang terjadi di hulu dan hilir pintu berdasarkan pada pola operasi pintu yakni saat dibuka dan ditutupnya pintu dan dipengaruhi oleh kondisi saluran. Pintu kombinasi aliran atas dan bawah dioperasikan dengan pintu depan sebagai ambang yang meninggikan muka air di hulu saluran dan pintu aliran bawah berfungsi mengalirkan air sesuai dengan kebutuhan air di hilir.

## V. KESIMPULAN

Pintu elektromekanis kombinasi aliran atas bawah ini dapat menjadi inisiasi mengatasi permasalahan kehilangan energi, ketidakakuratan bangunan ukur karena sedimentasi. Pintu ini dapat digerakkan secara elektromekanis untuk mempermudah operasi, serta dapat dilakukan monitoring dan kontrol jarak jauh untuk tetap melakukan operasi pintu pada lokasi yang jauh dari pemukiman. Rekayasa pintu ini sesuai usulan KP 08 (Direktorat Irigasi dan Rawa, 2013b) dengan inovasi elektromekanis pintu. Pintu kombinasi aliran atas dan bawah dapat dioperasikan secara independen sekaligus memberikan prediksi debit yang baik pada pintu

kombinasi dan jarak antar pintu berdasarkan hasil pengujian di laboratorium disarankan 30cm. Pola operasi penggunaan pintu kombinasi aliran atas dan bawah di daerah irigasi dapat ditentukan dari neraca air sehingga didapat grafik kebutuhan air setiap periode serta prediksi tinggi bukaan pintu. Namun demikian masih diperlukan pengembangan lanjutan dengan perbaikan sistem penggerak yang lebih stabil dan melengkapi dengan selot pengunci. Pengembangan lanjutan pintu air ini masih diperlukan terutama pada sistem penggeraknya. Penggunaan sistem *pneumatic* memiliki kekurangan diantaranya adalah sensitif terhadap kebocoran fluida. Jika terjadi kebocoran fluida sedikit saja maka sistem ini tidak bisa bekerja. Sistem penggerak pintu juga belum dilengkapi dengan selot pengunci sehingga pada saat konstan silinder *pneumatic* masih harus menahan beban.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kepala Balai Litbang Teknologi Irigasi dan segenap tim laboratorium hidrolika Balai Litbang Teknologi Irigasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Aminuddin, Suwardji, & Basuki E. (2014). Rancang bangun alat penyiraman tanaman otomatis dengan sistem irigasi tetes berbasis pompa energi surya dari sumber air sumur tanah dalam pada lahan kering. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 2(2), 79-86.
- Balai Litbang Teknologi Irigasi. (2015). *Penelitian Komponen Struktur Jaringan Irigasi* (Laporan Akhir). Bekasi: Balai Irigasi, Puslitbang SDA, Balitbang, Kementerian PUPR.
- Binilang, A. (2014). Perilaku hubungan antar parameter hidrolis air loncat melalui pintu sorong pada saluran terbuka. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(1), 41-44.
- Direktorat Irigasi dan Rawa. (2013a). *Standar Perencanaan Irigasi - Bagian Bangunan (KP-04)*. Jakarta: Direktorat Irigasi dan Rawa, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Direktorat Irigasi dan Rawa. (2013b). *Standar Perencanaan Irigasi - Bagian Perencanaan, Pemasangan, Operasi dan Pemeliharaan Pintu Pengatur Air (KP-08)*. Jakarta: Direktorat Irigasi dan Rawa, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Hasan, H. (2012). Perancangan pembangkit listrik tenaga surya di Pulau Saugi. *Jurnal Riset dan Teknologi Kelautan*, 10(2), 169-180.
- Kumar, M., Reddy, K.S., Adake, R.V., & Rao, C.V.K.N. (2015). Solar powered micro-irrigation system for small holders of dryland agriculture in India.

- Agricultural Water Management*, 158, 112-119. DOI: 10.1016/j.agwat.2015.05.006
- Prihantoko A., Joubert, M.D., & Rahmandani, D. (2015). Penggunaan material komposit sebagai komponen pintu air alternatif. *Jurnal Irigasi*, 10(1), 49-56.
- Sirait, S., Saptomo, S.K., & Purwanto, M.Y.J. (2015). Rancang bangun sistem otomatisasi irigasi pipa lahan sawah berbasis tenaga surya. *Jurnal Irigasi*, 10(1), 21-32.
- Subramanya, K. (2009). *Flow in Open Channel*. Singapura: McGraw-Hill International.
- Tusi A., Setiawan, B.I., & Sofiyuddin, H.A. (2010). Pengembangan pintu air GFRP (Glass Fiber Reinforce Plastic). *Jurnal Irigasi*, 5(1), 57-67.
- Zheng, L., Li, M., Wu, C., Ye, H., Ji, R., Deng, X., & Guo, W. (2011). Development of a smart mobile farming service system. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(3-4), 1194-1203. DOI: 10.1016/j.mcm.2010.11.053