

PENGGUNAAN MATERIAL KOMPOSIT SEBAGAI KOMPONEN PINTU AIR ALTERNATIF

THE USE OF COMPOSITES MATERIAL AS AN ALTERNATIVE WATER GATE COMPONENT

Oleh:

Aditya Prihantoko¹⁾, Marasi Deon Joubert¹⁾, Dadan Rahmandani¹⁾

¹⁾Balai Irigasi, Puslitbang SDA Kementerian PU

Jl. Cut Meutia Kotak Pos 147, Bekasi 17113, Indonesia

Komunikasi Penulis, email: adityaprihantoko@yahoo.co.id; marasidj@yahoo.com,
dadan_wong@yahoo.co.id

Naskah ini diterima pada 4 Desember 2014; revisi pada 27 Februari 2015;

Disetujui untuk dipublikasikan pada 31 Maret 2015

ABSTRACT

Irrigation network operation is an important part of the irrigation management system. Operating on an irrigation area (DI) requires the performance of human resources (jurupengairan) and divider building infrastructure, in this case irrigation water gate, in a good performance. Water gate material is mostly made up of steel or wood which is susceptible to damage and theft. As alternative material of sluice, can be considered the use of composite material which has an advantage can save cost and makes the lighter material is used as an opportunity for alternative irrigation water gate. So it is necessary to research on material other than steel or wood. The methodology that used in this study was test several alternative types of composite material to be used as irrigation water gate in the laboratory and then conduct an analysis of water gate loading. Results of laboratory testing and analysis of the load for a water gate with 50 cm width and maximum height of water about 60 cm showed that type 1, 2 and 3 are able to withstand the load of more than 1000%, 440 % and 320 %, respectively of the load. These results indicate that a composite is strong enough if used as an alternative material for water gate.

Keywords: *Irrigation network operations, water gate, composite, fibre, honeycomb*

ABSTRAK

Operasi jaringan irigasi merupakan salah satu bagian penting dari sistem pengelolaan irigasi. Operasi pada suatu daerah irigasi (DI) menuntut kinerja sumber daya manusia (juru pengairan) dan infrastruktur bangunan pembagi, dalam hal ini pintu irigasi yang handal. Material pintu yang pada umumnya terdiri dari material baja dan kayu, yang rentan terhadap kerusakan dan pencurian. Sebagai material alternatif pintu irigasi, dapat dipertimbangkan penggunaan material komposit yang mempunyai keuntungan, yakni: biaya lebih murah dan material lebih ringan sehingga mudah dipasang. Untuk itu, perlu dilakukan penelitian tentang material pintu menggunakan material komposit, selain kayu atau besi. Metodologi yang digunakan dalam kajian ini adalah dengan melakukan pengujian beberapa alternatif tipe material komposit yang akan digunakan sebagai pintu air irigasi di laboratorium dan kemudian melakukan analisis terhadap pembebanan pintu air. Hasil pengujian laboratorium dan analisis beban untuk ukuran pintu 50 cm dan tinggi maksimum air 60 cm menunjukkan bahwa tipe 1, 2, dan 3 mampu menahan beban lebih dari 1000%, 440%, dan 320% dari beban yang bekerja. Hasil tersebut menunjukkan bahwa material komposit cukup kuat dan aman untuk digunakan sebagai material alternatif pintu air.

Kata Kunci : *Operasi jaringan irigasi, pintu air, komposit, fiber, sarang lebah*

I. PENDAHULUAN

Menurunnya kinerja jaringan irigasi disebabkan oleh beberapa faktor, diantaranya adalah: akibat umur dan kondisi jaringan, kurang optimalnya operasi dan pemeliharaan serta keterbatasan sumber daya manusia (SDM) pengelola jaringan irigasi. Pelaksanaan operasi jaringan irigasi semakin lama dirasakan juga semakin menurun kualitasnya, baik akibat kurangnya sarana pendukung maupun sumber daya manusia yang terbatas.

Operasi jaringan irigasi merupakan salah satu bagian penting dari sistem pengelolaan irigasi. Operasi pada suatu daerah irigasi (DI) menuntut kinerja sumber daya manusia (juru pengairan) dan infrastruktur bangunan pembagi, dalam hal ini pintu irigasi yang handal. Operasi jaringan irigasi harus dilakukan secara efektif dan efisien agar air irigasi dapat diberikan secara adil dan merata serta sesuai dengan kebutuhan waktu, ruang, jumlah dan mutu ("warung jamu"). Namun jika kondisi pintu air irigasi tidak dapat dioperasikan secara baik, maka pemberian air tidak akan berjalan secara optimum.

Material pintu yang kebanyakan terdiri dari material baja dan kayu rentan terhadap kerusakan dan pencurian. Beberapa sumber media massa baik cetak maupun elektronik serta hasil observasi lapangan menunjukkan bahwa hampir sebagian besar pintu air irigasi dalam kondisi rusak dan perlu dilakukan upaya pengembangan bahan alternatif pengganti bahan pintu irigasi yang dipakai saat ini. Kondisi pintu yang berfungsi optimal hanya ditemukan pada Daerah Irigasi yang pelaksanaan perbaikannya dilaksanakan kurang dari lima tahun.

Smith, W.F, and Jayad (2006) menyatakan bahwa material komposit merupakan sebuah sistem material yang tersusun atas kombinasi dari dua atau lebih material penyusun mikro atau makro dengan lapisan pemisah diantara mereka yang berbeda dalam bentuk maupun susunan kimiawinya dan tidak larut/dapat dipecahkan secara esensial antara satu dengan material penyusun lainnya. Tujuan dari dibentuknya material komposit adalah untuk: memperbaiki sifat mekanik atau sifat spesifik tertentu, mempermudah desain yang sulit pada manufaktur, keleluasaan dalam bentuk atau desain yang dapat menghemat biaya, serta menjadikan material lebih ringan.

Beberapa penelitian terkait bahan menunjukkan hasil bahwa material komposit dapat membantu peningkatan kemampuan menahan beban tekan (Stocchi A, et.all, 2014), dapat meningkatkan sifat

struktural pada struktur yang tipis (Shi S, et.all, 2014), mampu meningkatkan tegangan dan regangan pada material (Liu L, et.all, 2014). Pengujian material komposit sebagai balok jembatan juga menunjukkan bahwa material komposit tersebut dapat meningkatkan daktilitas (keliatan) struktur tersebut (Kwan, W.H dan Ramli M, 2013).

Material komposit yang dapat menghemat biaya dan menjadikan material lebih optimal merupakan peluang untuk digunakan sebagai material alternatif pintu irigasi. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian tentang material pintu komposit selain dari material kayu atau besi yang mudah terjadi korosi dan untuk menghindari kasus pencurian.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pintu Irigasi

Ada beberapa jenis pintu irigasi seperti terlihat pada gambar 1, seperti pintu sorong, pintu rangkap, radial, dan sebagainya. Pintu Sorong dipakai sampai dengan tinggi maksimum 3 m dengan lebar tidak lebih dari 3 m. Pintu tipe ini hanya digunakan untuk bukaan kecil, karena untuk bukaan yang lebih besar alat-alat angkatnya akan terlalu berat untuk menanggulangi gaya gesekan pada *sponeng*.

Pintu Rangkap adalah pintu sorong/rol yang terdiri dari dua pintu, yang tidak saling berhubungan, yang dapat diangkat atau diturunkan. Oleh sebab itu, pintu-pintu ini dapat melewati debit tertentu (*overflowing discharge*) dan debit dasar (*bottom discharge*). Keuntungan dari pemakaian pintu ini adalah dapat dioperasikan dengan alat angkat yang lebih ringan.

Pintu Segmen atau Radial memiliki keuntungan bahwa tidak ada gaya gesekan yang harus diperhitungkan. Oleh karena itu, alat-alat angkatnya bisa dibuat kecil dan ringan.

Pintu sorong merupakan alat pengatur debit yang umum digunakan dan direkomendasikan dalam Kriteria Perencanaan Irigasi/KP-04 (Direktorat Irigasi, 2013). Alat ini mempunyai beberapa kelebihan di antaranya tinggi muka air hulu dapat dikontrol dengan tepat, pintu bilas kuat dan sederhana serta sedimen yang diangkut dapat melewati pintu (Direktorat Irigasi, 2013). Namun demikian, pintu sorong memiliki beberapa kekurangan di antaranya fluktuasi tinggi air dapat cukup berpengaruh pada debit yang dialirkan (Horst, 1996). Fluktuasi tinggi air di jaringan irigasi umumnya diakibatkan oleh pola giliran air, perubahan debit *intake* bendung,

perubahan dimensi saluran (karena sedimentasi, tumbuhan, dan sebagainya) atau pengoperasian pintu ilegal (Horst, 1996).

Ada beberapa hal yang harus dipertimbangkan dalam merencanakan pintu, beberapa faktor yang harus dipertimbangkan (KP-02, 2013) adalah beban yang bekerja pada pintu, alat pengangkat (tenaga mesin atau manusia), kedap air atau sekat, serta material bangunan (material pintu).

Apabila suatu benda berada di dalam zat cair yang diam, maka akan mengalami gaya hidrostatis yang diakibatkan oleh tekanan zat cair. Tekanan tersebut bekerja tegak lurus terhadap permukaan benda. Gaya hidrostatis yang bekerja pada benda tersebut, dipengaruhi oleh bentuk permukaan benda. Gaya hidrostatis pada bidang datar tegak (Gambar 2), dapat ditentukan sebagai berikut :

$$F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot g \cdot h^2 \cdot B \dots\dots\dots (1)$$

$$a_t = \frac{2}{3} \cdot h \dots\dots\dots (2)$$

Dimana, F : gaya hidrostatis, a_t : titik tangkap gaya hidrostatis diukur dari permukaan air, h : kedalaman air, dan B : lebar bidang yang ditinjau tegak lurus bidang Gambar.

Harga pasti untuk gaya hidrodinamik jarang diperlukan karena pengaruhnya kecil saja pada jenis bangunan yang digunakan di jaringan irigasi. Prinsip gaya hidrodinamik adalah bahwa

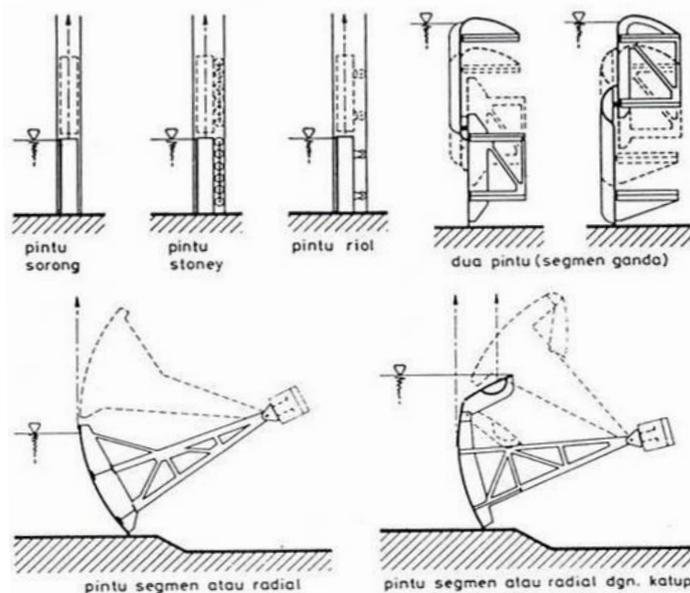
jika kecepatan datang (*approach velocity*) cukup tinggi dan oleh sebab itu tinggi energi besar, maka akan terdapat tekanan yang makin besar pada bagian-bagian dinding.

2.2. Material Komposit

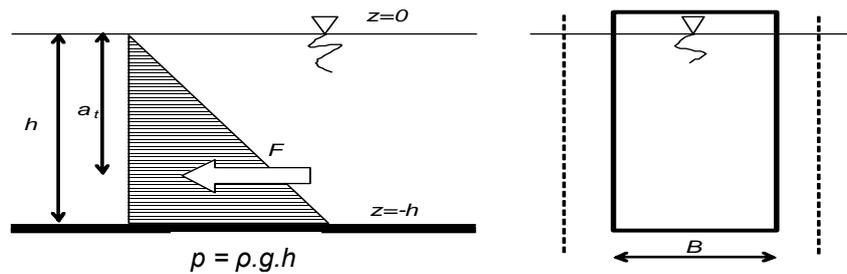
Smith, W.F, and Jayad (2006) menyatakan bahwa material komposit merupakan sebuah sistem material yang tersusun atas kombinasi dari dua atau lebih material penyusun mikro atau makro dengan lapisan pemisah diantara mereka yang berbeda dalam bentuk maupun susunan kimiawinya dan tidak larut/dapat dipecahkan secara esensial antara satu dengan material penyusun lainnya.

Beberapa jenis material komposit yang penting dalam dunia keteknikan dan kehidupan kita adalah beton, *fiberglass* (*Fibre-reinforced Plastics*), Aspal, Kayu, dan sebagainya.

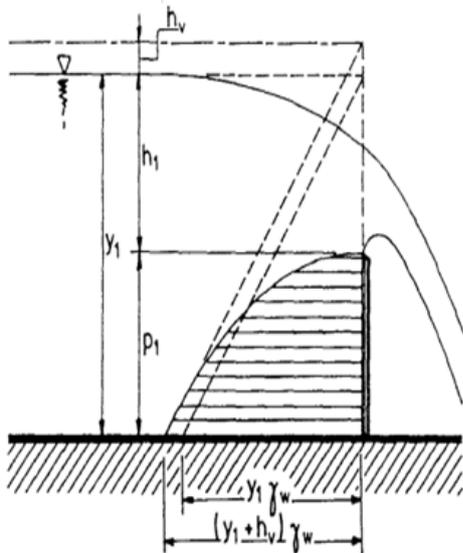
Fiberglass adalah material paduan atau campuran beberapa material kimia (material komposit) yang bereaksi dan mengeras dalam waktu tertentu. Material ini mempunyai beberapa keuntungan dibandingkan material lainnya (seperti logam), diantaranya: ringan; mudah dibentuk; memiliki kekuatan yang tinggi (tergantung rasio beratnya); memiliki stabilitas dimensi yang baik; tahan terhadap panas, dingin, lembab, dan korosi; sebagai material insulasi listrik yang baik; dan murah (Smith, W.F., and Jayad, 2006).



Gambar 1 Macam-macam Tipe Pintu (KP-02, 2013)



Gambar 2 Gaya Hidrostatik pada Bidang Datar Tegak



Gambar 3 Gaya Hidrodinamik pada Bidang Datar Tegak

GFRP merupakan jenis material komposit serat yang terdiri dari serat dan bahan dasar yang diproduksi secara fabrikasi. Komposit serat terdiri dari serat-serat yang terikat oleh matrik yang saling berhubungan. Penggunaan komposit serat sangat efisien menerima beban dan gaya. Karena itu bahan komposit serat kuat dan kaku bila dibebani searah serat dan sebaliknya lemah bila dibebani dalam arah tegak lurus serat.

III. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam kajian ini adalah dengan melakukan pengujian beberapa alternatif tipe material komposit yang akan digunakan sebagai pintu air irigasi di laboratorium dan kemudian melakukan analisis terhadap pembebanan pintu air. Hasil analisis akan digunakan untuk mengetahui potensi penggunaan material komposit sebagai material alternatif pintu irigasi.

Bahan komposit yang digunakan adalah merupakan campuran fiber dengan inti *honeycomb*. Pengujian dilaksanakan di Laboratorium Pengujian Bahan Puslitbang Permukiman.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Karakteristik Material Komposit

Material komposit dalam penelitian ini menggunakan 3 tipe material seperti terlihat pada Gambar 4. Masing-masing material tersusun atas komposisi yang berbeda. Tipe 1 terbuat dari komposisi material fiber dengan campuran Polymer (*Matrix*), Tipe 2 menggunakan panel *Honeycomb* dengan 1 lapisan matrix dan Tipe 3 menggunakan panel *Honeycomb* dengan 1 lapis *matrix* dan *gelcoat*.

Tipe 1 merupakan material alternatif pintu air yang merupakan campuran antara serat fiber dan material. Material Tipe 1 ini telah dikembangkan sejak tahun 2010 dan telah diterapkan di lapangan. Hasil penerapan menunjukkan material ini dapat bekerja dengan baik sebagai pintu irigasi.

Material komposit Tipe 2 dan 3 merupakan hasil pengembangan dan diskusi pada tahun 2014. Material ini sedikit berbeda dengan Tipe 1. Perbedaannya terletak pada inti dari material tersebut, jika Tipe 1 merupakan campuran antara serat fiber dan material pengikat berupa matrik yang tersusun atas Resin, Katalis, Kobal, Pigmen serta Orasil. Untuk Tipe 2 dan 3 merupakan campuran dari panel *honeycomb* serta material Lantex, CSM dan *matrix* Yukalac untuk Tipe 2 sedangkan Tipe 3 menggunakan material tambahan berupa *Gelcoat*, CSM, SB *Combo Mat* serta *Gelcoat* dan *Matrix* yang berbahan Yukalac. Spesifikasi ketiga tipe ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Pengujian terhadap material komposit dilaksanakan di Laboratorium Material Bangunan Puslitbang Permukiman. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 2 yang menunjukkan bahwa material Tipe 1 mempunyai karakteristik paling baik dibandingkan dengan material lainnya. Hal ini memang sesuai dengan karakteristik campurannya, Tipe 1 yang terdiri dari serat fiber dan material lainnya membuat material tersebut cukup kaku dan berat dibandingkan dengan

material lainnya. Bentuk material yang dihasilkan dari campuran Tipe 1 dan 2 merupakan material yang pejal, sedangkan untuk Tipe 3 merupakan material yang berongga karena panel *honeycomb* yang dipakai tidak diisi dengan campuran resin lainnya.

Tipe 2 dan 3 jika dilihat pada Tabel 2 terlihat mempunyai berat jenis kurang dari 1, hal ini akan mengakibatkan material pintu terapung pada aliran air. Karakteristik kuat lentur, MOE (*Modulus of Elasticity*), kuat tarik, ketahanan aus, dan penyerapan air juga menunjukkan kualitas material ini masih di bawah Tipe 1.



(1)

(2)

(3)

Gambar 4 Tipe Material Komposit sebagai Material Pintu Air

Tabel 1 Spesifikasi Teknis Material Komposit

Tipe Material Alternatif Pintu	Spesifikasi Teknis
Tipe 1	<ol style="list-style-type: none"> Komposisi Material Fiber/Serat Gelas <ol style="list-style-type: none"> Chopped Strand Mat 300 = 4 lembar Woven Roving 450 = 7 lembar Resin Perdic : 60% dan Resin Yukalac 157 : 40% Komposisi Campuran Polymer (Matrix) untuk 1 kg Resin <ol style="list-style-type: none"> 1 kg Resin 2 cc Katalis (hardener) 0,1 cc Kobal 0,2 cc Pigmen 10 gram Erosil
Tipe 2	<ol style="list-style-type: none"> Panel Honeycomb PP8-80 tebal 8 mm Lantex Coremat XM 10mm 1 ply CSM E-Glass 450 TGI Matrix : Yukalac 157 BQTN-EX
Tipe 3	<ol style="list-style-type: none"> Panel Honeycomb PP8-80 tebal 8 mm 1 ply Gelcoat + Pig LR Anchusa Blue 1 ply CSM 450 Taiwanglass 1 ply SB Combo Mat 1250 Gelcoat : Yukalac G-123T-EX Matrix : Yukalac 157 BQTN-EX

Tabel 2 Hasil Uji Laboratorium Material Komposit

No	Jenis Pengujian	Satuan	Tebal Panel 10 mm		
			Tipe 1	Tipe 2	Tipe 3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	Kuat Lentur, rata-rata	Kg/cm ²	1.607,50	624	454
2	MOE, rata-rata	Kg/cm ²	5,76 x 10 ⁵	5,9 x 10 ⁴	2,40 x 10 ⁴
3	Kuat Tarik, rata-rata	Kg/cm ²	405,50	670,3	435,3
4	Ketahanan aus, rata-rata	mm/menit	0,073	0,090	0,090
5	Penyerapan Air, rata-rata	(%)	0,04	0,6	2,10
6	BJ, rata-rata	Gr/cm ³	1,440	0,9	0,5

4.2. Propertis dan Kinerja Jangka Panjang

Bahan penyusun matriks fiberglass pada campuran komposit tersusun atas Resin, Katalis, Kobal, Pigmen dan Erosil. Bahan utama yang ada di dalam matrik yang berfungsi untuk merekatkan mat agar fiberglass menjadi kuat dan tidak mudah patah adalah dengan menggunakan erosil. Resin dalam matriks berfungsi untuk mengencerkan semua bahan yang dicampur bersamanya. Katalis sebagai katalisator agar resin cepat mengeras. Pigmen sendiri merupakan bahan pewarna untuk bahan fiberglass. Sedangkan kobal bersifat penyempurna kerja katalis. Penggunaan kobal tergantung pada kebutuhan, pemakaian kobal yang terlalu banyak dapat menimbulkan api.

Berdasarkan hasil pengujian laboratorium, material komposit memiliki tegangan lentur dan modulus elastisitas yang tinggi sehingga mampu menahan tekanan dari aliran. Penyerapan air yang rendah menjadikan bahan ini cocok dijadikan bahan alternatif pembuatan pintu air. Pintu air berbahan dasar komposit yang terpasang pada laboratorium hidrolika menunjukkan ketahanan yang baik terhadap pengaruh panas dari matahari. Pintu tidak mengalami keretakan ataupun pengurangan ukuran akibat terpapar sinar matahari. Berikut kondisi pintu air bahan komposit yang telah terpasang di laboratorium hidrolika Balai Irigasi.

Pengujian jangka panjang pada material komposit dapat dilakukan dengan menggunakan pengujian terhadap pengaruh ultraviolet, mikroorganisme dan unsur-unsur kimia yang merugikan. Material komposit yang terbuat dari material sintetis (*Polymer, Lantex Coremat*, dll) biasanya tidak tahan terhadap paparan ultra violet matahari, reaksi kimia, mikroorganisme dan unsur kimia yang terkandung dalam air.

4.3. Analisis Pembebanan Pintu Air

Pengujian kuat lentur dilakukan terhadap sampel material berukuran 500 mm x 150 mm x 10 mm. Selama pengujian berlangsung, sampel tidak mengalami patah tetapi hanya mengalami retakan rambut. Hal ini menunjukkan bahwa sifat material cukup elastis.

Berdasarkan rumus (1) dan (2), analisis pembebanan pada pintu air untuk lebar 50 cm pada kondisi level muka air maksimum 60 cm menunjukkan beban maksimum sebesar 90 kg. Perhitungan kontrol terhadap lenturan didapatkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh material komposit pada tipe 1 sebesar 1028,8 Kg, tipe 2 sebesar 399,36 kg, serta tipe 3 sebesar 290,56 kg. Perbandingan beban terhadap kuat lentur dapat dilihat pada Gambar 6.

4.4. Pengujian Hidraulika Pintu Air

Pegujian hidraulika dilakukan di Laboratorium Hidraulika, Balai Irigasi dengan cara memasang pintu dan rangkanya pada bangunan uji. Kemudian diujikan untuk berbagai macam tinggi bukaan pintu, mulai dari 3, 9 dan 12 cm. Kemudian diamati tinggi muka air pada bagian hulu dan hilir dari pintu serta diamati debit aliran air yang ada pada bagian hilir pintu. Sehingga akan diperoleh hubungan antara tinggi muka air di hulu dan hilir serta debitnya. Pengujian ini akan mendapatkan nilai Cd yang akan menentukan tingkat akurasi pengukuran debit oleh pintu.



Gambar 5 Pengujian Pintu Air di Laboratorium Hidrolika Balai Irigasi

Hasil pengujian hidraulika seperti pada Gambar 8 terlihat nilai koefisien debit (Cd) rata rata sebesar 0,958. Dengan nilai koefisien debit (Cd) mendekati 1, maka pintu air GFRP memiliki tingkat akurasi pengukuran/prediksi debit yang baik. Maka pintu ini layak digunakan untuk pengaturan dan pengukuran air di dalam saluran.

Pengujian yang secara tidak langsung dapat terlihat hasilnya pada saat pengujian hidraulika pintu adalah pengujian pintu terhadap sinar ultraviolet dari sinar matahari. Selama pengujian berlangsung kondisi pintu air tahan terhadap sinar ultraviolet dan kondisi fisik pintu masih seperti semula.

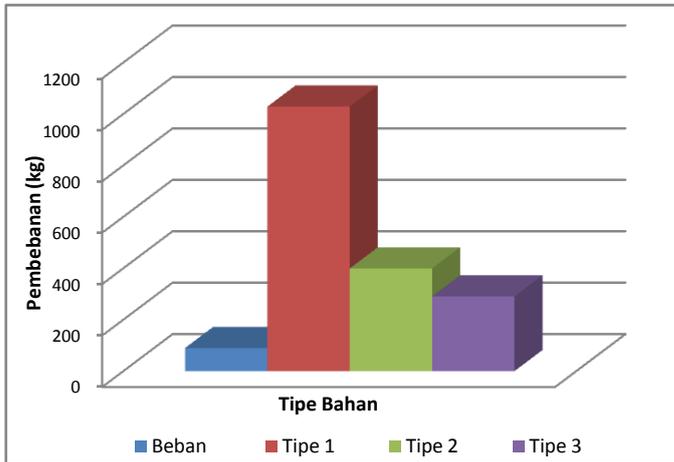
4.5. Pengkajian Pemanfaatan Material Komposit sebagai Material Pintu Air

Hasil perbandingan beban dan kuat lentur material komposit untuk ketiga tipe yang ditunjukkan pada Gambar 4 didapatkan bahwa material dengan Tipe 1 dapat menahan beban lebih dari 1000% beban yang bekerja pada pintu, untuk Tipe 2 sebesar 440 %, sedangkan Tipe 3 sebesar 320% dari beban yang bekerja. Hasil perbandingan ini menunjukkan ketiga material

tersebut cukup mampu menahan beban jika digunakan sebagai pintu air untuk ukuran 50 cm dan tinggi maksimum air sebesar 60 cm.

Material Tipe 1 yang telah dikembangkan dan diujicobakan sejak 2010 ternyata mempunyai kekuatan yang cukup besar menahan beban yang bekerja pada pintu. Penggunaan material Tipe 2

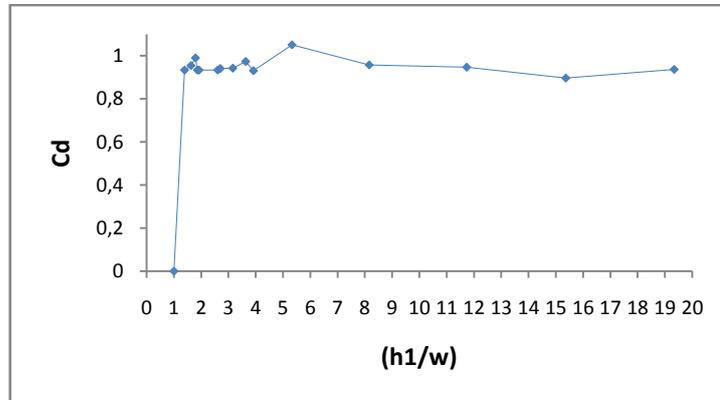
dan 3 yang mempunyai kekuatan lebih kecil dari Tipe 1 namun tetap mampu menahan beban yang bekerja dapat menjadikan pertimbangan sebagai material alternatif pintu air. Penggunaan material Tipe 2 dan 3 selain secara kekuatan memenuhi syarat, juga cukup ringan untuk dioperasikan dalam pelaksanaan operasi jaringan irigasi.



Gambar 6 Perbandingan Beban dan Kuat Lentur Material Komposit



Gambar 7 Pintu Air GFRP di Laboratorium Hidrolika Balai Irigasi



Gambar 8 Grafik Koefisien Debit (Cd) Pintu Air

V. KESIMPULAN

Penggunaan material komposit sebagai alternatif pintu air pengganti baja dan kayu cukup memberikan peluang dalam penerapannya. Hasil pengujian laboratorium dan analisis beban untuk ukuran pintu 50 cm dan tinggi maksimum air 60 cm menunjukkan bahwa Tipe 1 mampu menahan beban lebih dari 1000%, Tipe 2 sebesar 440%, dan Tipe 3 sebesar 320% dari beban yang bekerja. Hasil tersebut menunjukkan material komposit kuat jika digunakan sebagai material alternatif pintu air. Nilai Cd sebesar 0,958 dan kondisi fisik

selama pengujian semakin meyakinkan bahwa material Tipe 1 cukup optimal diterapkan sebagai pintu irigasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Drs. Irfan Sudono, MT, Susi Hidayah, ST, Djamburi, Radam serta pimpinan dan staf Laboratorium Pengujian Bahan Puslitbang Permukiman yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Irigasi. 2013. Standar Perencanaan Irigasi-Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama (KP-02). Direktorat Irigasi, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Direktorat Irigasi. 2013. Standar Perencanaan Irigasi-Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan (KP-04). Direktorat Irigasi, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Horst, L. 1996. Irrigation Water Division Technology in Indonesia - A Case of Ambivalent Development. Wageningen Agricultural University, Department of Irrigation & Soil & Water Conservation, International Institute for Land Reclamation and Improvement.
- Liu L, et al. 2015. Experimental and numerical study on the mechanical response of Nomex honeycomb core under transverse loading. *Composite Structures*, Volume 121, March 2015, Pages 304-314.
- Smith, W. F., and Jayad, H. 2006. *Foundations of Materials Science and Engineering* (4th ed). McGraw-Hill, New York.
- Stocchi A, et al. 2013. Manufacturing and testing of a sandwich panel honeycomb core reinforced with natural-fiber fabrics. *Materials and Design*, Volume 55, March 2014, Pages 394-403.
- Shi S, et al. 2014. Flexural strength and energy absorption of carbon-fiber-aluminum-honeycomb composite sandwich reinforced by aluminum grid. *Journal of Thin-Walled Structures*, Volume 84, November 2014, Pages 416-422.
- Kwan W. H, and Ramli M. 2013. Indicative performance of fiber reinforced polymer (FRP) encased beam in flexure. *Construction and Building Materials*, Volume 48, November 2013, Pages 780-788.