

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Bagaimanapun juga peluang teroksidasinya pirit masih sangat besar jika lahan dalam keadaan kering. Johnston, dkk. (2014), melakukan penelitian tata kelola air dengan mengaliri air pada lahan yang kering sehingga menjaga senyawa pirit tetap berada di bawah muka air untuk mencegah proses oksidasi. Dalam penelitian itu dijelaskan tentang perbedaan lahan yang mengandung pirit pada kondisi kering dan dialiri air. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa air dapat melarutkan senyawa pirit yang teroksidasi dengan menjaga muka air pada saluran irigasi selalu berada di atas lapisan pirit dan pola alirannya dapat bergerak agar dapat tergantikan air bersih setiap saat. Dapat diketahui pula bahwa senyawa pirit yang berada di dalam aliran air menjadi sedimen yang tersuspensi sehingga dapat dikaji lebih lanjut tentang penyebarannya.

Penelitian lainnya dilakukan oleh Anda dan Subardja, (2013) mengkaji tata kelola air yang terkandung pirit di dalamnya dengan pengaruh pasang surut air laut. Pada penelitian ini dijelaskan bahwa adanya pengaruh pasang surut air laut, pola aliran pada saluran irigasi akan bergerak mengikuti pergerakan pasang surut air laut. Saat surut, aliran air akan bergerak membuang sanyawa pirit menuju ke sungai dan dengan pengaruh pasang maka aliran air yang bersih akan masuk. Senyawa pirit diharapkan dapat terbuang dari lahan rawa dan tergantikan oleh air yang bersih dengan adanya siklus pasang surut yang terjadi setiap hari. Pola aliran ini dimaksudkan agar lahan rawa selalu tercuci bersih dari senyawa pirit sehingga disebut proses pencucian lahan.

Riduan dan Utomo, (2016) melakukan penelitian menggunakan simulasi 2 dimensi tentang pola pergerakan aliran air untuk menganalisis akumulasi pirit sebagai bahan toksik yang tersuspensi pada saluran reklamasi lahan rawa. Reklamasi yang didesain sebelumnya tidak memperhatikan efektifitas dari pembuatan saluran irigasi terutama dalam menangani senyawa pirit pada lahan rawa. Rehabilitasi-rehabilitasi lahan rawa banyak dilakukan terutama pada lahan-lahan yang diduga memiliki sirkulasi air yang kurang lancar. Pirit yang

terakumulasi di dalam air ini berdampak buruk jika tidak dibuang, terlebih jika musim kemarau air yang tergenang tersebut justru akan surut dan menyebabkan pirit teroksidasi di lahan pertanian. Oleh karena itu, proses rehabilitasi lahan rawa harus menggunakan cara yang tepat agar dapat membuang senyawa pirit yang terakumulasi di lahan pertanian dengan proses pencucian lahan.

Penelitian menggunakan simulasi hidraulika secara numerik dapat menganalisis penyebaran polutan yang tersuspensi dalam sirkulasi air dengan menganalisis pola aliran dan distribusi konsentrasi polutan tersebut kemudian dibandingkan dengan pengukuran menggunakan radioisotop (Kim, dkk., 2011). Kajian yang diterapkan dengan membuat suatu simulasi untuk menganalisis perilaku hidraulika dari suatu model mampu memberikan hasil yang sama dengan pemodelan fisik melalui pengukuran menggunakan radioisotop. Adanya parameter-parameter di daerah tinjauan dapat dimodelkan dalam simulasi hidraulika untuk menggambarkan kondisi daerah tinjauan secara efektif.

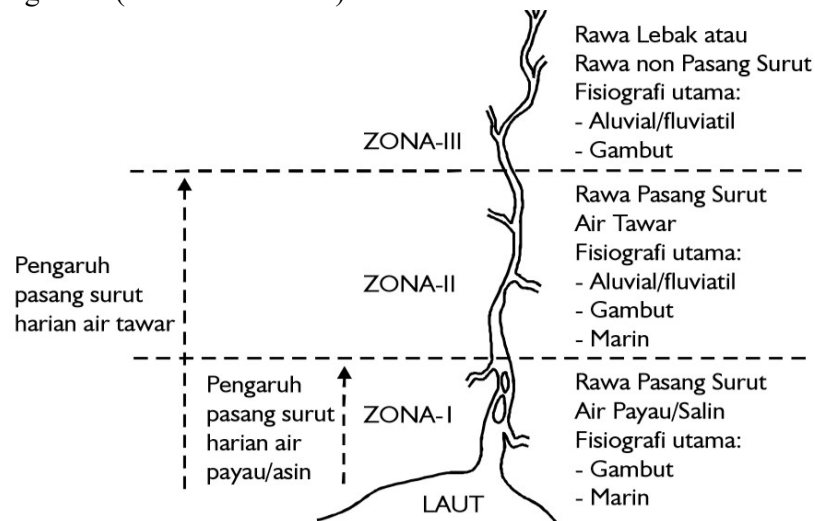
Dari beberapa penelitian diatas, sebaran pirit yang tersuspensi dalam aliran dapat dikaji menggunakan suatu simulasi. Simulasi digunakan untuk menggambarkan suatu kondisi secara jelas tanpa harus dilakukan pengujian di lapangan. Pada penelitian ini simulasi yang digunakan termasuk dalam simulasi numerik menggunakan program SMS AQUAVEO 10.1. Program ini merupakan program perhitungan numerik dua dimensi dengan model-model berbasis elemen hingga yang dapat digunakan sebagai program simulasi numerik di bidang hidraulika. Kajian tentang hidrodinamik tentang pergerakan aliran menggunakan model RMA2 sedangkan untuk menganalisis penyebaran polutan menggunakan model RMA4.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Karakteristik Lahan Rawa

Lahan rawa merupakan lahan yang memiliki genangan yang relatif dangkal sepanjang tahun atau dalam kurun waktu tertentu. Posisi lahan rawa biasanya terletak di daerah peralihan antara daratan dan perairan namun tidak berfungsi sebagai daerah tampungan air seperti halnya danau. Menurut Subagjo (2006)

tipologi lahan rawa dapat dibedakan berdasarkan lokasinya yaitu rawa lebak dan rawa pasang surut (lihat Gambar 2.1.).

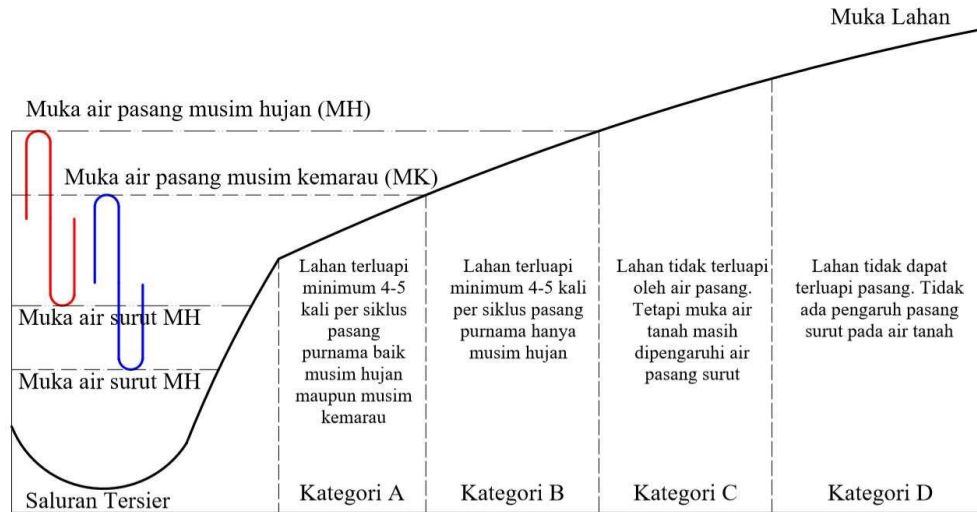


Gambar 2.1. Pembagian zona lahan rawa (Subagjo, 2006)

Letak rawa lebak biasanya berada di tengah pulau jauh dari laut sehingga hanya dipengaruhi kekuatan arus sungai saja. Sedangkan rawa pasang surut tidak hanya dipengaruhi oleh arus sungai namun juga dari kekuatan arus pasang dari laut dengan beberapa pembagian berdasarkan tipe luapan (lihat Tabel 2.1.) (Najiyati, dkk., 2005). Bentuk lahan (*landform*) untuk tipe luapan disajikan pada Gambar 2.2.

Tabel 2.1 Tipe luapan lahan rawa (Najiyati, dkk., 2005)

Tipe Luapan	Keterangan
A	Lahan rawa yang selalu terluapi air pasang harian (baik pasang besar maupun pasang kecil) dan terjadi selama musim hujan dan musim kemarau. Lahan ini terletak di bagian terendah dan berbatasan langsung dengan air laut
B	Lahan rawa ini hanya terluapi oleh air pasang besar saja dan pada musim hujan dapat terluapi oleh air hujan. Lahan ini berada agak tinggi dari Tipe Luapan A.
C	Lahan rawa yang relatif kering dan tidak pernah terluapi oleh pasang besar. Namun air pasang berpengaruh melalui air tanah dengan kedalaman air tanah kurang dari 50 cm dari permukaan tanah. Energi dari pasang air laut masih berpengaruh dan mendorong aliran air.
D	Lahan rawa yang paling kering dan tidak pernah terluapi oleh air pasang besar dan kecil dengan kedalaman air tanah lebih dari 50 cm dari permukaan tanah. Lahan ini berada pada zona peralihan antara rawa pasang surut dan rawa lebak namun energi pasang air laut masih berpengaruh dan mendorong aliran air.



Gambar 2. 2 Bentuk lahan (*landform*) dari keempat tipe luapan

Lahan rawa memiliki tanah bergambut yang terkandung bahan sulfidik di dalamnya yang sering disebut senyawa pirit (FeS_2). Pirit berada di zona endapan marin (laut) di bawah lapisan gambut, senyawa ini terbentuk dari material endapan tanaman-tanaman yang telah mati dan terpengaruh oleh air laut (Brock, dkk., 2006). Menurut Daryono, (2009) pembukaan lahan gambut harus memerhatikan dimana kedalaman lapisan pirit berada sehingga tanah yang subur di bawah tanah bergambut tidak teracuni oleh lapisan pirit yang telah teroksidasi akibat semakin dangkalnya lapisan di atasnya.

Apabila pirit sampai ke permukaan dan kontak dengan udara maka akan teroksidasi dan menghasilkan asam sulfat (Shamshuddin dkk., 2004). Oksigen (O_2) dan air (H_2O) akan mengurai ion Fe^{2+} pada pirit kemudian membentuk asam sulfat (SO_4) dan terbebasnya ion H^+ . Asam sulfat mengakibatkan pH di lingkungan tersebut menjadi sangat rendah (1,9 sampai <3,5) yang mencemari kualitas air. Pencemaran ini terjadi terutama di daerah saluran buatan manusia dibandingkan dengan sungai alami. Selain itu, kandungan ion H^+ yang terlalu banyak di dalam tanah dapat merusak struktur mineral dengan mendesak keluar semua basa-basa tanah yang menjadi nutrisi tanaman seperti (Ca, Mg, K dan Na) dan terbebasnya ion-ion Al^{3+} yang bersifat toksis terhadap tanaman (Shahid dkk., 2014).

Oksidasi pirit dapat dicegah dengan mengaliri air pada lahan persawahan. Akan tetapi jika air dalam keadaan tergenang di dalam saluran menyebabkan

akumulasi pirit yang tersuspensi dalam aliran menjadi semakin banyak. Hal ini akan berdampak buruk pada lingkungan (Karimian, dkk., 2017). Senyawa pirit yang tersuspensi dalam aliran dapat diatasi untuk memperbaiki kualitas air dengan sistem irigasi yang memadai. Menurut Imanudin, dkk. (2017) saluran air harus didesain untuk selalu bergerak keluar area pertanian agar dapat melakukan proses pencucian dan pembilasan lahan dalam rangka membuang senyawa tersebut dan tergantikan oleh air yang bersih setiap saat.

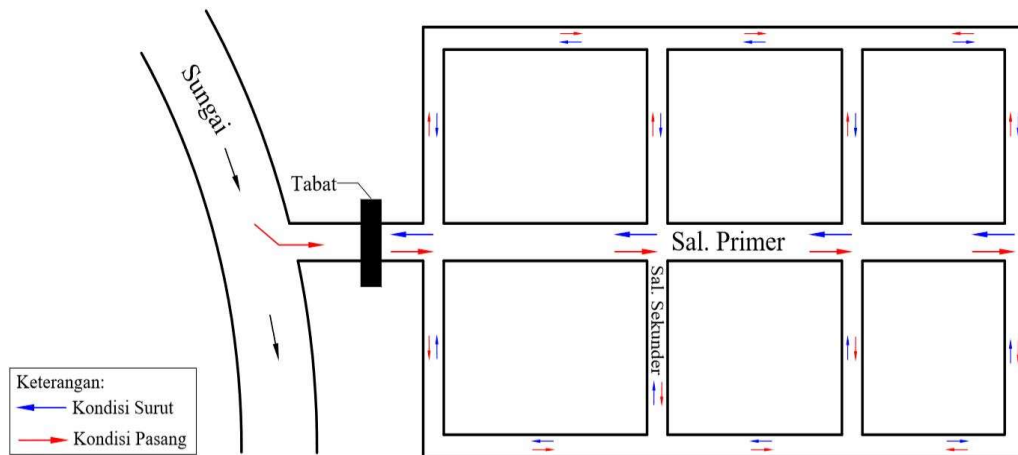
2.2.2. Pengelolaan Keairan Lahan Rawa

Menurut Nazemi dkk. (2012) sistem tata air dimaksudkan untuk memperlancar aliran air masuk dan keluar lahan pertanian sehingga terjadi pencucian lahan dari bahan sulfidik dan mendukung pola tanam yang memadai. Pengelolaan air pada lahan pertanian biasanya dibagi menjadi dua bagian yaitu tata air makro dan tata air mikro. Tata air makro berhubungan dengan pembuatan dan pengaturan keberadaan sumber air sebagai penyedia suplai air di lahan pertanian. Bangunan-bangunan pada tata air makro antara lain adalah waduk, bendung, saluran intersep, saluran irigasi (primer, sekunder, dan tersier), dan saluran drainase. Sedangkan tata air mikro merupakan kelanjutan dari tata air makro dimana aliran air dari saluran tersier dibuat percabangan menjadi saluran kuarter dan berhubungan dengan lahan-lahan para petani. Menurut Umar (2013) dalam saluran kuarter juga dibuat saluran kolektor dan saluran cacing untuk meratakan distribusi air irigasi dan mempercepat proses pelarutan senyawa beracun. Adapun beberapa sistem tata kelola air yang biasanya diterapkan di lahan rawa, antara lain:

1. Sistem Handil

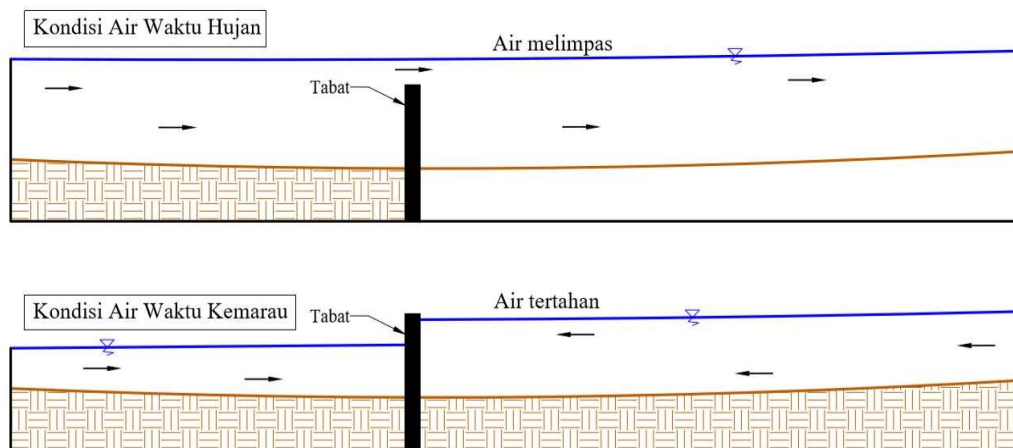
Sistem handil merupakan sistem yang sudah lama dikembangkan sejak dulu oleh petani lahan rawa dengan membuat beberapa parit untuk mengalirkan air dari sungai seperti yang terdapat pada Gambar 2.4. Handil juga sering dimanfaatkan sebagai prasarana transportasi air karena masih jarang tersedia jalan raya di daerah tersebut. Pemanfaatan saluran pada handil dapat berfungsi sebagai saluran irigasi pada saat pasang dan saluran drainase pada saat surut. Sistem ini tidak memerlukan biaya yang mahal dalam pembuatannya namun hanya dapat dibuat dengan

maksimum panjang 4 km agar air pasang dapat masuk ke area pertanian (Najiyati dkk., 2005).



Gambar 2. 3 Tata Air Sistem Handil

Pengaruh pasang surut juga menjadi kelemahan dari sistem handil tersebut. Pada kondisi pasang, air drainasi yang mengandung bahan sulfidik yang mengarah ke sungai bercampur dengan air pasang dari sungai yang arahnya berkebalikan sehingga senyawa-senyawa tersebut akan terakumulasi di dalam saluran. Pada kondisi surut, beberapa lokasi yang tidak mendapat suplai air akan mengalami kekeringan akan tidak adanya suplai air dari sungai. Petani setempat membuat tabat di bagian hilir handil untuk mencegah kekeringan pada kondisi surut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5. Tabat dibuat dengan ketinggian lebih rendah dari tanggul handil sehingga air dapat melintas pada saat pasang dan dapat tertahan pada saat surut namun tidak dapat menerobos tanggul (meluap).

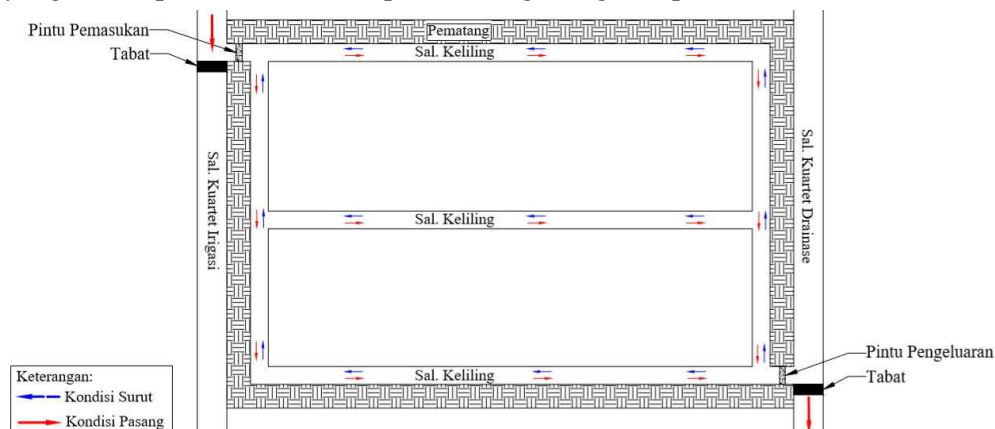


Gambar 2. 4 Skema Pintu Tabat

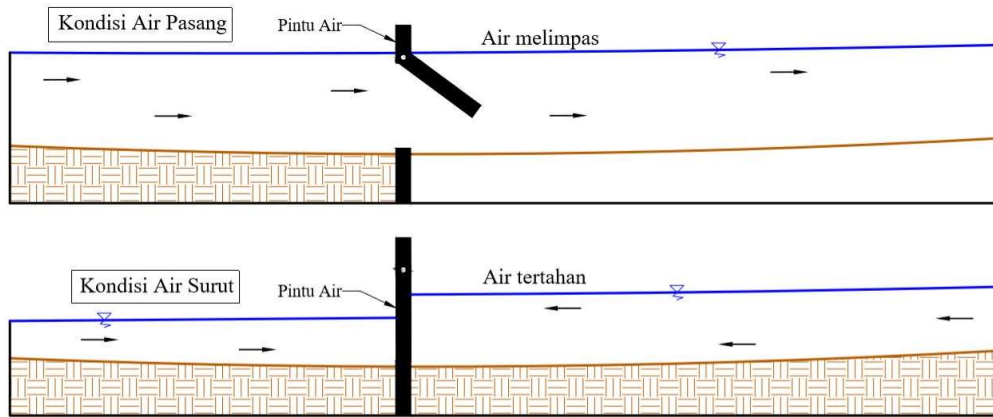
2. Sistem Aliran Satu Arah

Sistem aliran satu arah ini bermaksud untuk menyatukan saluran irigasi dan drainase dengan alasan menghemat biaya. Saluran air pada saat pasang berfungsi sebagai saluran irigasi dan sebaliknya pada saat surut difungsikan sebagai saluran drainasi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Penerapan sistem ini membuat senyawa beracun hasil pencucian lahan tidak terdrainasi dengan tuntas dan justru menyebar ke lahan lain. Kondisi tersebut dapat diatasi dengan memberikan pintu otomatis pada bagian hulu saluran tersier dan pintu *stop log* pada bagian hilir saluran tersier yang dapat membuang air drainase keluar saluran namun air pasang tidak dapat masuk (lihat Gambar 2.7).

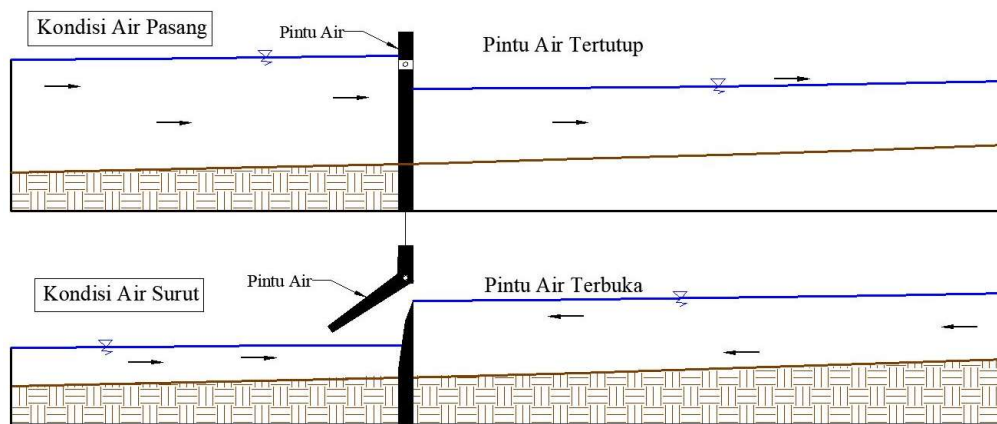
Sistem satu arah diperuntukkan pada lahan yang kurang mendapat pengaruh pasang air laut terutama pada musim kemarau (Nazemi, dkk., 2012). Penerapan pintu otomatis yang dapat membuka pintu ke arah dalam pada bagian hulu saluran tersier dimaksudkan agar pintu tersebut dapat terbuka pada saat pasang tiba. Air akan masuk sebagai saluran irigasi untuk mengalir persawahan dan akan tertutup pada saat surut sehingga arah aliran air tetap menuju ke saluran drainase. Sedangkan pintu *stop log* pada bagian hilir saluran tersier dapat diatur putarannya dalam dua arah dimaksudkan agar pada saat pasang besar di musim hujan kelebihan air dapat dikeluarkan dari lahan melalui saluran drainasinya dan pada saat surut bisa membendung aliran agar tidak keluar dari lahan terutama pada musim kemarau. Keuntungan penerapan sistem ini adalah pergantian aliran air yang baru lebih lancar sehingga pencucian lahan dapat dilakukan secara maksimal dan senyawa beracun yang terkumpul dalam lahan dapat dikurangi dengan cepat.



Gambar 2. 5 Tata air sistem aliran satu arah



Gambar 2. 6 Skema pintu air otomatis (*flapgate*) bagian hulu

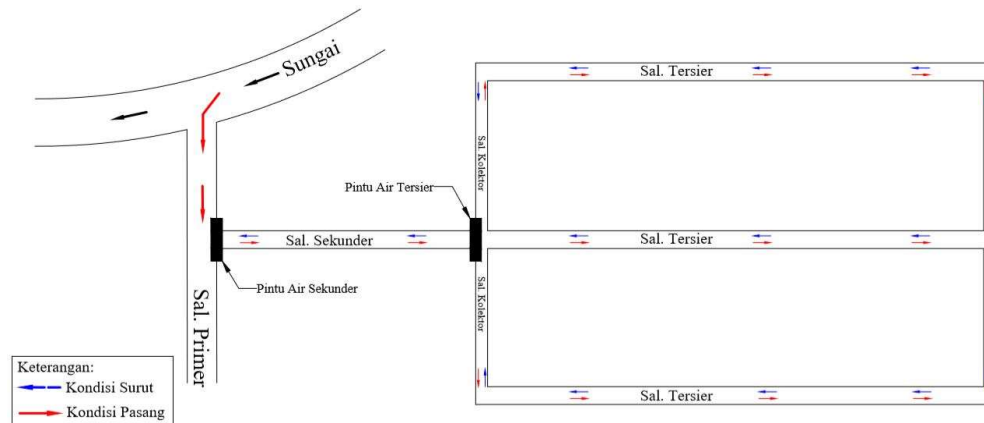


Gambar 2. 7 Skema pintu air *stoplog* bagian hilir

3. Sistem Garpu

Sistem ini mirip dengan sistem handil yaitu membuat beberapa parit untuk mengalirkan air dari sungai menuju area pertanian. Sistem ini menyerupai garpu karena Saluran primer, sekunder dan tersiernya dibuat saling tegak lurus seperti pada Gambar 2.9. Sistem ini dikembangkan oleh Universitas Gajah Mada dengan membuat saluran yang dilengkapi kolam pasang beserta pintu-pintu air otomatis (*flapgate*) dengan skema seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7. Pola aliran pada sistem ini mirip dengan pola aliran pada sistem handil. Saat pasang aliran dari sungai menuju saluran primer akan diteruskan ke saluran sekunder. Hal ini disebabkan oleh elevasi muka air di ujung saluran sekunder lebih rendah dari saluran primer. Saat surut aliran air akan berbalik menuju sungai dengan harapan agar air asam yang terbawa arus surut dapat keluar dari lahan. Namun pada kenyataannya belum semua air asam tersebut keluar sehingga perlu dibuatkan

kolam pasang yang dibatasi oleh pintu-pintu otomatis (*flapgates*) pada ujung-ujungnya. Penerapan kolam ini dengan maksud agar kumpulan air asam dapat terdorong sampai ke sungai sehingga proses pencucian lahan akan terjadi (Darmawani, dkk., 2017).



Gambar 2. 8 Tata air sistem garpu

2.2.3.SMS AQUAVEO 10.1

SMS AQUAVEO 10.1 merupakan salah satu program simulasi yang biasa dipakai di bidang hidraulika. Program ini mempunyai model-model dua dimensi berbasis menggunakan elemen hingga yang berbeda fungsinya satu dengan lainnya. Fitur yang menarik dari program ini tidak hanya output data yang dapat ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik, namun juga terdapat fasilitas *film loop* yang mampu melakukan pembacaan informasi dari output *running* dalam bentuk tampilan video pergerakan aliran.

RMA2 (*Resource Management Associates*) merupakan model hidrodinamik secara dua dimensi yang digunakan untuk simulasi pergerakan aliran. Model ini dapat melakukan perhitungan elevasi muka air dan kedalaman rata-rata suatu aliran untuk daerah subkritik dan aliran permukaan bebas. Selain itu, RMA2 dapat menganalisis pola pergerakan aliran yang ditunjukkan oleh besarnya kecepatan baik perhitungan secara vektor maupun skalar. Vektor kecepatan aliran tersebut ditampilkan secara horizontal tanpa mempertimbangkan kedalaman. Menurut Kim dkk. (2011) analisis yang digunakan dalam model ini menggunakan Persamaan Momentum arah x (lihat persamaan 2.5) dan arah y (lihat persamaan 2.6) dan Persamaan Kontinuitas yang didapat dilihat pada persamaan 2.4.

$$\begin{aligned}
& h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right) \\
& + \frac{gun^2}{\left(1,486h^{\frac{1}{6}}\right)^2} (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \delta v_a^2 \cos \phi - 2hv\omega \sin \phi = 0
\end{aligned} \tag{2.4}$$

$$\begin{aligned}
& h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left(E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + gh \left(\frac{\partial a}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y} \right) \\
& + \frac{gvn^2}{\left(1,486h^{\frac{1}{6}}\right)^2} (u^2 + v^2)^{\frac{1}{2}} - \delta v_a^2 \sin \phi - 2hu\omega \sin \phi = 0
\end{aligned} \tag{2.5}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial h}{\partial x} + v \frac{\partial h}{\partial y} = 0 \tag{2.6}$$

Dimana h adalah kedalaman, u dan v merupakan kecepatan dengan arah x dan y pada grafik kartesian, ρ adalah densitas (rapat massa) dari fluida, E adalah koefisien eddy viskositas, g adalah percepatan gravitasi, n adalah angka kekasaran *manning*, δ adalah koefisien pergeseran oleh angin, v_a adalah kecepatan angin, ϕ adalah arah angin, ω adalah gerak rotasi bumi, dan ϕ adalah latitude lokal.

Sedangkan RMA4 adalah model yang digunakan untuk menganalisis kualitas air dilihat dari penyebaran konsentrasi senyawa di dalam aliran air. Distribusi konsentrasi senyawa ini merupakan sedimen tersuspensi dalam aliran dengan asumsi kedalaman alirannya dianggap seragam. Output yang dikeluarkan adalah sebaran konsentrasi (dalam ppm) berdasarkan waktu. Perhitungan untuk model dua dimensi ini menggunakan persamaan adveksi-dispersi yang dapat dilihat persamaan 2.7.

$$h \left(\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} + v \frac{\partial c}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} D_L \frac{\partial c}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial y} D_T \frac{\partial c}{\partial y} - \sigma + kc + \frac{R(c)}{h} \right) = 0 \tag{2.7}$$

Dimana c adalah konsentrasi, h adalah kedalaman, u dan v merupakan kecepatan dengan arah x dan y pada grafik kartesian, D_L dan D_T adalah koefisien dispersi arah x dan y , k adalah laju pertambahan dari polutan, σ adalah *local source* sumber polutan, $R(c)$ adalah curah hujan atau evaporasi.