

## BAB II

### LANDASAN TEORI

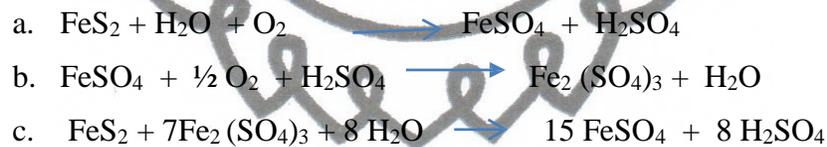
#### A. Tinjauan Pustaka

##### 1. Karakteristik tanah sulfat masam.

Tanah sulfat masam merupakan tanah liat rawa dan seringkali memiliki lapisan gambut yang tipis < 20 cm, memiliki lapisan pirit yang belum teroksidasi (sulfidik) atau sudah teroksidasi (Sulfurik) pada kedalaman 0 – 50 cm (Dent, 1986). Selanjutnya tanah sulfat masam dibagi dalam sulfat masam potensial dan sulfat masam aktual. Sulfat masam potensial dapat berubah menjadi aktual, bila tanah mengalami drainase yang berlebihan akibat reklamasi.

Tanah sulfat masam memiliki pH rendah, kandungan yang bersifat toksik  $H^+$ , Al, Fe (III) dan Mn tinggi. Keadaan ini diikuti dengan ketersediaan P dan kejenuhan basa yang rendah serta kekahatan hara lainnya (Andriess dan Sukardi, 1990).

Reaksi oksidasi pirit menurut Boyd (1982).



Produksi ferri sulfat dari ferro sulfat karena proses pembentukannya dipercepat dengan adanya aktifitas bakteri *Thiobacillus ferrooxidans* (b), dan pada kondisi yang masam reaksi pirit dengan ferri sulfat (c) berlangsung sangat cepat. Ferri sulfat juga dapat menambah kemasaman seperti diperlihatkan reaksi berikut :



Asam sulfat akan melarutkan sejumlah besar logam-logam berat Al, Mn, Zn, dan Cu, dengan demikian aliran permukaan (*run off*) atau perembesan (*sepage*) dari galian tanah berpirit mencapai pemasaman sangat tinggi dan berisi ion-ion

yang berpotensi sebagai racun. Dalam kondisi berlumpur yang anaerob, pirit tidak membahayakan karena stabil, tetapi bila lumpur itu mengering, potensi redok meningkat dan pirit tidak lagi stabil. Pirit diubah menjadi asam sulfat oleh bakteri *Thiobacillus thiooxidans* (Widjaja-Adhi (1986).

Pada keadaan agak masam sampai netral terjadi reaksi :



Ferri oksida yang terjadi dicirikan oleh warna coklat dan terlihat pada galian baru dari lapisan yang mengandung pirit . Pada keadaan masam ( $\text{pH} < 3$ ) pirit berdisosiasi menjadi Ferro dan sulfur:  $\text{FeS}_2 \longrightarrow \text{Fe}^{2+} + \text{S}_2 + 2 \text{e}^-$ . Sulfur yang dilepas dari reaksi tersebut oleh bakteri *Thiobacillus thiooxidans* diubah menjadi asam sulfat. Ion  $\text{H}^+$  yang terbentuk cukup banyak ketika pirit terkena udara.



Beberapa referensi menyatakan pada tanah masam diperlukan bahan organik. Bahan organik sebagai sumber asam-aam organik yang mampu mengontrol kelarutan logam dalam tanah. Asam-asam organik mampu mengkhelat unsur-unsur beracun dalam tanah sehingga tidak berbahaya bagi tanaman (Stevenson, 1982), juga dapat menurunkan jumlah fosfat yang difiksasi oleh Fe dan Al melalui mekanisme pengkhelatan sehingga unsur hara dapat tersedia, walaupun pemberian bahan organik telah banyak diberikan tetapi produksi masih kurang optimal, karena tergantung kualitas bahan organik yang sangat menentukan kecepatan proses dekomposisi dan mineralisasi bahan organik (Suntoro, 2003).

Pemberian kapur juga biasa digunakan pada tanah sulfat masam. Amelioran kapur dan bahan organik kotoran ayam mempengaruhi penampilan hasil tanaman di lahan sulfat masam (Koesrini dan William, 2006). Selain itu pengolahan tanah pada tanah sulfat masam juga dapat meningkatkan hasil lebih baik jika kepadatan tanah 1,2 namun jika tanah kepadatannya  $< 1$  dan sistim pengairannya baik, maka tidak

perlu dilakukan pengolahan tanah setiap akan menanam, tetapi dapat dilakukan sekali pengolahan untuk dua kali penanaman (Ar-Riza, 2010). Namun pengolahan tanah pada tanah sulfat masam tidak boleh terlalu dalam karena pirit umumnya berada < 50 cm, karena bila terangkat kepermukaan akan mudah teroksidasi dan mengeluarkan Ferro ( $\text{Fe}^{2+}$ ) dan menjadi racun bagi tanaman. Pengolahan tanah terbaik sedalam 14 cm (Umar *et al.*, 2001).

## 2. Peranan Bakteri Pelarut Fosfat pada tanah sulfat masam.

Tanah merupakan salah satu media tumbuh bagi kehidupan mikroorganisme seperti bakteri, namun keberadaannya sedikit, baik jenis maupun jumlahnya, hal ini disebabkan oleh perlakuan manusia seperti penggunaan pestisida sintetik, pembakaran lahan dan terjadinya degradasi lahan dan lain-lain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 85% mikroorganisme berada di dalam tanah dan sangat bermanfaat bagi membantu pertumbuhan tanaman (Aly *et al.*, 2012).

Lahan sulfat masam merupakan salah satu jenis lahan yang mempunyai potensi bagi perkembangan pertanian. Kemasaman tanah dan keberadaan pirit ( $\text{FeS}_2$ ) dapat merupakan penghambat bagi pertumbuhan tanaman, karena unsur hara terutama fosfor (P) kurang tersedia bagi tanaman. Fosfor di dalam tanah umumnya ditemui dalam bentuk fosfor anorganik terikat dalam bentuk mineral kompleks dalam bentuk besi fosfat  $\text{FePO}_4$ , dan aluminium fosfat  $\text{AlPO}_4$ , serta kalsium fosfat  $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$  (Barber, 1995).

Bakteri pelarut fosfat memiliki peran untuk melarutkan P yang terikat baik oleh Al, maupun Fe, sehingga dapat tersedia bagi tanaman. Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa mikroorganisme pelarut P dapat membantu dalam penyediaan hara P. Mikroorganisme dari golongan bakteri terdiri dari *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Encherichia*, *Bravebacterium* dan *seralia*, sedangkan dari golongan jamur terdiri dari *Aspergillus*, *Penicellium*, *Culvulria*, *Humicola* dan *Phoma*. Penelitian Panhwar *et al.* (2015) menggunakan bakteri *Burkholderia thailandensis* ASB7, *Burkholderia seminalis* ASB21, *Bacillus sp* PSB16 dapat menurunkan keracunan

Al. Penggunaan bakteri yang dikombinasi dengan gound magnesium limestone GML) dab Basalt, dapat meningkatkan pH tanah dan hasil gabah  $6,82 \text{ t ha}^{-1}$ .

Mikroorganisme membantu dalam penyediaan P di dalam tanah, dengan jalan memproduksi asam-organik seperti formiat, laktat, glikolat, fumarat dan suksinat. Asam organik ini membentuk khelat organik (kompleks stabil) sehingga ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^{2+}$  menjadi tersedia bagi tanaman (Nasahi *et al.*, 2010).

### a Siderofor dan Peranannya

Siderofor adalah agent pengkhelat logam dengan massa molekul yang rendah, yang diproduksi oleh mikroorganisme dan tanaman terutama pada kondisi keterbatasan Fe (Schwyn and Neilands, 1987). Siderofor dibentuk merupakan strategi mikroorganisme karena rendahnya ketersediaan Fe alami di lingkungannya (Simões *et al.*, 2007).

Besi (Fe) merupakan unsur esensial yang dibutuhkan untuk pertumbuhan semua mikroorganisme, karena berfungsi sebagai katalisator pada proses enzimatik, metabolisme oksigen, transport electron dan sintesis DNA dan RNA (Aguado-Santacruz *et al.*, 2012). Fe juga esensial untuk pembentukan biofilm karena mengatur motilitas permukaan dan menstabilkan matrik polisakarida (Weinberg, 2004 dan Chhibber *et al.*, 2013). Fe juga merupakan unsur mikro esensial untuk pertumbuhan tanaman (Kobayashi and Nishizawa, 2012).

Dibawah kondisi kekurangan Fe, tanaman *gramineae* mengembangkan strategi untuk memperoleh Fe dari sumber Fe yang tidak larut (Kreamer *et al.*, 2006). Tanaman ini mengeluarkan senyawa ras-Fe (III) yang disebut phytosiderofor yang membentuk kompleks kuat spesifik dengan Fe (III) (Ma, 2005). Phytosiderofor adalah ligand hexadentate yang mengkoordinasikan Fe (III) dengan gugus amino dan karbonilnya (Singh *et al.*, 2011). Ketika phytosiderofor dilepaskan ke rhizosfer, ia mengkhelat Fe dari tanah dengan membentuk Fe (III)-phytosideropfor kompleks, yang kemudian diangkut melintasi plasma akar (Deli'mour *et al.*, 2012). Massa

mikrobia siderofor antara 200 – 2000 Da, sedangkan phytosiderofor memiliki massa 500 – 1000 Da (Neilands, 1981).

Pertumbuhan dibawah kondisi kekurangan Fe, hidropobik permukaan mikrobia menurun yang mengubah komposisi protein permukaan dan menyebabkan pembatasan pembentukan biofilm (Simões *et al.*, 2007).

Peran utama siderofor mengais (menemukan) Fe tetapi juga bentuk kompleks dengan elemen penting lainnya di lingkungan sekitarnya dan menjadi tersedia bagi sel mikrobia (Bellenger *et al.*, 2008; Braud *et al.*, 2009).

Siderofor telah diusulkan sebagai alternative yang ramah lingkungan untuk pestisida yang berbahaya (Schenk *et al.*, 2012), dan lebih dari tiga dekade bahwa species *Pseudomonas* yang berbeda dapat memperbaiki pertumbuhan tanaman dengan memproduksi siderofor (Pyoverdines) dan/atau melindungi tanaman dari pathogen. Kelompok bakteri ini diklasifikasikan sebagai bakteri pemacu pertumbuhan tanaman (Kloepper *et al.*, 1980)

Mikroba yang sangat aktif memproduksi siderofor berasal dari *Pseudomonas* (Essen *et al.*, 2007, Weller *et al.*, 2002, Sayyed *et al.*, 2005, Tailor dan Joshi, 2012, Bhattacharya, 2010 dan Jenifer *et al.*, 2013). Menurut Bhattacharya (2010), *Pseudomonas fluoressent* selain memproduksi siderofor juga dapat mengikat ion-ion logam lainnya. Produksi siderofor akan menurun pada konsentrasi besi yang tinggi.

#### **b. Peranan Bakteri Pelarut Fosfat terhadap Pertumbuhan Tanaman**

Fosfor (P) merupakan hara yang memiliki banyak peran dalam pertumbuhan, walaupun P merupakan unsur kedua setelah nitrogen, namun karena peran utamanya adalah pada proses metabolisme pada tanaman seperti transfer energi, fotosintesis, *signal transduction* dan respirasi (Khan *et al.*, 2010).

Tanah masam seperti tanah sulfat masam, unsur P umumnya terdapat dalam keadaan terikat oleh Al, dan Fe, ditemukan dalam bentuk kompleks Fe-fosfat dan Al-fosfat anorganik yang muncul setelah aplikasi pupuk sintetis yang berulang-ulang (Barber, 1995). Tanaman tidak memiliki kapasitas untuk mengabsorpsi bentuk yang

tidak larut, disamping itu hanya 0,1% dari total fosfor yang larut dapat tersedia bagi tanaman (Zhou *et al.*, 1992). Kemampuan bakteri pelarut fosfat dapat merupakan jalan untuk dapat melarutkan fosfat yang tidak larut seperti yang telah didukung banyak peneliti (Khan *et al.*, 2007).

Peranan bakteri pelarut fosfat selain dapat membantu melarutkan fosfat, tetapi juga memfasilitasi pertumbuhan tanaman melalui fiksasi nitrogen (Dobbelaere *et al.*, 2002; Sahin *et al.*, 2004), produksi fitohormon seperti auxin (Jeon *et al.*, 2003) and gibberellin (Gutierrez-Manero *et al.*, 2001, merilis siderofor (Wani *et al.*, 2007).

Bakteri pelarut fosfat merupakan salah satu mikroorganisme yang banyak diteliti dapat meningkatkan pertumbuhan dan produksi tanaman. Peningkatan tinggi dan panjang akar pada tanaman tomat disebabkan adanya asosiasi pemanjangan sel dan multiplikasi sel, menyebabkan absorpsi nutrisi yang tinggi khususnya P (Walpola dan Yoon , 2013). Dapat juga disebabkan kemampuan strain memproduksi fitohormon seperti IAA (Rudesh *et al.*, 2005) dan Gull *et al.*, (2004) yang dilakukannya pada tanaman Chickpea (*Cicer arilenum* L).

Pengaruh rhizobakteri pemacu pertumbuhan (PGPR) menstimulasi beberapa tanaman semusim dengan meningkatkan pengambilan nitrogen, besi (melalui senyawa siderofor), sintesis fitohormon dan mengontrol penyakit pada tanaman seperti penggunaan *Pseudomonas fluorescent* yang saat ini digunakan secara luas dan sangat potensial sebagai kelompok bakteri pengontrol penyakit (Sayyed *et al.*, 2005). Rhizobakteri pelarut fosfat juga dapat meningkatkan jumlah daun , berat pucuk dan akar tanaman jagung (Adjonohoun, 2011) Pengaruh tidak langsung bakteri pelarut fosfat pada tanaman yaitu pencegahan atau perlawanan terhadap patogen dengan memproduksi antibodi (Mahmoud *et al.*, 2004).

Beberapa hasil penelitian lainnya, menggunakan bakteri pelarut fosfat dapat meningkatkan hasil, seperti meningkatkan hasil tebu (Sundara *et al.*, 2002). Meningkatkan tinggi bibit pada tanaman *Cicer aritinum* (Sharma *et al.*, 2007). Penggunaan bakteri *Pseudomonas* spp meningkatkan jumlah bintil akar, berta kering bintil akar dan komponen hasil, berat biji, ketersediaan hara pada tanaman kedelai (Son *et al.*, 2006).

### c. Mekanisme Kelarutan P oleh Bakteri Pelarut Fosfat

Mekanisme bakteri pelarut fosfat dalam melarutkan fosfat ditandai dengan kemampuan melepaskan hasil metabolitnya seperti asam-asam organik melalui kelompok hydroxyl dan carboxyl mengikat kation fosfat yang kemudian mengubah menjadi bentuk terlarut (Sharma *et al.*, 2011; Ilmer dan Schinmer, 1992). Kecepatan senyawa fosfat yang tak larut menjadi larut ditentukan oleh asam-asam organik dan enzyme fosfatase yang dilepaskan oleh tanaman dan mikroorganisme tersebut (Sharma, 2005). Selanjutnya dinyatakan juga bahwa kelarutan fosfat oleh mikroba bervariasi prosesnya atau mekanismenya selain asam-asam organik juga proton *extrusion* (Sharma *et al.*, 2011).

Mekanisme kelarutan P oleh mikroorganisme pelarut fosfat tidak sepenuhnya dipahami, namun produksi asam-asam organik dipercayai menjadi mekanisme utama (Alam *et al.*, 2002; Rodriguez *et al.*, 1999). Bakteri pelarut fosfat melarutkan fosfat melalui produksi asam-asam organik dengan berat molekul rendah seperti asam glukonik, dan asam keto-glukonik (Sharma *et al.*, 2011), sedangkan menurut Bnayahu (1991), mekanisme utama kelarutan P anorganik berdasarkan sintetik asam-asam organik dengan berat molekul rendah, seperti glukonik, dan citrit. Bakteri pelarut fosfat ditemukan juga memproduksi asam organik monocarboxylic (acetic, formic), monocarboxylic hydroxyl (lactic, glucenic, glycolic), monocarboxylic, ketoglukonic, decarboxylic (oxalic dan succinic), decarboxylic hydroxyl (malic dan maleic) dan asam trikarboxylic hydroxyl (citric) (Karpagam dan Nagalaksmi, 2014).

Banyak peneliti menemukan bahwa dalam mekanisme kelarutan P, biasanya diikuti dengan penurunan pH di daerah rhizosfir (Sharma *et al.*, 2011), namun ada juga yang menyatakan bahwa tidak diikuti dengan penurunan pH (Barbera *et al.*, 2014). Penurunan pH disebabkan adanya asam-asam organik yang dirilisnya (Chen *et al.*, 2006; Mehta *et al.*, 2001). Asam organik ini membentuk khelat organik (kompleks stabil) sehingga ion  $\text{H}_2\text{PO}_4^{2+}$  menjadi tersedia bagi tanaman (Nasahi *et al.*, 2010).

### 3. Budidaya tanaman padi ditanah sulfat masam

Beras merupakan makanan pokok rakyat Indonesia, oleh karenanya padi bagi petani di Indonesia merupakan tanaman penting yang harus di tanam. Dengan alasan demikian petani selalu menanamnya jika ada lahan kosong. Ini juga terjadi pada petani di kabupaten Kubu Raya Kalimantan Barat, walaupun biasanya hasilnya tidak memadai dengan yang diharapkan. Desa Sungai Rengas merupakan salah satu desa yang ada di Kabupaten Kubu Raya. Tanaman padi yang di tanam petani dilakukan pada tanah sulfat masam, dengan cara konvensional walaupun hasil tidak meningkat tetapi mereka tetap menanam. Ini menunjukkan bahwa padi merupakan tanaman yang penting yang harus ditanam.

Tanaman padi yang ditanam di tanah sulfat masam umumnya mengalami keracunan  $Fe^{2+}$  selama stadia reproduktif yang menyebabkan akarnya mati (Hanhart dan Duong, 1993), namun tanaman padi memiliki mekanisme khusus untuk menurunkan pengaruh keracunan Fe. Menurut Moormann dan van Breemen (1978) tanaman padi dapat memompa  $O_2$  ke bawah akar, yang merupakan daerah teroksidasi di sekitarnya dimana  $Fe(OH)_2$  diendapkan, mencegah penyerapan Fe beracun lebih lanjut.

Beberapa usaha yang dapat dilakukan dalam memperbaiki produksi di tanah sulfat masam, diantaranya penggunaan bahan organik, ground magnesium limes (GML), ground basalt (GB), penggunaan pupuk organik, penggunaan mikroorganisme pelarut fosfat untuk penyediaan P yang sulit tersedia bagi tanaman yang ditanam pada tanah sulfat masam. Padi yang ditanam di tanah sulfat masam di Kelantan Malaysia hasilnya rendah rata-rata berproduksi  $3,8 \text{ t ha}^{-1}$ , ini menyebabkan beberapa peternakan ditinggalkan oleh komunitas pertanian. Pemberian awal ground magnesium lime (GML) meningkatkan pH dan juga meningkatkan ketersediaan unsur makro seperti Ca dan Mg dari melarutnya kapur (Shamshuddin, 2006). Memang Ca dapat mengurangi keracunan Al tapi sampai batas tertentu (Alva *et al*, 1986). Ca yang dapat dipertukarkan didalam tanah sebesar  $2 \text{ cmolc/kg}$  (Deberman dan Fairhust, 2000).

Penelitian Panhwar *et al.*, (2014) tentang pengaruh konsentrasi Al ( $100 \mu\text{M}$ ) dan pemberian bakteri pelarut fosfat pada pH 4,0 terhadap bibit padi, menunjukkan bahwa pemberian bakteri pelarut fosfat memberikan pertumbuhan lebih baik dari tanpa bakteri. Panhwar *et al.*, (2015) menggunakan kombinasi antara biofertilizer dengan Basalt dan GML pada tanah sulfat masam meningkatkan produksi gabah menjadi  $6,82 \text{ t ha}^{-1}$ .

Pemberian ground basalt (GB) pada tanah sulfat masam memberikan pertumbuhan padi lebih baik dibandingkan tanpa ground basalt (Shazana *et al.*, 2014). Pemberian ground basalt tidak hanya meningkatkan pH tetapi juga mensuplai Ca, Mg, K dan P untuk pertumbuhan tanaman di lapangan (Shazana *et al.*, 2013). Hasil penelitian Shamsuddin *et al.*, (2016) pemberian GML dan GB masing-masing sebesar  $4 \text{ t ha}^{-1}$  dan pupuk organik (OF) sebesar  $0,25 \text{ t ha}^{-1}$  pada tanah sulfat masam, meningkatkan pH tanah dan menurunkan keracunan Al pada tanaman padi di Kedah Malaysia. Penggunaan GML menghasilkan gabah  $4,21 \text{ t ha}^{-1}$ , sedangkan dengan GB  $4,41 \text{ t ha}^{-1}$  menghasilkan gabah  $4,41 \text{ t ha}^{-1}$ , dengan pupuk organik saja menghasilkan gabah sebesar  $1,2 \text{ t ha}^{-1}$ . Kombinasi GB + OF menghasilkan gabah tertinggi sebesar  $4,70 \text{ t ha}^{-1}$ .

## **B.Kerangka Berpikir**

Lahan sulfat masam merupakan lahan yang memiliki potensi sebagai lahan pertanian, hanya saja kemasaman tanah yang tinggi dan adanya pirit yang tidak stabil menjadi pembatas serta dapat mengganggu pertumbuhan tanaman, terutama dalam keadaan kering atau teroksidasi, oksigen masuk ke dalam pori tanah, sementara pirit akan melepaskan sulfur (S) membentuk asam sulfat, sehingga tanah memiliki keasaman yang ekstrim, sedangkan Fe dalam bentuk  $\text{Fe}^{3+}$  (ferro) yang terlarut mengikat P membentuk Fe-fosfat, sehingga P sulit tersedia bagi tanaman.

Padi yang ditanam petani di desa Sungai Rengas masih konvensional. Pemberian pupuk anorganik diberikan hampir setiap kali bertanam, namun dari tahun ke tahun hasilnya semakin menurun dengan produksi berkisar  $0,5 \text{ ton} - 2,0 \text{ ton}$  per hektar. Pemberian pupuk anorganik yang dilakukan bertujuan untuk memenuhi

kebutuhan hara bagi tanaman, namun pemberian yang terus menerus dari tahun ke tahun dapat menyebabkan tanah terdegradasi, apalagi di tanah sulfat masam yang memiliki kemasaman yang tinggi, pemberian pupuk khususnya unsur P diikat oleh Fe dan Al.

Banyak usaha yang dapat diupayakan agar tanah sulfat masam ini dapat menjadi lahan potensial bagi tanaman padi, seperti pemberian bahan organik, pemberian kapur GML, ground basalt (GB), biochar, penggunaan pupuk organik dan melalui penggunaan mikroorganisme tanah, karena mikroorganisme di dalam tanah terdapat sebesar 85% dan merupakan mikroorganisme tanah yang sangat bermanfaat dalam membantu pertumbuhan tanaman, dan cara ini belum dimanfaatkan petani.

Salah satu mikroorganisme yang bermanfaat tersebut adalah bakteri pelarut fosfat yang dapat membantu pertumbuhan tanaman melalui kemampuannya dalam menyediakan hara P yang tidak larut menjadi tersedia bagi tanaman. Kelarutan fosfat oleh bakteri pelarut fosfat dilakukan dengan cara merilis asam-asam organik, diantaranya asam glukonik, asam keto glukonis citric, asetat. Kemampuan lain bakteri dapat meningkatkan pertumbuhan melalui produksi senyawa indol (fitohormon) seperti auxin, giberelin, sitokinin, karena fitohormon ini merupakan pemacu pertumbuhan tanaman. Disamping itu bakteri dapat memproduksi siderofor, senyawa siderofor merupakan senyawa yang dapat mengkelat logam Fe, juga logam-logam lainnya, dan dapat menjadi biokontrol patogen bagi tanaman.

Inokulasi bakteri pelarut fosfat dari tanah sulfat masam pada padi kultivar “Mentik Susu” diharapkan dapat berhasil membantu meningkatkan pertumbuhan padi dan hasil gabah, walaupun kultivar ini berasal dari Pulau Jawa, karena kemampuan bakteri dapat melarutkan P yang tak tersedia menjadi tersedia bagi tanaman, disamping kemampuannya memproduksi fitohormon yang dapat memacu pertumbuhan tanaman. Banyak referensi menyatakan bahwa penggunaan bakteri pelarut fosfat dapat mengurangi penggunaan pupuk kimia atau dapat juga merupakan biofertilizer bagi pertanian

berkelanjutan.

### C. Hipeotesis

1. Diduga akan diperoleh bakteri yang dapat melarutkan fosfat, memproduksi siderofor dan indol dari tanah sulfat masam desa Sungai Rengas Kabupaten Kubu Raya, yang berbeda jenisnya.
2. Diduga pelarutan fosfat oleh bakteri akibat produksi asam-asam organik.
3. Bakteri pelarut fosfat penghasil siderofor dan indol yang diperoleh hasil isolasi dari rhizosfir dan jaringan akar padi lokal dari tanah sulfat masam mampu meningkatkan pertumbuhan dan hasil gabah padi kultivar "Mentik Susu" yang berasal dari Pulau Jawa yang ditanam di tanah sulfat masam di desa Sungai Rengas Kabupaten Kubu Raya Kalimantan Barat.

