

BAB I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kegiatan penambangan emas di Indonesia dilakukan secara industri dan tradisional, dimana umumnya kegiatan penambangan emas yang dilakukan oleh masyarakat lokal tidak mempunyai izin dari pemerintah atau dikenal dengan PETI. Salah satu wilayah dengan aktivitas pertambangan emas secara tradisional yang relatif tinggi di Sumatera Barat yaitu Kabupaten Dharmasraya. Menurut Juneri dan Mubarak (2019) bahwa Kabupaten Dharmasraya memiliki cadangan emas sebesar 749 kg dan hasil produksi sekitar $0,1 \text{ kg hari}^{-1}$, dimana 1 g emas membutuhkan 1,14 g Hg dalam proses amalgamasi, sedangkan luas lahan bekas tambang emas mencapai 22.509 Ha. Potensi ini memungkinkan lahan bekas tambang emas dapat dijadikan sebagai lahan produktif dalam budidaya pertanian, akibat lahan pertanian semakin terbatas.

Proses pertambangan emas secara tradisional dengan metode amalgamasi menggunakan Hg sebagai pengikat emas, menjadi dasar pencemaran Hg pada tanah bekas tambang emas, dimana 25 - 30% Hg yang ditambahkan dalam proses ini hilang ke lingkungan (Esdaile dan Chalker, 2018). Penggunaan Hg tersebut yang menghasilkan residu yang dapat mengkontaminasi tanah, air, udara dan vegetasi dalam berbagai bentuk seperti Hg^0 , Hg^+ dan khusus di dalam tanah yang mendominasi yaitu Hg^{2+} . Bentuk Hg tersebut menimbulkan pencemaran terhadap badan air tanah dan masuk ke dalam rantai makanan. Dampak pencemaran Hg di lahan tambang emas juga mengakibatkan wilayah pertanian dan perkebunan terancam rusak (4.144 Ha berstatus kritis) dengan 7.465 Ha sawah sudah tercemar Hg (Juneri dan Mubarak, 2019). Menurut Alloway (2012) batas standar baku mutu Hg di dalam tanah sebesar $\leq 0,3 \text{ ppm}$.

Berdasarkan Ratnaningsih *et al.*, (2019), distribusi Hg di DAS Batanghari pada air sungai berkisar 0,001–0,07 ppm, sedangkan pada tanah sekitar 0,01–0,42 ppm. Menurut Sahara dan Puryanti (2015), Hg pada tanah sebesar 5,20 ppm di Nagari Batu Bakauik, Kabupaten Dharmasraya. Hal ini menegaskan bahwa pencemaran Hg di daerah ini berada pada batas ambang kritis. Mengingat masih banyak daerah yang tercemar Hg di Kabupaten Dharmasraya dan belum

teridentifikasi secara keseluruhan, maka perlunya identifikasi Hg dan dampak perubahan karakterisasi fisikokimia tanah bekas tambang emas di Kabupaten Dharmasraya yang diduga tingkat pencemarannya cukup tinggi yang akan dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman seperti tanaman kipahit (*Tithonia diversifolia*), jika dimanfaatkan sebagai lahan produktif untuk penghijauan terutama sebagai *tourism area*. Pemanfaatan tanaman ini sebagai indikator dalam proses remediasi (fitoakumulator) karena memiliki kelimpahan biomassa, adaptasi dan kemampuan untuk tumbuh pada lahan tercemar logam berat seperti Ag, Cu, Zn, Cd dan Pb (Purwani, 2010) serta memiliki potensi tinggi terhadap pemulihan kesuburan tanah. Namun, secara spesifik belum ada penelitian khusus terhadap budidaya tanaman kipahit (*Tithonia diversifolia*) yang dilakukan pada tanah bekas tambang emas tercemar Hg.

Kemampuan tanah dan tanaman dalam menyerap Hg sangat dipengaruhi oleh sifat fisik dan kimia tanah (kadar liat, air, bahan organik, pH, KTK), serta jenis tanaman dan tahap pertumbuhannya. Tanah dapat meretensi, mengadsorpsi dan mengakumulasi Hg yang dapat ditentukan oleh kadar liat, kadar air, potensial redoks, pH, kadar bahan organik dan kapasitas tukas kation (KTK) tanah. Menurut Ugwu dan Igbokwe, (2019) bahwa kapasitas sangga tanah terhadap kation Hg dapat ditingkatkan dengan meningkatkan pH, bahan organik dan KTK. Kapasitas tanaman dalam mengakumulasi Hg bergantung pada spesies, kultivar, bagian tanaman, umur atau fase fisiologisnya dan mekanisme tanaman dalam menoleransi toksisitas Hg yaitu melalui fenomena selektivitas serapan ion dari media tanam (Singh *et al.*, 2016). Secara umum, dasar keberhasilan dalam upaya pengelolaan pencemaran Hg dapat diukur pada terjadinya penurunan serapan Hg pada tanaman. Menurut Kalaivanan dan Ganeshamurthy (2016) bahwa penurunan serapan tanaman terhadap Hg dapat terjadi: (1) akibat penurunan kadar fraksi aktif Hg dalam media tanam; (2) peningkatan selektivitas tanaman dalam menyerap unsur dari media tanam atau (3) kombinasi antara keduanya. Maka, dampak pencemaran Hg harus dibawah standar baku mutu atau dibawah nilai kritis. Dengan demikian, perlu upaya menurunkan konsentrasi Hg dengan pemberian amelioran yang dapat menurunkan kelarutan Hg dalam sistem tanah dan tanaman terutama dalam perakaran tanaman (rizosfer).

Kepedulian terhadap keberadaan Hg di lingkungan daerah sekitar pertambangan emas dan dampak terhadap kesehatan yang berkaitan dengan reaktivitas, toksisitas dan mobilitas dalam sistem tanah dan tanaman seharusnya menjadi perhatian yang besar bagi pengambil kebijakan. Mengingat sumber daya keuangan yang terbatas dari masyarakat dan pemerintah, maka strategi dalam remediasi tanah dengan modal rendah dapat dikembangkan untuk cakupan wilayah yang luas. Perlunya teknologi sebagai solusi alternatif terbarukan yang bersifat inovasi, efisien, efektif, ekonomis dan ramah lingkungan terhadap lingkungan dan kesehatan yaitu melalui sistem remediasi berkelanjutan dalam mengatasi permasalahan pada tanah bekas tambang emas yang tercemar Hg yaitu menggunakan teknik inaktivasi.

Berdasarkan Li *et al.*, (2020) bahwa inaktivasi merupakan teknik remediasi yang merujuk kepada penggunaan bahan pembenah tanah (amelioran) untuk mengubah bentuk geokimia logam berat dalam tanah. Teknik inaktivasi dapat menjadi teknik yang prospektif untuk diaplikasikan pada tanah yang tercemar dengan logam berat khususnya Hg. Pengembangan teknik inaktivasi bertujuan untuk dapat menurunkan serapan Hg oleh tanaman dan mengurangi laju pencucian Hg di ekosistem. Amelioran yang akan diaplikasikan harus dapat mengubah bentuk fase geokimia Hg dalam tanah yang sebelumnya terlarut dan sangat mudah larut (fraksi aktif seperti CH_3Hg) menjadi fraksi yang secara geokimia lebih stabil (fraksi stabil seperti HgS dan *Hg-Inorganic complexes*), sehingga keterserapan dan toksisitas Hg terhadap tanaman menurun. Hal ini menjadi penting untuk memilih jenis amelioran yang tepat dalam menginaktivasi pada tanah tercemar Hg. Peluang batubara sub-bituminus dalam bentuk bubuk (BS) dan bubuk yang diaktivasi secara kimia dengan NaOH (BS-NaOH) serta limbah buah kelapa muda yang dikarbonasi menjadi biochar (B-LKM) sebagai amelioran tanah harus memiliki kapasitas yang tinggi untuk meningkatkan sorpsi tanah terhadap Hg.

Pemanfaatan batubara sub-bituminus sebagai amelioran tanah didasari atas kandungan senyawa humat yang tinggi sebesar 31,5% (21% asam humat dan 10,5% asam fulfat yang diekstraksi dengan NaOH 0,5 N). Pengembangan batubara sub-bituminus untuk dimanfaatkan dengan proses aktivasi secara kimia yang

bertujuan untuk memecah ikatan hidrokarbon atau mengoksidasi molekul permukaan yang menyebabkan perubahan sifat fisika maupun kimia seperti meningkatkan luas permukaan dan daya adsorpsi. Aktivasi kimia dipilih dan lebih dianjurkan untuk dilakukan karena cenderung lebih mudah dan efektif terhadap aplikasinya di lapangan. Jenis pereaksi yang telah digunakan dalam aktivasi kimia BS seperti NaOH, NaCl, Urea, KCl (Herviyanti *et al.*, 2018; 2021; Prasetyo *et al.*, 2018) dan Kapur [CaO; Ca(OH)₂; CaCO₃ dan CaMg(CO₃)₂] (Maulana, 2020). Menurut Herviyanti *et al.*, (2018) aktivasi bubuk BS dengan 10% NaOH dapat meningkatkan sifat kimia bubuk BS seperti pH (5,34 menjadi 12,65 unit), KTK (24,39 menjadi 148,20 cmol(+)kg⁻¹) dan terjadi peningkatan jumlah gugus fungsional O-H, C=O, dan CH₃ serta juga dapat meningkatkan sifat kimia tanah Ultisol seperti pH H₂O, KTK, C organik, P tersedia, dan N total masing-masing sebesar 1,49, 28,08 cmol(+)kg⁻¹, 1,63% C, 2,37 ppm P, 0,06% N, dan menurunkan Al-dd sebesar 1,17 cmol(+)kg⁻¹ dan *Sodium Adsorption Ratio* (SAR) sebesar 0,03% dan *Exchangeable Sodium Percentage* (ESP) sebesar 0,82%, dibandingkan dengan kontrol. Potensi dan pemanfaatan batubara sub-bituminus yang telah dilakukan. Namun dalam konteks pengendalian logam berat yang memiliki mobilitas tinggi seperti Hg belum ada. Penelitian khusus yang dilakukan untuk meningkatkan potensi dan efektifitas pemanfaatan batubara sub-bituminus dalam mengendalikan kelarutan Hg, dengan formulasi biochar sebagai amelioran pada tanah bekas tambang emas tercemar Hg penting untuk dilakukan.

Biochar sebagai salah satu jenis amelioran yang sangat menjanjikan, dimana dapat diproduksi dari limbah organik yang hemat biaya dan terbukti dapat menyuburkan tanah serta mengurangi kelarutan Hg di dalam tanah. Biochar adalah bahan kaya karbon yang dihasilkan melalui pirolisis dari limbah organik pertanian. Potensi biochar untuk menghilangkan Hg dari larutan tanah dan untuk mengurangi terbentuknya CH₃Hg (*methyl mercury*) dalam tanah dan tanaman melalui mekanisme langsung (pengikatan Hg-biochar) dan tidak langsung (siklus sulfur yang dipengaruhi biochar dan pengikatan Hg-tanah) (Yang *et al.*, 2021). Namun tetap saja, berbeda bahan baku, suhu dan metode pirolisis, dan fungsionalitasnya memerlukan pengujian untuk mengidentifikasi morfologi dan karakteristik biochar yang digunakan dalam melihat potensi penyerapan Hg. Perlu

dipahami bahwa pengaruh biochar pada mobilitas dan bioavailabilitas Hg sangat kompleks, mengingat karakteristik yang bervariasi dari biochar yang berasal dari bahan yang berbeda dan perbedaan dalam kondisi lingkungan dan tingkat aplikasinya. Salah satu yang berpotensi dari limbah organik yang dapat digunakan adalah limbah buah kelapa muda.

Potensi dari limbah buah kelapa muda sangat besar karena mudah didapat dan pemanfaatannya juga berkontribusi terhadap pengurangan dampak pencemaran lingkungan dari limbah organik. Menurut Dinas Lingkungan Hidup (2019) limbah buah kelapa muda mencapai 7 ton setiap harinya di Kota Padang. Berdasarkan potensi tersebut limbah buah kelapa muda dapat dikarbonasikan dengan hasil rendemen sebesar 20,87% menjadi biochar atau sekitar 1,4 ton melalui prinsip pirolisis dalam metode Kon-Tiki (Maulana *et al.*, 2021). Menurut Herviyanti *et al.*, (2020) penambahan 2% B-LKM (693g 8kg tanah⁻¹) dapat meningkatkan pH, P, C organik dan KTK masing – masing sebesar 1.09 unit; 1,70 ppm; 0,99% dan 9,12 cmol(+)^{kg}⁻¹ dan menurunkan Al-dd (3.19 cmol(+)^{kg}⁻¹) sampai tidak terukur, dibandingkan dengan 0% biochar (kontrol). Biochar sebagai produk hasil pirolisis biomassa, yang mengandung karbon yang stabil dan dapat bertahan lama di dalam tanah. Karbon dalam biochar tidak mudah terurai (Afshar dan Mofatteh, 2024; Chiaramonti *et al.*, 2024), sehingga dapat membantu meningkatkan kesuburan tanah (Nepal *et al.*, 2023), memperbaiki retensi air (Wang *et al.*, 2023), dan mengurangi emisi gas rumah kaca (Kalu *et al.*, 2022). Penggunaan biochar semakin populer dalam pertanian berkelanjutan dan pengelolaan limbah. Berdasarkan potensi dan pemanfaatan biochar limbah buah kelapa muda yang telah dilakukan, diperlukan penelitian khusus terhadap pengendalian tanah tercemar logam berat khususnya Hg belum ada dilakukan. Hal ini menjadi peluang baru untuk biochar limbah buah kelapa muda sebagai formulasi amelioran dengan batubara sub-bituminus untuk meningkatkan produktivitas tanah dan tanaman serta mengendalikan kelarutan Hg di dalam tanah melalui teknik inaktivasi dengan formulasi amelioran pada tanah bekas tambang emas tercemar Hg.

Teknik inaktivasi Hg yang akan menggunakan formulasi amelioran dari batubara sub-bituminus dan biochar limbah buah kelapa muda pada tanah bekas

tambang emas tercemar Hg dapat dilakukan secara simultan dalam proses remediasi tanah. Namun, penelitian lain yang sejenis, khususnya pengujian formulasi amelioran untuk budidaya komoditi pertanian dari segi efektifitasnya dalam mengadsorpsi dan menginaktivasi Hg serta mekanismenya belum ada ditemukan. Oleh karena itu, melalui penelitian ini harus ditekankan pada formulasi amelioran yang digunakan pada tanah bekas tambang emas tercemar Hg untuk dapat mengurangi kadar Hg serendah mungkin dalam sistem tanah dan tanaman, supaya lahan bekas tambang emas dapat dimanfaatkan kembali menjadi lahan produktif untuk budidaya pertanian.

B. Perumusan Masalah

Kegiatan penambangan emas di Indonesia secara tradisional umumnya dilakukan oleh masyarakat lokal yang tidak mempunyai izin dari pemerintah atau dikenal dengan PETI, dimana salah satu wilayah di Sumatera Barat yaitu Kabupaten Dharmasraya. Luas lahan bekas tambang emas mencapai 22.509 Ha di Kabupaten Dharmasraya berpotensi dijadikan sebagai lahan produktif dalam budidaya pertanian, akibat lahan pertanian semakin terbatas. Namun, proses pertambangan emas secara tradisional dengan metode amalgamasi menggunakan Hg sebagai pengikat emas, menjadi dasar pencemaran Hg pada tanah bekas tambang emas. Dampak pencemaran Hg di lahan tambang emas juga mengakibatkan wilayah pertanian dan perkebunan terancam rusak dan berstatus kritis. Mengingat masih banyak daerah yang tercemar Hg di Kabupaten Dharmasraya dan belum teridentifikasi secara keseluruhan, maka perlunya identifikasi Hg dan dampak perubahan karakterisasi fisikokimia tanah bekas tambang emas di Kabupaten Dharmasraya yang diduga tingkat pencemarannya cukup tinggi. Pertanyaannya adalah bagaimana distribusi Hg dan karakteristik sifat fisikokimia serta korelasinya pada tanah bekas tambang emas di Kabupaten Dharmasraya.

Kepedulian terhadap keberadaan Hg di lingkungan daerah sekitar pertambangan emas memerlukan teknologi sebagai solusi alternatif terbarukan yang bersifat inovasi, efisien, efektif, ekonomis dan ramah lingkungan terhadap lingkungan dan kesehatan melalui teknik inaktivasi. Inaktivasi sebagai teknik

remediasi yang merujuk kepada penggunaan bahan pembenah tanah (amelioran) yang bersifat prospektif untuk diaplikasikan pada tanah yang tercemar dengan logam berat khususnya Hg. Peluang batubara sub-bituminus dalam bentuk bubuk (BS) dan bubuk yang diaktivasi secara kimia dengan NaOH (BS-NaOH) serta limbah buah kelapa muda yang dikarbonasi menjadi biochar (B-LKM) sebagai amelioran tanah harus memiliki kapasitas yang tinggi untuk meningkatkan sorpsi tanah terhadap Hg. Pertanyaan adalah bagaimana morfologi, karakteristik dan kemampuan formulasi amelioran dari batubara sub-bituminus dan biochar limbah buah kelapa muda dalam mengurangi Hg melalui adsorpsi pada tanah bekas tambang emas di Kabupaten Dharmasraya.

Penggunaan formulasi amelioran dari batubara sub-bituminus dan biochar limbah buah kelapa muda pada tanah bekas tambang emas tercemar Hg dengan teknik inaktivasi Hg dapat dilakukan secara simultan dalam proses remediasi tanah dan tanaman. Tanaman kipahit (*Tithonia diversifolia*) yang dimanfaatkan sebagai indikator dalam proses remediasi (fitoakumulator). Kelimpahan biomassa, adaptasi dan kemampuan tanaman kipahit untuk tumbuh pada lahan tercemar logam berat dan memiliki potensi tinggi terhadap pemulihan kesuburan lahan bekas tambang emas dapat dimanfaatkan kembali menjadi lahan produktif untuk budidaya pertanian. Pertanyaan adalah bagaimana aplikasi formulasi amelioran dari batubara sub-bituminus dan biochar limbah buah kelapa muda dengan teknik inaktivasi Hg terhadap pertumbuhan tanaman kipahit (*Tithonia diversifolia*) pada tanah bekas tambang emas di Kabupaten Dharmasraya.

C. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mengkaji karakteristik sifat fisikokimia dan memetakan indeks kontaminasi dan pencemaran Hg pada tanah dan tanah bekas tambang emas di Kabupaten Dharmasraya;
2. Menguji potensi formulasi amelioran dari bubuk sub-bituminus dan biochar limbah buah kelapa muda terhadap kemampuan mengadsorpsi Hg untuk mengurangi kelarutan pada tanah bekas tambang emas di Kabupaten Dharmasraya, dan

3. Mengkaji kemampuan formulasi amelioran terpilih dalam inaktivasi Hg pada tanah bekas tambang emas untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman kipahit (*Tithonia diversifolia*).

D. Manfaat Penelitian

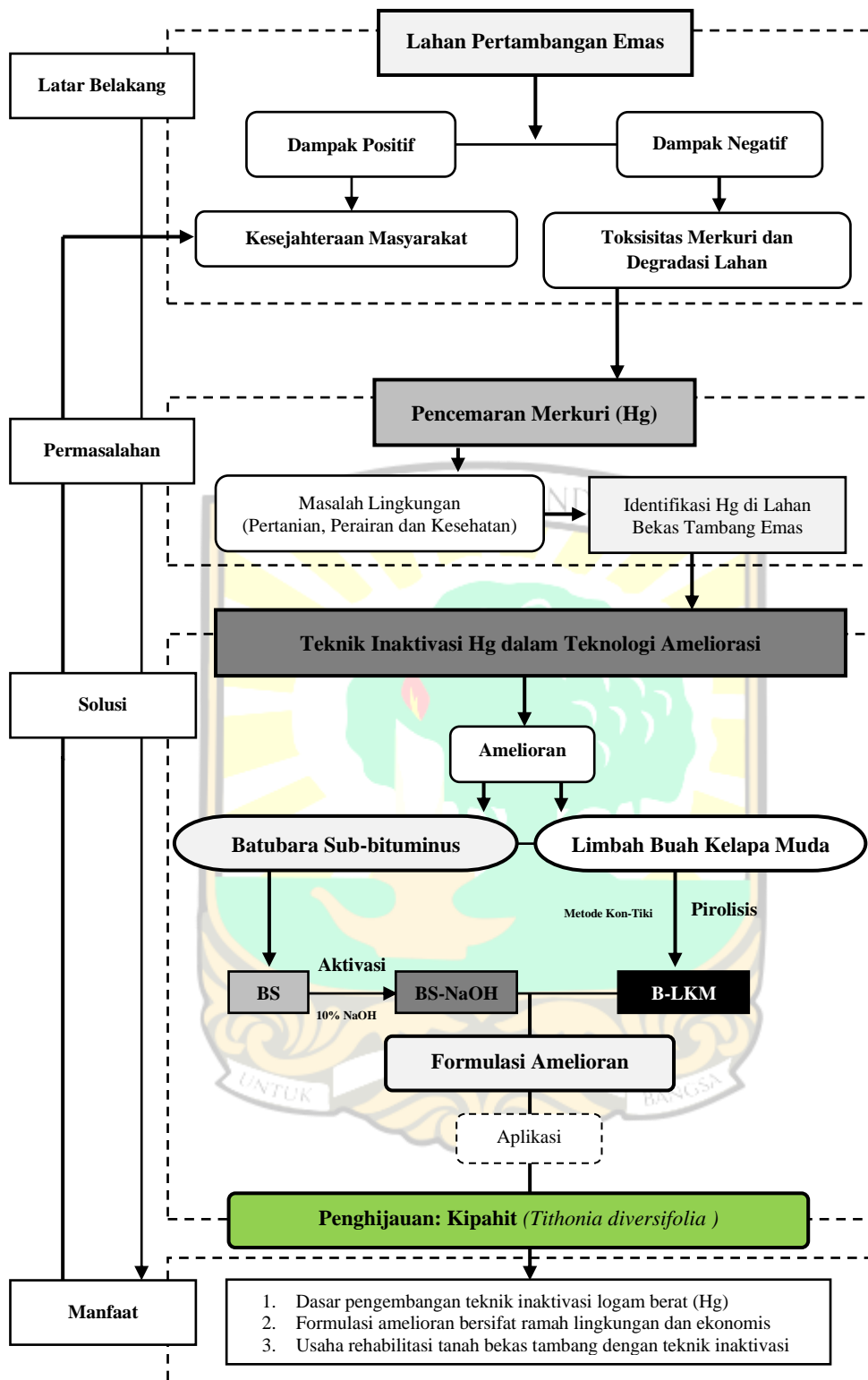
Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Sebagai informasi dasar sifat fisikokimia dan pencemaran Hg pada tanah bekas tambang emas untuk usaha ameliorasi;
2. Formulasi amelioran yang bersifat ramah lingkungan dan ekonomis mampu mereduksi Hg pada tanah bekas tambang emas dengan teknik inaktivasi, dan
3. Formulasi amelioran terpilih dapat diaplikasikan untuk mencegah penyerapan Hg oleh tanaman, sehingga diharapkan masyarakat dan pengambil kebijakan dapat mengadopsi teknik inaktivasi Hg sebagai usaha rehabilitasi tanah bekas tambang emas untuk *tourism area*.

E. Kebaruan (Novelty)

Kebaruan yang dicapai dalam penelitian ini adalah

1. Peta indeks kontaminasi dan pencemaran Hg secara spesifik lokasi di Kabupaten Dharmasraya;
2. Ditemukan fakta empiris efektivitas formulasi amelioran untuk mengadsorpsi Hg pada tanah bekas tambang emas, dan
3. Teknik inaktivasi Hg pada tanah bekas tambang emas dengan formulasi amelioran terpilih untuk menurunkan serapan Hg dan meningkatkan pertumbuhan tanaman kipahit (*Tithonia diversifolia*).



Keterangan : BS = Bubuk batubara sub-bituminus; BS-NaOH = Aktivasi kimia bubuk batubara sub-bituminus dengan 10% NaOH dan B-LKM = Biochar limbah kelapa muda

Gambar 1. Skema kerangka pemikiran penelitian