

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Ketersediaan lahan untuk produksi hijauan pakan semakin berkurang, sehingga pemanfaatan lahan marginal menjadi alternatif untuk bididaya tanaman pakan. Lahan marginal adalah tanah dengan kualitas rendah akibat adanya faktor pembatas, seperti rendahnya kandungan unsur hara dan bahan organik dan pH Masam, serta keberadaan logam berat yang bersifat racun bagi tanaman (Karamoy et al.,2019). Salah satu jenis lahan marginal dengan luas yang cukup adalah lahan pascatambang. Lahan ini merupakan bekas area pertambangan yang telah selesai dieksploitasi dan umumnya mengalami kerusakan fisik, kimia, dan biologis yang tidak mendukung pertumbuhan tanaman.

Tanah pascatambang nikel cenderung memiliki tingkat keasaman yang tinggi (pH rendah) akibat proses pelapukan dan oksidasi mineral yang mengandung sulfida, seperti pirit, yang memicu terbentuknya air asam tambang. Selain itu, tanah tersebut juga sering terkontaminasi logam berat berbahaya seperti nikel, kromium, dan kobalt, yang berdampak negatif terhadap makhluk hidup. Dari sisi biologis, aktivitas penambangan nikel menyebabkan hilangnya mikroorganisme tanah, penurunan kadar bahan organik, serta rusaknya vegetasi asli, sehingga tanah menjadi tidak subur dan tidak mendukung pertumbuhan tanaman. Dampak ini juga meluas ke lingkungan sekitar, termasuk pencemaran air permukaan dan tanah akibat limpasan air asam tambang (acid mine drainage). Menurut penelitian oleh (Wulandari et al., 2019)kegiatan pertambangan nikel, terutama di wilayah tropis seperti Indonesia, telah menyebabkan degradasi lingkungan fisik berupa peningkatan lahan kritis, penurunan kualitas tanah, serta kerusakan ekosistem hutan dan pertanian di sekitar lokasi tambang.

Fitoremediasi adalah teknik pemulihan lingkungan yang memanfaatkan tanaman untuk membersihkan atau memperbaiki tanah, air, dan udara yang terkontaminasi oleh polutan seperti logam berat, senyawa organik, dan bahan kimia berbahaya. Metode ini efektif digunakan pada lahan pascatambang untuk mengatasi berbagai masalah, seperti kontaminasi logam berat, kerusakan struktur tanah, tingkat keasaman tinggi, dan penurunan kesuburan. Fitoremediasi bekerja melalui mekanisme seperti fitoekstraksi penyerapan dan akumulasi polutan dalam jaringan tanaman, fitostabilisasi penahanan polutan di sekitar zona akar, dan fitorizoremediasi kerjasama tanaman dengan mikroba tanah untuk menguraikan polutan. Selain ramah lingkungan, teknik ini juga memperbaiki kualitas tanah dengan menambah bahan organik dan memperbaiki struktur tanah, sehingga menjadi solusi berkelanjutan untuk merehabilitasi lahan pascatambang dan memulihkan produktivitasnya (Sukono et al., 2020)

*Indigofera zollingeriana* merupakan tanaman pakan ternak yang mampu beradaptasi dengan berbagai kondisi lingkungan, termasuk tanah masam, tanah dengan salinitas tinggi, dan iklim kering yang berkepanjangan. Tanaman ini juga memiliki kemampuan bersimbiosis dengan bakteri pengikat nitrogen, menjadikannya tidak hanya berguna sebagai pakan ternak tetapi juga berperan dalam meningkatkan kesuburan tanah. Dengan sifat-sifat tersebut, *Indigofera* berpotensi dimanfaatkan sebagai tanaman fitoremediasi (Ali et al.,2024). Selain

kandungan proteinnya yang tinggi hingga 24,17%, tanaman ini juga kaya akan nitrogen, fosfor, kalium, dan kalsium (Solikhah dan Abdullah, 2020). Hijauan ini memiliki kemampuan adaptasi yang sangat baik terhadap kondisi lingkungan yang beragam, seperti tanah masam dan tanah dengan salinitas tinggi, serta toleran terhadap iklim kering yang panjang (Nadir dan Hendrawan, 2020). Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk meningkatkan keragaman genetik *Indigofera*. Induksi mutasi merupakan metode yang digunakan untuk menciptakan keragaman sifat pada varietas tanaman sesuai dengan karakteristik yang diinginkan, termasuk sifat yang tidak terdapat pada tanaman asal atau telah hilang selama proses evolusi (Togatorop et al., 2016).

*Indigofera zollingeriana* Mutan 3 merupakan hasil dari proses pemuliaan tanaman secara induksi mutasi menggunakan iradiasi sinar gamma yang ditujukan untuk memperoleh varietas unggul yang adaptif terhadap kondisi lingkungan ekstrem seperti kekeringan, salinitas, dan lahan pascatambang. Proses ini dimulai dengan penyinaran benih *Indigofera* menggunakan dosis sinar gamma sebesar 50, 100, 150, dan 200 Gy, yang menyebabkan perubahan genetik pada benih tersebut. Benih hasil mutasi kemudian ditanam sebagai generasi M1 dan diuji ketahanannya pada lahan kering. Dari hasil seleksi tanaman yang mampu tumbuh baik, benih M2 dihasilkan dan diuji pada lingkungan salinitas serta lahan pesisir pada tahun 2023 (Nadir et al., 2025). Salah satu galur yang menunjukkan ketahanan terbaik dari generasi ini kemudian dilanjutkan sebagai M3.

Penelitian oleh (Sudarmanto et al., 2023) menunjukkan bahwa iradiasi dengan dosis 150 Gy pada *Indigofera zollingeriana* yang mengalami cekaman salinitas dapat meningkatkan diameter batang hingga 18,27 cm, tinggi tanaman hingga 121,67 cm, dan jumlah daun mencapai 232 helai, serta menghambat pembentukan bunga. Selain itu, penelitian Nasjum et al., 2023 menemukan bahwa dosis iradiasi 150 Gy pada kondisi serupa dapat meningkatkan berat segar total hingga 662,67 g per tanaman, berat segar daun sebesar 494,20 g per tanaman, dan jumlah daun mencapai 142,35 helai. Sementara itu, pemberian dosis 100 Gy mampu meningkatkan berat segar batang hingga 191,19 g per tanaman.

Fungi Mikoriza Arbuskula FMA merupakan kelompok jamur simbiotik yang hidup pada sistem perakaran tanaman dan berperan penting dalam meningkatkan serapan unsur hara, terutama fosfor, serta membantu tanaman dalam menghadapi kondisi lingkungan yang kurang menguntungkan, seperti tanah miskin hara atau lahan terdegradasi (Rivana et al., 2016). FMA membentuk struktur khusus berupa arbuskula dan vesikula di dalam korteks akar, yang menjadi tempat terjadinya pertukaran nutrisi antara tanaman dan jamur. Melalui hubungan simbiosis ini, FMA tidak hanya meningkatkan efisiensi penyerapan hara, tetapi juga memperbaiki struktur tanah, meningkatkan ketahanan tanaman terhadap patogen tanah, dan membantu memperluas jaringan akar secara fungsional (Rumondang dan Setiadi, 2020). Oleh karena itu, pemanfaatan FMA menjadi salah satu pendekatan biologis yang efektif dalam upaya rehabilitasi lahan pascatambang untuk mendukung pertumbuhan tanaman legum seperti *Indigofera zollingeriana* mutan 3.

## 1.2 Landasan Teori

*Indigofera zollingeriana* merupakan tanaman legum yang memiliki kandungan

protein tinggi, sehingga sangat potensial sebagai bahan pakan ternak Santi, 2018 . Tanaman ini mengandung protein kasar sebesar 27%, NDF 38,30%, ADF 28,62%, serta fosfor organik dengan kadar yang diukur secara in vitro antara 56% hingga 72% (Nurhikmah dan Amrullah, 2022). *Indigofera zollingeriana* juga memiliki toleransi yang baik terhadap musim kemarau dan dapat menghasilkan



produksi yang cukup besar, menjadikannya sangat cocok untuk dikembangkan di Indonesia (Rosmayanti et al., 2019).

Gambar 1. *Indigofera zollingeriana* Mutan 3

Sumber: Dokumentasi Pribadi, 2025

*Indigofera zollingeriana* menunjukkan kemampuan adaptasi yang luar biasa terhadap berbagai kondisi lingkungan. Tanaman ini sangat toleran terhadap kekeringan, sehingga dapat tumbuh dengan baik meskipun dalam kondisi tanah yang kering dan kurang air. Selain itu, tanaman ini juga memiliki ketahanan terhadap tanah dengan kadar garam yang tinggi dan tanah masam, menjadikannya cocok untuk berbagai tipe tanah yang sulit. Kemampuan adaptasi ini memungkinkan *Indigofera zollingeriana* untuk tetap produktif, terutama di daerah yang mengalami musim kemarau panjang, serta di area-area yang tidak dapat ditanami dengan tanaman pakan lainnya. Hal ini menjadikannya pilihan yang sangat baik untuk pengembangan pakan ternak di berbagai wilayah, termasuk di Indonesia yang memiliki kondisi iklim yang bervariasi (Rosmayantia et al., 2019; Telleng et al., 2016) .

Permasalahan pada lahan pascatambang nikel mencakup kerusakan fisik, kimia, dan biologis yang secara signifikan menghambat proses pemulihan ekosistem secara alami. Dari segi fisik, lahan bekas tambang nikel sering mengalami perubahan topografi yang ekstrem, seperti terbentuknya pit (lubang bekas tambang), ketidakrataan permukaan tanah, serta hilangnya lapisan tanah atas (topsoil) yang subur, sehingga meningkatkan risiko erosi dan ketidakstabilan struktur tanah. Secara kimia, tanah pascatambang nikel umumnya mengandung logam berat seperti nikel (Ni), kromium (Cr), dan kobalt (Co) dalam konsentrasi yang tinggi, yang dapat bersifat toksik bagi organisme tanah dan tumbuhan (Sarief, 2019). Tanah ini juga menunjukkan tingkat keasaman yang tinggi, dengan pH berkisar antara 3,6–4,6, serta memiliki kandungan unsur hara makro yang sangat rendah, seperti nitrogen sebesar 0,02%, fosfor 2,8–3,9 ppm, dan kalium 4,9–9,6 ppm (Ferry dan Balitri, 2011). Kondisi tersebut menyebabkan lahan menjadi tidak subur dan sulit untuk mendukung pertumbuhan vegetasi tanpa intervensi rehabilitasi yang tepat.

Optimasi pemanfaatan lahan pascatambang untuk budidaya hijauan pakan, baik dalam bentuk padang penggembalaan pasture atau lainnya, memerlukan perhatian terhadap beberapa kaidah penting. Pertama, jenis tanaman pakan yang dipilih haruslah tanaman yang adaptif, yang mudah tumbuh dengan teknik

budidaya yang tidak sulit. Kedua, tanaman pakan tersebut harus memiliki kemampuan untuk menyerap logam berat yang terkandung dalam tanah dan mengeluarkannya, sehingga mencegah terjadinya keracunan pada ternak. Ketiga, kadar residu logam berat pada tanaman pakan yang ditanam di lahan pascatambang harus tetap berada di bawah ambang batas yang ditentukan. Jika akumulasi logam berat melebihi batas tersebut, hal itu bisa membahayakan ternak karena dapat mengganggu pertumbuhan tanaman, termasuk hijauan pakan (Irwan, 2013).

Fitoremediasi bekerja melalui beberapa mekanisme, seperti fitoekstraksi, fitostabilisasi, dan fitorizoremediasi. Fitoekstraksi melibatkan penyerapan dan akumulasi polutan dalam jaringan tanaman, sementara fitostabilisasi berfungsi untuk menahan polutan di sekitar zona akar. Fitorizoremediasi terjadi ketika tanaman bekerja sama dengan mikroba tanah untuk menguraikan polutan. Selain ramah lingkungan, teknik ini juga dapat memperbaiki kualitas tanah dengan menambah bahan organik dan memperbaiki struktur tanah. Oleh karena itu, fitoremediasi menjadi solusi berkelanjutan untuk merehabilitasi lahan pascatambang dan memulihkan produktivitasnya (Sukono et al., 2020).

Mutasi genetik pada tanaman adalah perubahan pada materi genetik DNA yang dapat terjadi secara alami maupun diinduksi oleh manusia. Secara alami, mutasi ini disebabkan oleh kesalahan replikasi DNA atau pengaruh lingkungan seperti radiasi ultraviolet dan bahan kimia. Sementara itu, mutasi yang diinduksi menggunakan radiasi misalnya, sinar gamma atau agen kimia telah lama dimanfaatkan dalam pemuliaan tanaman untuk menghasilkan varietas unggul dengan sifat baru, seperti ketahanan terhadap penyakit atau kondisi lingkungan ekstrem. Proses ini memberikan variasi genetik yang penting untuk program seleksi tanaman yang lebih adaptif terhadap tantangan pertanian modern

Dalam bidang peternakan, mutasi genetik juga memiliki peran penting, khususnya dalam pengembangan pakan dan peningkatan kualitas ternak. Contohnya adalah pengembangan varietas tanaman pakan seperti rumput gajah yang lebih tahan terhadap kondisi lingkungan ekstrem atau memiliki kandungan nutrisi lebih tinggi melalui teknik mutasi genetik. Hal ini membantu memenuhi kebutuhan pakan ternak yang berkualitas dan berkelanjutan. Selain itu, mutasi genetik juga digunakan dalam pemuliaan mikroorganisme probiotik yang mendukung kesehatan pencernaan ternak. Namun, seperti pada tanaman, tidak semua mutasi memberikan hasil positif. Beberapa di antaranya dapat mengurangi nilai nutrisi pakan atau menghasilkan sifat yang tidak diinginkan. Oleh karena itu, proses seleksi dan evaluasi sangat penting untuk memastikan manfaat mutasi genetik dapat diterapkan secara optimal dalam mendukung produktivitas sektor peternakan (Mohan dan Suprasanna, 2011).

Fungi Mikoriza Arbuskula (FMA) merupakan jenis jamur tanah yang membentuk simbiosis mutualisme dengan sebagian besar tanaman darat, termasuk leguminosa seperti *Indigofera zollingeriana*. Dalam hubungan simbiotik ini, FMA menembus jaringan korteks akar tanaman dan membentuk struktur khas berupa arbuskula cabang hifa mirip pohon dan vesikula struktur penyimpanan. Arbuskula berfungsi sebagai tempat pertukaran nutrisi antara tanaman dan jamur, di mana FMA membantu menyuplai unsur hara, khususnya fosfor, nitrogen, dan unsur mikro lainnya kepada tanaman, sedangkan tanaman menyediakan karbohidrat hasil fotosintesis sebagai sumber energi bagi jamur (Smith, 2009). Keberadaan FMA sangat penting pada kondisi lahan marginal seperti lahan pascatambang, karena kemampuannya meningkatkan efisiensi serapan nutrisi

dan toleransi tanaman terhadap cekaman lingkungan.

Salah satu kontribusi penting FMA adalah peningkatan pertumbuhan tanaman melalui mekanisme perbaikan penyerapan unsur hara dan air. Penelitian menunjukkan bahwa tanaman yang diinokulasi dengan FMA memiliki sistem perakaran yang lebih ekstensif dan aktif, sehingga mampu memanfaatkan unsur hara yang sulit dijangkau oleh akar secara langsung (Höpfner et al., 2015). Selain itu, FMA juga menghasilkan senyawa yang membantu melarutkan fosfat tidak tersedia di dalam tanah, menjadikannya lebih mudah diserap oleh tanaman. Dalam konteks lahan pascatambang yang cenderung miskin hara dan memiliki struktur tanah rusak, keberadaan FMA dapat meningkatkan viabilitas dan kecepatan pertumbuhan tanaman pionir seperti *Indigofera zollingeriana*, yang berfungsi mempercepat proses rehabilitasi ekosistem.

Reklamasi lahan pascatambang memerlukan pendekatan bio-rehabilitasi yang efektif dan ramah lingkungan, salah satunya melalui pemanfaatan mikroorganisme tanah seperti FMA. Inokulasi FMA pada tanaman yang ditanam di lahan pascatambang telah terbukti meningkatkan biomassa, jumlah daun, tinggi tanaman, dan efisiensi penggunaan air (Rumondang dan Setiadi, 2020). Selain memperbaiki status hara tanah, FMA juga membantu menstabilkan struktur tanah melalui jaringan hifa yang menyatu dengan partikel tanah. Oleh karena itu, kombinasi antara penggunaan tanaman legum mutan unggul seperti *Indigofera zollingeriana* Mutan 3 dan teknologi biologis seperti FMA sangat strategis untuk mempercepat pemulihan fungsi ekologis lahan terdegradasi pascatambang, termasuk di kawasan operasi PT. Vale Indonesia Tbk.

### 1.3 Tujuan dan Kegunaan

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan pertumbuhan *Indigofera zollingeriana* Mutan 3 pada Dosis Iradiasi Sinar Gamma dan Inokulasi FMA pada reklamasi pada pascatambang PT. Vale Indonesia Tbk.

Kegunaan penelitian ini untuk memanfaatkan *Indigofera zollingeriana* Mutan 3 sebagai sebagai upaya mendukung reklamasi lahan dan penyediaan lahan hijauan untuk pakan ternak yang berkualitas.



## BAB II

### METODE PENELITIAN

#### 2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini telah dilaksanakan pada lahan reklamasi pascatambang yang bertempat di PT. Vale Indonesia Tbk., Desa Sorowako, Kecamatan Nuha, Kabupaten Luwu Timur. Pelaksanaan Penelitian ini selama bulan Februari – Mei 2025. titik koordinat lokasi penelitian adalah -2.5435833, 121.3619167 .



Gambar 2. Lokasi penelitian  
Sumber : Google Maps, 2025

#### 2.2 Meteri penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah *spray*, penyangga, gunting, dan parang, timbangan analitik.

Bahan yang digunakan adalah bibit atau benih *Indigofera zollingeriana* Mutan 3, kompos, isolat mikoriza, dan POC Pupuk Organik Cair .

#### 2.3 Metode penelitian

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) Pola Faktorial, terdiri dari 2 faktor pertama adalah dosis iradiasi sinar gamma dengan 3 taraf dan faktor kedua inokulasi FMA dengan 2 taraf terdiri dari 6 Kombinasi Perlakuan dan 2 kombinasi. Perlakuan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

D0 = *Indigofera zollingeriana* Mutan 3 (Kontrol)

D1 = *Indigofera zollingeriana* Mutan 3 (100 Gy)

D2 = *Indigofera zollingeriana* Mutan 3 (200 Gy)

Faktor F Inokulasi FMA

F0 = tanpa FMA

F1 = 15 gram/lubang tanam setara 6 ton/ha

Kombinasi perlakuan adalah

D0F0 = *Indigofera zollingeriana* Mutan 3 (Kontrol dengan Tanpa FMA)

D0F1 = *Indigofera zollingeriana* Mutan 3 (Kontrol Dengan 15 gram FMA)

D1F0 = *Indigofera zollingeriana* Mutan 3 (100 Gy dengan Tanpa FMA)

D1F1 = *Indigofera zollingeriana* Mutan 3 (100 Gy Dengan 15 gram FMA)

D2F0 = *Indigofera zollingeriana* Mutan 3 (200 Gy dengan Tanpa FMA)

D2F1 = *Indigofera zollingeriana* Mutan 3 (200 Gy Dengan 15 gram FMA)

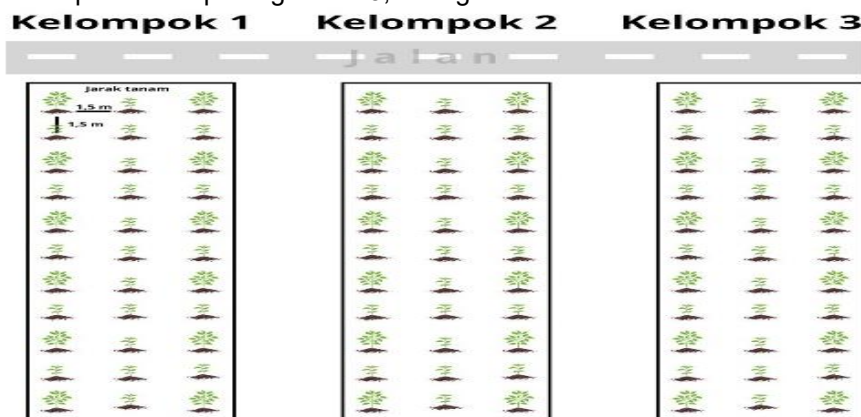
## 2.4 Prosedur Penelitian

### 2.4.1 Persiapan Tanaman

Tahap awal dalam penelitian ini dimulai dengan mempersiapkan bibit tanaman *Indigofera zollingeriana* Mutan 3. Bibit diperoleh dari tanaman *Indigofera zollingeriana* Mutan 2 yang berasal dari biji matang dan siap semai, yang dikumpulkan langsung dari lokasi penanaman *Indigofera* M2 dilahan pesisir Untia. Proses penyemaian dilakukan di tray dan disertai pemeliharaan intensif selama dua bulan. Setelah itu, bibit dipindahkan ke dalam polybag dan dipelihara selama tiga bulan, yaitu dari bulan November hingga Februari. Umur Bibit yang digunakan adalah 5 bulan terhitung dari penyemaian hingga penanaman di lahan tambang.

### 2.4.2 Pembuatan Desain dan Layout Penelitian

Desain lay out penelitian menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) faktorial. Setiap petak perlakuan dibuat dengan ukuran dan jarak tanam yang seragam yaitu 150x150 cm untuk memudahkan evaluasi pertumbuhan. Desain lay out dapat di lihat pada gambar 3, sebagai berikut:



Gambar 3. Desain Lay Out Penelitian

Sumber: Gambar Pribadi,2025

### **2.4.3 Pembuatan Lubang Tanam dan Pemberian Pupuk Dasar**

Lubang tanam berukuran 30x30x30 cm. Sebelum penanaman, lubang tanam diberikan pupuk kompos sebanyak 1 kg pada dasar lubang dan 1 kg lagi sebagai penutup lubang tanam.

### **2.4.4 Penanaman *Indigofera zollingeriana* Mutan 3**

Bibit ditanam di lubang yang telah dipersiapkan, dengan posisi tegak dan akar tertutup tanah secara merata. Penanaman dilakukan pada pagi hari untuk menghindari stres tanaman akibat suhu tinggi. Setelah ditanam, dilakukan penyiraman secukupnya guna menjaga kelembapan tanah dan mempercepat adaptasi bibit terhadap lingkungan baru.

### **2.4.5 Pemeliharaan dan Perawatan Tanaman**

Pemeliharaan meliputi pemberian kembali pupuk kompos dan POC (Pupuk Organik Cair) diberikan setiap minggu setelah penanaman, dan pembersihan gulma sekitar tanaman dan pemberian penyangga pada tanaman.

### **2.4.6 Pengambilan Data Pertumbuhan Mingguan**

Pertumbuhan tanaman meliputi Tinggi tanaman (Cm), Jumlah daun( Helai), Jumlah Cabang dilahan marginal. Produksi Berat Segar (g) dilakukan pada minggu ke-11 MST.

## **2.6 Parameter yang Diamati**

### **2.6.1 Tinggi Tanaman (cm)**

Tinggi tanaman diukur dari pangkal batang utama permukaan tanah hingga titik tumbuh tertinggi tanaman.

### **2.6.2 Jumlah Daun (Helai)**

Pengamatan jumlah daun dilakukan dengan menghitung daun majemuk yang keluar dan yang tumbuh sempurna dan terbuka pada setiap tanaman.

### **2.6.3 Jumlah Cabang (Buah)**

Jumlah cabang dihitung berdasarkan cabang primer yang tumbuh dari batang utama.

### **2.6.4 Berat Segar (gr)**

Berat segar diukur dengan menimbang seluruh bagian tanaman yang dipanen dalam keadaan segar langsung setelah panen.

## 2.5 Analisis Data

Data yang diperoleh dianalisis ragam (ANOVA) dan dilanjutkan dengan Uji DMRT (Duncan Multiple Range Test) pada perlakuan yang berbeda nyata. Analisis ragam tersebut didasarkan pada model matematika rancangan yang digunakan, sebagai berikut

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \rho_k + \varepsilon_{ijk}$$

Keterangan :

$y_{ijk}$  = merupakan nilai pengamatan respon dari kelompok ke-k yang memperoleh perlakuan taraf ke-i faktor D dan taraf ke-j faktor F,

$\mu$  = adalah rata-rata umum,

$\alpha_i$  = adalah pengaruh perlakuan taraf ke-i faktor D,

$\beta_j$  = adalah pengaruh perlakuan taraf ke-j faktor F,

$\alpha\beta_{ij}$  = adalah pengaruh interaksi taraf ke-i faktor D dan taraf ke-j faktor F, a adalah banyaknya taraf faktor D, b adalah banyaknya taraf faktor F, r adalah banyaknya kelompok,

$\rho_k$  = adalah pengaruh kelompok ke-k diasumsikan tidak berinteraksi dengan perlakuan, dan  $\varepsilon_{ijk}$  adalah galat percobaan taraf ke-i faktor D dan taraf ke-j faktor F pada data kelompok ke-k  $\varepsilon_{ijk} \sim N(0, \sigma^2)$