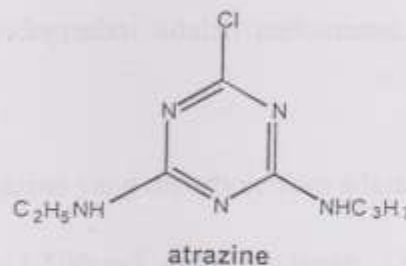


## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Herbisida Atrazin

Menurut Topp *et al.*(2000), herbisida atrazin (2-chloro-4-ethylamino-6-isopropilamino-1,3,5-triazine) merupakan senyawa heterosiklik yang mengandung enam unsur dalam rantai cincinnya dengan lima atom nitrogen (Gambar 2.) Bouquard *et al.* (1997) menyatakan bahwa herbisida atrazin digunakan secara luas diseluruh dunia sebagai kontrol selektif dan non selektif terhadap rumput-rumputan liar yang berdaun lebar.



Gambar 2. Struktur atrazin

Herbisida atrazin ini biasanya digunakan pada peringkat pra-tamam, pra-tumbuh, atau pasca-tumbuh tetapi sebelum kecambah gulma mencapai tinggi tidak lebih dari 3,8 cm. Herbisida ini diserap melalui akar dan daun, meskipun yang melauai daun sangat rendah penyerapannya. Setelah diserap herbisida akan diangkut melalui xilem dan akar terkumpul dibagian meristem pucuk dan daun, sehingga akan menghambat proses fotosintesis, herbisidaini mudah tercuci oleh air hujan (Sastroutorno,1992).

Dampak penggunaan herbisida berkaitan dengan sifat mendasar yang penting terhadap efektifitasnya sebagai herbisida. Pertama, herbisida cukup beracun untuk mempengaruhi seluruh taksonomi biota, termasuk makhluk bukan sasaran sampai batas tertentu tergantung pada faktor fisiologis dan ekologis. Kedua, banyak herbisida yang tahan terhadap degradasi lingkungan sehingga herbisida ini dapat bertahan di daerah yang diberi perlakuan dan sifat ini akan memberikan pengaruh jangka panjang dalam ekosistem alamiah (Connel & Miller, 1995). Selain berbahaya bagi kesehatan manusia, herbisida juga dapat mengakibatkan dampak yang berbahaya bagi lingkungan (Lu, 1995). Menurut Topp *et al* (2000) atrazine merupakan senyawa kimia yang mengganggu endokrin, sering terdeteksi dalam air pembuangan dan juga relatif stabil di dalam air tanah. Karns (1999) menyatakan bahwa proses biodegradasi adalah mekanisme yang sangat penting dalam mendegradasi atrazin.

Tingkat konsentrasi atrazine yang diperbolehkan adalah 1,100  $\mu\text{g/g}$  dalam tanah, 16  $\mu\text{g/l}$  pada air permukaan, dan 1,500  $\mu\text{g/l}$  pada air tanah. Di negara Eropa, konsentrasi maksimum pestisida untuk standar air minum yang diperbolehkan adalah 0,1  $\mu\text{g/l}$  (gabungan pestisida), sedangkan di negara Amerika konsentrasi maksimum atrazine untuk standar air minum yang diperbolehkan adalah 3  $\mu\text{g/l}$  (Struthers *et al*, 1998, Acero, Stemmler, & Gunten, 2000; Neliu, Kerhoas, & Einhorn, 2000; Panshin, Carter, & Bayless, 2000).

## 2.2. *Rhizobium* sp

*Rhizobium* mengikat nitrogen bebas selama bersimbiosis dengan tanaman leguminaosa. Simbiosis antara kedua organisme ini ditandai dengan terinduksinya nodul akar

yang berwarna merah muda oleh *Rhizobium* (Brock *et al.*, 1984). Menurut Foster dan Wase (1987), Tanaman legume menyediakan energi dari sumber karbonnya kepada *Rhizobium* dan *Rhizobium* memberikan sumber nitrogen yang difiksasinya untuk digunakan oleh tanaman. Keuntungan yang dimiliki *Rhizobium* adalah kemampuannya mereduksi  $N_2$  udara yang tidak dapat dimanfaatkan tanaman menjadi  $NH_3$  sebagai molekul persenyawaan anorganik yang siap dimetabolisme oleh tumbuhan. Pengaruh interaksi ini tidak hanya terbatas pada keduanya saja, tetapi dapat pula dirasakan oleh tanaman lain yang berada di dekat akar tanaman yang berinteraksi dengan ketersediaan nitrogen yang terfiksasi.

*Rhizobium* merupakan bakteri berbentuk batang, gram negatif, tidak membentuk spora, dengan ukuran lebar 0,5-0,9  $\mu m$  dan panjangnya 1,2-3  $\mu m$ , hidup secara aerob serta heterotrof. *Rhizobium* juga bersifat kemoorganotrofik yaitu dapat menggunakan karbohidrat secara luas dan garam organik sebagai sumber karbon (Holt, Krieg, Sneath, Staley & Williams, 1994).

Rentang temperatur paling menguntungkan bagi *Rhizobium* di dalam nodul akar adalah 20-30<sup>0</sup>C dan pH untuk pertumbuhannya adalah 6-7 (Holt *et al.*, 1994; Rao, 1994). Menurut Boonkerd & Weaver (1982) suhu dan kelembaban tanah merupakan faktor yang sangat penting dalam mempengaruhi kemampuan hidup *Rhizobium*. Beberapa *Rhizobium* mampu merangsang pembentukan nodul akar pada suhu yang lebih tinggi serta lebih dapat bertahan hidup pada kelembaban yang relatif rendah.

Menurut Bouquard *et al.* (1997) *Rhizobium* dapat mendegradasi herbisida atrazin secara aktif. *Rhizobium* yang diinkubasi pada media basal yang mengandung 30 mg/l atrazin mengakibatkan peningkatan konsumsi herbisida dan peningkatan akumulasi hidroksiatrazin sebagai metabolit yang terdeteksi setelah 8 hari pengukuran.



### 2.3. Mikroorganisme Pendegradasi Herbisida

Pemberian herbisida secara langsung dan terus-menerus akan dapat menimbulkan dampak tertentu terhadap flora dan fauna. Aplikasi herbisida ini dapat menimbulkan fluktuasi baik jenis maupun jumlah populasi bakteri tanah dan rhizosfir. Hal ini berkaitan dengan kemampuan bakteri dalam hal daya adaptasi, daya degradasi maupun kemampuannya untuk memanfaatkan herbisida tertentu yang diberikan ke dalam tanah (Wangiyana, 1999).

Senyawa-senyawa herbisida yang mempunyai struktur aromatik biasanya lebih sukar didegradasi daripada senyawa-senyawa herbisida yang mempunyai struktur terbuka karena untuk mendegradasi senyawa aromatik ini diperlukan sistem enzim yang kompleks (Martani, 1992). Menurut Atlas & Bartha (1995) degradasi merupakan semua bentuk perubahan baik penyusunan maupun perombakan senyawa kompleks yang menghasilkan senyawa yang lebih stabil.

Menurut Bollag & Bollag (1992) degradasi yang dilakukan oleh mikroba disebut juga dengan biodegradasi. Biodegradasi merupakan dekomposisi substansi melalui aksi agen biologi khususnya mikroba. Biodegradasi dapat juga dikatakan sebagai proses mineralisasi atau degradasi material kompleks menjadi material yang sederhana seperti karbondioksida, air, dan mineral-mineral lain secara mikrobial. Alexander (1977) menyatakan bahwa senyawa hasil degradasi herbisida oleh bakteri dapat dibedakan menjadi dua tipe. Pertama, dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi, karbon, nitrogen maupun sulfur untuk pertumbuhannya. Kedua, tidak dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi maupun sumber nutrisi untuk pertumbuhannya.

Menurut Microbe Zoo (2002), senyawa toksik seperti herbisida dapat dieliminasi dari lingkungan melalui proses bioremediasi oleh mikroba. Bioremediasi adalah penggunaan mikroba untuk mempertinggi eliminasi senyawa toksik di lingkungan. Beberapa strategi untuk bioremediasi yaitu :

1. Penggunaan mikroba indigenus.

Toksin sering didegradasi oleh mikroba yang hidup di lingkungan sekitarnya. Pestisida digunakan oleh beberapa jenis mikroba sebagai makanan yang terjadi secara alami di kolam dan tanah. Bioremediasi secara alami sering terjadi sangat lambat.

2. Penempatan mikroba pada kondisi optimum

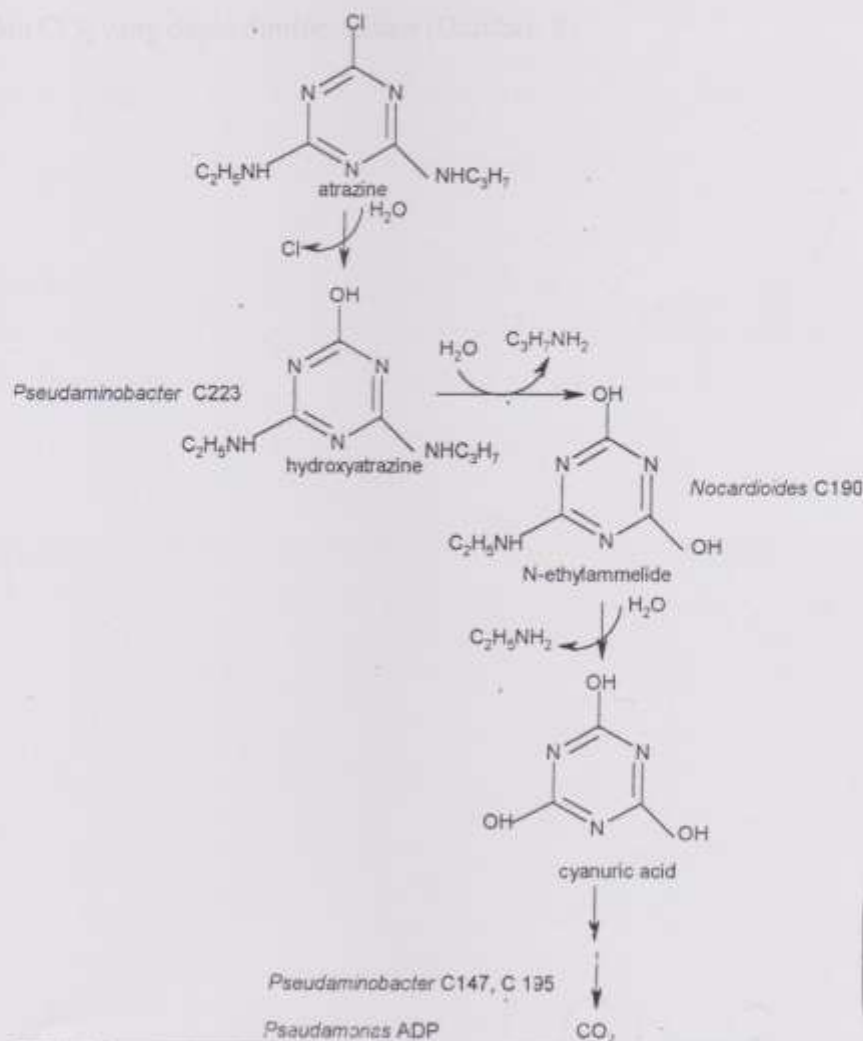
Bioremediasi secara alami oleh mikroba dapat dipercepat dengan cara menambah air oksigen atau bahan kimia tertentu ke lingkungan tempat mikroba se untuk menambah jumlahnya.

3. Penambahan mikroba terseleksi

Bila mikroba pendegradasi limbah tidak terdapat di lingkungan., mikroba pendegradasi yang sudah diseleksi dapat ditambahkan ke lingkungan yang terdapat limbah tersebut.

. Beberapa bakteri yang mampu mendegradasi dan memineralisasi atrazin adalah *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Agrobacterium*, *Pseudaminobacter*, *Nocardioides* dan *Rhizobium* sedangkan jamur yang mampu mendegradasi herbisida adalah *Phanerochaete*, *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Fusarium*, *Penicillium* dan *Trichoderma*. ( Rao, 1994; Topp *et al.*, 2000; Topp, 2001). Bakteri ini umumnya memulai degradasi atrazin dengan reaksi deklorinasi hidrolitik menggunakan enzim atrazin klorohidrolase dan amidohidrolase (Topp *et al.*, 2000).

Menurut Struthers, Jayachandran, & Moorman (1998) degradasi s-triazine umumnya terjadi secara biologikal yang terdiri dari deklorinasi, N-dealkilasi, dan melalui pemecahan cincin. Biodegradasi atrazine dapat dilakukan secara N-dealkilasi pada rantai



Gambar 2. Jalur metabolisme atrazin oleh bakteri (Topp,2001)

samping etil dan isopropil yang menghasilkan deetilatrazine (DEA) atau deisopropilatrazine(DIA). Deklorinasi merupakan langkah awal dalam metabolisme atrazine dan memiliki dua enzim hidrolase yang berbeda sebagai ciri khasnya. Topp (2001) menambahkan bahwa dalam metabolisme atrazine diawali dengan reaksi deklorinasi hidrolis yang dikatalis oleh enzim khlorohidrolase dan reaksi amidohidrolis yang dikatalis oleh enzim amidohidrolase. Pada beberapa mikroba, hasil biodegradasi atrazine adalah ammonium dan CO<sub>2</sub> yang dapat dimineralisasi (Gambar. 2)

