

Gambar 1 : Road Map Penelitian ( 2004 – 2014)

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 1. BIOENGINEERING

Pengertian *Bioengineering* adalah teknologi yang menggunakan bahan dari tanaman hidup dan bagian dari tanaman, untuk mengatasi persoalan-persoalan alam lingkungan antara lain : erosi permukaan tanah perbukitan dan lereng disekitar aliran sungai. Sistem *bioengineering* adalah memanfaatkan tanaman berperan sebagai komponen dalam struktur utama, dan sekaligus sebagai bagian dari estetika *landscape*.

Hal yang perlu dilakukan sebelum pelaksanaan metode *bioengineering* adalah pemilihan jenis tanaman dan persiapan lahan. Banyak jenis tanaman yang dapat digunakan dalam metode *bioengineering*, namun tidak semua jenis tanaman cocok untuk digunakan. Jenis tanaman yang cocok untuk digunakan adalah jenis tanaman yang mempunyai karakteristik tumbuh dengan cepat ,berakar cukup dalam ( tipe akar serabut ), banyak dan menyebar. Jenis tanaman yang dapat digunakan untuk menjaga stabilitas lereng dan erosi permukaan meliputi : jenis rerumputan, jenis perdu, semak-belukar, dan jenis pepohonan. Masing-masing mempunyai keuntungan dan kerugian sesuai dengan karakteristiknya

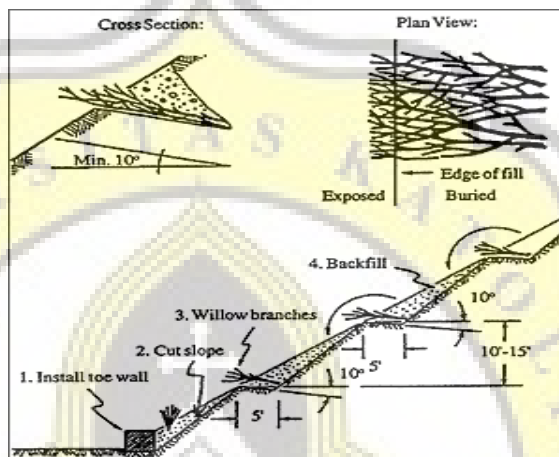
Semak belukar, perdu dan rerumputan mempunyai karakteristik akar yang tidak terlalu dalam tapi sifatnya menyebar dan dapat membuat jaring – jaring. Jenis pepohonan, mempunyai akar yang cukup dalam dan menyebar.

### 1.1.METODE PELAKSANAAN BIOENGINEERING

*Bioengineering* ini dibagi menjadi 3 bagian untuk metode pelaksanaannya yaitu :

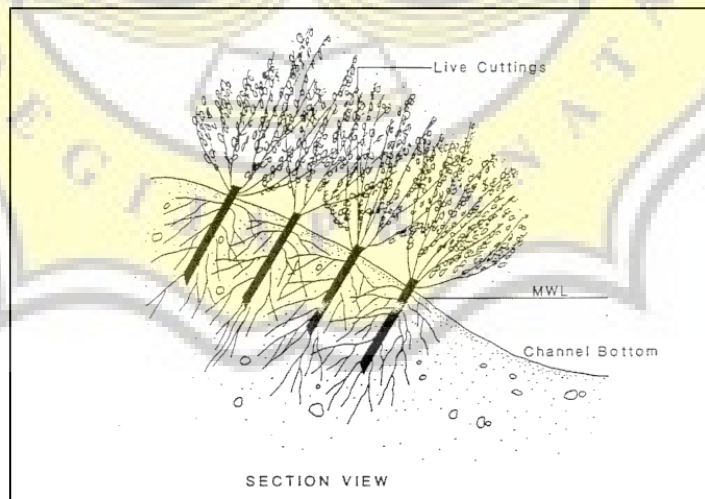
#### 1. Menggunakan Vegetasi secara penuh

a) *Brush Layering* adalah metode yang menggunakan vegetasi secara penuh.



Gambar 1.2 Pemasangan brush layering ( Gray and Leiser, 1982 )

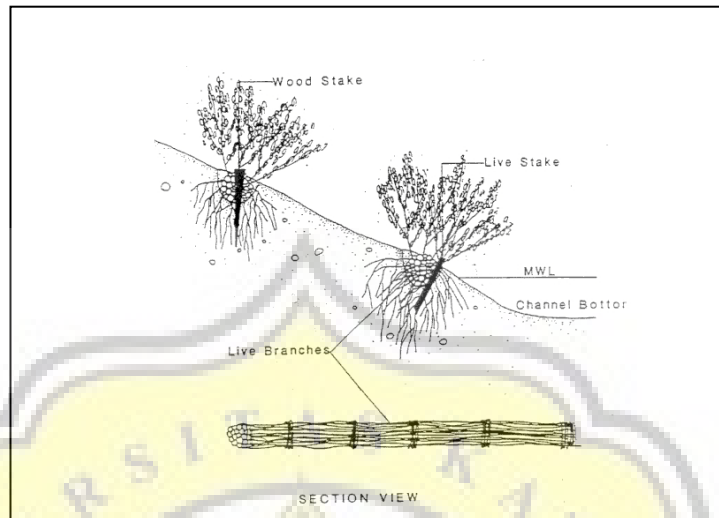
b) *Live Stakes*, memanfaatkan bagian dari vegetasi ( tanaman yang berkembang biak dengan stek batangnya )



Gambar 1.3 : Live Stakes  
(Streambank and Shoreline Protection, Robin B Sotir, 1996)

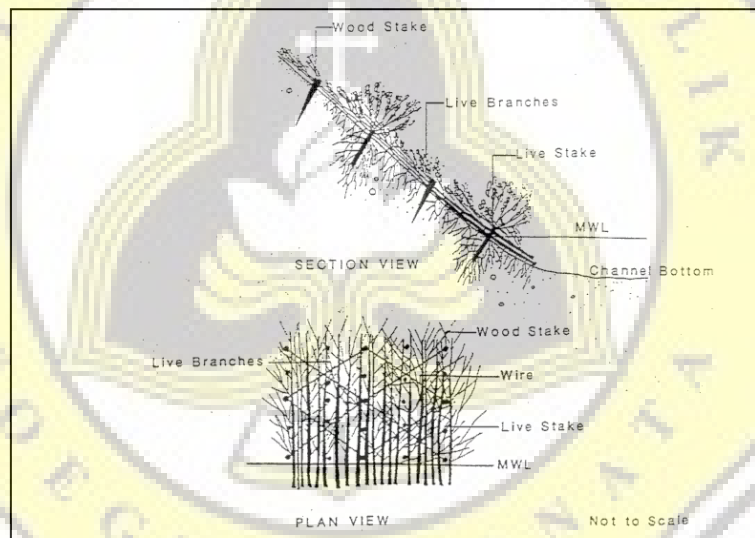
2. Kombinasi antara vegetasi hidup dengan vegetasi mati

- a) Live Fascine, kombinasi dari 2 jenis vegetasi hidup, sebagai bundle dan sebagai live stake



**Gambar 1.4 : Pemasangan Live Fascine ( Gray et al, 1997 )**

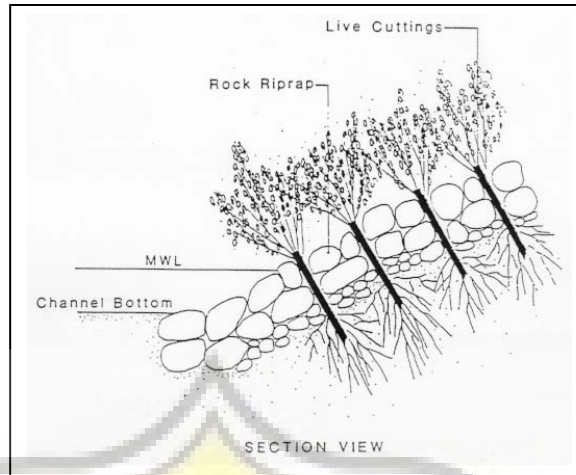
- b) Brush Mattress, berupa ayaman / jaring – jaring semak belukar



**Gambar 1.5 : Pemasangan Bursh Mattress ( Gray et al, 1997 )**

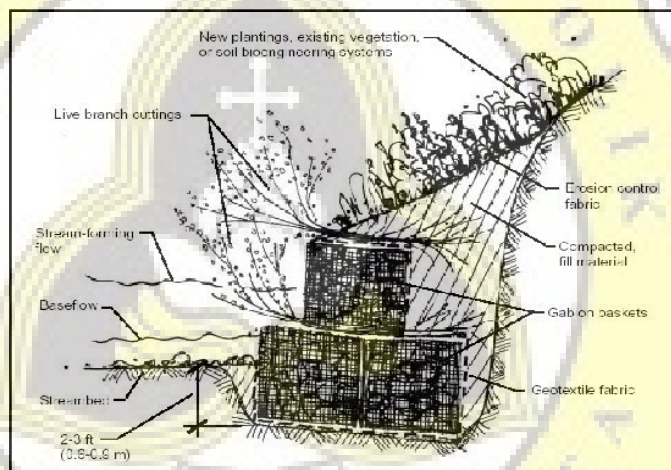
3. Kombinasi antara vegetasi hidup dengan bangunan struktur

- a) *Vegetated Rock*, metode kombinasi vegetasi dengan susunan batu



**Gambar 1.6 : Pemasangan Vegetate Rock ( Gray et al, 1997 )**

b) *Vegetated Rock Gabion* adalah metode yang mengkombinasikan antara struktur dalam hal ini adalah bronjong.



**Gambar 1.7 : Vegetated Rock Gabion**

**(Streambank and Shoreline Protection, Robin B Sotir, 1996)**

Kepedulian masyarakat terhadap masalah lingkungan, serta keterbatasan kemampuan finansial, menjadikan teknologi ini lebih dapat diterima dan sangat kompetitif serta memiliki potensi yang sangat besar untuk diterapkan di Indonesia.

## 2. Erosi :

Jenis – jenis erosi yang sering terjadi di sekitar tanah lerengan dan umumnya terjadi di daerah tropis antara lain :

### 1. Erosi Air

Pengikisan tanah atau lereng yang disebabkan oleh kekuatan air,

## 2. Erosi Angin (*Deflasi*)

Pengikisan tanah yang disebabkan oleh kekuatan angin. Biasa terjadi pada daerah gurun pasir dan pantai ketika pasir terbawa oleh angin dan dipindahkan ketempat lain yang lebih jauh,

Di daerah beriklim tropika basah seperti sebagian besar daerah di Indonesia, air hujan merupakan penyebab utama terjadinya erosi sehingga erosi yang sering terjadi adalah erosi yang ditimbulkan oleh kekuatan air.

### 2.1 Erosi Menurut Kenampakan Lahan

Erosi juga dapat dibedakan akibat kenampakan lahan akibat erosi itu sendiri, atas dasar itu erosi dibedakan menjadi:

#### 1. Erosi Percikan (*Splash Erosion*)

Erosi Percikan terjadi pada awal hujan. Intensitas erosi percikan meningkat dengan adanya air genangan.

#### 2. Erosi Lembar (*Sheet Erosion*)

Erosi Lembar akan dapat ditemukan secara jelas didaerah yang relatif seragam permukaannya.

#### 3. Erosi Alur (*Rill Erosion*)

Erosi Alur dimulai dengan adanya konsentrasi limpasan permukaan.

#### 4. Erosi Parit (*Gully Erosion*)

Awal dari erosi ini adalah erosi alur tetapi bila ukuran alur sudah sangat besar,

#### 5. Erosi Tanah Longsor (*Land Slide Erosion*)

Erosi tanah longsor ditandai dengan bergeraknya sejumlah massa tanah secara bersama-sama. Hal ini disebabkan karena kekuatan geser tanah sudah tidak mampu untuk menahan beban massa tanah jenuh air di atasnya.

### 3. Erosi Permukaan

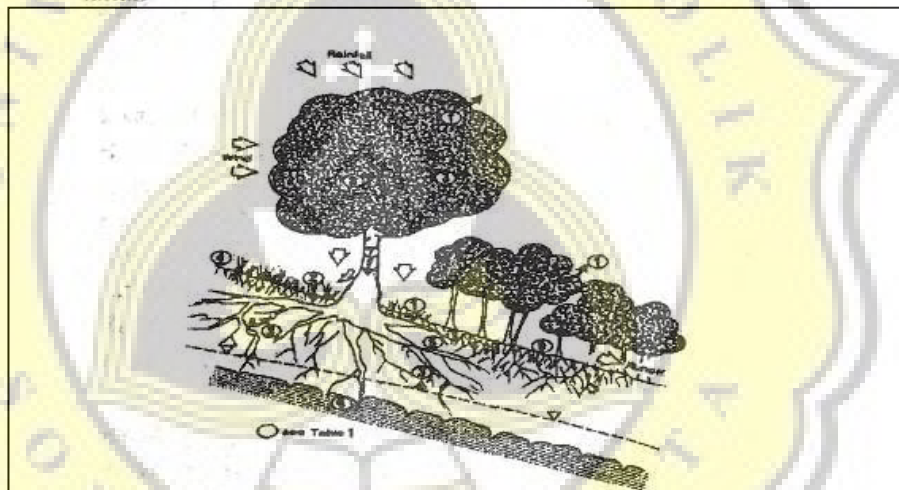
Erosi menurut bidang longsornya dibagi menjadi 2 bagian, yaitu: erosi permukaan (*surficial erosion*) dan erosi global massa tanah (*soil mass stability*). Erosi permukaan berarti erosi atau longsor yang terjadi hanya pada permukaan tanah saja atau hanya pada kedalaman tertentu dari permukaan. Erosi global massa tanah berarti erosi yang terjadi pada keseluruhan massa dan tidak jarang diawali oleh persoalan erosi permukaan.

Penanggulangan erosi permukaan dapat dilakukan dengan berbagai cara antara lain: mengubah geometri lereng, mengendalikan air permukaan, membangun konstruksi (*rip rap*, *retaining wall*) dan cara lainnya, yang biasanya membutuhkan biaya yang cukup mahal. Cara

penanggulangan lain yang dapat dipertimbangkan adalah bioteknologi (*soil bioengineering*), yaitu teknologi yang menggunakan atau memanfaatkan vegetasi disekitar lereng. Lereng tanah yang mengandung akar tanaman vegetasi dapat meningkatkan kuat geser tanah, sehingga secara otomatis akan meningkatkan stabilitas tanahnya.

#### 4. Akar Tanaman Meningkatkan Kuat Geser Tanah

Menurut greenway(1987), akar tanaman dapat menaikkan kuat geser tanah dan akar tanaman dapat mengikat partikel - partikel tanah sehingga tidak mudah dibawa erosi. Hujan yang ditangkap oleh pohon (*daun/canopy*) dan kemudian air hujan diteruskan ke permukaan tanah. Air hujan akan meresap dalam tanah sehingga mengurangi *runoff*. Meresapnya air hujan ke dalam tanah akan mengisi lapisan air tanah (*aquifer*) tanah. Lebih jelasnya lihat gambar 4.1 berikut ini :



**Gambar 4.1 : Interaksi Antara Lereng dengan Vegetasi  
(Greenway, 1987)**

Posisi akar tanaman di lerengan, menurut Sotir (1984), posisi penetrasi akar di bagi menjadi 4 (empat) bagian sebagai berikut:

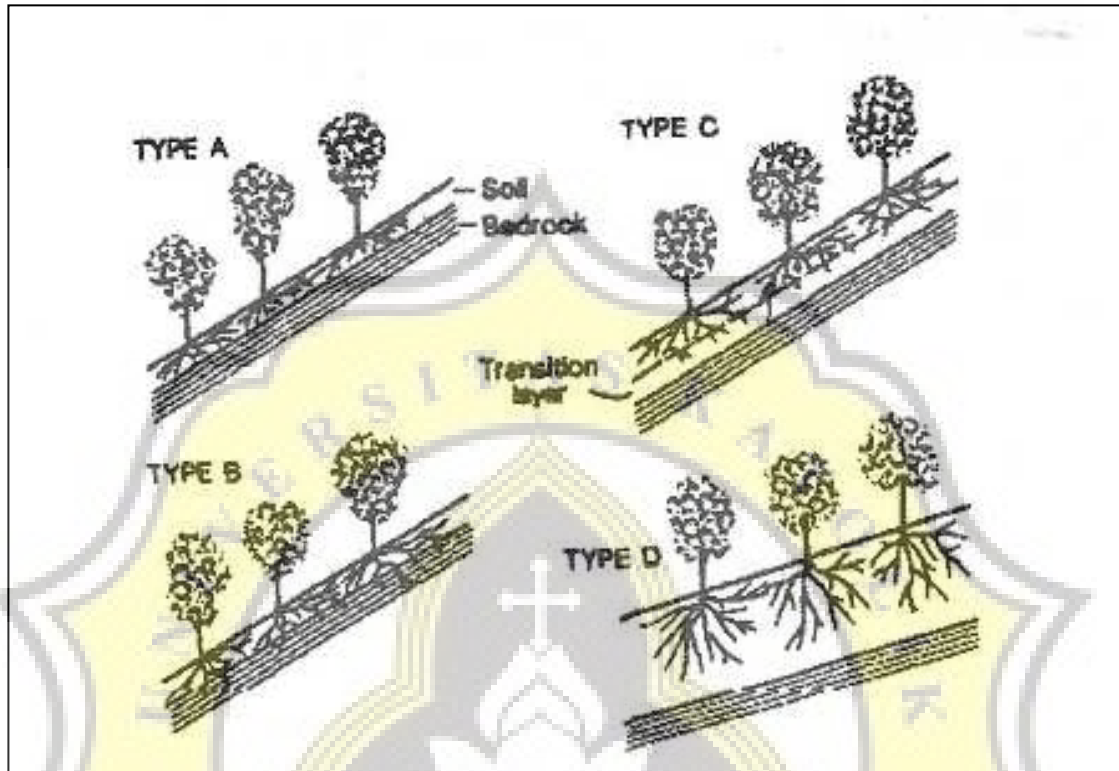
Tipe A, akar tanaman hanya mencapai lapisan top soil tanah, sehingga dapat untuk menanggulangi erosi permukaan.

Tipe B, akar tanaman sudah mencapai tanah asli sehingga penjangkaran akar cukup kuat untuk mencegah erosi permukaan dan longsor dangkal.

Tipe C, akar tanaman menembus dua lapisan tanah, sehingga efek pengankuran akar lebih efektif.

Tipe D, hampir mirip dengan tipe A tapi beda ketebalan dari top soilnya.

Tipe D lebih tebal daripada tipe A Tipe - tipe tersebut sangat tergantung dari jenis tanaman, jenis akar, jenis lapis- lapisan tanah. Untuk lebih jelasnya lihat gambar 4.2 berikut ini:



*Gambar 4.2 : Penetrasi Akar Pada lapisan Tanah  
(Sotir, et al 1984)*

## 5. Tanaman Rumput sebagai Vegetasi Penutup (landcover)

*Landcover* merupakan material yang menutupi permukaan tanah. Material yang dimaksud antara lain berupa : tanaman (*vegetasi*), asfalt, pohon.

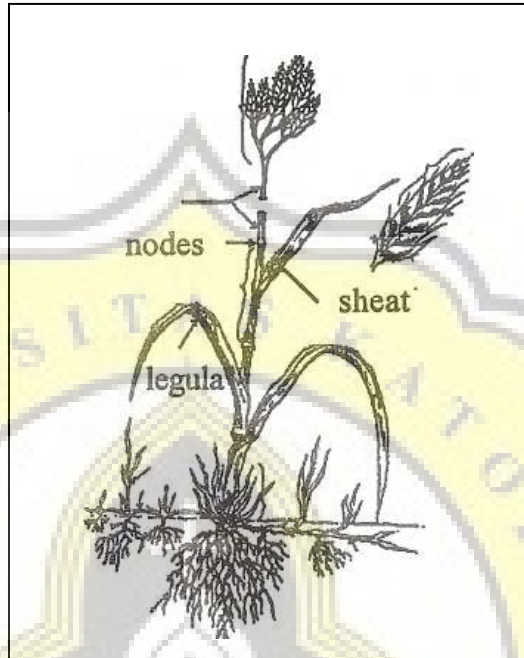
Tanaman rumput mempunyai bagian pada struktur anatominya, bagian - bagian tersebut adalah sebagai berikut:

- Batang (*Culm*) bagian ini tempat tumbuh daun dan rangkum bunga, bentuk umumnya silindris.
- Buku (Nodes)* bagian ini yang membentuk bagian - bagian dari batang.
- Ruas (Internodes)* bagian culm yang terletak antara dua buah nodes.
- Pelepah daun (*Sheath*), bagian pangkal daun yang berupa tabung membungkus batang.
- Lidah daun (*Legula* ), perbatasan antara pelepah daun, helai daun yang berbentuk



selaput tipis dan berwarna keputih - putihan.

- f. *Rhizome*, modifikasi batang dibawah tanah yang berwarna putih atau pucat berbentuk silindris yang dibungkus sisik- sisik sebagai modifikasi daun yang menyebar kesamping. Bagian ujungnya muncul terbesar ditanah untuk pertumbuhan baru.



**Gambar 5.1: Bagian – Bagian dari Rumput**  
(sumber : Dirjen Perternakan , 1982)

Rumput merupakan salah satu tanaman yang masuk dalam kriteria tumbuh dengan cepat ,berakar serabut, banyak dan menyebar

#### **6. Modified Universal Mass Loss Equation (MUSLE) Method**

Metode MUSLE (*Modified Universal Mass Loss Equation*) merupakan model pendekatan secara empiris yang dikembangkan oleh Pusat Data Aliran Permukaan dan Erosi Nasional, Dinas Penelitian Pertanian, Departemen Pertanian Amerika Serikat (USDA) bekerja sama dengan Universitas Purdue pada tahun 1994

Secara empiris dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$SY = R.K.LS.CP \dots\dots\dots(6.1)$$

Dimana :

- SY = jumlah tanah yang ter erosi (vol/area/time)
- R = aliran permukaan (*run off*)
- K = faktor *erodibilitas* tanah
- L = panjang lereng
- S = kemiringan lereng

- C = faktor penutup tanaman
- P = faktor tindakan konservasi

Beberapa faktor yang mempengaruhi perhitungan matematis MUSLE antara lain :

a) Faktor Erosivitas Hujan (R)

Merupakan limpasan aliran air yang menimpa permukaan tanah baik sebelum maupun sesudah mencapai saluran. Faktor *erosivitas* hujan (R) adalah : ukuran kemampuan hujan menimbulkan erosi.

b) Faktor Erodibilitas (K)

Merupakan faktor tanah (K) menunjukkan resistensi partikel tanah terhadap pengelupasan dan transportasi partikel – partikel tanah oleh energi kinetik hujan.

c) Faktor Panjang Kemiringan Lereng (LS)

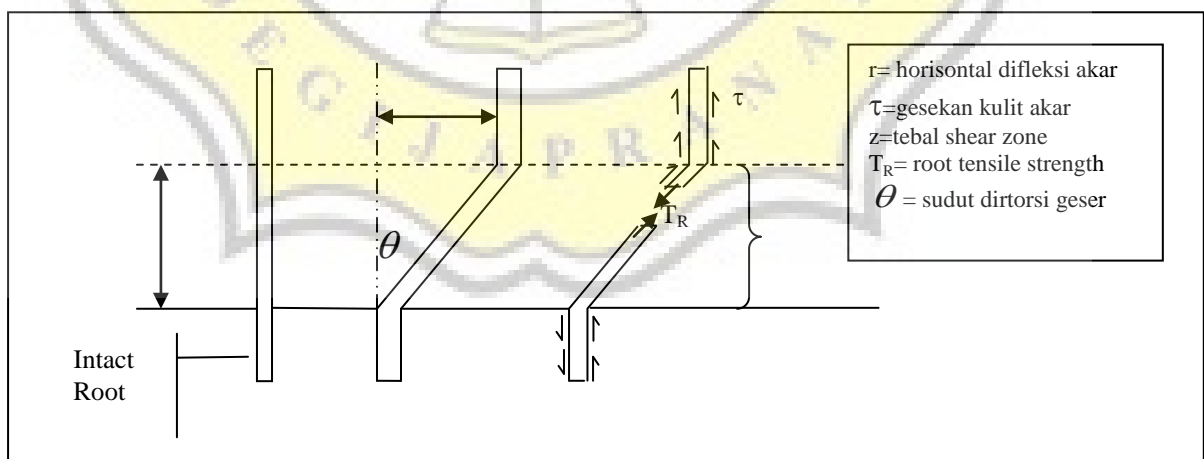
Nilai faktor topografi (LS) adalah besarnya yang menunjukkan perbandingan tanah yang hilang dari suatu luas (ton/ha) pada lereng tertentu dengan tanah yang hilang dari suatu petak baku pada tempat berdekatan.

d) Faktor Penutup Lahan (C) dan Faktor Konservasi Praktis (P)

Nilai faktor C adalah besaran yang menunjukkan perbandingan antara tanah yang hilang akibat erosi per satuan luas (ton/ha) dari lahan yang ditanami dengan sistem pengelolaan tanah dan tanamannya untuk mengurangi erosi.

### 7. Tensile Strength Akar Rumput

Mekanisme kuat tarik (*tensile strength*) akar dapat dilihat pada gambar 7.1 berikut ini :



Gambar 7.1 : Skematik diagram perkuatan akar ( Gray,1994 )

Menurut Gray, 1978, suatu massa tanah yang mengandung akar serabut kuat tarik (*tensile strength*) dapat diformulasikan sebagai berikut :

$$\Delta S = T_R (A_R / A) [\sin \theta + \cos \theta \tan \phi] \dots\dots\dots (7.1)$$

Dimana :

$\Delta S$  = root tensile strength

$T_R$  = rata – rata diameter

$A_R / A$  = gesekan dari potongan tanah yang mengandung akar

$\theta$  = sudut *dirtorsi* geser di area geser

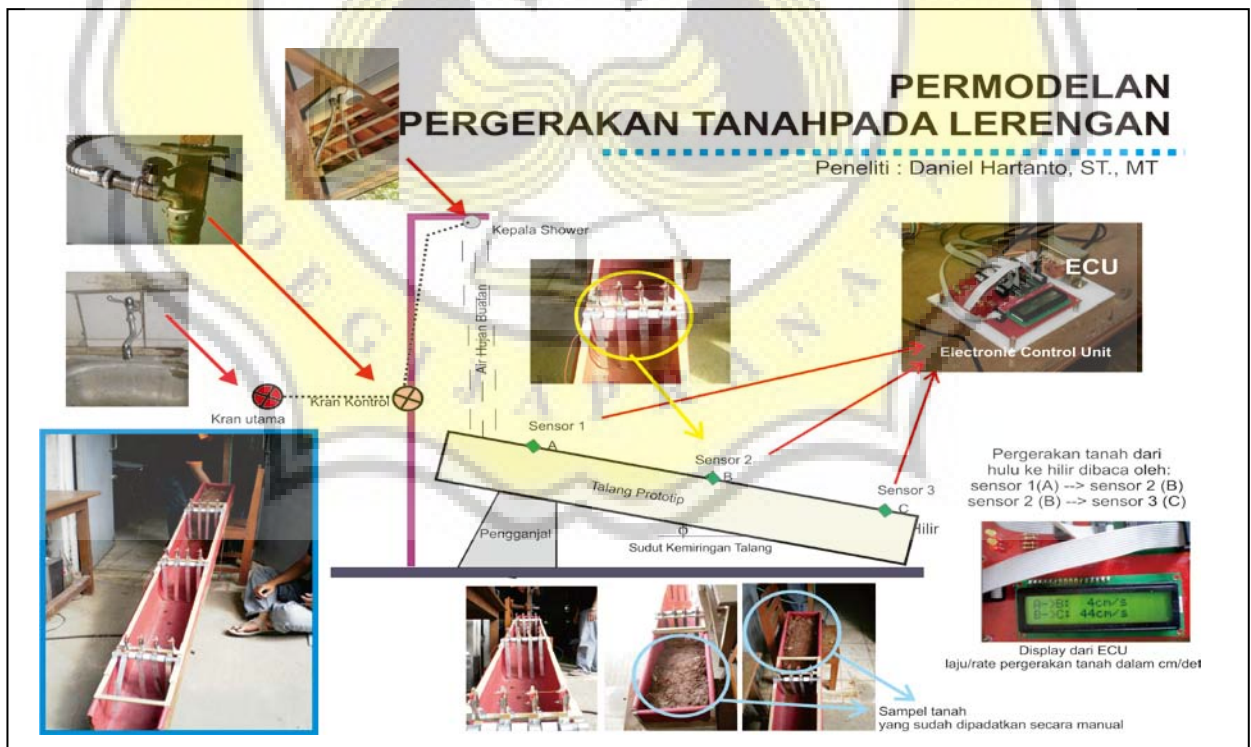
$\phi$  = sudut geser dalam tanah

Persamaan (7.1) oleh Wu et,al ( 1979) disederhanakan menjadi :

$$\Delta S = 1.2 * T_R (A_R / A) \dots\dots\dots (7.2)$$

### 8. Permodelan Lereng Skala laboratorium

Permodelan lereng dengan memposisikan kemiringan dan intensitas hujan sesuai dengan kondisi di lapangan. Berikut adalah skema permodelan lereng :



Gambar 8.1 : Skema lengkap Permodelan Lereng

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Laju erosi permukaan pada lereng – lereng di sekitar Semarang Selatan, khususnya disekitar kampus Unika yaitu dengan pendekatan matematis MUSLE menghasilkan : Area sekitar kampus Unika Soegijapranata terjadi laju erosi permukaan sebesar 0.037 ton/ha/tahun.

Kuat geser tanah akan mengalami peningkatan dengan adanya akar rumput. Berdasarkan hasil uji geser langsung (*direct shear test*) , tanah yang mengandung akar rumput mengalami peningkatan kuat geser tanah. Sudut geser tanah yang mengandung akar rumput meningkat  $\pm 17\% - 53\%$  sedangkan kohesi mengalami peningkatan yaitu sebesar  $10\% - 56\%$ .

Permodelan lereng dan erosi yang terjadi menghasilkan : Sudut kemiringan model lereng  $20^\circ$  menghasilkan laju tanah antara : 15 cm/det - 66 cm/det untuk tanah padat. Sedangkan tanah tanpa usaha pemadatan laju : 100 cm/det. Sedangkan sudut  $40^\circ$  menghasilkan laju tanah antara : 100 cm/det - 125 cm/det untuk tanah padat. Sedangkan tanah tanpa usaha pemadatan laju : 85 cm/det - 200 cm/det.

Pengaruh *landcover* pada lerengan menghasilkan :Tanah dengan *landcover* 75% - 99%, erosi permukaan pada top soil yang terjadi berkisar 22.60 % - 35.65%.Tanah dengan *landcover* 50% butiran tanah yang tererosi berkisar 45%.Tanah dengan *landcover* 0.5% - 27%, erosi permukaan pada top soil yang terjadi berkisar 46.26 % - 64.21%.

Kuat tarik (*tensile strength*) pada akar tanaman rumput adalah *Tensile strength* akar rumput bervariasi antara 0.6687 - 1.5778 kg/cm<sup>2</sup>. Diameter akar maksimum yaitu 1.02 mm menghasilkan *tensile strength* 1.3647 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan diameter akar minimum yaitu 0.8 mm menghasilkan *tensile strength* = 1.4576kg/cm<sup>2</sup>. Panjang akar maksimum yaitu 22 cm menghasilkan *tensile strength* = 0.8891 kg/cm<sup>2</sup>. Sedangkan panjang akar minimum yaitu 17.5 cm menghasilkan *tensile strength* =1.4576kg/cm<sup>2</sup>

### IV. KESIMPULAN

Peran Bioengineering untuk memproteksi erosi permukaan pada lerengan telah terbukti dengan hasil penelitian sebagai berikut :

1. Kuat geser tanah meningkat dengan adanya akar rumput dimana kohesi dan sudut geser dalam tanah meningkat

2. Landcover pada lerengan juga mempunyai peran juga dalam memproteksi erosi permukaan. Lewat permodelan lereng skala laboratorium beserta simulasi curah hujan yang mengacu pada kondisi curah hujan di wilayah Semarang Selatan

## DAFTAR PUSTAKA

- Aponno, G, dan Kuncoro, I. (2002), "Penggunaan Vegetasi Sebagai Metoda Stabilisasi Lereng", Prosiding Seminar Nasional SLOPE 2002, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung
- Blaszczynski,J (2003), Estimate Watershed Runoff and Sediment Wield Using a GIS Interface to Curve Number and MUSLE, BLM National Science and Technology Centre, <http://www.blm.gov/nstc/resourcenotes/rn66.html>
- Das, B ( 1987 ), Advanced Soil Mechanics, McGraw-Hill, New York
- Djaja, Bustami Usman, 2001, Peta Kerentanan GerakanTanah dan Kebencanaan Beraspek Geologi Lainnya Kota Semarang, Jawa Tengah, Direktorat Tata Lingkungan Geologi dan Kawasan Pertambangan, Semarang.
- Herianto, W. (1983), Analisa Kestabilan Lereng Seri Mekanika Tanah 1 Edisi I, Bandung.
- Hartanto, D , Sagita, A ( 2004 ), *Bioengineering dalam Pemecahan Masalah Kestabilan Lereng* , Seminar Nasional Pascasarjana IV, Graha Sepuluh Nopember Kampus ITS Surabaya
- Hartanto,D, Boogard, T ( 2004 ), Quantifying The Application of Eco- Engineering for Improving The Stability of Sensitive Slope in The South Semarang Area, Utrecht-Nederland
- Hartanto, D, (2011), Permodelan Pergerakan Tanah Pada Lerengan, Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang
- Jaya, F.S, dan Sagitha, R.A. ,Hartanto, D, (2004), Studi Literatur tentang Soil Bioengineering dengan Metode Vegetated Rock Gabion, Live Fascine, dan Brush Layering, Laporan Tugas Akhir, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Universitas Katolik Soegijapranata Semarang
- Najoan, F.,T, dan Soetijono, C. (2002), "Pengaruh Akar Tanaman Terhadap Kekuatan Geser Tanah" Prociding Seminar Nasional SLOPE 2002, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung
- Sunggono, K. H (1984), Mekanika Tanah, Nova, Bandung.
- Sotir, R,B. (1992), Chapter 18 Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction, The United States Departement of Agriculture (USDA)
- Sotir, R,B, Gray, D.H. ( 1996 ), Biotechnical And Soil Bioengineering Slope, Stabilization, John Wiley & Son Inc, New York.
- Sotir, R.B. (1996), Chapter 16 Streambank and Shoreline Protection, The United States Departement of Agriculture (USDA)
- Susanto,Rangga (2008), Potensi Laju Erosi DAS Kaligarang dengan Menggunakan Metode MUSLE, Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Sipil, Univeristas Katolik Soegijapranata – Semarang
- Santoso, Y, Tandyo, A ,Hartanto, D (2011), Studi Eksperimental Laboratorium Erosi Permukaan Pada Lerengan, Laporan Tugas Akhir Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil, Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang
- Rahardjo, Salim & Widjaja, 2002, Manual Kestabilan Lereng, Geotechnical Engineering Center Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.

Yhudisaria, R. & Widuri, I.W., Hartanto, D, (2003), Aplikasi Program Slope/W Untuk Perhitungan Stabilitas Lereng (Studi Kasus Tanah Longsor di Jalan Untung Suropati), Laporan Tugas Akhir ,Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Katolik Soegijapranata, Semarang.

