

**PERMODELAN KUALITI AIR TANAH BENCAH BUATAN MENGGUNAKAN
PERISIAN PREWET: KAJIAN KES BIOECODS USM**

NUR ASMALIZA BINTI MOHD NOOR

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2009

**PERMODELAN KUALITI AIR TANAH BENCAH BUATAN
MENGUNAKAN PERISIAN PREWET: KAJIAN KES BIOECODS USM**

oleh

NUR ASMALIZA BINTI MOHD NOOR

**Tesis yang diserahkan untuk memenuhi keperluan bagi
Ijazah Sarjana Sains**

APRIL 2009

PENGHARGAAN

Assalamualaikum w.b.t

Syukur dengan izin dan limpah kurniaNya saya dapat menyiapkan tesis ini. Sekalung ucapan terima kasih saya tujukan kepada kedua-dua penyelia saya iaitu Profesor Madya Dr. Rozi Abdullah dan Profesor Dr. Aminudin Ab. Ghani kerana tidak jemu-jemu memberi komen dan idea dalam menyiapkan penyelidikan ini. Tidak lupa juga ucapan ini ditujukan kepada pihak REDAC iaitu Profesor Dr. Nor Azazi Zakaria, Pn. Khairul Rahmah Ayob, Pn. Farhah, En. Mohd Fadzli dan rakan-rakan REDAC yang banyak membantu saya dalam penyelidikan ini.

Selain daripada itu ucapan terima kasih diberikan kepada mantan koordinator Jabatan Kejuruteraan Awam UiTM Perlis, iaitu Pn. Sharifah Abdullah di atas kerjasama yang diberikan yang banyak membantu saya dalam menyiapkan pengajian. Jutaan terima kasih turut dititipkan kepada Pn. Shafida Azwina, Pn. Nor Habsah, En. Zulfaizal Mat Zin dan Cik Suriani Ab. Rahman di atas kritikan, idea dan dorongan yang diberikan. Segala sumbangan yang telah kalian curahkan begitu bermakna buat diri saya.

Kepada keluarga tersayang, terima kasih yang tidak terhingga di atas dorongan dan sokongan yang tidak putus-putus semasa saya bertungkus lumus menyiapkan disitasi ini. Di samping itu, ribuan terima kasih kepada rakan-rakan sekerja di atas sokongan dan bantuan yang diberikan. Hanya Allah yang mampu membalasnya. Sesungguhnya yang baik itu datangnya daripada Yang Maha Esa dan segala yang kurang itu adalah kelemahan saya sahaja.

SUSUNAN KANDUNGAN

PENGHARGAAN	ii
JADUAL KANDUNGAN	iii
SENARAI JADUAL	viii
SENARAI RAJAH	x
SENARAI PERSAMAAN	xv
SENARAI LAMPIRAN	xv
SENARAI SIMBOL	xvi
SENARAI SINGKATAN	xvii
SENARAI PENERBITAN DAN SEMINAR	xviii
ABSTRAK	xix
ABSTRACT	xxi

BAB SATU : PENGENALAN

1.0	Latar Belakang Kajian	1
1.1	Penyataan Masalah	4
1.2	Objektif Kajian	4
1.3	Keperluan Kajian	5
1.4	Skop Penyelidikan	5
1.5	Ringkasan Tesis	6

BAB DUA : KAJIAN PERSURATAN

2.0	Pengenalan	7
2.1	Tanah Bencah Semulajadi	8
2.2	Tanah Bencah Buatan	11
2.2.1	Sistem Air Permukaan Bebas (FWS)	11
2.2.2	Sistem Aliran Sub Permukaan (SSF)	12
2.3	Struktur Tanah Bencah Buatan	13
2.3.1	Zon Aliran Masuk (Inlet Zone)	14

2.3.2	Zon Mikrofit (Macrophytes Zones)	14
2.3.2.1	Kawasan Paya Cetek (Kedalaman Air Kurang Daripada 0.3m)	17
2.3.2.2	Kawasan Paya Sederhana Dalam (Kedalaman Air Antara 0.3m – 0.6m)	18
2.3.2.3	Kawasan Paya Dalam (Kedalaman Air Antara 0.6m – 1.0m)	19
2.3.3	Zon Air Terbuka (Open Water Zone)	20
2.4	Rekabentuk Tanah Bencah Buatan	21
2.5	Proses Olahan Di dalam Tanah Bencah	23
2.5.1	Penyingkiran Secara Fizikal	24
2.5.2	Penyingkiran Secara Biologiikal	25
2.5.3	Penyingkiran Secara Kimia	26
2.6	Conton Tanah Bencah Buatan	27
2.7	Keberkesanan Tanah Bencah Buatan	29
2.8	Tanah Bencah Buatan di USM Kampus Kejuruteraan	35
2.9	Model Kualiti Air	36
2.9.1	PREWET (<i>Pollutant Removal Efficiency by Wetland</i>)	36
2.9.1.1	Keberkesanan Penggunaan Model PREWET	37
2.9.2	AQUALM (<i>Networked Stormwater Quality Model</i>)	38
2.9.2.1	Keberkesanan Penggunaan Model AQUALM	39
2.9.3	WASP (<i>Water Quality Analysis Simulation Program</i>)	40
2.9.3.1	Keberkesanan Penggunaan Model WASP	41
2.9.4	DUFLOW	41
2.9.4.1	Keberkesanan Penggunaan Model DUFLOW	42
2.9.5	SWMM (<i>Stormwater Management Model</i>)	43
2.9.5.1	Keberkesanan Penggunaan Model SWMM	44
2.9.6	MUSIC (<i>Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualization</i>)	45
2.9.6.1	Keberkesanan Penggunaan Model MUSIC	46
2.9.7	WMod (<i>Wetland Model</i>)	47
2.9.7.1	Keberkesanan Penggunaan Model WMod	47
2.9.8	Analisa Kebolehpayaan Model	48

BAB TIGA : KAEDAH PENYELIDIKAN

3.0	Pengenalan	50
3.1	Lokasi Kajian	50
3.1.1	Kajian Kes: Tanah Bencah Buatan di Universiti Sains Malaysia Kampus Kejuruteraan (BIOECODS)	52
3.2	Pencerapan Data Kualiti Air	57
3.3	Analisa Secara Statistik	64
3.4	Penggunaan Model Kualiti Air	64
3.5	Penentukuran dan Penilaian Model	65
3.6	Simulasi Model	66

BAB EMPAT : PEROLEHAN DATA

4.0	Pengenalan	68
4.1	Keperluan Oksigen Biokimia (BOD)	69
4.2	Keperluan Oksigen Kimia (COD)	72
4.3	Oksigen Terlarut(DO)	74
4.4	Kekeruhan	76
4.5	Jumlah Pepejal Terampai (TSS)	78
4.6	Logam Berat (<i>Heavy Metal</i>)-Kuprum	80
4.7	Jumlah Fosforus (TP)	82
4.8	Analisis Secara Statistik	84
4.8.1	Keperluan Oksigen Biokimia (BOD)	86
4.8.2	Keperluan Oksigen Kimia (COD)	89
4.8.3	Oksigen Terlarut (DO)	92
4.8.4	Kekeruhan	95
4.8.5	Jumlah Pepejal Terampai (TSS)	99
4.8.6	Jumlah Fosforus (TP)	102
4.8.7	Kuprum	106

BAB LIMA : PERMODELAN

5.0	Pengenalan	109
5.1	Keperluan data	109
5.2	PREWET	110
5.2.1	Pendekatan Model	111
5.2.2	Kadar Penyingkiran	113
5.2.3	Parameter Hidraulik	117
5.2.4	Parameter Kualiti Air	117
5.2.5	Data Masukan	118
5.2.6	Hasil Akhir	118
5.3	Model Tanah Bencah WMod	119
5.3.1	Aplikasi Wmod	119
5.3.2	Data Kualiti air	120
5.4	Analisis Kepekaan	120
5.4.1	Keperluan Oksigen Biokimia (BOD)	121
5.4.2	Jumlah Pepejal Terampai (TSS)	122
5.4.3	Jumlah Fosforus (TP)	123
5.5	Penentukuran dan Penilaian	125
5.5.1	Matlamat Penentukuran dan Penilaian Model	127
5.5.2	Penentukuran dan Penilaian PREWET	127
5.5.2.1	Keperluan Oksigen Biokimia (BOD)	128
5.5.2.2	Jumlah Fosforus (TP)	130
5.5.2.3	Jumlah Pepejal Terampai (TSS)	133
5.5.3	Penentukuran dan Penilaian WMod	135

BAB ENAM : SIMULASI MODEL DAN PERBINCANGAN

6.0	Pengenalan	139
6.1	Masa Tahanan di dalam Tanah Bnech Buatan	139
6.2	Aliran Masuk ke dalam Tanah Bencah Buatan	142
6.3	Kedalaman Air di dalam Tanah Bencah Buatan	145
6.4	Nisbah Panjang Kepada Lebar Tanah Bencah	147

6.5	Garis Panduan Rekabentuk Tanah Bencah Buatan	150
6.5.1	Ciri-ciri fizikal Tanah Bencah Buatan	150
6.5.1.1	Kedalaman air	151
6.5.1.2	Masa Tahanan	153
6.5.1.3	Nisbah Panjang Kepada Lebar	153
6.5.2	Tumbuhan Mikrofit	154

BAB TUJUH : KESIMPULAN DAN CADANGAN

7.0	Pengenalan	157
7.1	Kesimpulan	157
7.2	Cadangan	159

SENARAI RUJUKAN	160
------------------------	------------

LAMPIRAN	166
-----------------	------------

SENARAI JADUAL

2.1	Jenis Tanah Bencah Mengikut Pengkelasan EPA	9
2.2	Tumbuhan bagi Kawasan Paya Cetek	18
2.3	Tumbuhan bagi Kawasan Paya Sederhana Dalam	19
2.4	Tumbuhan bagi Kawasan Paya Dalam	20
2.5	Rekabentuk Tanah Bencah Buatan Mengikut Manual Saliran Mesra Alam	22
2.6	Rekabentuk Tanah Bencah Buatan bagi USM Kampus Kejuruteraan	23
2.7	Ciri-ciri Tanah Bencah Buatan di Queensland	28
2.8	Keberkesanan Tanah Bencah Meningkatkan Kualiti Air	34
2.9	Ringkasan Tumbuhan Mikrofit yang Ditanam	34
2.10	Tumbuhan yang ditanam Bagi Kawasan USM Kampus Kejuruteraan	36
2.11	Perbandingan Keberkesanan Pengurangan Nitrogen antara Tiga Tanah Bencah di Kawasan Tadahan Neuwuhrener Au Menggunakan PREWET	38
2.12	Analisa Kebolehpayaan Model	49
3.1	Piawaian Ujikaji Yang Ditetapkan Oleh APHA Berdasarkan Parameter Kualiti Air	59
3.2	Nilai Kualiti Air Bagi Indeks Kualiti Air Kelas IIB Dan Standard B Penilaian Kualiti Alam Sekitar 1974	60
3.3	Data yang Diperlukan Untuk Kerja Permodelan	65
4.1	Keputusan Analisa Kolerasi Bagi BOD	86
4.2	Keputusan Analisa Kolerasi Bagi COD	89
4.3	Keputusan Analisa Kolerasi Bagi DO	92
4.4	Keputusan Analisa Kolerasi Bagi Kekeruhan	95
4.5	Keputusan Analisa Kolerasi Bagi TSS	99
4.6	Keputusan Analisa Kolerasi Bagi TP	103
4.7	Keputusan Analisa Kolerasi Bagi Kuprum	106
5.1	Data Ciri-ciri Fizikal Tanah Bencah Bagi Model PREWET	118
5.2	Julat r_p Berdasarkan Jenis Sistem Aliran	120

5.3	Data Ciri-ciri Fizikal Tanah Bencah Bagi Model WMod	120
5.4	Kepekaan Parameter Model	121
5.5	Nilai RMSE Bagi BOD Berdasarkan Kadar Pereputan	129
5.6	Nilai RMSE Bagi TP Berdasarkan Pecahan TPP Terhadap TP	131
5.7	Nilai RMSE Bagi TSS Berdasarkan Halaju Pengeapan Partikel	134
5.8	Nilai RMSE Bagi TP Berdasarkan Nilai Penyerapan Nutrien oleh Biofilm	137
6.1	Garis Panduan Tanah Bencah Buatan Berdasarkan Kajian Terdahulu	152
6.2	Jenis Tumbuhan Mikrofit Bagi Kawasan Paya Cetek (kedalaman kurang 0.3m)	155
6.3	Jenis Tumbuhan Mikrofit Bagi Kawasan Paya Sederhana Dalam (Kedalaman 0.3m-0.6m)	156
6.4	Jenis Tumbuhan Mikrofit Bagi Kawasan Paya Dalam (Kedalaman 0.6m-1.0)	156

SENARAI RAJAH

1.1	Tanah Bencah Buatan di Universiti Monash, Australia	3
1.2	Tanah Bencah Semulajadi	3
2.1	Tanah Bencah Buatan Jenis Sistem Air Permukaan Bebas (FWS)	12
2.2	Tanah Bencah Buatan Jenis Sistem Aliran Sub Permukaan (SSF)	13
2.3	Zon-Zon Di Dalam Tanah Bencah Buatan	13
2.4	Zon Aliran Masuk	14
2.5	Zon Mikrofit	16
2.6	Zon Air Terbuka	21
2.7	Proses Penyingkiran Secara Fizikal	24
2.8	Proses Penyingkiran Secara Biologi	26
2.9	Tumbuhan Yang Ditanam Di Tanah Bencah USM Kampus Kejuruteraan	35
2.10	Perbandingan Model Kualiti Air Dalam Menganggar Beban Nitrogen Bagi Kawasan Murrumbidgee	40
2.11	Kepekatan TP Hasil Simulasi Model Dan Lapangan	43
2.12	Kepekatan SS Hasil Cerapan Lapangan Dan Proses Simulasi Model	45
2.13	Keberkesanan Model Terhadap TSS Untuk Data Februari 1996	46
2.14	Keberkesanan Model Terhadap TSS Untuk Data Jun 1996	46
2.15	Perbandingan Antara Data Yang Diperolehi Daripada Model Dengan Data Cerapan Lapangan Bagi TP	48
3.1	Lokasi USM Kampus Kejuruteraan	51
3.2	Kawasan Kajian USM Kampus Kejuruteraan	52
3.3	Susunatur Sistem Saliran Bioekologikal (BIOECODS) di USM Kampus Kejuruteraan	54
3.4	Carta Aliran Sistem BIOECODS	55
3.5	Lokasi Tanah Bencah Buatan	56
3.6	Lokasi Persampelan Data Kualiti Air	57
3.7	Carta Aliran Yang Menunjukkan Aturan Kaedah Penyelidikan	67

4.1	Kepekatan BOD Bagi Tanah Bencah Buatan Di USM Kampus Kejuruteraan	70
4.2	Peratus Pengurangan BOD Bagi Tanah Bencah Buatan Di USM Kampus Kejuruteraan	71
4.3	Kepekatan COD Bagi Tanah Bencah Buatan Di USM Kampus Kejuruteraan	73
4.4	Peratus Pengurangan COD Bagi Tanah Bencah Buatan Di USM Kampus Kejuruteraan	74
4.5	Kepekatan DO Bagi Tanah Bencah Buatan Di USM Kampus Kejuruteraan	75
4.6	Peratus Pengurangan DO Bagi Tanah Bencah Buatan Di USM Kampus Kejuruteraan	76
4.7	Kepekatan Kekeruhan Bagi Tanah Bencah Buatan Di USM Kampus Kejuruteraan	77
4.8	Peratus Pengurangan Kekeruhan Bagi Tanah Bencah Buatan Di USM Kampus Kejuruteraan	78
4.9	Kepekatan TSS Bagi Tanah Bencah Buatan Di USM Kampus Kejuruteraan	79
4.10	Peratus Pengurangan TSS Bagi Tanah Bencah Buatan Di USM Kampus Kejuruteraan	80
4.11	Nilai Kuprum Bagi Tanah Bencah Buatan Di USM Kampus Kejuruteraan	82
4.12	Kepekatan TP Bagi Tanah Bencah Buatan Di USM Kampus Kejuruteraan	83
4.13	Peratus Pengurangan TP Bagi Tanah Bencah Buatan Di USM Kampus Kejuruteraan	84
4.14	Data Keamatan Hujan Yang Dicerap Pada Masa Kejadian Hujan	85
4.15	Regresi Lelurus Antara Keamatan Hujan Dengan Kepekatan BOD Pada Aliran Masuk	88
4.16	Regresi Lelurus Antara Keamatan Hujan Dengan Kepekatan BOD Pada Aliran Keluar	88
4.17	Regresi Lelurus Antara Kadar Aliran Masuk Dengan BOD Pada Aliran Masuk	89

4.18	Regresi Lelurus Antara Keamatan Hujan Dengan Kepekatan COD Pada Aliran Masuk	90
4.19	Regresi Lelurus Antara Keamatan Hujan Dengan Kepekatan COD Pada Aliran Keluar	91
4.20	Regresi Lelurus Antara Aliran Masuk Dengan Kepekatan COD Pada Aliran Masuk	91
4.21	Regresi Lelurus Antara Keamatan Hujan Dengan Kepekatan DO Pada Aliran Masuk	93
4.22	Regresi Lelurus Antara Keamatan Hujan Dengan Kepekatan DO Pada Aliran Keluar	94
4.23	Regresi Lelurus Antara Aliran Masuk Dengan Kepekatan DO Pada Aliran Masuk	94
4.24	Regresi Lelurus Antara Keamatan Hujan Dengan Kepekatan Kekeruhan Pada Aliran Masuk	97
4.25	Regresi Lelurus Antara Keamatan Hujan Dengan Kepekatan Kekeruhan Pada Aliran Keluar	97
4.26	Regresi Lelurus Antara Aliran Masuk Dengan Kepekatan Kekeruhan Pada Aliran Masuk	98
4.27	Regresi Lelurus Antara Keamatan Hujan Dengan Kepekatan TSS Pada Aliran Masuk	100
4.28	Regresi Lelurus Antara Keamatan Hujan Dengan Kepekatan TSS Pada Aliran Keluar	100
4.29	Regresi Lelurus Antara Aliran Masuk Dengan Kepekatan TSS Pada Aliran Masuk	101
4.30	Regresi Lelurus Antara Keamatan Hujan Dengan Kepekatan TP Pada Aliran Masuk	104
4.31	Regresi Lelurus Antara Keamatan Hujan Dengan Kepekatan TP Pada Aliran Keluar	104
4.32	Regresi Lelurus Antara Aliran Masuk Dengan Nilai TP Pada Aliran Masuk	105
4.33	Regresi Lelurus Antara Keamatan Hujan Dengan Kepekatan Kuprum Pada Aliran Masuk	107
4.34	Regresi Lelurus Antara Keamatan Hujan Dengan Kepekatan Kuprum Pada Aliran Keluar	107

4.35	Regresi Lelurus Antara Aliran Masuk Dengan Nilai Kuprum Pada Aliran Masuk	108
5.1	Nilai BOD Pada Aliran Keluar Yang Diperolehi Berdasarkan Kadar Pereputan (hari^{-1}) Bagi Model PREWET	122
5.2	Nilai TSS Pada Aliran Keluar Terhadap Halaju Pengeapan Partikel Bagi Model PREWET	123
5.3	Nilai TP Pada Aliran Keluar Terhadap Nilai Pecahan TPP Bagi Model PREWET	124
5.4	Kepekatan TP Pada Aliran Keluar Terhadap Pengambilan Nutrien Oleh Biofilm Bagi Model WMod	125
5.5	Graf Perbandingan Kepekatan BOD Di Kawasan Aliran Keluar Dengan Model PREWET	129
5.6	Regresi Lelurus Antara Kepekatan BOD Cerapan Lapangan Dengan Kepekatan BOD Hasil Simulasi	130
5.7	Graf Perbandingan Kepekatan TP Di Kawasan Aliran Keluar Dengan Model PREWET	132
5.8	Regresi Lelurus Antara Kepekatan TP Cerapan Lapangan Dengan Kepekatan TP Simulasi	133
5.9	Graf Perbandingan Kepekatan TSS Di Kawasan Aliran Keluar Dengan Model PREWET	134
5.10	Regresi Lelurus Antara Kepekatan TSS Cerapan Lapangan Dengan Kepekatan TSS Simulasi	135
5.11	Graf Perbandingan Keputusan Kepekatan TP Di Kawasan Aliran Keluar Dengan Model WMod	137
5.12	Regresi Lelurus Antara Kepekatan TP Cerapan Lapangan Dengan Kepekatan TP Pada Aliran Keluar Simulasi	138
6.1	Graf Perubahan Bagi Penyingkiran Yang Berkesan Berdasarkan Masa Tahanan Untuk Parameter BOD	140
6.2	Graf Perubahan Penyingkiran Yang Berkesan Berdasarkan Masa Tahanan Bagi Parameter TP	141
6.3	Graf Perubahan Penyingkiran Yang Berkesan Berdasarkan Masa Tahanan Bagi Parameter TSS	142

6.4	Graf Perubahan Penyingkiran Yang Berkesan Berdasarkan Aliran Masuk Bagi Parameter BOD	143
6.5	Graf Perubahan Penyingkiran Yang Berkesan Berdasarkan Aliran Masuk Bagi Parameter TP	144
6.6	Graf Perubahan Penyingkiran Yang Berkesan Berdasarkan Aliran Masuk Bagi Parameter TSS	144
6.7	Graf Perubahan Penyingkiran Yang Berkesan Berdasarkan Kedalaman Bagi Parameter TSS	146
6.8	Graf Perubahan Penyingkiran Yang Berkesan Berdasarkan Kedalaman Bagi Parameter TP	146
6.9	Graf Perubahan Penyingkiran Yang Berkesan Berdasarkan Kedalaman Bagi Parameter BOD	147
6.10	Graf Perubahan Berkesan Penyingkiran Berdasarkan Nisbah Panjang Kepada Lebar Bagi Parameter BOD	148
6.11	Graf Perubahan Berkesan Penyingkiran Berdasarkan Nisbah Panjang Kepada Lebar Bagi Parameter TP	149
6.12	Graf Perubahan Berkesan Penyingkiran Berdasarkan Nisbah Panjang Kepada Lebar Bagi Parameter TSS	150

SENARAI PERSAMAAN

5.1	Persamaan Keberkesanan Penyingkiran Tanah Bencah	111
5.2	Persamaan Aliran Bahan Pencemar Bercampur	112
5.3	Persamaan Keadaan Aliran Mantap	112
5.4	Persamaan Keberkesanan Penyingkiran	113
5.5	Persamaan Peratus Keberkesanan Penyingkiran	113
5.6	Persamaan Kadar Pereputan Bagi BOD	114
5.7	Persamaan Kadar Pengenapan	114
5.8	Persamaan Halaju Pengenapan	115
5.9	Persamaan Kelikatan Kinematik Air	115
5.10	Persamaan Kadar Penyingkiran Bagi TP	116
5.11	Persamaan Kadar Penyingkiran Bagi TP	116
5.12	Persamaan Masa Tahanan	117
5.13	Persamaan Penyingkiran Bahan Pencemaran	119
5.14	Persamaan R^2	126
5.15	Persamaan Kaedah Sisihan Punca Kuasa Dua	127

SENARAI LAMPIRAN

1.1	Lampiran A- Keputusan Permodelan WMod
1.2	Lampiran B- Keputusan Permodelan PREWET
1.3	Lampiran C- Tatacara Ujikaji Makmal
1.4	Lampiran D- Radas Ujikaji

SENARAI SIMBOL

P	Pekali Statistik
τ	Masa Tahanan
W_L	Jumlah Beban Bahan Pencemar
Q_i	Jumlah Aliran Masuk
C_i	Jumlah Bahan Pencemar Yang Terdapat Di Dalam Aliran Masuk
Q	Jumlah Kadar Alir Keluar
C	Jumlah Bahan Pencemar Yang Terdapat Di Dalam Aliran Keluar
V	Isipadu Tanah Bencah
t	Masa
K	Kadar Penyingkiran
K_r	Kadar Pereputan BOD
V_s	Halaju Pengenapan Partikel
V_b	Halaju Lapisan Sedimen Termendap Yang Hadir
V_r	Halaju Lapisan Sedimen Terampai Yang Hadir
V_s	Halaju Pengenapan Partikel
g	Pecutan Graviti
D	Diameter Partikel
S_g	Graviti Spesifik Partikel
v	Kelikatan Kinematik Air
T	Suhu
K_{TP}	Kadar Penyingkiran Bagi Jumlah Fosforus
V_d	Halaju Pemindahan Jisim
f_{pw}	Pecahan Partikel Fosforus Terhadap Jumlah Fosforus Yang Terdapat Di Dalam Air
f_{dw}	Pecahan Fosforus Terlarut Terhadap Jumlah Fosforus Yang Terdapat Di Dalam Air
f_{dp}	Pecahan Fosforus Terlarut Terhadap Jumlah Fosforus Yang Terdapat Pada Bahagian Dasar.
V_n	Kadar Pengenapan Bersih Partikel
r_b	kadar pengambilan nutrien oleh biofilm

SENARAI SINGKATAN

APHA	American Public Health Association
AQUALM	Networked Stormwater Quality Model
ARI	Average Recurrence Interval
BIOECODS	Sistem Saliran Bioekologikal
BMP	Best Management Practices
BOD	Biochemical Oxygen Demand
CRC	Cooperative Research Centre for Catchment
COD	Chemical Oxygen Demand
DO	Dissolved Oxygen
DUFLOW	Dutch Flow
EPA	Environmental Protection Agency
FWS	Free Water Surface
JMM	Jabatan Meterologi Malaysia
JPS	Jabatan Pengairan dan Saliran
MSMA	Manual Saliran Mesra Alam
MUSIC	Model for Urban Stormwater Improvement Conceptualization
NTU	Nephelometric Turbidity Unit
PREWET	Pollutant Removal Efficiency by Wetland
RAM	Rainfall Module
RMSE	Root Mean Square Error
SSF	Sub Surface Flow System
SWMM	Stormwater Management Model
TP	Total Phosphorus
TSS	Total Suspended Solid
USEPA	United State Environmental Protection Agency
USM	Universiti Sains Malaysia
WASP	Water Quality Analysis Simulation Program
WSUD	Water Sensitivity Urban Drainage
WMod	Wetland Model

SENARAI PENERBITAN & SEMINAR

- 1.1 Stormwater Treatment Using Constructed Wetland
1st International Conference on Managing Rivers in the 21st Century: Issues and Challenges, 21st -23rd September 2004
Mutiara Beach Resort Penang
Mohd Noor, N.A., Abdullah, R., Mohd Sidek, L., Zakaria, N.A., Ab Ghani, A., Ayub, K.R.
- 1.2 Water Quality Enhancement Using Constructed Wetland
Malaysia Research Group, Annual Conference 05, Manchester
United Kingdom
Mohd Noor, N.A., Abdullah, R., Mohd Sidek, L., Ab Ghani, A.
- 1.3 The Potential of Constructed Wetland as Water Quality Treatment
Brunei International Conference on Engineering and Technology 2005, 15-18 Ogos 2005, The Centerpoint Hotel
Mohd Noor, N.A., Abdullah, R., Mohd Sidek, L., Ab Ghani, A.
- 1.4 Modeling Water Quality for Constructed wetland- A Comparison
International Seminar on Wetland and Sustainability (ISWS 2007) 4-6 September 2007, Hotel Puteri Pan Pacific
Johor Bharu
Mohd Noor, N.A., Abdullah, R., Mohd Sidek, L., Ab Ghani, A.
- 1.5 A Water Quality Modelling for the Constructed Wetland Using Prewett Model
2nd Engineering Conference: Sustainable Engineering Infrastructure Development and Management 18-19 Disember
2008 Crowne Plaza Riverside, Kuching Sarawak
Mohd Noor, N.A., Abdullah, R., Ab Ghani, A.
- 1.6 A Water Quality Modelling Study of the Constructed Wetland at USM Engineering Campus, Malaysia
8th International Conference on URBAN DRAINAGE MODELLING, Jepun 7-11 September 2009, Tokyo University
Jepun
Mohd Noor, N.A., Abdullah, R., Ab Ghani, A.
- 1.7 Factors that Affecting the Performance of Stormwater Treatment in constructed Wetland
Persidangan Kejuruteraan Awam 2009, 27-29 Oktober 2009
Corus Hotel
Mohd Noor, N.A., Abdullah, R., Ab Ghani, A., Arshad, M.K.

PERMODELAN KUALITI AIR TANAH BENCAH BUATAN MENGUNAKAN PERISIAN PREWET: KAJIAN KES BIOECODS, USM

ABSTRAK

Tanah bench buatan merupakan salah satu daripada komponen yang terdapat di dalam BIOECODS. Penyelidikan ini bertujuan menilai keupayaan sesebuah tanah bench buatan menyingkirkan bendasing dan mempertingkatkan kualiti yang terdapat di dalam air larian ribut melalui persampelan data dan permodelan. Persampelan data dijalankan bagi menentukan samaada tanah bench buatan ini berupaya meningkatkan kualiti air larian ribut. Parameter kualiti air yang diambil kira ialah BOD, COD, DO, TSS, kekeruhan, TP dan kuprum. Peratus pengurangan BOD antara 9.7% hingga 80%, COD antara 5.7% hingga 62.9%, DO antara 6.5% hingga 17.8%, kekeruhan antara 21.4% hingga 72.3%, TSS antara 50% hingga 100% dan TP antara 24% hingga 46%. Data cerapan lapangan seterusnya dianalisa secara Kaedah Ujian Sampel Berpasangan dan ia tidak menunjukkan nilai yang signifikan. Selain daripada persampelan data, kajian ini juga merangkumi aspek permodelan kualiti air untuk tanah bench buatan dan dua model kualiti air dipilih iaitu PREWET dan WMod. Analisa kepekaan model telah dilakukan terhadap kedua-dua model untuk mengenalpasti parameter model. Parameter model PREWET ialah K_r bagi BOD, nilai pecahan TP kepada TPP bagi TP dan V_s bagi TSS. Bagi WMod pula, penyerapan nutrien oleh biofilm adalah parameter model bagi TP. Selain itu, proses penentukuran dilakukan bagi mengenalpasti nilai parameter model dan proses penilaian pula dilakukan bagi melihat keupayaan model-model ini menjalankan simulasi dengan lebih berkesan. Bagi model PREWET, nilai parameter model yang diperolehi melalui proses penentukuran ialah 0.32 hari^{-1} bagi BOD, 0.4 bagi TP dan

0.3 m/hari bagi TSS dan penilaian yang diperoleh, R^2 ialah 0.654 bagi BOD, 0.067 bagi TSS dan 0.479 bagi TP. Manakala bagi WMod, nilai parameter model yang diperoleh ialah 0.02 bagi TP dan penilaian yang diperoleh, R^2 ialah 0.525. Simulasi model pula dilakukan untuk melihat nilai parameter rekabentuk yang dapat memberikan peratus penyingkiran berkesan sekitar 50%-60%. Nilai rekabentuk yang diperoleh ialah masa tahanan selama 14 hari, nisbah panjang dengan lebar ialah 11.7:1, kedalaman ialah 0.5m dan aliran masuk ialah $0.05\text{m}^3/\text{s}$. Kesimpulannya, hasil penemuan yang diperoleh daripada penyelidikan ini dapat digunakan sebagai rujukan dalam rekabentuk tanah bencah bagi menghasilkan peratus penyingkiran yang berkesan.

WATER QUALITY MODELING OF CONSTRUCTED WETLANDS USING PREWET MODEL: A CASE STUDY BIOECODS, USM

ABSTRACT

Constructed wetland is an essential component in BIOECODS. The objective of this research is to evaluate the capability of constructed wetland in removing pollutants and improving stormwater quality through data sampling and computer modeling. Data samplings were performed to determine whether the constructed wetland able to improve the quality of stormwater. Water quality parameters namely BOD, COD, DO, TSS, turbidity, TP and copper were taken into consideration. The percentage of pollutant removal for BOD was 9.7% to 80%, COD was 5.7% to 62.9%, DO was 6.5% to 17.8%, turbidity was 25.9% to 30.0%, TSS was 50% to 100% and TP was 24% to 46%. The sampled data were analyses using Paired Sample Test and the results are insignificant. Other than sampling data, this research also included the application of water quality model for constructed wetland and two models were chosen, namely PREWETT and WMod. Sensitivity analyses were conducted for both models to identify the model parameters. The model parameters of PREWET were K_r for BOD, TP to TPP ratio for TP and V_s for TSS. Biofilm uptake rate is the model parameter for WMod. Furthermore, calibration process was conducted to identify model parameters values and evaluation process was also performed to obtain model which best represent actual condition. For PREWET model, model parameter values that are obtained through calibration process were 0.32 day^{-1} for BOD, 0.4 for TP and 0.3 m/day for TSS and R^2 obtained were 0.525 for BOD, 0.067 for TSS and 0.479 for TP. While for WMod, the model parameter value obtained was 0.02 for TP and R^2 was 0.525. A model simulation was carried out to determine the design parameters which give effective removal efficiency of between 50%-60%.

The design parameters obtained were detention time of 14 days, length to width ratio of 11.7:1, depth of 0.5m and inflow of 0.05 m³/s. In a nut shell, the finding from this research can be used as a guideline to design an effective constructed wetland that produces an optimum removal efficiency of pollutants.

BAB 1

Pengenalan

1.0 Latar Belakang Kajian

Pembangunan yang pesat telah menyebabkan berlaku pelbagai pencemaran ke atas alam sekitar seperti pencemaran udara, pencemaran bunyi dan pencemaran air. Oleh yang demikian masyarakat Malaysia mula prihatin terhadap penjagaan alam sekitar dan mula menyedari betapa pentingnya penjagaan alam sekitar khususnya sumber air. Kualiti air merupakan elemen penting dalam menilai tahap pencemaran air. Bagi kawasan tasik, kolam atau tadahan, kualiti air akan mempengaruhi ekosistem keseluruhan kawasan di samping memberikan jaminan kualiti air yang terbaik kepada pengguna. Faktor pembangunan sering dijadikan salah satu sebab tahap parameter kualiti air dipersoalkan dan pelbagai kaedah dicadangkan sebagai alternatif untuk menambahbaik kualiti air.

Salah satu alternatif yang sesuai untuk menjalankan pembangunan tanpa mengabaikan kesan ialah pembinaan sistem saliran bioekologikal seperti kolam tahanan, tanah bencah, alur dan kolam takungan kering. Amalan Pengurusan Terbaik atau *Best Management Practices* (BMPs) merupakan salah satu sistem yang diamalkan di negara membangun. Amalan Pengurusan Terbaik untuk air larian ribut digunakan secara meluas dalam sistem saliran di negara maju seperti United Kingdom, Amerika Syarikat dan Eropah (Zakaria et al., 2003). Ia boleh didefinisikan sebagai penggunaan kepelbagaian bidang dan teknologi yang sesuai dalam mengekalkan alam semulajadi dan meningkatkan kualiti hidup (Zakaria et al., 2003). Dalam aspek pengurusan air larian ribut, ia digunakan untuk kawalan kuantiti dan

kualiti air larian ribut. Sistem Saliran Bioekologikal (BIOECODS) merupakan salah satu contoh Amalan Pengurusan Terbaik bagi pengurusan air larian ribut di Malaysia dan ia telah dibina di Universiti Sains Malaysia Kampus Kejuruteraan oleh Jabatan Pengairan dan Saliran Malaysia sebagai projek pengenalan. Penyelidikan bagi tanah bencah buatan di USM Kampus Kejuruteraan bertujuan untuk melihat keberkesanan tanah bencah buatan dalam meningkatkan kualiti air larian ribut bagi kawasan yang beriklim khatulistiwa. Ini disebabkan oleh kebanyakan penyelidikan sebelum ini lebih tertumpu kepada tanah bencah di kawasan beriklim sederhana.

Sistem ini merangkumi alur (*swale*), kolam takungan kering (*dry pond*), kolam takungan basah (*wet pond*), kolam tahanan (*detention pond*) dan tanah bencah buatan (*constructed wetland*) (Zakaria et al., 2003). Tanah bencah buatan berfungsi untuk rawatan air larian ribut yang mengandungi bahan pencemaran yang berbentuk bukan sumber titik (*non point source*) sebelum ia mengalir ke dalam sungai. Rekabentuk tanah bencah buatan menyerupai tanah bencah semulajadi bagi menjalankan proses rawatan secara semulajadi hasil bantuan daripada tumbuhan yang hidup di dalamnya, tanah dan mikrobial (Kivaisi, 2001).

Dalam pertengahan 1980an, terdapat penyelidikan mengenai keupayaan tanah bencah buatan dalam meningkatkan kualiti air larian telah dijalankan dan hasil daripada penyelidikan yang dijalankan di Amerika Syarikat di dapati bahawa kadar penyingkiran pencemaran adalah 75% bagi TSS, 25% bagi TN, 15% bagi karbon organik, 75% bagi plumbum dan 50% bagi zink (Schueler et al., 1992). Manakala kajian yang dijalankan oleh Zhang et al. (2009) terhadap tanah bencah buatan di China menunjukkan tanah bencah tersebut berupaya menyingkirkan 83.5% TSS,

49.11% TN dan 53.15% TP . Rajah 1.1 menunjukkan tanah bencah buatan yang terdapat di Universiti Monash Australia manakala Rajah 1.2 menunjukkan tanah bencah semulajadi.



Rajah 1.1: Tanah Bencah Buatan di Universiti Monash Australia (sumber: Ian dan Peter, 1998).



Tom Blagden, Jr.

Rajah 1.2: Tanah Bencah Semulajadi (sumber: EPA, 2005).

1.1 Penyataan Masalah

Tanah bench telah terbukti membantu meningkatkan kualiti air menerusi penyelidikan yang telah dijalankan di luar negara. Walau bagaimanapun, pembinaan tanah bench buatan masih belum meluas di Malaysia kerana ia boleh diklasifikasikan sebagai alternatif baru dalam meningkatkan kualiti air larian ribut. Oleh yang demikian, penilaian terhadap aplikasi tanah bench buatan sebagai salah satu cara meningkatkan kualiti air larian ribut masih kurang dan sukar untuk dibuat penilaian disebabkan oleh tidak banyak data yang berkaitan tanah bench buatan untuk Malaysia. Aplikasi tanah bench buatan di Malaysia berbeza dengan negara lain seperti Amerika Syarikat, United Kingdom, Eropah dan Australia kerana keadaan iklim yang berbeza. Penyelidikan di luar negara lebih tertumpu kepada keadaan iklim sederhana dengan keamatan hujan yang rendah manakala keadaan iklim di Malaysia sedikit berbeza dengan iklim khatulistiwa dengan keamatan hujan yang tinggi. Penyelidikan ini perlu agar penilaian terhadap aplikasi tanah bench buatan di Malaysia dapat dijalankan dan seterusnya menyediakan satu garis panduan bagi rekabentuk pembinaan tanah bench buatan yang sesuai untuk iklim di Malaysia.

1.2 Objektif Kajian

Objektif kajian ini secara keseluruhannya untuk menilai kebolehpayaan sesebuah tanah bench buatan menyingkirkan bendasing yang terdapat di dalam air larian ribut menggunakan kaedah permodelan. Secara khususnya objektif kajian adalah:

- i) Untuk menilai keberkesanan tanah bencah melalui cerapan data kualiti air di lapangan dimana cerapan kepekatan bahan pencemar pada aliran masuk dan aliran keluar tanah bencah.
- ii) Untuk menjalankan permodelan kualiti air iaitu proses penentukuran dan penilaian model di tanah bencah.
- iii) Untuk menilai dan menentukan parameter rekabentuk yang optimum bagi mendapatkan keupayaan penyingkiran bahan pencemar yang melebihi 50% seterusnya nilai parameter rekabentuk yang diperolehi dapat dijadikan panduan bagi rekabentuk tanah bencah pada masa akan datang.

1.3 Keperluan Penyelidikan

Keperluan penyelidikan ini adalah untuk menentukan keupayaan tanah bencah buatan dalam meningkatkan kualiti air larian ribut dan seterusnya mencapai matlamat yang telah ditetapkan dalam Amalan Pengurusan Terbaik dimana ia mementingkan kualiti air yang bersih sebelum ia dilepaskan ke sungai yang berhampiran. Selain daripada itu, permodelan kualiti air turut dijalankan melalui penyelidikan ini untuk mendapatkan model yang sesuai bagi meramalkan kualiti air yang dikeluarkan oleh tanah bencah buatan.

1.4 Skop penyelidikan

Tanah bencah buatan di USM Kampus Kejuruteraan digunakan sebagai kawasan kajian untuk menentukan dan menilai beberapa parameter kualiti air. Persampelan data kualiti air dilakukan bagi mendapatkan kepekatan parameter kualiti air di bahagian aliran masuk dan aliran keluar tanah bencah. Seterusnya model PREWET dan WMod akan digunakan untuk mendapatkan kepekatan kualiti air pada

bahagian aliran keluar berpandukan kepekatan parameter kualiti air di bahagian aliran masuk. Di dalam kajian ini, beberapa skop telah dikenalpasti dan ditentukan sebagai satu sempadan kepada kajian secara keseluruhannya. Skop kajian adalah seperti berikut:

- i) Kajian ini melibatkan ujian makmal bagi mendapatkan kepekatan kualiti air bagi parameter pH, suhu, TP, DO, kekeruhan, BOD, TSS, kuprum dan COD.
- ii) Kawasan kajian diskopkan kepada tanah bencah buatan yang merupakan salah satu komponen di dalam BIOECODS.
- iii) Parameter kualiti air yang dianalisa dan disimulasi bergantung kepada model PREWET yang digunakan. BOD, TP dan TSS merupakan parameter kualiti air yang dianalisis. Manakala bagi model WMod parameter yang dianalisis ialah TP.

1.5 Ringkasan Tesis

Secara keseluruhannya Tesis ini mempunyai 7 bab di mana Bab 1 menerangkan mengenai latar belakang dan objektif kajian ini dijalankan. Bab 2 pula memberi gambaran secara ringkas mengenai tanah bencah dan penerangan mengenai model komputer yang dibangunkan sebelum ini. Manakala Bab 3 membincangkan mengenai kaedah kajian yang dijalankan. Keputusan yang diperolehi daripada pencerapan data lapangan pula dibincangkan di dalam Bab 4. Seterusnya Bab 5 membincangkan mengenai permodelan bagi model PREWET dan Wmod yang meliputi penentukuran dan penilaian model. Simulasi model menggunakan model PREWET bagi mendapatkan parameter rekabentuk yang sesuai dibincangkan di dalam Bab 6 . Rumusan dan cadangan dibincangkan dalam bab terakhir iaitu Bab 7.

BAB 2

KAJIAN PERSURATAN

2.0 Pengenalan

Tanah bencah berfungsi sebagai satu sistem tapisan dan rawatan untuk air sebelum mengalir masuk ke kawasan tasik atau sungai. Pelbagai definisi dan konsep mengenai tanah bencah diutarakan. Tanah bencah boleh dibahagikan kepada dua keadaan iaitu tanah bencah semulajadi dan tanah bencah buatan. Oleh yang demikian, bab ini akan mengupas dengan lebih mendalam definisi sebenar tanah bencah semulajadi, tanah bencah buatan dan ciri fizikal bagi kedua-dua jenis tanah bencah tersebut. Selain daripada itu, aspek kualiti air yang merupakan aspek penting dalam pembinaan tanah bencah serta kajian yang telah dijalankan sebelum ini berkaitan dengan kualiti air turut dibincangkan di dalam bab ini. Terdapat pelbagai kebaikan yang diperolehi daripada tanah bencah iaitu ia bertindak sebagai kawalan banjir dimana ia berfungsi untuk menakung air larian bagi mengelakkan berlakunya banjir di kawasan yang berhampiran. Ia juga menjadi salah satu cara untuk mengawal kualiti air yang memasukinya sebelum dilepaskan ke sungai melalui kehadiran tumbuhan yang terdapat di dalam tanah bencah tersebut.

Keberkesanan tanah bencah buatan dipengaruhi oleh pelbagai faktor seperti struktur tanah bencah tersebut, keadaan hidrologi, iklim, tanah, tumbuhan mikrofit dan peratus kawasan tadahan yang tidak telap (Shutes, 2001; Carleton et al., 2001). Manakala Zhang et al. (2009) menyatakan bahawa keberkesanan tanah bencah buatan di pengaruhi oleh rekabentuk sesebuah tanah bencah, peranan tumbuhan mikrofit dan kesan iklim.

2.1 Tanah Bencah Semulajadi

Tanah bencah semulajadi boleh didefinisikan kepada kawasan semulajadi yang berair dan samaada air di dalamnya pegun atau mengalir pada kedalaman tidak melebihi 6 meter (Ho, 2000). Selain itu, tanah bencah juga boleh ditakrifkan sebagai tanah yang mengandungi air dan ia menjadi faktor utama dalam menentukan keneutralan tanah, jenis tanaman yang sesuai dan komuniti haiwan yang hidup di dalam dan di permukaan tanah bencah (Cowardin et al., 1979). Tanah bencah boleh juga didefinisikan sebagai kawasan peralihan antara kawasan daratan dan kawasan berair (Kivaisi, 2001). Dari segi kejuruteraan, tanah bencah ditakrifkan sebagai tanah peralihan antara tumbuhan dan sistem akuatik di mana terdapat air bumi berhampiran dengan permukaan tanah atau tanah tersebut dilapisi oleh air yang tepu (Richardson, 1995). Selain itu terdapat pendapat yang mentakrifkan tanah bencah sebagai kawasan tanah yang mempunyai aras air yang berdekatan dengan permukaan tanah atau tanah yang sentiasa berada dalam keadaan tepu untuk satu tempoh masa yang lama dan ini boleh dibuktikan melalui aktiviti biologi yang bersesuaian dengan persekitaran (Zoltai, 1998). Secara amnya tanah bencah boleh ditakrifkan sebagai kawasan tanah yang berair dan berfungsi untuk meningkatkan kualiti air.

Tanah bencah terdiri daripada pelbagai jenis dan dikategorikan mengikut nama yang diberikan oleh pihak-pihak tertentu. Jenis ini dinamakan mengikut ciri lanskap dan sumber air. Jenis-jenis tanah bencah yang biasa didapati mengikut pengelasan oleh pihak Jabatan Pelindungan Alam Sekitar Amerika Syarikat ialah *Bogs*, *Fens*, *Marshes*, dan *Swamps*. Ini dinyatakan di dalam Jadual 2.1 (EPA, 2005).

Jadual 2.1: Jenis Tanah Bencah Mengikut Pengkelasan EPA (sumber: EPA, 2005).

Jenis Tanah Bencah	Ciri	pH Air	Fungsi	Kelebihan
Paya (<i>Bogs</i>)	Dipengaruhi oleh pemendapan akibat daripada penimbunan tanah gambut sedalam lebih daripada 40cm. Menerima sumber air yang banyak daripada air hujan.	Berasid lemah iaitu dengan pH 3-5.	Menghalang banjir melalui penyerapan air hujan.	Terdapat spesis fauna dan flora yang unik di dalamnya.
Paya (<i>Fens</i>)	Tanah gambut yang menerima nutrien dari kawasan saliran dan air bawah tanah tumbuhan yang tumbuh secara selari dan bersudut tegak dengan arah pergerakan air di dalam tanah bencah tersebut menyebabkan ia dikategori sebagai tanah bencah jenis ini.	Kandungan air yang terdapat di dalam tanah bencah ini adalah pH 5 hingga pH 8.	Kawasan tahanan air ribut; mengurangkan risiko banjir, meningkatkan kualiti air dan menyediakan satu habitat untuk komuniti haiwan dan juga tumbuhan.	Kurang berasid, mempunyai kandungan nutrien yang tinggi dan dapat menampung flora dan fauna yang banyak.

Jenis Tanah Bencah	Ciri	pH Air	Fungsi	Kelebihan
Paya (<i>Marshes</i>)	Dikategori berdasarkan tumbuhan lembut yang boleh hidup di dalam keadaan tanah yang berair. Kedalaman yang agak cetek iaitu antara 15cm hingga 90cm.	Nilai pH agak neutral.	Memperlahankan aliran air yang masuk dan meningkatkan kualiti air permukaan melalui pemendapan sedimen.	Digunakan untuk merawat air sisa daripada ladang dan air larian ribut.
Paya (<i>Swamps</i>)	Terbentuk daripada tanah yang berair dan berupaya menakung air untuk satu jangka masa tertentu dalam setahun.	Kandungan airnya terdiri daripada pH neutral iaitu pH 7.2.	Tempat yang sesuai bagi pertumbuhan tumbuhan.	Keadaan tanah yang beroganik di dalam tanah bencah jenis ini membentuk kawasan yang mempunyai kandungan nutrien yang tinggi.

2.2 Tanah Bencah Buatan

Tanah bencah buatan didefinisikan sebagai tanah bencah buatan yang direka menyerupai ciri tanah bencah semulajadi dan digunakan untuk meningkatkan kualiti air larian ribut (Kivaisi, 2001; Mohd Sidek et al., 2001). Tujuan utama pembinaan tanah bencah buatan ialah untuk meningkatkan kualiti air sebelum ia dilepaskan ke sungai yang berhampiran. Air larian ribut yang mengandungi sedimen dan bahan tercemar akan mendap dan diserap oleh tumbuhan mikrofit yang terdapat di dalam tanah bencah buatan dan seterusnya kualiti air akan dapat ditingkatkan apabila tanah bencah tersebut berupaya menakung air untuk satu tempoh masa yang agak lama.

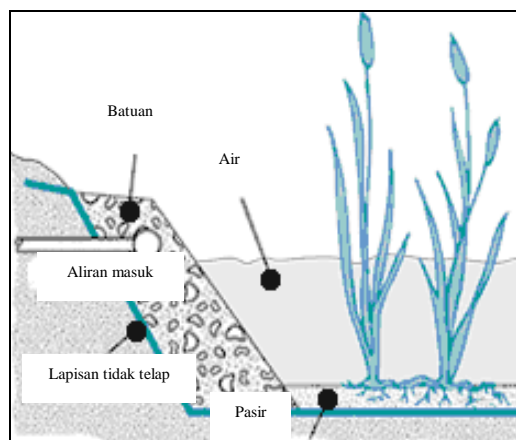
Secara amnya tanah bencah buatan boleh dibahagikan kepada dua jenis iaitu Sistem Air Permukaan Bebas (*FWS*) dan Sistem Aliran Sub Permukaan (*SSF*).

2.2.1 Sistem Air Permukaan Bebas (FWS)

Tanah bencah buatan jenis Sistem Air Permukaan Bebas lebih menyerupai kepada tanah bencah secara semulajadi di mana air di permukaannya terdedah kepada atmosfera. Rajah 2.1 menunjukkan tanah bencah jenis sistem air permukaan bebas. Di bahagian dasar tanah bencah jenis ini, terdapat satu lapisan tanah liat yang berfungsi bagi mengelakkan penyerapan dan sebagai tempat sokongan kepada tumbuhan yang terdapat di dalamnya. Tanah bencah jenis ini mempunyai keluasan dari 1 hingga 1000ha. Keberkesanan tanah bencah jenis ini bergantung kepada saiz tanah bencah, jumlah aliran masuk dan aliran keluar tanah bencah (Schueler, 1996). Di samping itu, tanah bencah jenis ini turut mempunyai struktur kawalan air untuk mengekalkan paras air pada kedalaman yang cetek. Tanah bencah jenis cetek, tanah

bencah sederhana dan tanah bencah jenis kantung merupakan contoh tanah bencah sistem air permukaan bebas (David et al., 2001).

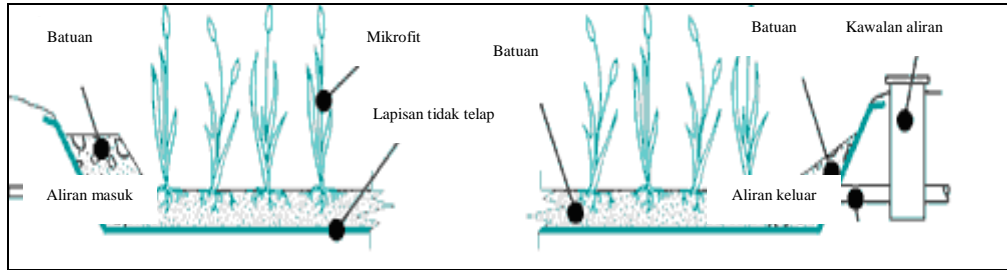
Kelebihan menggunakan sistem ini ialah kosnya yang rendah iaitu dari segi pembinaan, penyelenggaraan dan operasi. Manakala kekurangan bagi sistem ini ialah ia memerlukan satu kawasan yang luas (David et al., 2001).



Rajah 2.1: Tanah Bencah Buatan Jenis Sistem Air Permukaan Bebas (*FWS*) (sumber: David et al., 2001).

2.2.2 Sistem Aliran Sub Permukaan (SSF)

Sementara itu untuk Sistem sub permukaan ia dikenali juga dengan tanah bencah Tumbuhan Separa Tenggelam (*VSB*). Rajah 2.2 di bawah menunjukkan tanah bencah jenis sistem aliran sub permukaan. Rekabentuk bagi tanah bencah jenis ini ialah paras air dikekalkan pada lapisan atas media dan di bahagian dasar tanah bencah jenis ini ia dipenuhi oleh agregat seperti batu dan batu hancur. Bagi sistem ini, satu lapisan tidak telap air diletakkan bagi menghalang penyerapan (David et al., 2001).

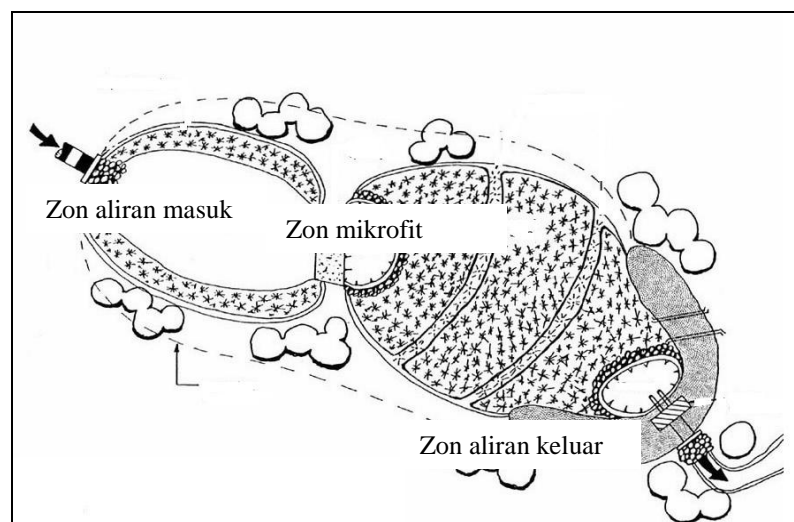


Rajah 2.2: Tanah Bencah Buatan Jenis Sistem Aliran Sub Permukaan (SSF).
(sumber: David et al., 2001).

Kelebihan tanah bencah dari jenis ini ialah ia boleh beroperasi di kawasan tanah yang terhad. Kelemahannya pula dari segi kos pembinaan di mana bagi satu unit SSF berharga lebih mahal berbanding dengan satu unit FWS dan ia juga turut menghadapi masalah aliran air yang tersumbat (EPA, 2005).

2.3 Struktur Tanah Bencah Buatan

Berdasarkan Manual Saliran Mesra Alam terdapat tiga jenis zon di dalam tanah bencah buatan (JPS, 2001). Zon-zon tersebut adalah zon aliran masuk (*Inlet zone*), zon mikrofit (*Macrophytes zone*) dan zon air terbuka (*Open water zone*). Zon-zon tersebut ditunjukkan di dalam Rajah 2.3.



Rajah 2.3: Zon-zon Di Dalam Tanah Bencah Buatan (sumber: Metropolitan Council, 2000).

2.3.1 Zon Aliran Masuk (*Inlet zone*)

Zon aliran masuk berfungsi untuk membenarkan air mengalir secara perlahan ke dalam tanah bencah. Objektif utama zon masuk ini ialah mengurangkan halaju dan menahan bendasing dan partikel bersaiz besar. Halaju air bagi kawasan aliran masuk yang dicadangkan ialah kurang daripada 10 cm/s (Giuseppe et al., 2000). Untuk menjadikan zon ini lebih efisien dalam proses penyingkiran partikel kasar, GPT atau perangkap enapan di letakkan di zon ini. Rajah 2.4 menunjukkan zon aliran masuk sesebuah tanah bencah.



Rajah 2.4: Zon Aliran Masuk (sumber: Ian dan Peter, 1998).

2.3.2 Zon Mikrofit (*Macrophytes Zone*)

Terdapat tumbuhan di dalam zon mikrofit yang dipanggil sebagai mikrofit yang membantu menyingkirkan bahan pencemar yang dibawa bersama air ribut dan ia ditunjukkan dalam Rajah 2.5. Salah satu tumbuhan yang terdapat di dalam kumpulan tumbuhan mikrofit adalah *Phragmites*. Zon ini meliputi 10- 30% daripada jumlah keseluruhan kawasan kolam berdasarkan kepada garis panduan rekabentuk yang terdapat di dalam Manual Saliran Mesra Alam yang dikeluarkan oleh Jabatan

Pengairan dan Saliran (JPS, 2001). Kedalaman zon ini adalah antara 0.1m hingga 1.0m kerana tumbuhan mikrofit tidak boleh hidup di dalam paras air yang dalam. Keadaan paras air terlalu dalam atau paras air terlalu cetek, boleh menyumbang kepada kepupusan tumbuhan mikrofit sekaligus mengurangkan keupayaan penyerapan pencemaran. Kesan jangka panjang boleh menyebabkan kemusnahan kepada sesebuah tanah bencah (JPS, 2001).

Selain daripada itu, zon mikrofit juga berfungsi untuk menyediakan sokongan kepada sejenis bakteria yang dikenali sebagai mikrobial untuk menyingkirkan partikel kecil seperti sedimen. Bagi memastikan tumbuhan mikrofit membiak, keadaan air mesti tidak seragam kerana keadaan air yang sedemikian sesuai untuk menggalakkan lagi pertumbuhan mikrofit (JPS, 2001).

Zon mikrofit boleh dibahagikan kepada tiga kawasan yang berbeza iaitu kawasan paya cetek di mana kedalamannya kurang 0.3m, kawasan paya yang kedalamannya antara 0.3m hingga 0.6m dan kawasan paya dalam yang mana kedalamannya ialah 0.6m hingga 1.0m. Setiap kawasan yang terdapat di dalam zon ini akan ditanam tumbuhan mikrofit yang berbeza mengikut jenis kawasan tersebut (Zakaria et al., 2003).



Rajah 2.5: Zon Mikrofit (sumber: Khor, 2002).

Terdapat garis panduan secara umum dan khusus yang telah ditetapkan dalam manual Saliran Mesra Alam yang dikeluarkan oleh Jabatan Pengairan dan Saliran (JPS, 2001). Pemilihan tumbuhan yang sesuai penting kerana tumbuhan mikrofit yang berperanan untuk menyingkirkan bahan pencemar yang terdapat dalam air larian yang memasuki tanah bencah tersebut. Kriteria umum yang ditetapkan untuk pemilihan tumbuhan mikrofit ialah tumbuhan yang dipilih boleh membesar di dalam kawasan tanah bencah, ketinggian maksimum tumbuhan adalah tetap, boleh menyesuaikan diri dengan keadaan tanah bencah dan tumbuhan yang ditanam tidak bertujuan sebagai habitat pembiakan spesis nyamuk (JPS, 2001).

Manakala kriteria khusus pemilihan tumbuhan mikrofit ialah kebolehan tumbuhan yang dipilih untuk menyesuaikan diri dengan keadaan iklim dan cuaca tempatan, boleh bertoleransi dengan pencemaran dalam air larian ribut, boleh bertahan lama dan boleh membiak dengan lebih cepat. Tumbuhan yang dipilih berdasarkan kawasan yang telah ditetapkan iaitu setiap kawasan mempunyai

tumbuhan yang berbeza mengikut kedalaman air di dalam kawasan tersebut (JPS, 2001).

Penanaman tumbuhan mikrofit di dalam zon ini bergantung kepada saiz dan kematangan tumbuhan tersebut. Bagi tumbuhan mikrofit yang agak matang (1 hingga 2 tahun), penanaman dilakukan dengan jarak satu tumbuhan/meter² manakala bagi tumbuhan yang kecil boleh ditanam 3 tumbuhan/ meter² dan ditanam pada arah yang berserenjang dengan arah aliran. Tumbuhan mikrofit akan bertindak memperlahankan aliran seterusnya berupaya menakung aliran tersebut untuk tempoh masa yang lama dan membantu meningkatkan penyingkiran sedimen (Giuseppe et al., 2000).

2.3.2.1 Kawasan Paya Cetek (Kedalaman Air Kurang Daripada 0.3m)

Kawasan paya cetek merupakan kawasan mikrofit yang mempunyai kedalaman air antara kurang 0.3m dan mempunyai kecerunan yang agak landai iaitu 1:10. Kawasan ini merupakan kawasan pertama di dalam zon mikrofit dan lazimnya aliran di dalam kawasan ini bergantung kepada aliran ribut. Ciri-ciri pemilihan tumbuhan untuk kawasan ini ialah berupaya memperlahankan aliran yang masuk ke dalam kawasan ini dan berupaya mengurangkan pencemaran melalui penyerapan bahan pencemar yang terdapat di dalam air larian ribut (JPS, 2001). Jadual 2.2 menunjukkan jenis tumbuhan yang sesuai untuk ditanam di kawasan paya cetek.

Jadual 2.2: Tumbuhan Bagi Kawasan Paya Cetek (sumber: JPS, 2001).

Nama Botani	Nama Biasa
<i>Eleocharis variegata</i>	Ubi purun
<i>Eriocaulon longifolium</i>	Rumput butang
<i>Fimbristylis globulosa</i>	Rumput sandang
Nama botani	Nama biasa
<i>Fuirena umbellata</i>	Rumput kelulut
<i>Hanguana malayana</i>	Bakong
<i>Limnocharis flava</i>	Keladi itik
<i>Monocharia hastate</i>	Keladi agas
<i>Rynchospora corymbosa</i>	Rumput sendayan
<i>Scleria sumatrensis</i>	Rumput kumba

2.3.2.2 Kawasan Paya Sederhana Dalam (Kedalaman Air Antara 0.3m - 0.6m)

Kawasan kedua di dalam zon mirofit ialah kawasan paya dengan kedalamannya antara 0.3m hingga 0.6m dan kecerunan kawasan ini ialah 1:10. Kawasan ini penting untuk habitat akuatik untuk membentuk kepelbagaian rantai makanan kerana kawasan ini menyediakan habitat kepada haiwan yang terlibat di dalam rantai makanan seperti nyamuk. Ciri-ciri pemilihan tumbuhan bagi kawasan ini ialah tumbuhan terdiri dari jenis separa tenggelam, berupaya untuk bertahan bagi kedalaman air sedalam 0.3m hingga 0.6m dan berupaya untuk mengurangkan pencemaran. Di antara jenis-jenis tumbuhan yang sesuai ditanam di kawasan paya ialah seperti dalam Jadual 2.3 (JPS, 2001).

Jadual 2.3: Tumbuhan Bagi Kawasan Paya Sederhana Dalam (sumber: JPS, 2001).

Nama Botani	Nama Biasa
<i>Eleocharis dulcis</i>	Ubi puron
<i>Fuirena umbellate</i>	Rumput kelulut
<i>Lepironia articulate</i>	Purun
<i>Philydrum lanuginosom</i>	Rumput kipas
<i>Scirpus grossus</i>	Rumput menderong
<i>Scirpus mucronatus</i>	Rumput kercut
<i>Scleria sumatrensis</i>	Rumput sendayan
<i>Typhia augustifolia</i>	Banat

2.3.2.3 Kawasan Paya Dalam (Kedalaman Air Antara 0.6m - 1.0m)

Kawasan ini merupakan kawasan yang paling dalam di dalam zon mikrofit dengan kedalaman antara 0.6m hingga 1.0m dan kecerunannya ialah 1:6. Kawasan ini berfungsi untuk mengurangkan proses pembentukan semula sedimen (*resedimentation*) dan meningkatkan pengoksidaan melalui penyediaan habitat hidupan akuatik yang lebih baik. Pemilihan tumbuhan yang sesuai penting kerana tumbuhan dalam kawasan ini membantu mengukuhkan dasar kolam dan mengurangkan sedimen. Jadual 2.4 menunjukkan pemilihan tumbuhan yang sesuai untuk kawasan paya dalam (JPS, 2001).

Jadual 2.4: Tumbuhan Bagi Kawasan Paya Dalam (sumber: JPS, 2001).

Nama Botani	Nama Biasa
<i>Lepironia articulata</i>	Puron
<i>Phragmites karka</i>	Rumput gedabong
<i>Scirpus grassus</i>	Rumput menderong
<i>Scirpus mucronatus</i>	Rumput kercut
<i>Typha augustifolia</i>	Banat

2.3.3 Zon Air Terbuka (*Open Water Zone*)

Zon air terbuka adalah zon selepas zon mikrofit dan ia merupakan zon terakhir di dalam tanah bencah buatan seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 2.6. Keluasan zon ini lazimnya 25% daripada jumlah keseluruhan tanah bencah. Ia merupakan kawasan air yang dalam dan kedalaman minimum untuk zon ini ialah 2.4m (JPS, 2001). Fungsi utama zon ini ialah menakung air untuk tempoh masa yang tertentu bagi membolehkan partikel halus mendap di kawasan dasar tanah bencah dan membenarkan sinar Ultra Ungu (UV) membunuh mikroorganisma yang terdapat di dalam air. Selain itu, ia turut berfungsi sebagai habitat untuk ikan, burung, katak, kura-kura dan haiwan invertebrata yang lain. Di samping itu, zon ini berpotensi untuk dijadikan tempat melakukan aktiviti rekreasi seperti memancing dan aktiviti berperahu (JPS, 2001).



Rajah 2.6: Zon Air Terbuka (sumber: Ian dan Peter, 1998).

2.4 Rekabentuk Tanah Bencah Buatan

Selain daripada tumbuhan mikrofit yang ditanam, rekabentuk tanah bencah buatan penting untuk memastikan tanah bencah tersebut dapat berfungsi dengan baik dan membantu meningkatkan kualiti air. Mengikut garis panduan yang ditetapkan oleh Manual Saliran Mesra Alam bagi kualiti air, peristiwa ribut rekabentuk tanah bencah ialah 3 bulan ARI (*Average Recurrence Interval*) kerana pada tempoh ini sebanyak 90% daripada jumlah bahan pencemar dibawa dalam air larian ribut (JPS, 2001). Ciri-ciri rekabentuk tanah bencah yang dicadangkan di dalam Manual Saliran Mesra Alam bagi meningkatkan kualiti air seperti di dalam Jadual 2.5.

Jadual 2.5: Rekabentuk Tanah Bencah Buatan Mengikut Manual Saliran Mesra Alam (sumber: JPS, 2001).

Parameter Rekabentuk	Garis panduan
Nisbah panjang dengan lebar	3:1 hingga 5:1
Halaju air	0.05 m/s hingga 0.1m/s
Kedalaman air (purata)	0.5 m
Masa tahanan	3-5 hari

Bagi tanah bencah buatan di USM Kampus Kejuruteraan, rekabentuknya ditunjukkan di dalam Jadual 2.6. Tanah bencah buatan tersebut direkabentuk secara talian tertutup (*off-line*) di mana aliran yang mengalir ke dalam tanah bencah ini di kawal dengan menggunakan struktur hidraulik iaitu orifis yang diletakkan di bahagian masuk tanah bencah untuk memberikan aliran yang lebih seragam. Lazimnya rekabentuk secara talian tertutup digunakan bagi kawasan tadahan yang luas. Kadar alir rekabentuk ialah $0.25 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan peristiwa ribut rekabentuk ialah 3 bulan ARI (Zakaria et al., 2003). Manakala halaju maksimum yang dibenarkan masuk ke dalam tanah bencah ialah 0.3 m/s hingga 0.5 m/s dan purata halaju di dalam kawasan tanah bencah ialah antara 0.1 m/s hingga 0.7 m/s bagi mengelakkan tumbuhan mikrofit yang terdapat di dalamnya pupus akibat halaju yang tinggi (Zakaria et al., 2003). Sementara itu, sungai randuk (*wading river*) diletakkan di antara tanah bencah dan kolam rekreasi bagi menghubungkan kedua-dua kawasan itu. Kolam rekreasi yang terletak di bahagian terakhir sistem ini pula, direkabentuk untuk menyediakan air yang bersih bagi tujuan rekreasi di kampus ini (Zakaria et al., 2003).

Jadual 2.6: Rekabentuk Tanah Bencah Buatan Bagi USM Kampus Kejuruteraan (Zakaria et al., 2003).

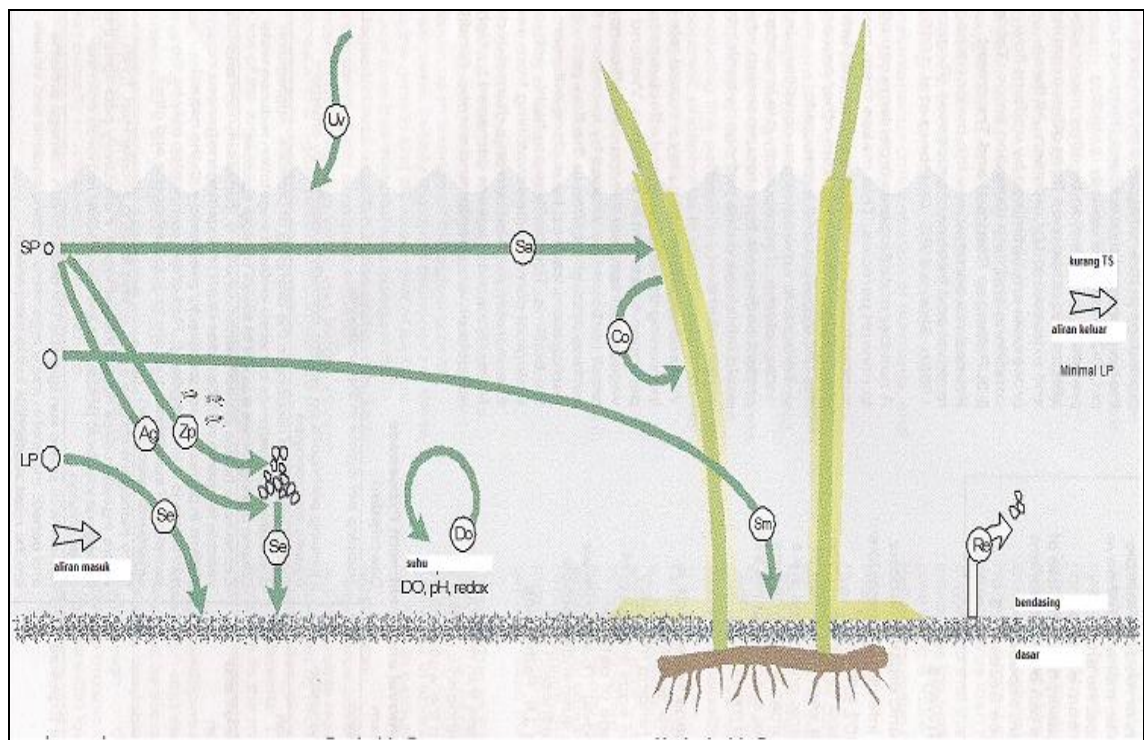
Parameter	Unit	Rekabentuk
Luas kawasan tadahan	km ²	1.214
Peristiwa rekabentuk ribut (design storm)	-	3 bulan ARI
Panjang (3:1)	m	155
Lebar	m	60
Luas tanah bencah	m ²	9 100
Isipadu	Mℓ	55.5
Rekabentuk kadar aliran masuk	Mℓ /hari	21.6 (0.25 cm ³)
Masa tahanan	hari	3
Cerun untuk dasar tanah bencah (purata)	-	1%

2.5 Proses Olahan Di Dalam Tanah Bencah

Kualiti air larian ribut yang memasuki tanah bencah akan dapat meningkatkan melalui beberapa mekanisme. Di antara mekanisme yang terlibat ialah proses pemendapan partikel yang terampai, proses penyerapan dan pertukaran ion antara tumbuhan mikrofit, tanah dan sedimen serta pengambilan nutrien oleh mikroorganisma dan tumbuhan. Mekanisma-mekanisma yang terlibat boleh dikategorikan kepada penyingkiran secara fizikal, penyingkiran secara kimia dan penyingkiran secara biologikal. Pemahaman yang mendalam mengenai kaedah penyingkiran tersebut akan membantu di dalam proses rekabentuk tanah bencah buatan bagi menghasilkan tanah bencah buatan yang mempunyai kadar penyingkiran bahan pencemar yang tinggi.

2.5.1 Penyingkiran Secara Fizikal

Penyingkiran secara fizikal berkaitan dengan pemendapan sedimen yang terdapat di dalam air larian ribut ke dasar tanah bencha buatan. Proses ini terjadi apabila bahan pencemar yang terdapat di dalam air larian ribut disingkirkan secara efektif apabila mengalir melalui tanah bencha buatan. Air larian ribut yang mengalir melaluinya dengan perlahan disebabkan oleh keadaan kecerunan tanah bencha yang rendah dan terdapat rintangan daripada tumbuhan mikrofit menyebabkan bahan pencemar yang terdapat di dalamnya akan mengalami proses pengendapan. Keberkesanan penyingkiran pepejal terampai bergantung kepada halaju partikel dan panjang tanah bencha tersebut. Halaju partikel yang perlahan akan menyebabkan partikel yang berat akan mendap ke dasar tanah bencha buatan (Donald, 2001; William dan James, 2000).



Rajah 2.7: Proses Penyingkiran Secara Fizikal (sumber: EPA, 1999).

2.5.2 Penyingkiran Secara Biologikal

Proses penyingkiran secara biologikal adalah penting dalam penyingkiran bendasing di dalam tanah bencah. Tumbuhan mikrofit yang terdapat di dalam tanah bencah bersedia untuk menyerap bendasing yang penting seperti nitrat, ammonia, dan fosfat. Walaubagaimanapun, terdapat juga sesetengah tumbuhan tanah bencah yang berupaya menyerap bahan logam seperti kadmium dan plumbum. Kadar penyerapan bendasing adalah bergantung kepada pertumbuhan tumbuhan dan kepekatan bahan pencemaran di dalam tisu tumbuhan tersebut. Kadar pertumbuhan mikrofit yang tinggi akan memberikan kadar penyerapan yang tinggi. Tumbuhan mikrofit menjadi tempat pembiakan alga yang membantu menyingkirkan bendasing seperti nitrat dan fosfat. Selain daripada itu, akar tumbuhan mikrofit turut memainkan peranan dalam proses penyingkiran bendasing dengan kehadiran bakteria pada bahagian akar yang membantu mengangkut oksigen daripada daun tumbuhan tersebut ke bahagian akar (Donald, 2001).

Kajian dilakukan untuk melihat keberkesanan antara tumbuhan *Typha* dan *Scirpus* dalam menyingkirkan ammonia dan mendapati tumbuhan *Scirpus* menyingkirkan lebih banyak ammonia berbanding dengan kawasan yang tiada tumbuhan dan kawasan yang ditanam dengan tumbuhan *Typha*. Melalui pengiraan mengikut keseimbangan jisim nitrogen (*Nitrogen Mass Balance*) membuktikan kadar nitrifikasi yang tinggi bagi *Scirpus* telah berlaku hasil daripada kapasiti pengangkutan oksigen (Donald, 2001; William dan James, 2000).