

**Budi Wignyosukarto**

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik UGM  
Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281

**ABSTRACT**

*The Duri Field covers an area of approximately 9500 hectares that will be developed with steam injection (steamflooding) into 13 areas. During rainy season, several part of the Duri Field are inundated by rain water that disturbing the operation of the exploration. The problem of inundation in The Duri Field Area that endanger the CPI facilities could be caused by limited canal capacity and bad performance of hydraulic structures, change of Rainfall – Runoff relation due to the change of infiltration capacity of the watershed area, land subsidence due to excess load and ground water extraction. Unfortunately, part of the Duri Field is laid down on the peat soil dome that is subject to land subsidence under an intensive drainage.*

*The important issues in developing a peat lands are land subsidence due to shrinkage and changes to peat properties. Oxidative changes are irreversible. The effort of draining the excess run-off water by increasing the existing canal capacity shall in no way cause for over-draining and lowering the ground water level during dry season. The drainage system shall be designed to maintain this ground water level to avoid any soil subsidence and drying the peat. An hydraulic simulation to analyze the probable ground water extraction is performed.*

*The result of conventional hydraulic simulations require a widening and deepening part of the primary canal. This channel improvement will increase the drainability, but in the other side could promote the lowering of water table, peat oxidation and land subsidence. Instead of channel improvement, increasing the elevation of Duri Field facilities above flood level and developing collector drainage channel along the border of Duri Field are suggested.*

*Keywords: drainage, peat soil, subsidence.*

## **1. Pendahuluan**

Lapangan Minyak Duri yang berjarak 120 kilometer dari kota Pekanbaru, meliputi areal seluas 9500 ha, dikembangkan menjadi 13 area pengembangan. Pada saat ini area 10 dan area 11 sedang dalam tahap pengembangan infrastruktur jalan dan pembangunan lokasi sumur pompa. Dalam rangka pengembangan Lapangan Minyak Duri (*Duri Steamflood Project*), PT. Caltex Pasific Indonesia juga merencanakan pengembangan sistem tata saluran drainasi yang ada dan sistem pengendalian banjirnya.

Tata saluran drainasi yang ada terdiri atas saluran utama (primer), saluran sekunder, saluran sub-sekunder dan saluran tersier. Saluran primer, panjang 36,5 kilometer, berawal di batas selatan,

melewati area 4, menuju arah barat laut hingga batas barat di area 12, yang kemudian bermuara di Sungai Rokan di Desa Sebangar, Tanah Putih, Kabupaten Rokan Hilir. Saluran sekunder dan subsekunder yang berada di areal yang sudah dikembangkan (area 1 hingga area 9) mempunyai panjang keseluruhan kira-kira 42 kilometer, sedangkan di area yang akan dikembangkan (area 10 hingga area 13), sudah terdapat saluran sekunder dan sub-sekunder dengan panjang keseluruhan 24 kilometer. Saluran tersier berada di sisi kiri/kanan jalan operasional.

Saluran drainasi yang ada selain menerima beban drainasi dari lingkungan lapangan minyak Duri juga menerima limpasan dari *Duri Camp* (kompleks perumahan dan perkantoran PT Caltex

Pacific Indonesia), hutan dan perkampungan di sekitarnya dengan luasan kira-kira 23.500 ha.

Pada sebagian ini, apabila terjadi hujan lebat, tergenang air, sehingga mengganggu proses eksplorasi sumur minyak, baik terjadinya genangan di jalan operasional maupun di lokasi sumur. Untuk keperluan perlindungan terhadap infrastruktur dan sumur minyak, maka dikehendaki adanya studi pengembangan sistem drainasi yang mampu melindungi proses eksplorasi.

Lapangan Minyak Duri ini mempunyai ekosistem yang khas, karena areal ini, pada keadaan awalnya, merupakan daerah rawa yang ditandai dengan adanya kubah-kubah gambut yang mempunyai kedalaman bervariasi dari kedalaman 1m hingga 8 m. Di bagian hilir areal ini, terdapat areal perkebunan kelapa sawit yang memanfaatkan saluran primer tersebut sebagai saluran drainasi utamanya. Pada saat musim hujan, limpasan banjir dari lapangan minyak duri, sebagian melimpas dan menggenangi areal perkebunan tersebut.

Keberadaan lapisan tanah organik di areal tersebut dan areal perkebunan di bagian hilir, merupakan parameter yang perlu diperhatikan dalam perencanaan pengembangan sistem drainasi.

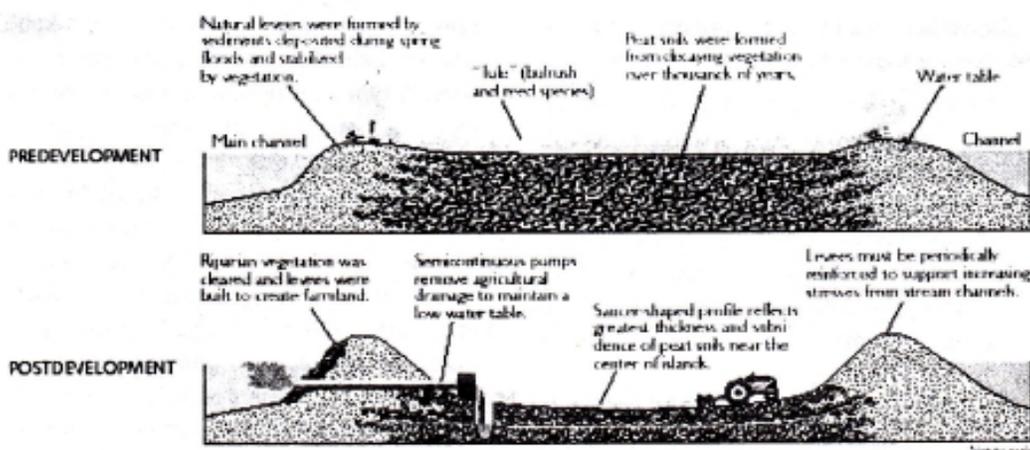
Pada perencanaan sistem drainasi, cara yang termudah untuk membuang air yang berlebih adalah dengan memperbesar kapasitas saluran, baik dengan cara memperlebar atau memperdalam saluran. Namun perencanaan sistem drainasi pada daerah rawa yang merupakan kawasan yang khas, yang mempunyai ciri-ciri antara lain elevasi lahan yang rendah, dipengaruhi gerakan pasang-surut, air tanah yang dangkal, memerlukan pola pendekatan perencanaan yang berbeda. Kemampuan mengalirkan air secara gravitasi sangat dipengaruhi oleh perbedaan elevasi lahan dan elevasi muka air di outfall. Elevasi muka air pasang yang tinggi dapat menghambat kecepatan aliran. Air hujan yang jatuh ke lahan yang mempunyai muka air tanah yang cukup tinggi akan membuat lapisan tanah cepat kenyang air (saturated), sehingga memperkecil kemampuan meresapkan air hujan ke tanah dan akan memperbesar *runoff*. Pembentukan

tumpukan gambut (lapisan bahan organik) pada lahan rawa yang selalu tergenang biasanya sangat intensif sekali, upaya pembuangan air dengan cara pembuatan saluran-saluran drainasi pada lahan dengan tumpukan bahan organik dapat mengakibatkan terjadinya *shrinkage* dan oksidasi bahan organik tersebut (Schothorst, 1977), yang akhirnya akan mengakibatkan terjadinya *subsidence* yang berlebihan. Apabila terjadi penurunan elevasi muka air di lapisan gambut jenuh air, bahan organik akan termampatkan bersamaan dengan kenaikan rapat massa serta keluarnya air dari bahan organik. (Fetter, 1994). Proses penurunan/pemampatan tanah berhubungan erat dengan pemampatan gambut' jenuh air, pengurangan volume tanah sesuai dengan volume air yang keluar dari pori-pori tanah (McClay et al., 1992). Pada pengeringan gambut lebih lanjut, udara mulai masuk dalam pori, terjadi hisapan kapiler dan pengeringan lapisan gambut di atas muka air secara perlahan-lahan yang berakibat terjadinya penyusutan dan penurunan permukaan gambut (Hobbs, 1986).

Schothorst (1977) memperkirakan bahwa 65% penurunan tanah di Polder di Belanda disebabkan oleh penyusutan bahan organik di atas muka air, sedangkan 35% diakibatkan oleh terjadinya pemampatan dibawah muka air.

Price and Schlotzhauer (1999) menyatakan bahwa penyusutan gambut dalam satu musim di atas muka air berkisar antara 3,6 cm, sedangkan pemampatan gambut di bawah muka air berkisar antara 6 cm.

Reklamasi guna keperluan pertanian di Delta Sacramento-San Joaquin Amerika Serikat (lihat Gambar 1) telah mengakibatkan penurunan muka tanah sebesar 1- 3 inchi per tahun (Rojstaczer and others, 1991; Rojstaczer and Deverel, 1993). Pulau yang tadinya permukaan tanahnya dekat dengan elevasi muka air laut, saat ini telah berada 5 m di bawah muka air laut. Penurunan muka tanah yang intensif terjadi pada areal dengan lapisan bahan organik yang tebal. Saat ini untuk membuang air dari lahan ke sungai diperlukan pompa.

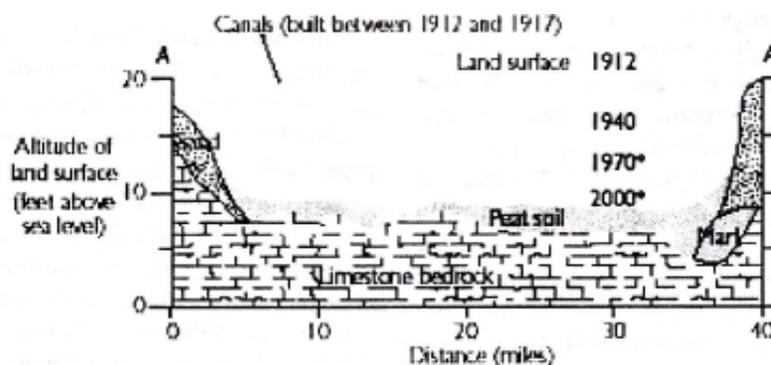


Gambar 1. Proses Penurunan Tanah di Delta Sacramento-San Joaquin

Ekosistem Everglades yang berada di teluk Florida Amerika Serikat, sejak tahun 1900 telah mengalami proses pengatusan (drainasi) untuk keperluan pertanian dan pemukiman, akibatnya hanya tinggal 50% daerah rawa yang tersisa pada saat ini. Kecepatan penurunan tanah (*land subsidence*) di Everglades lebih kecil dibanding kecepatan penurunan tanah di Sacramento – San Joaquin. Kecepatan penurunan tanah di Sacramento - San Joaquin mencapai lebih dari 3 inci per tahun, dengan ketebalan gambut awal lebih dari 60 feet., sedangkan ketebalan gambut di Everglades hanya berkisar 12 feet. (Lucas, 1982 dalam Ingebritsen et al, 2002).

Dari beberapa referensi tersebut di atas, dapat disimpulkan bahwa sistem drainasi di daerah rawa yang mempunyai lapisan gambut, harus selalu

mempertimbangkan kemungkinan terjadinya penyusutan (*shrinkage*) dan pemampatan lapisan gambut yang akan berakibat pada penurunan elevasi muka tanah. Penyusutan lapisan gambut akan memperkecil kemampuan perkolasi dan penyimpanan air hujan yang berakibat peningkatan besaran *runoff*, yang pada akhirnya akan semakin menuntut peningkatan kapasitas saluran. Peningkatan kapasitas saluran akan mengakibatkan terjadinya peningkatan pembuangan air di musim kemarau, peningkatan pengeringan lapisan gambut, pemampatan lapisan gambut sehingga akan terjadi penurunan muka tanah (*subsidence*) yang sangat intensif. Kedua hal tersebut akan semakin memperbesar kemungkinan tergenangnya lapangan minyak Duri.



Gambar 2. Penurunan elevasi muka tanah di daerah pertanian Florida Everglades. (Sumber : Drainage of Organic Soils - Florida Everglades)

Untuk mengatasi terjadinya pengaturan air yang berlebihan (*over drainage*) di daerah yang mempunyai lapisan gambut tebal, disarankan untuk tidak membuat saluran drainasi terlalu dalam dan melengkapi saluran drainasi dengan bangunan pintu air atau stoplog, untuk mempertahankan elevasi muka air tanah.

## 2. Metodologi Penelitian

Tujuan utama pembuatan atau perbaikan sistem drainasi adalah pembuangan air yang berlebih agar daerah yang dilindungi sistem drainasi tersebut terbebas dari genangan. Sistem drainasi selain harus mampu membuang air hujan yang berlebih, mampu mencegah terjadinya genangan di wilayah yang dilindungi, juga harus mampu mencegah terjadinya *land subsidence* dan mampu menjamin konservasi tanah gambut.

Kemampuan membuang air dan menghindari adanya genangan sangat tergantung pada keadaan hidrotopografi nya, yang menyatakan perbandingan elevasi muka tanah dan elevasi muka air tempat pembuangan (*outlet*). Terjadinya *land subsidence* akan mempengaruhi kemampuan membuang air (*drainability*) daerah tersebut. Keringnya tanah gambut karena terbuangnya air tanah juga akan mengurangi kemampuan tanah menahan air dan berakibat buruk pada rasio *rainfall – runoff*.

Untuk mempertahankan kemampuan menyimpan air dan mempertahankan elevasi daerah layanan, peningkatan kapasitas saluran drainasi dapat dilakukan dengan memperlebar saluran, tanpa keharusan memperdalam saluran atau dengan menaikkan elevasi sumur minyak dan jalan layanan agar tidak tergenang dimusim hujan. Untuk keperluan itu diperlukan suatu analisis hidraulika yang berwawasan lingkungan.

## 3. Survei Lapangan

Rangkaian survei lapangan yang telah dilakukan terdiri atas survei topografi, survei hidrometri, survei tanah, dan pengumpulan data curah hujan di Stasiun Duri. Survei topografi menghasilkan peta

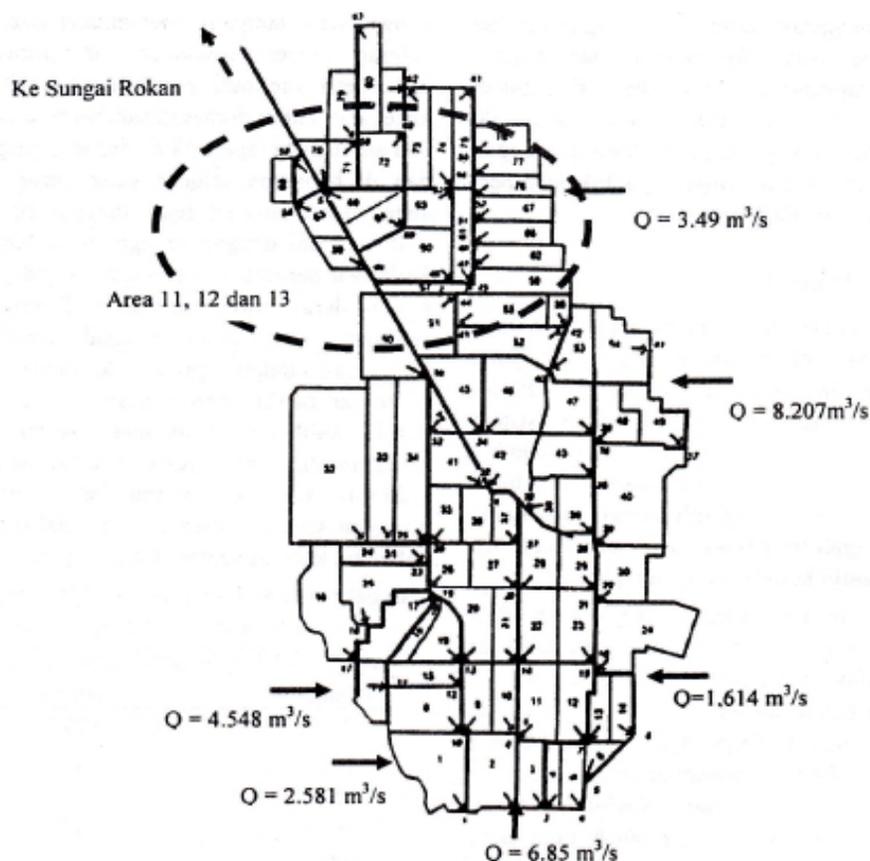
situasi, data tampang memanjang dan melintang saluran tersier, sekunder dan primer. Survei hidrometri meliputi pengamatan muka air dan kecepatan aliran di muara saluran primer di Sungai Rokan, di beberapa titik di dalam jaringan saluran dan di beberapa saluran yang masuk ke dalam sistem jaringan dari sejak tanggal 30 November 2001 sampai dengan tanggal 6 Desember 2001. Pada saat periode tersebut telah terjadi hujan yang cukup deras pada tanggal 1 Desember 2001, sehingga data pada tanggal tersebut dapat digunakan dalam proses kalibrasi penentuan hidrograf banjir. Pengukuran ini selain dipakai untuk kalibrasi penentuan parameter dalam hitungan hidrograf juga dipakai guna proses kalibrasi hitungan hidraulika. Adapun hasil hitungan Curah Hujan Harian Maksimum untuk beberapa kala ulang dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Curah Hujan Harian Maksimum untuk beberapa Kala Ulang (tahun)

Kala Ulang (tahun)	Curah Hujan Harian Maksimum (mm)
5	125.8
10	142.9
25	166.9
50	186.5
100	207.7

Hitungan ini didasarkan pada distribusi Log-Pearson III

Tata saluran drainasi lapangan minyak Duri merupakan jaringan saluran yang selain membuang air hujan dari lingkungan internal, juga merupakan saluran pembuang air drainasi dari lingkungan sekitar (lihat Gambar 3). Beban debit dari daerah sekitar ternyata sangat besar. Dari hasil hitungan hidrologi, untuk beberapa kala ulang hujan (5, 10, 25 tahun), jumlah beban debit maksimum dari daerah sekitar adalah sebesar 27,29 m<sup>3</sup>/s (curah hujan kala ulang 25 tahun). Survei tanah dimaksudkan untuk mengetahui kedalaman tanah gambut, sebagian hasil pemetaan kedalaman lapisan gambut dapat dilihat pada Gambar 4.

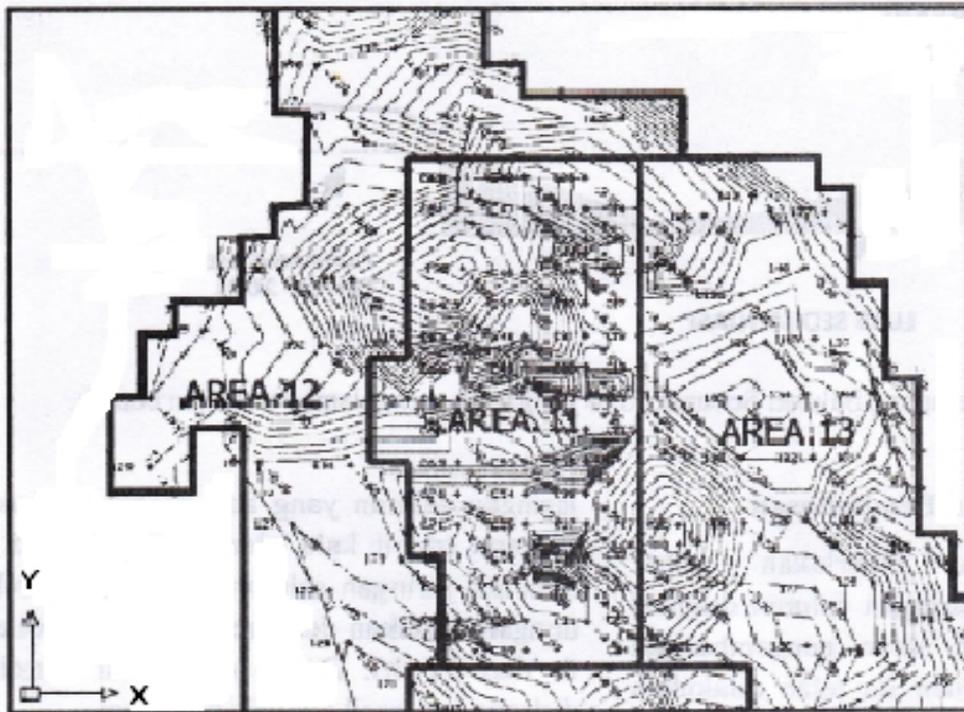


**Gambar 3.** Jaringan Saluran Drainasi Lapangan Minyak Duri.

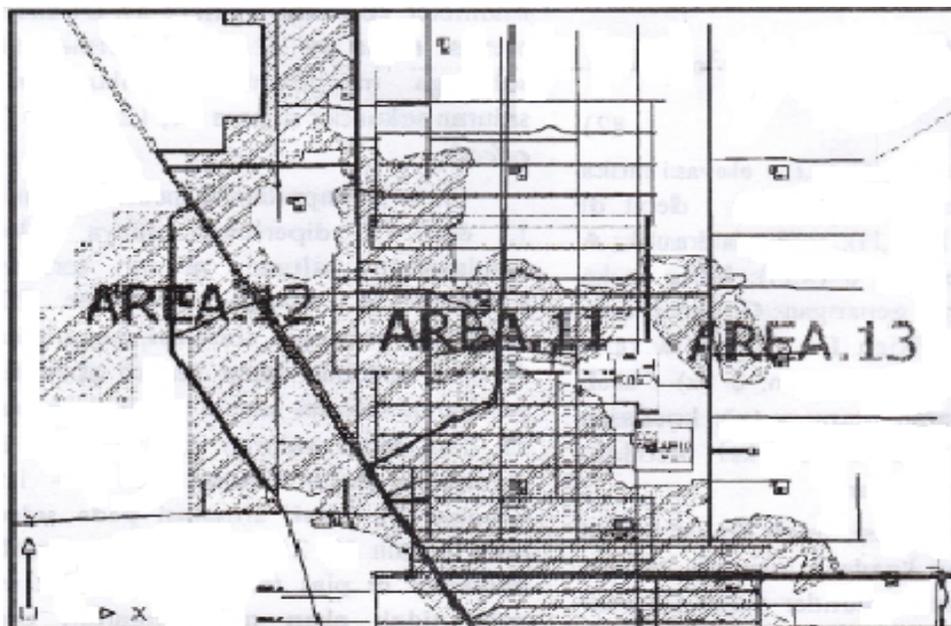
Hasil survai tanah menunjukkan adanya kedalaman gambut yang cukup tebal (2 m-7 m) di Area 11,12 dan Area 13, lihat Gambar 4. Area 11, 12 dan 13 adalah area yang sedang intensif dikembangkan untuk pembangunan sumur-sumur minyak baru. Ketebalan gambut di areal tersebut secara teoritis sangat efisien untuk menyerap air (kandungan air pada tanah gambut berkisar antara 40% - 60% volume), sehingga upaya peningkatan kapasitas saluran, dengan pendalaman atau pelebaran saluran, dikhawatirkan akan memungkinkan peningkatan pembuangan air tanah pada saat musim kemarau. Pada areal tersebut, ditempat yang cukup rendah elevasinya, pada saat terjadi curah hujan yang lebat, tercatat adanya daerah genangan yang cukup mengganggu kinerja eksploitasi sumur minyak,

lihat Gambar 5. Superposisi Gambar 4 dan gambar 5 menunjukkan keyakinan adanya lapisan gambut tebal, karena pada umumnya lapisan gambut terbentuk dalam suatu kubah yang berupa tumpukan bahan organik.

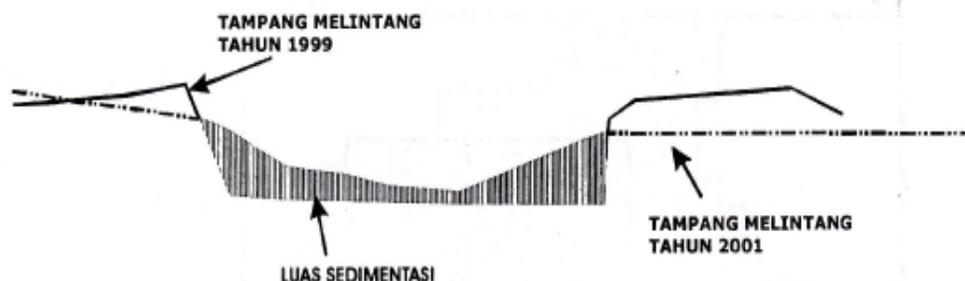
Hasil survai topografi yang dilaksanakan pada tahun 1999 (*preliminary design*) dan 2001 (*detailed design*) menunjukkan adanya *subsidence* di beberapa jalan dan deformasi tampang saluran (Saluran Sekunder S10). Saluran S10 merupakan saluran yang berada di tepi jalan dan lapisan gambut tebal (lihat Gambar 6). Kejadian *subsidence* dan deformasi tampang saluran tersebut, selain diakibatkan adanya beban yang cukup besar, juga merupakan petunjuk adanya deformasi lapisan gambut yang perlu diperhatikan dalam pengembangan jaringan saluran.



**Gambar 4.** Peta kontur kedalaman lapisan gambut di Area 11, 12 dan 13



**Gambar 5.** Peta daerah genangan banjir di Area 11, 12 dan 13



**Gambar 6.** Tampang Saluran Sekunder S10 yang telah mengalami perubahan bentuk

Analisis hidraulika diperlukan untuk mengetahui kemampuan jaringan saluran drainasi saat ini dan memberikan saran pengembangan selanjutnya. Untuk keperluan itu telah dilakukan analisis aliran tidak permanen satu dimensi dengan program DUFLOW.

$$B \frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{\partial(\alpha Qv)}{\partial x} + \frac{g|Q|Q}{C^2 AR} = b\gamma w^2 \cos(\Phi - \phi) \quad \dots(2)$$

dengan  $t$  : waktu;  $x$  : jarak;  $H(x,t)$  : elevasi muka air;  $v(x,t)$  : kecepatan rerata;  $Q(x,t)$  : debit di lokasi  $x$  pada waktu  $t$ ;  $R(x,H)$ : radius hidraulik;  $A(x,H)$ : luas tampang basah;  $b(x,H)$ : lebar muka air;  $B(x,H)$ : lebar daerah genangan;  $G$ : percepatan gravitasi;  $C(x,H)$ : koefisien De Chezy;  $w(t)$  : kecepatan angin;  $\Phi(t)$ : arah angin;  $\phi(x)$  : arah saluran dihitung dari arah utara;  $\gamma(x)$ : koefisien konversi angin;  $\alpha$ : faktor koreksi ketidakseragaman distribusi kecepatan.

Guna keperluan simulasi, telah dibuat model yang merepresentasikan keadaan jaringan saluran drainasi baik primer dan sekunder (lihat Gambar 7).

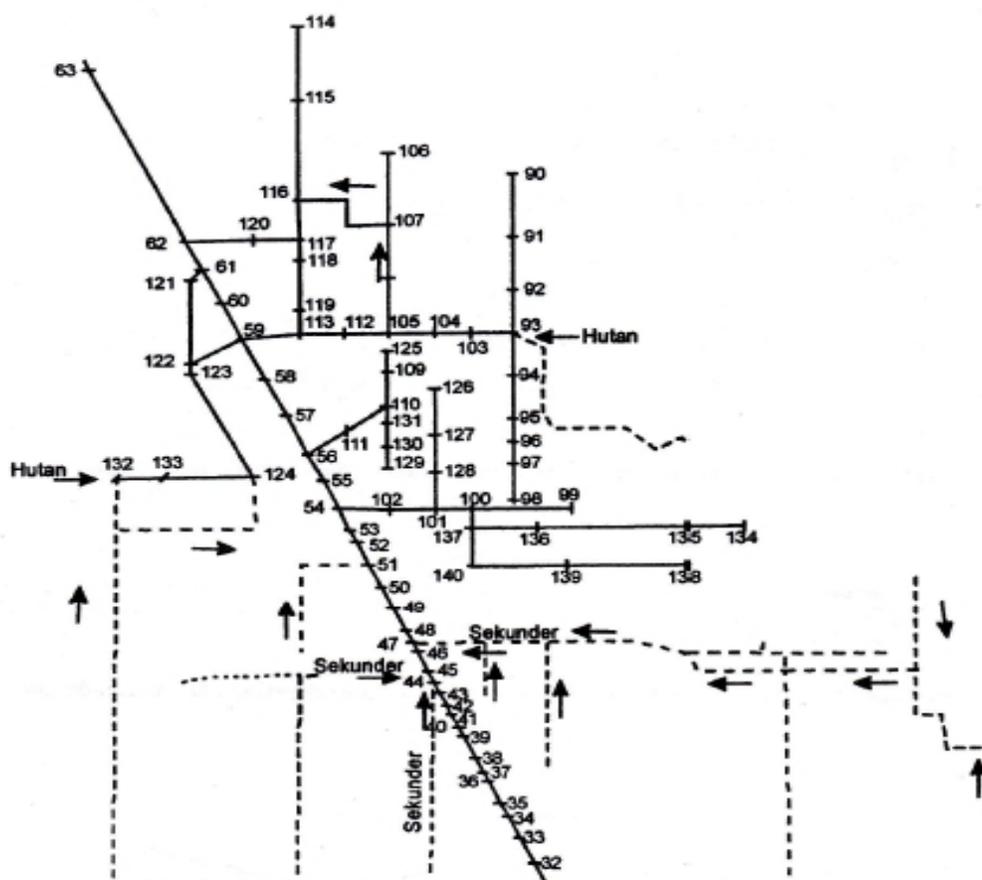
Seperti halnya simulasi model yang lainnya, proses simulasi ini didahului dengan proses kalibrasi, menyetarakan elevasi muka air hasil hitungan dan hasil pengukuran.

Pada analisis hidraulik ini dilakukan 2 simulasi dengan model matematik, yaitu simulasi

jaringan saluran yang ada dengan masukan debit rencana (debit kala ulang 5 th dan 25 th), dan simulasi jaringan saluran yang telah direhabilitasi dengan masukan debit rencana (debit kala ulang 5 th dan 25 th). Debit rencana di kondisi batas, didapat dari hasil analisis hidrologi.

Hasil simulasi pada jaringan saluran eksisting, menunjukkan adanya luapan air dari saluran primer ke lahan di sekitar kilometer 6 hingga kilometer 20 (lihat Gambar 8). Di daerah tersebut elevasi muka air di saluran primer cukup tinggi sehingga menghambat pembuangan air dari saluran sekunder di area 11, 12 dan 13 (*backwater effect*).

Guna memperlancar pembuangan di area 11, 12 dan 13, diperlukan upaya pelebaran dan pendalaman saluran primer terutama antara kilometer 6 hingga kilometer 20. Setelah dilakukan beberapa simulasi, penurunan muka air di pias tersebut dapat terjadi apabila dilakukan pelebaran saluran secara gradual antara 9 m – 24 m, dari lebar saluran asli 9 m \* 15 m, dan penurunan dasar saluran 0,5 m - 1,5 m (lihat Gambar 8). Hasil simulasi pada saluran primer hasil desain ( $Q$  25 th), akan menurunkan elevasi muka air di pias tersebut sebesar 2 m - 2,5 m, yang tidak akan mempengaruhi proses pembuangan air hujan dari area 11, 12 dan 13. Tanpa adanya perbaikan saluran primer, pembuangan air dari areal 11 dan 13 baru dapat terjadi mulai jam ke 125, Gambar 9a menunjukkan kurva massa air kumulatif yang lewat saluran sekunder S12 (saluran pembuang dari area 11 dan 13 ke saluran primer).

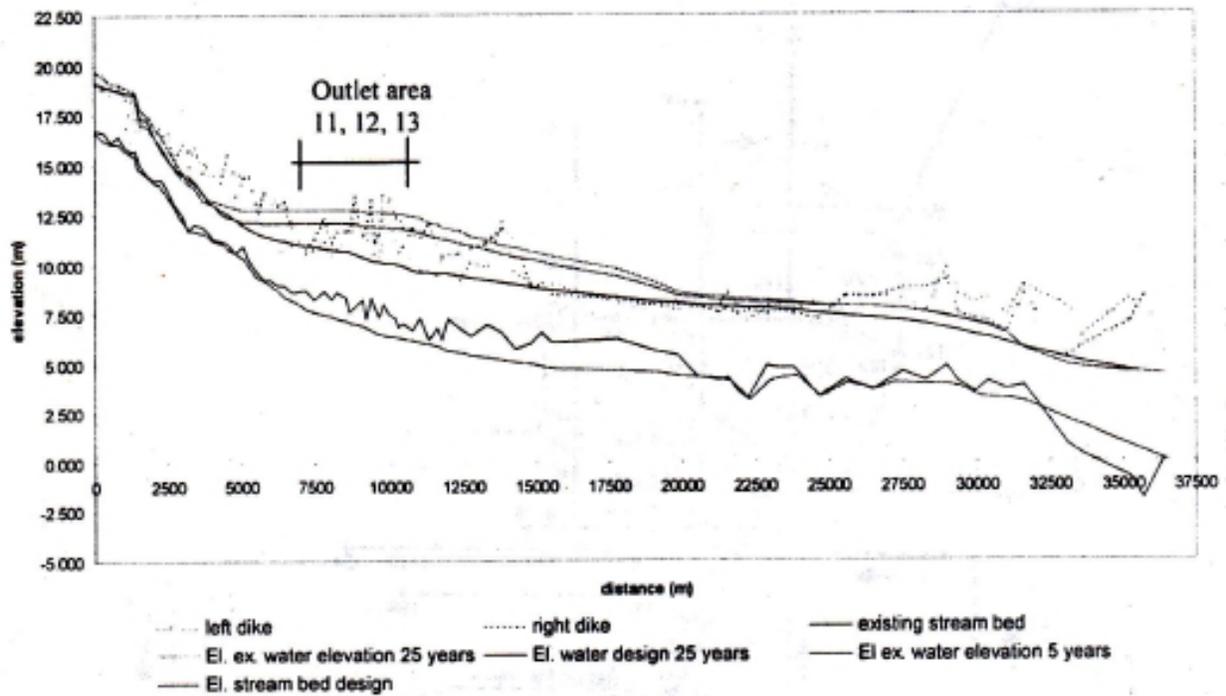


Gambar 7. Diskretisasi Model Matematik

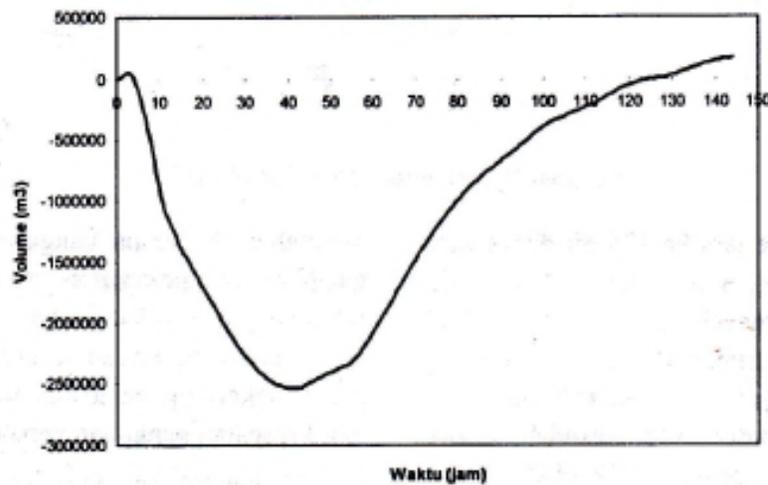
Pada jam ke 1 hingga jam ke 125 air dari saluran primer masuk ke saluran sekunder SI2, dan volume air yang masuk tersebut baru dapat sepenuhnya keluar sesudah jam ke 125. Gambar 9b, menunjukkan kurva massa air kumulatif yang lewat saluran sekunder SI2 sesudah adanya perbaikan saluran primer. Terlihat bahwa pembuangan air dapat berjalan lancar, semua volume air yang berasal dari area I I dan 13 dapat keluar sejak awal waktu drainasi. Namun perlu diingat bahwa konsekuensi penurunan elevasi dasar saluran ini akan berakibat pada pembuangan air tanah dari lapisan gambut, yang dikhawatirkan akan mengakibatkan terjadinya pengeringan tanah gambut dan subsidence. Untuk mencegah terjadinya ekstrasi air tanah yang

berlebihan, beberapa bangunan control muka air tanah dapat ditempatkan di saluran tersier atau sekunder, namun bangunan ini tidak akan efektif menahan air di saluran karena lapisan tanah gambut di sekeliling bangunan tersebut tidak menjamin kerapatan bangunan penahan air tersebut.

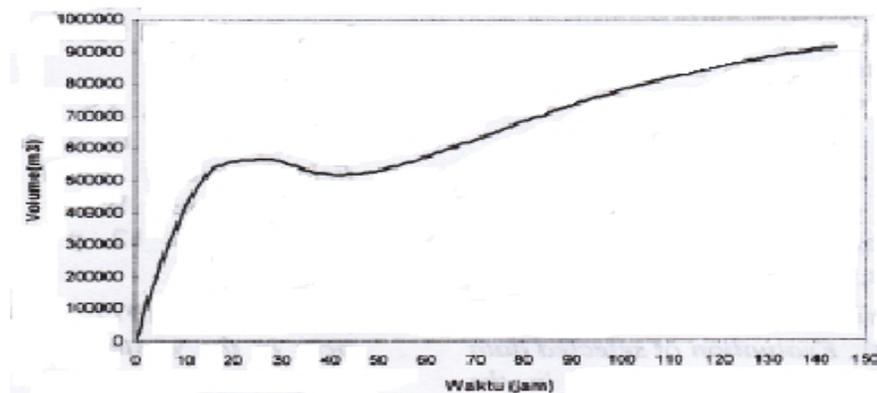
Mengingat hal tersebut, telah diusulkan 2 alternatif penanggulangan genangan, yang pertama diusulkan untuk menaikkan elevasi sumur minyak (*wellpad*) dan infrastruktur penunjangnya (pompa, jalan dan pipa distribusi) di atas elevasi banjir di masing-masing area, alternatif kedua adalah membuat saluran kolektor di sekeliling ladang minyak Duri guna menampung air dari daerah sekelilingnya, agar dapat mengurangi beban saluran drainasi di dalam ladang minyak Duri.



Gambar 8. Perbandingan hasil simulasi jaringan saluran eksisting dan saluran desain.



Gambar 9a. Kurva massa air kumulatif di Saluran Sekunder S12 sebelum ada perbaikan Saluran Primer.



**Gambar 9b.** Kurva massa air kumulatif di Saluran Sekunder SI2 setelah ada perbaikan Saluran Primer

## 5. Kesimpulan

Upaya perlindungan banjir fasilitas Ladang Minyak Duri, ternyata membutuhkan peningkatan kapasitas saluran primer, yang berupa pelebaran dan pendalaman saluran di dekat Area 11, 12, 13 yang merupakan daerah bergambut tebal. Upaya tersebut dipandang akan membahayakan keberadaan lapisan gambut karena pengaturan air dilapisan tanah gambut akan mengakibatkan terjadinya *shrinkage* dan oksidasi bahan organik. Pengembangan daerah rawa, daerah lahan basah yang mempunyai lapisan gambut tebal, menjadi daerah industri ataupun pertanian memerlukan wawasan pemikiran yang lebih komprehensif terutama berhubungan dengan kelestarian lingkungan. Upaya pembuatan saluran drainasi yang dimaksudkan untuk mengatasi terjadinya genangan, justru dapat berakibat lebih buruk, karena saluran drainasi tersebut dapat mengakibatkan terjadinya *subsiden* dan keringnya tanah gambut yang *irreversible*, sehingga mengurangi kemampuan menyimpan air. Guna penanggulangan banjir di daerah seperti itu, dianjurkan untuk mengembangkan konsep “*learn to live with flood*”, dengan cara meningkatkan elevasi fasilitas Lapangan Minyak Duri (*wellpad, access road, pump*) di atas elevasi banjir di area yang bersangkutan.

## Ucapan Terima Kasih

Tulisan ini merupakan bagian dari hasil Studi Perencanaan Detil Jaringan Saluran Drainasi di

Lapangan Minyak Duri, pada saat penulis bertugas sebagai Ahli Hidraulika. Terima kasih disampaikan kepada PT. Caltex Pasific Indonesia yang telah memberi kesempatan untuk melakukan studi ini, juga kepada Prof. Dr. Ir. Bambang Triatmodjo, DEA. yang telah melakukan studi sedimentasi dan Dr. Ir. Rachmad Jayadi, M.Eng. yang melakukan analisis hidrologi pada studi ini sejak tahap *preliminary design* pada tahun 1999 hingga *detail design* pada tahun 2001.

## Daftar Pustaka

- Anonim, 2002, *Final Report of Detail Engineering Design Service for Duri Drainage and Canal Improvement Project*, PT. CPI-PT. Encona Inti Industri, Jakarta.
- Fetter, C. W., 1994, *Applied Hydrogeology, 3<sup>rd</sup> ed., p-691*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
- Hobbs, N. B., 1986, *Mire morphology and the properties and behaviour of some British and foreign peats*, Q. J. Eng. Geol., 19, p 7-80.
- Ingebristen S.E., C. McVoy, B. Glaz, W. Park, 2002, *Florida Everglades*, Circular 1182, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Center for Coastal Geology.
- McLay, C. D. A., R. F. Allbrook, and K. Thompson, 1992, *Effect of development and cultivation on physical properties of peat*

- soils in New Zealand*, Geoderma, 54, p 23-37
- Price, J. S., and Schlotzhauer, S. M. 1999, *Importance of shrinkage and compression in determining water storage changes in peat: The case of a mined peatland*, Hydrology. Proc., in press.
- Rojstaczer, S. and Deverel, S.J., 1993, *Time dependence in atmospheric carbon inputs from drainage of organic soils*, Geophysical Research Letters, v.20, no. 13, p. 1383-1386.
- Rojstaczer, S., Hamon, R., Deverel, S.J., and Massey, C., 1991, *Evaluation of selected data to assess the causes of subsidence in the Sacramento - San Joaquin Delta, California*, U.S. Geological Survey Open File Report 91-193, 16p.
- Schlotzhauer, S.M., J.S. Price, 1999' *Soil water flow dynamics in a managed cutover peat field, Quebec: Field and laboratory investigations*, Water Resources Research, Vol. 35, No. 12, p 3675-3683, December 1999.
- Schothorst, C. I., 1977, *Subsidence of low moor peat in the western Netherlands*, Geoderma, 17, p 265-291.