

Rancangan Dasar Perhitungan Proteksi Katodik dengan Menggunakan Anoda Korban Pada Struktur Baja Anjungan Minyak di Lingkungan Air Laut

Oleh: **Abdoel Goffar**

Peneliti Madya pada Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS"

Jl. Ciledug Raya Kav. 109, Cipulir, Kebayoran Lama, Jakarta Selatan 12230, Indonesia

Tromol Pos : 6022/KBYB-Jakarta 12120, Telepon : 62-21-7394422, Faksimile : 62-21-7246150

Teregistrasi I Tanggal 19 Mei 2010; Diterima setelah perbaikan tanggal 2 Februari 2011

Disetujui terbit tanggal: 29 April 2011

S A R I

Pembuatan dokumen setiap pekerjaan proyek adalah sangat penting. Penelitian dengan perhitungan rancangan dasar proteksi katodik anoda korban pada *pile* di anjungan lepas pantai dilakukan dengan membuat laporan sebagai dokumen. Dokumen ini berisi laporan yang tersusun secara sistematis dengan menerangkan pekerjaan proyek meliputi rekayasa dasar untuk perhitungan proteksi katodik dan menggunakan anoda korban (*sacrificial anode*) untuk melindungi korosi pada tiang baja (*steel pile*) anjungan minyak di lepas pantai. Paper ini menunjukkan tahapan merancang proteksi katodik sesuai dengan standar dan spesifikasi dari salah satu perusahaan milik negara Eropa yang beroperasi di Indonesia. Rancangan meliputi perhitungan secara teliti kebutuhan arus *pile* dari anjungan minyak (*platform*) di lingkungan air laut (lepas pantai). Kerja sama tim insinyur dari berbagai disiplin ilmu yang masing-masing memiliki data lapangan kemudian terkumpul dalam beberapa arsip (*file*) dalam komputer yang sebagai jejaring (*network*), sehingga memudahkan perolehan data secara lengkap. Selain dari pada itu dibutuhkan juga gambar *autocad* guna mengetahui keadaan sebenarnya instalasi terhadap tiang pancang (*pile*) anjungan yang diproteksi katodik. Perhitungan dilakukan dengan menyusun tabulasi secara sistematis dan memudahkan perhitungan dalam komputer secara cepat, sehingga menjadi praktis dan efisien. Hasil dari perhitungan dapat memberi penjelasan terhadap kebutuhan arus pada *pile* dan memudahkan koreksi apabila ada kesalahan dengan memasukkan semua parameter yang diketahui. Rancangan ini dikenal dengan rekayasa dasar (*basic engineering*) agar anoda yang tersedia dapat memenuhi kebutuhan arus tiang pancang (*pile*) yang telah ditentukan hingga 20 tahun dan memastikan sistem berjalan sesuai rancangan.

Kata kunci: proteksi katodik, anoda korban, tiang baja anjungan lepas pantai, perhitungan

ABSTRACT

Document report of each project job is very important. The research with basic design calculation for installation of sacrificial anode cathodic protection in offshore platform is done by making the report as a document. The document consists of the report which is arranged systematically to describe the project which encompasses the basic engineering for calculation of cathodic protection. In this case the project that has been done is cathodic protection by sacrificial anode in offshore platform structure. The document list consists of various parts of the report which describe the work which encompasses the document. The report also describes the basic engineering calculation of cathodic protection by using sacrificial anode to protect corrosion on the steel pile of fixed offshore. This paper describes the steps to design the cathodic protection according to NACE standard

and one of Europe company specification of oil and gas operation. The design comprises accurate calculation of current demand of oil platform pile in offshore field. A team engineers of miscellaneous science discipline work together according to their background. The compiled data are recorded in computer network which connected each other, so that to make easy to access the complete data. Besides that the autocad drawing is also needed in order to know actually circumstance in which to install the sacrificial anode for the platform pile. The calculation is performed to arrange the systematically tabulation and to make easy the calculation in computer is very fastly, so that it will be practice and efficient. The result from the calculation can give the information on current demand about the pile. And to make easy the correction If there is any mistake with including the all known parameter. The design is known as the basic engineering in order the supply anode can fulfill the current demand on the pile Which has been determined until 20 years and must be the running system according to design.

Key words: *cathodic protection, sacrificial anode, the steel beam offshore platform, the calculation*

I. PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Perusahaan minyak dan gas bumi yang mengoperasikan peralatannya untuk mendapatkan sumber-sumber minyak dari sumur-sumur bisa jadi berada di mana saja baik darat, sungai, lepas pantai maupun laut dalam. Minyak atau gas bumi disalurkan dari sumur-sumur yang berasal dari sumur lepas pantai atau laut dalam lalu dikumpulkan ke sistem pengumpul (*gathering system*) dengan membangun anjungan minyak (*platform*). Pada saat ini teknologi dan bentuk disain anjungan sudah sangat maju dan berbagai macam bentuk, sedangkan anjungan lepas pantai dibangun di atas air laut yang sangat korosif di mana anjungan ditopang di atas tiang pancang yang menggunakan pipa baja (*pile*). Tiang penopang anjungan itu kemudian diproteksi dengan anti korosi antara lain dengan menggunakan anoda korban (*sacrificial anode*) agar tidak cepat rusak dan gagal (*failure*). Perusahaan membuat suatu dokumen di dalam merancang proteksi katodik yang dilakukan oleh kelompok *engineering*, yang terdiri atas berbagai disiplin ilmu. Sedangkan perhitungan korosi dilakukan oleh insinyur korosi (*corrosion engineer*) secara teliti kemudian hasil *basic engineering design* ini nantinya dilanjutkan ke *detail engineering design*. Sering kali hasil laporan yang diterbitkan tidak memberikan gambaran dan perhitungan yang jelas dari mana angka-angka diperoleh dan rumus-rumus. Perhitungan menunjukkan secara sepotong-potong dari suatu bagian, bahkan teori dan rumus hanya garis besarnya saja, sehingga sulit menerapkan perhitungan secara lengkap. Pada dasarnya penulisan makalah ini merekomendasikan prosedur untuk rancangan sistem

proteksi katodik yang menyediakan kontrol korosi yang efektif untuk *pile* struktur lepas pantai (*offshore*), apalagi untuk sistem proteksi dikerjakan dalam skala besar oleh suatu perusahaan minyak yang beroperasi di Indonesia, hingga saat ini sistematika perhitungan belum pernah dipublikasikan secara luas.

B. Maksud dan tujuan

Rancangan proteksi terhadap tiang pancang struktur anjungan minyak mempunyai peranan penting agar dapat melindungi dari korosi dengan mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi. Oleh karena itu pemilihan jenis anti korosi yang dipakai mempunyai dampak yang sangat signifikan. Perhitungan korosi ini mempunyai sistematika yang praktis dengan memasukkan semua parameter yang diketahui dan menggunakan formula terperinci agar proteksi yang dirancang sesuai dengan waktu yang ditentukan pada saat instalasi.

C. Metodologi

Pengumpulan data dilakukan untuk seluruh *pile* anjungan minyak yang akan diproteksi katodik, dimana data yang dikumpulkan meliputi diameter, panjang, material dan jumlah *pile* termasuk data *resistivity* air laut, gambar *autocad* anjungan, bentuk dan ukuran anoda serta disain instalasi. Perhitungan dilakukan dengan memasukkan data yang diketahui ke dalam formula yang tersusun dalam tabulasi sistem komputer, sehingga melalui pengolahan data dengan cepat dapat diketahui hasilnya. Dan data-data perhitungan ini merupakan bagian dari pembuatan dokumen perusahaan.

II. TEORI

Proteksi katodik merupakan pencegahan korosi secara elektrokimia. Prinsip pencegahan atau perlindungan logam adalah dengan cara menjadikan logam yang akan dilindungi sebagai katoda. Dengan bersifat sebagai katoda, logam tersebut akan menerima elektron sehingga potensial logam terhadap lingkungan akan turun sampai ke daerah tidak terkorosi (*imun*).

Monitoring proteksi katodik dilakukan dengan cara mengukur potensial struktur logam yang diproteksi terhadap elektrolit dengan bantuan suatu elektroda referensi. Bila menggunakan elektroda Cu/CuSO₄, maka potensial logam yang akan dilindungi harus berada di bawah -850 mV sesuai dengan standar *NACE (The National Association of Corrosion Engineer) RP-01-69*.

Proteksi katodik ini sangat efektif digunakan untuk melindungi jaringan pipa bawah tanah, tangki, struktur pada pengeboran minyak lepas pantai, dan lainnya. Penggunaan proteksi katodik terutama pada pipa-pipa yang ditanam pada dasar laut menjadi sangat efektif apabila dikombinasikan dengan lapisan pelindung (*coating*). Hal ini dikarenakan lapisan pelindung pipa masih memiliki *coating breakdown* yang dapat menyebabkan korosi setempat yang menimbulkan korosi sumur (*pitting corrosion*). Dengan mengkombinasikannya dengan proteksi katodik maka lapisan pipa yang rusak dapat dilindungi. Namun sebaliknya, pada pipa yang tidak memiliki lapisan *coating*, proteksi katodik yang dibutuhkan akan lebih besar jika dibandingkan dengan pipa yang memiliki lapisan *coating*. Pada aplikasinya, ada dua metode proteksi katodik yang dapat digunakan, yaitu metode anoda korban dan metode arus tanding.

A. Sistem anoda korban (Sacrificial Anode)

Prinsip dari proteksi katodik dengan sistem anoda korban adalah memperlakukan logam yang akan dilindungi sebagai katoda dengan cara menghubungkan logam tersebut dengan logam yang memiliki potensial yang lebih rendah (*more active*). Logam yang memiliki potensial yang lebih rendah ini akan berfungsi sebagai anoda sehingga disebut sebagai anoda korban.

Mekanisme perlindungan logam dengan sistem anoda korban ini memanfaatkan mekanisme dari korosi galvanik. Pada korosi galvanik, adanya hubungan antara dua logam yang memiliki perbedaan

potensial akan menimbulkan arus galvanik yang dapat menyebabkan korosi pada salah satu logam tersebut. Prinsip inilah yang digunakan pada perlindungan logam dengan metode anoda korban.

Anoda korban yang ditambahkan ke permukaan suatu struktur logam yang berada pada lingkungan korosif akan bertindak sebagai anoda. Adanya perbedaan potensial antara anoda korban dan logam yang dilindungi akan menimbulkan arus galvanik yang akan memproteksi logam yang ingin dilindungi. Suatu material yang akan digunakan sebagai anoda korban harus memiliki sifat elektrokimia sebagai berikut^[2]:

- Potensial korosi anoda harus lebih negatif terhadap logam yang dilindungi untuk mendorong arus protektif yang melalui elektrolit. Semakin besar hambatan elektrolit dan semakin besar jarak anoda dan struktur maka potensial anoda korban harus semakin negatif.
- Polarisasi pada anoda korban harus cukup rendah.
- Efisiensi harus tinggi.
- Secara teori, arus galvanik per unit massa yang mampu diberikan oleh anoda harus tinggi.
- Logam harus termakan tetapi tidak cepat habis.

B. Kelebihan penggunaan sistem anoda korban adalah sebagai berikut^[10] :

- Tidak memerlukan tenaga listrik dari luar
- Tidak ada bahaya interferensi
- Ekonomis untuk struktur yang kecil
- Bahaya over proteksi kecil
- Distribusi arus merata
- Tidak perlu pemeliharaan, kecuali inspeksi rutin
- Baik untuk dilakukan pada struktur yang memiliki lapisan coating.

C. Kelemahan penggunaan sistem anoda korban adalah sebagai berikut^[4] :

- Keluaran arus terbatas, sehingga membatasi luas baja yang dapat dilindungi
- Tidak efektif untuk lingkungan dengan resistivitas tinggi
- Diperlukan banyak anoda untuk struktur yang besar
- Biaya pengantian anoda mahal.

D. Aluminium (Al)

Aluminium merupakan salah satu anoda korban yang sangat banyak digunakan pada lingkungan air laut. Kemampuan yang baik untuk memberikan arus proteksi, polarisasi rendah dan *life time* yang panjang merupakan alasan mengapa aluminium merupakan pilihan utama pada proteksi di lingkungan air laut.

Aluminium adalah logam yang sangat mudah membentuk lapisan pasif pada permukaannya. Keberadaan lapisan pasif ini akan menghambat kerja dari aluminium sebagai material anoda korban. Oleh karena itu, pada penggunaannya sebagai anoda korban, aluminium ditambahkan beberapa persen elemen paduan yang dapat mengurangi terbentuknya lapisan pasif, seperti Seng (Zn), Magnesium (Mg, Indium (In), Cadmium (Cd) dan Titanium (Ti)^[2].

Aluminium tidak direkomendasikan digunakan pada lingkungan tanah, *fresh water*, dan air payau karena akan membentuk lapisan pasif sehingga tidak akan berfungsi dengan baik sebagai anoda korban.

Di dalam merancang proteksi katodik anoda korban termasuk menentukan *Groundbed (groundbed design)*, yaitu lokasi secara khusus yang dipersiapkan, yaitu rumah anoda baik secara tunggal atau secara kombinasi.

Percobaan telah menunjukkan bahwa proteksi katodik pada struktur adalah efektif sekitar 30 sampai 60 m (100 sampai 200 ft) di luar dari jarak struktur yang bergantung pada koneksi dari rangkaian (*chain*) ke struktur, ukuran rangkaian dan tekanan pipa (*chain and line tension*). Proteksi katodik ini tidak termasuk dalam *the mooring line design*, tetapi proteksi katodik tambahan harus diterapkan guna mencegah kurang proteksi (*underprotection*) *steel fairleads* dan struktur baja (*steel structure*). Pengukuran potensial dari suatu voltase negatif (katodik) sekurangnya -0,8v diukur antara permukaan struktur dan perak/perak klorida 20 ohm cm airlaut atau elektroda referensi Ag/AgCl [air laut]. Secara normal voltase ini seharusnya diukur dengan terapan arus pelindung (*protective current applied*) yang berada di bawah -0,80 V *criterion*, termasuk tambahan tegangan arus listrik (*voltage drop*) melalui antar-muka baja/air (*interface steel/water*) tetapi tidak termasuk

kenaikan tegangan (*voltase drop*) di dalam air, minimum voltase negatif (*cathodic*) shift 300 mV. elektroda referensi alternatif adalah Elektroda referensi *saturated copper/copper sulfate (CSE)*: -0,85 V (atau lebih negatif untuk proteksi). Catatan: elektroda ini tidak stabil untuk servis tercelup jangka panjang. Elektroda referensi *zinc high purity* +0,25 V (atau kurang positif untuk proteksi) gunakan ASTM (B 418 tipe II, *high purity zinc* melakukan batas komposisi berikut, aluminium 0,005 % max. Cadmium : 0,003 % max, iron 0,0014 % max, *zinc balance*. Elektroda referensi *saturated calomel (SCE (saturated KCl))*: -0,78 V (atau lebih negatif untuk proteksi). Spesifikasi MIL elektroda referensi *zinc* +0,25 V (atau kurang positif untuk proteksi) gunakan MIL -A-18001 mempunyai batasan komposisi. Potensial pada korosi yang dikontrol adalah suatu fungsi temperatur dan lingkungan, air yang terbuka ke udara dan pada tipikal temperatur ambient. Untuk keadaan lainnya potensial mengontrol korosi dapat diperkirakan yang menggunakan *Nernst equation*. Inspeksi visual mempunyai beberapa metode (*diver visual* atau *feel*, *physical measurement*, *photography* atau *televisi*) seharusnya mengindikasikan tanpa peningkatan korosi melampaui batas yang dapat diterima bakal umur struktur.

Tabel 1
Spesifikasi umum milik perusahaan minyak

Ref. 1	GS GR Cor 100 rev3	Rancangan proteksi katodik struktur lepas pantai
Ref. 2	GS GR Cor 110 rev4	Proteksi katodik eksternal pipa salur tertanam
Ref. 3	GS GR Cor 201 rev3	Suplai anoda korban
Ref. 4	GS GR Cor 221 rev4	Pelapis eksternal tiga permukaan <i>polypropylene</i> untuk pipa
Ref. 5	GS EP Cor 350 rev5	Proteksi eksternal struktur dan peralatan dengan pengecatan
Ref. 6	GS EP Cor 354 rev3	Proteksi eksternal struktur daratan dan peralatan dengan cat
Ref. 7	GS EP Cor 501 rev3	Kontrol proteksi katodik struktur tetap bawah laut

1. Referensi dokumen

Dalam perancangan dibutuhkan acuan standar, di mana perusahaan salah satu negara Eropa ini mempunyai referensi sendiri yang semua tidak lepas dari seluruh sistem dokumen secara tertulis maupun elektronik seluruh anjungan, sedang untuk korosi tercantum sebagaimana pada Tabel 1 yang tersusun dalam spesifikasi umum,

2. Standar dan kode

Tabel 2
Acuan standar yang dipakai

Ref. 8	DNV RP 8401	Rancangan proteksi katodik
	NACE RP-0176	Kontrol korosi baja Anjungan tetap lepas pantai dengan gabungan produksi petroleum

3. Spesifikasi khusus proyek, dokumen dan gambar

Tabel 3
Identifikasi Referensi Dokumen
Proyek Milik Perusahaan

Ref. 9	ID-T12-Ty-SMD-900101	Ringkasan Disain Struktural
Ref. 10	ID-STD-Ty-SMD-530101	Konsep Proteksi Katodik

4. Faktor dasar yang harus diketahui untuk mengendalikan korosi adalah

1. Tekanan parsial CO₂
2. Tekanan parsial H₂S
3. Temperatur fluida
4. Salinitas air (kadar garam air)
5. *Water cut* (kandungan air dalam persen minyak)
6. Dinamika aliran (*Fluodynamics*)
7. pH.

5. Faktor tambahan yang mempengaruhi laju korosi di kilang minyak (*petroleum*) dan pabrik kimia termasuk fasilitas letak luar (*offsite*) dan fasilitas kendali polusi adalah

1. Asam organik (asam *naphthenic*)
2. Hidrogen (*atomic*)
3. Larutan amina
4. Sulfur
5. Natrium Hidroksida (*Sodium Hydroxide*)
6. Ammonia
7. Asam hydrofluor (*Hydrofluoric*)
8. Glycol
9. Cyanide
10. Asam sulfur
11. Pasangan galvanik
12. Tegangan (*stress*) (*plus chloride, caustic,*)
13. Ammonia, amina, asam *polithyionic*)
14. Bakteri
15. Konsentrasi korosif
16. Aerasi
17. Pengaruh panas (*heat flux*)
18. Cacat las
19. Oksidasi dan korosi temperatur tinggi
20. Beberapa faktor khusus.

6. Parameter rancangan:

1. Masa pakai rancangan sistem
2. Kondisi pelapis (*coating*)
3. Kondisi letak lepas pantai (ke dalam air, kandungan oksigen, turbulen, temperatur, *resistivity* air dst.)
4. Kapasitas yang dibutuhkan
5. Potensial proteksi yang dibutuhkan
6. Gambar konstruksi (data permukaan basah)
7. Faktor utilisasi anoda
 - 0,90 *long slender stand*
 - 0,85 (*long flush mounted*)
 - 0,80 (*short flush mounted*)
 - 0,80 (*bracelet – half shell type*)
 - 0,75 (*bracelet segmented type*)
8. *Long* : *length* 4 x ketebalan
9. *Short* : *length* < 4 x ketebalan

7. Rumus perhitungan kebutuhan arus (I_c)

Persyaratan arus melindungi struktur baja seharusnya menghitung dari formula berikut:

$$I_c = A_c \times f_c \times I_c \text{ (ampere)}$$

di mana:

A_c = area individual

f_c = faktor pecah pelapis

I_c = rapat arus

Faktor pecah pelapis (f_c) dan pelapis cat:

$$F_c = k_1 \times k_2 \times t$$

di mana:

t = waktu pakai pelapis

k_1, k_2 = konstanta yang bergantung pada sifat pelapis

Perhitungan massa anoda (M)

Massa anoda bersih total M (kg) anoda korban seharusnya menghitung dari formula berikut:

$$M = \frac{I_c(\text{rata}) \times t \times 8760}{u \times \epsilon}$$

di mana:

t = masa pakai rancangan (tahun)

u = faktor utilisasi

Σ = efisiensi elektrokimia (ampere *jam)

Perhitungan resistance anoda (R_a)

Tahanan anoda untuk anoda *long flush mounted* dihitung dengan formula berikut:

$$R_a = \frac{\rho}{2 \times S}$$

Tahanan anoda (*anode resistance*) untuk *sort flush mounted bracelet* dan *other flush mounted shapes anodes* dihitung dengan formula berikut:

$$R_a = \frac{0,315 \times \rho}{\sqrt{A}} \text{ Mc Coy's formula}$$

Tabel 4
Kategori Lapisan (Coating)

Kedalaman (m)	I ($k_1 = 0.10$)	II ($k_1 = 0,05$)	III ($k_1 = 0.02$)	IV ($k_1 = 0,02$)
	k_2	k_2	k_2	k_2
0.30	0,1	0,03	0,015	0,012
>30	0,05	0,02	0,012	0,012

Tabel 5
Penjelasan Kategori Lapisan

Kategori Pelapis	Deskripsi
I	Salah satu lapisan lapis primer sekitar 50 Å-m nominal DFT (ketebalan film kering)
II	Salah satu lapisan dari lapis primer plus pelapis minimum ditengah lapis atas, 150 sampai 250 Å-m nominal DFT
III	Salah satu lapisan dari lapis primer plus dua lapis minimum ditengah lapis atas, minimum 300 Å-m nominal DFT
IV	Salah satu lapisan dari lapis primer plus tiga lapis minimum ditengah lapis atas, minimum 450 Å-m nominal DFT

Tahanan anoda untuk *long slender stand-off anodes* dihitung dengan formula berikut:

$$Ra = \frac{\rho}{2 \times \pi \times L} \times \left[\ln \frac{4 \times L}{r} - 1 \right] \text{ "Dwight's equation"}$$

di mana:

ρ = resistivity lingkungan (ohm cm)

L = panjang anoda (cm)

R = radius *equivalent* anoda (cm)

S = rata rata aritmatik dari panjang dan lebar anoda (cm)

A = daerah permukaan anoda yang dilindungi (cm²)

$$r(\text{awal}) = \frac{C}{2 \times \pi}$$

di mana:

C = lingkaran garis silang untuk non anoda silinder (cm)

Untuk perhitungan Ra resistan anoda akhir kita harus menghitung L panjang final

$$L(\text{akhir}) = L(\text{awal}) - 0,1 \times u \times L(\text{awal}) \text{ (cm)}$$

Massa akhir (M final)

$$M(\text{final}) = M(\text{awal}) \times (1 - u) \text{ (kg)}$$

Lingkaran garis silang r (final):

$$r(\text{final}) = \sqrt{\left[ro^2 + \frac{m}{\pi \times L \times d} \right]}$$

ro = radius inti anoda (cm)

m = massa anoda (kg)

d = rapat anoda = 2,75 E⁻⁰³ kg/cm³

Hasil (*output*) rapat arus anoda (*Iind*), dengan rumus :

$$Iind = \frac{\Delta V}{Ra}$$

ΔV = voltase penggerak (V)

Ra = tahanan anoda (ohm)

Kita harus menghitung *I ind* (awal) & *I ind* (akhir)

Jumlah anoda dibutuhkan ditentukan dari formula berikut:

$$N_1 = \frac{Ic(\text{awal})}{Iind(\text{awal})}$$

$$N_2 = \frac{M}{Mind}$$

$$N_3 = \frac{Ic(\text{final})}{Iind(\text{final})}$$

di mana:

Iind = hasil arus anoda individual (A)

I = syarat arus (A)

Mind = berat bersih rumah individual (kg)

Jumlah anoda harus memenuhi baik kebutuhan berat seluruh waktu pakai (N_1) dan (N_3) dan syarat berat (N_2)

$$N = \max(N_1, N_2, N_3)$$

III. PERANCANGAN

Sebenarnya proyek ini dilakukan pada beberapa anjungan (*platforms*) meliputi 2 anjungan untuk lapangan lepas pantai (*offshore*), sedangkan 1 anjungan di sungai (*onshore*). Rincian dan hitungan hanya untuk *structure support and conductor pipe* pada tahapan rancangan yang langsung dari studi rekayasa dasar (*basic engineering*).

Sistem anoda korban (*sacrificial anode*) menggunakan material *indium activated aluminium alloy* yang diletakkan di dalam air laut.

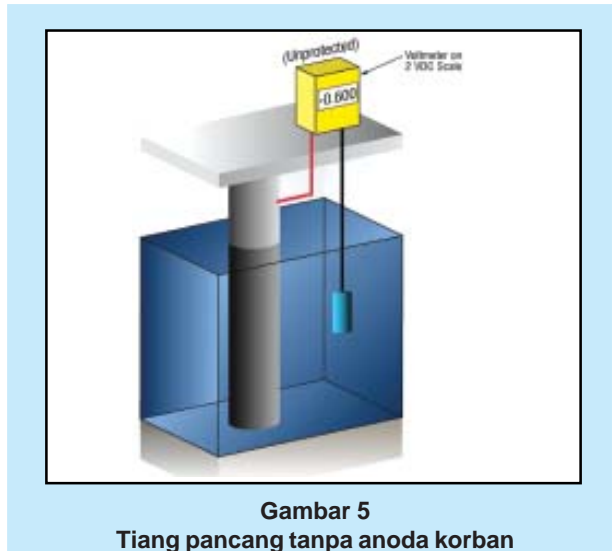
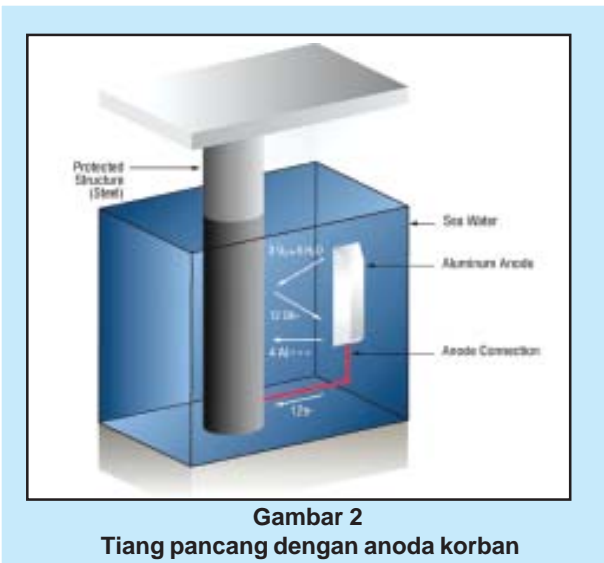
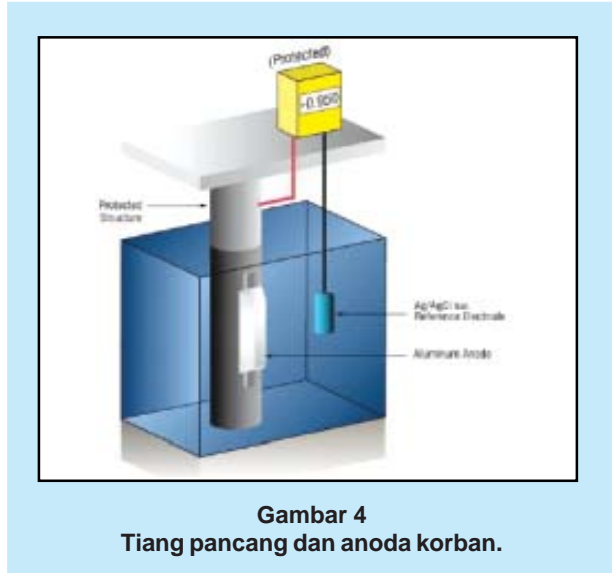
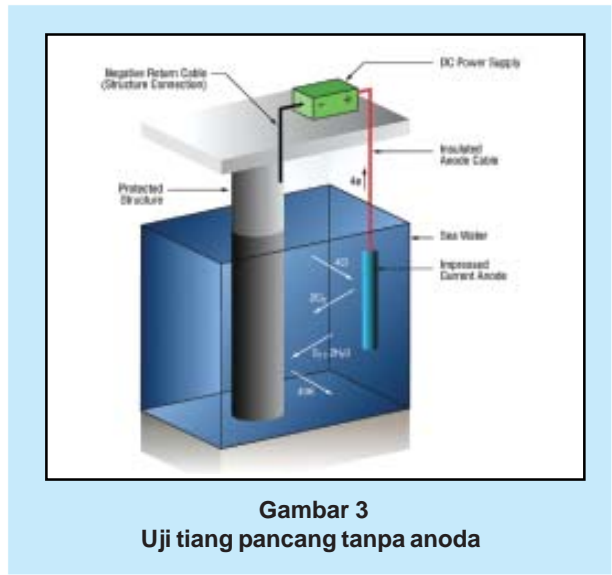
Anoda yang diikatkan (*clamped*) pada tiang pancang pendukung :

Bentuk	: <i>long flush mounted</i>
Unit berat bersih	: 119 kg
Panjang minimum	: 1526 mm
Berat rata-rata	: 184 mm
Tinggi	: 159 mm
Rapat anoda	: 2750 kg/m ³

Segi inti ($hc \times wc$) : 60 mm x 15 mm
 Efisiensi
 Kapasitas output arus : 2433 Ah /kg pada 20 C
 Faktor utilisasi : 0,85
 Potensial anoda aliran lingkaran
 Lingkup air laut (*Sea water exposure*) : -1.05 V wrt Ag/AgCl
 Lingkup air sungai (*River water exposure*) : asumsi sama -1.05 V wrt Ag/AgCl didalam studi dasar, didefinisikan oleh supplier anoda.

Catatan: Permukaan anoda yang menghadap permukaan diprotek dengan pelapis (*coated*)

Gambar 1 s.d. 5 menunjukkan sebagian gambar anjungan minyak lepas pantai dan tiang pancang baja yang di proteksi katodik menggunakan anoda korban (*sacrificial anode*):



Tabel 6
Sistem proteksi katodik untuk tiang pancang (*piles*) lepas pantai

<i>Designation</i>	Diameter	Jumlah	Lokasi	Panjang (m)	
	<i>piles</i>	<i>piles</i>		<i>In soil</i>	<i>In splash zone</i>
	(inc)				
<i>GTS platform</i>	36	4	Laut	40	9.1
<i>Boat landing</i>	30	2	Laut	20	9.1
<i>Vent tripod</i>	30	3	Laut	25	9.1
<i>Adjacent platform :</i>					
<i>Bridge platforms</i>	24	4x2	Laut	25	9.1
<i>Wellhead platforms</i>	24	4x2	Laut	25	9.1
<i>Instr. Telecom plt</i>	24	4	Laut	25	9.1
<i>Walkway to adjacent platform</i>	24	8	Laut	25	9.1
<i>Export ESDV platform</i>	24	4	Laut	15	9.1
<i>Walkway to Export ESDV plt</i>	24	3	Laut	25	9.1
<i>Ventline supports</i>	24	29	Laut	25	9.1
<i>Export line supports</i>	24	46	Laut	25	9.1
<i>Conductor pipe</i>	24	8	Laut	140	9.1

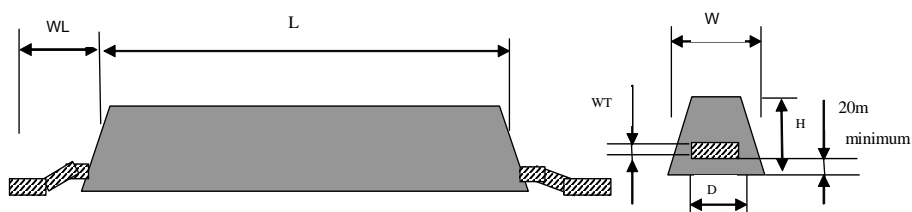
Tabel 7
Anjungan (*Platform*) lepas pantai

Area	<i>Piles Designation</i>	Kwantitas Piles/CP	Distribusi Anoda	Jumlah Anoda Minimum	Berat bersih Individual (kg)	Berat bersih Total (kg)
	<i>GTS platform</i>	4	4 per pile	16	119	1040
	<i>Boat landing</i>	2	3 per pile	6		390
	<i>Vent tripod</i>	3	2 per pile	6		390
	<i>Adjacent platform :</i>					
	<i>Bridge platforms</i>	4x2	2 per pile	16		1040
	<i>Wellhead platforms</i>	4x2	2 per pile	16		1040
Laut	<i>Instr. Telecom plt</i>	4	2 per pile	8		520
	<i>Walkway to adjacent platform</i>	8	2 per pile	16		1040
	<i>Export ESDV platform</i>	4	2 per pile	8		520
	<i>Walkway to Export ESDV plt</i>	3	2 per pile	6		390
	<i>Ventline supports</i>	29	2 per pile	58		3770
	<i>Export line supports</i>	46	2 per pile	92		5980
Laut	<i>Conductor pipe</i>	8	8 per CP	64	80	5120

Tabel 8
Perhitungan kebutuhan arus anoda korban terhadap tiang pancang yang di proteksi

4	1- STRUKTUR YANG DI PROTEKSI	Piles of GTS Fx		4. ANODA DATA		Long slender stand off	
5	2- LINGKUNGAN			Anode material		Indium activated aluminium	
6	Design life	D	20 Years	Anode density	η	2750 kg/m ³	
7	Environment type surrounding anodes		Sea water	Anode mean width	W	0.11 m	
8	Environment resistivity	ρ	0.378 Wm	Anode height	H	0.11 m	
9	Protective potential Upper limit	E_c	-0.8 V wrt Ag/AgCl	Anode length	L	2.02 m	
10	Lower limit		/ V wrt Ag/AgCl	Steel Core width	dc	0.023 m	
11	Temperature of substrate	T1	25 °C	Steel core thickness	Wt	0.004 m	
12	Temperature of anode	T2	35 °C	Steel core extension length	L_c	0.15 m	
13	3. CURRENT REQUIREMENT			Steel core weight	m_c	4.23 kg	
14	Current densities (bare steel)	initial	i_{ci}	110 mA/m ²	Anode initial net weight	m_{net}	65.0 kg
15	Immersed	mean	i_{cm}	70 mA/m ²	Anode initial gross weight	m_{gross}	69.0 kg
16		final	i_{cf}	80 mA/m ²	Close circuit potential	E_a	
17	Current densities (bare steel)	initial	i_{ci}	25 mA/m ²	Consumption rate	m	
18	buried	mean	i_{cm}	20 mA/m ²	Anode Efficiency at 20 °C	ϵ	
19		final	i_{cf}	20 mA/m ²	Anode Efficiency at T2°C	ϵ'	
20	Coating breakdown Factor	initial	f_{ci}	0.02	Utilisation factor	u	0.9
21		mean	f_{cm}	0.14			
22		initial	f_{ci}	0.26			
23	5. CATHODIC PROTECTION			Formula			
24	Current densities for splash zone	initial	i_{ci}	$(i_{ci} + (T1-25))(1 + 0.1)f_{ci}$			2.42 mA/m ²
25		mean	i_{cm}	$((i_{cm} + (T1 - 25))(1 + 0.1)) * f_{cm}$			10.78 mA/m ²
26		final	i_{cf}	$((i_{cf} + (T1 - 25))(1 + 0.1)) * f_{cf}$			22.88 mA/m ²
27	Current densities for buried zone	initial	i'_{ci}				25 mA/m ²
28		mean	i'_{cm}				20 mA/m ²
29		final	i'_{cf}				20 mA/m ²
30	Driving potential	ΔE	$E_c - E_a$				0.25 V
31							
32	6- ANODE CONSUMPTION						
33	Initial anode length	L_i					1526mm
34	Initial anode weight	m_{neti}					119 kg
35	Initial anode equivalent radius	r_{ai}	$(H+W)/\pi$				0,184 m
36	Initial anode resistance	R_i	$\rho/(2*\pi *Li)*(ln(4 Li/r_i) - 1)$				0.117 Ω
37	Initial anode current output	I_i	$\Delta E/R_i$				2.138 A
38	Mean anode length	L_m	$Li*(1-0.1*u/2)$				1,461 m
39	Mean anode weight	m_{netm}	$m_{neti}*(1 - u/2)$				68,4 kg
40	Mean anode equivalent radius	r_{am}	$\text{sqrt}((m_{netm}/(L_m*\eta*\pi)+(dc)^2)/4)$				0.107 m
41	Mean anode resistance	R_m	$(\rho/(2*\pi *Lm))*(ln(4*Lm/r_{am})-1)$				0.128 Ω
42	Mean anode current output	I_m	$\Delta E/R_m$				1.960 A
43	Final anode length	L_f	$Li*(1-0.1u)$				1.396 m
44	Final anode weight	m_{netf}	$m_{neti}*(1 - u)$				17,8 kg
45	Final anode equivalent radius	r_{af}	$\text{sqrt}((m_{netf}/(L_f*\eta*\pi)+(dc)^2)/4)$				0.059 m
46	Final anode resistance	R_f	$(\rho/(2*\pi *L_f))*(ln(4*L_f/r_{af}) - 1)$				0.137 Ω
47	Final anode current output	I_f	$\Delta E/R_f$				1.820 A

Note : Anode side facing the protected metallic structure to be painted with epoxy paint.



Tabel 9
Perhitungan jumlah anoda sesuai kebutuhan arus

	Ø	L (m)	Area	Kebutuhan arus						Total	Jumlah Anoda		119
				Awal	Rata-rata	Final	anode	Berat anoda tunggal					
Zona	(inchi)	L (m)	(m ²)	rapat arus	kebutuhan	rapat arus	kebutuhan	rapat arus	kebutuhan	massa	awal	massa	Final
				(mA/m ²)	arus (A)	(mA/m ²)	arus (A)	(mA/m ²)	arus (A)	(kg)			
GTS platform													
Bare, buried	36	40	114,92	25,00	2,87	20,00	2,30	20,00	2,30	220,49	2,29	1,85	1,85
Coated, splash	36	9,1	26,14	2,42	0,06	10,78	0,28	22,88	0,60	25,37	0,05	0,21	0,45
Nb, Piles 4			564,27		11,75		10,32		11,59	983,43	9,34	8,26	9,22
Boat landing													
Bare buried	30	20	47,88	25,00	1,20	20,00	0,96	20,00	0,96	99,80	1,02	0,84	0,84
coated, splash	30	9,1	21,79	2,42	0,05	10,78	0,23	22,88	0,50	21,14	0,04	0,18	0,18
structure, coated, splash			100,00	2,42	0,24	10,78	1,08	22,88	2,29	97,03	0,18	0,82	0,82
Nb, piles 2			243,57		2,98		4,54		7,49	435,95	2,49	3,66	3,66
Vent tripod													
bare, buried	30	20	47,88	25,00	1,20	20,00	0,96	20,00	0,96	99,80	1,02	0,84	0,84
Coated, splash	30	9,1	21,79	2,42	0,05	10,78	0,23	22,88	0,50	21,14	0,04	0,18	0,18
Nb, piles 3			209,01		3,75		3,58		4,37	362,83	3,18	3,05	3,05
Adjacent platforms													
Bridge platforms													
bare, buried	24	25	47,88	25,00	1,20	20,00	0,96	20,00	0,96	99,80	1,02	0,84	0,84
coated, splash	24	9,1	17,43	2,42	0,04	10,78	0,19	22,88	0,40	16,91	0,03	0,14	0,14
Nb, Piles 4x2			522,51		9,91		9,16		10,85	933,73	8,41	7,85	7,85
Wellhead platforms													
bare, buried	24	25	47,88	25,00	1,20	20,00	0,96	20,00	0,96	99,80	1,02	0,84	0,84
coated, splash	24	9,1	17,43	2,42	0,04	10,78	0,19	22,88	0,40	16,91	0,03	0,14	0,14
Nb, piles 4			522,51		9,91		9,16		10,85	933,73	8,41	7,85	7,85
Instr. & telecom plt													
bare buried	24	25	47,88	25,00	1,20	20,00	0,96	20,00	0,96	99,80	1,02	0,84	0,84
coated, splash	24	9,1	17,43	2,42	0,04	10,78	0,19	22,88	0,40	16,91	0,03	0,14	0,14
Nb piles 4			261,26		4,96		4,58		5,43	466,86	4,21	3,92	3,92
walkway to adjacent platform													
bare, buried	24	15	28,73	25,00	1,20	20,00	0,96	20,00	0,96	99,80	1,02	0,84	0,84
Coated, splash	24	9,1	17,43	2,42	0,04	10,78	0,19	22,88	0,40	16,91	0,03	0,14	0,14
Nb piles 8			522,51		9,91		9,16		10,85	933,73	8,41	7,85	7,85
Export ESDV platform													
bare, buried	24	15	47,88	25,00	0,72	20,00	0,57	20,00	0,57	99,80	0,66	0,55	0,55
Coated, splash	24	9,1	17,43	2,42	0,04	10,78	0,19	22,88	0,40	16,91	0,03	0,14	0,14
Nb piles 4			184,64		3,04		3,05		3,89	328,94	2,76	2,76	2,76
walkway to export ESDV plt.													
Bare, buried	24	25	47,88	25,00	1,20	20,00	0,96	20,00	0,96	65,32	1,02	0,84	0,84
Coated, splash	24	9,1	17,43	2,42	0,04	10,78	0,19	22,88	0,40	16,91	0,03	0,14	0,14
Nb piles 3			195,94		3,72		3,44		4,07	350,15	3,16	2,94	2,94
vent line supports													
Bare, buried	24	25	47,88	25,00	1,20	20,00	0,96	20,00	0,96	99,80	1,02	0,84	0,84
Coated, splash	24	9,1	17,43	2,42	0,04	10,78	0,19	22,88	0,40	16,91	0,03	0,14	0,14
Nb piles 29			1894,10		35,94		33,22		39,34	3384,76	30,5	28,44	28,44
Export line supports													
Bare, buried	24	25	47,88	25,00	1,20	20,00	0,96	20,00	0,96	99,80	1,02	0,84	0,84
Coated, splash	24	9,1	17,43	2,42	0,04	10,78	0,19	22,88	0,40	16,91	0,03	0,14	0,14
Nb, piles 81			5290,42		100,38		92,79		109,87	9453,99	85,19	79,45	79,45
Total			10410,75		196,26		183,02		218,60	18568,09	166,05	156,03	156,99

Potensial struktur teoritis	Initial	0,902 V wrt Ag/AgCl	Minimum number of anodes	units
	Average	0,900 V wrt Ag/AgCl	Required number of anodes	units
	Final	0,859 V wrt Ag/AgCl	Required net anodic mass	kg

IV. PERHITUNGAN

Tabel 6 s.d. 9 menjelaskan perhitungan kebutuhan arus anoda korban.

V. KESIMPULAN

1. Dalam rancangan sistem proteksi katodik lepas pantai harus diperhatikan faktor lingkungan dan dipelajari secara teliti dengan pertimbangan sebagai berikut: Pemilihan dan spesifikasi material peralatan dan pelaksanaan instalasi harus aman sesuai kode aplikasi, regulasi, dan standar yang digunakan.
2. Sistem anoda korban dengan kriteria rancangan meliputi masa operasi, persyaratan rapat arus dan laju konsumsi dan asumsi keluaran (*output*) anoda, jumlah, ukuran, komposisi, pembuatan (*manufacturer*), lokasi tiap anoda, metoda pelepasan arus (*attachment*) dan tanggal instalasi, jika anoda dipasang (*install*) selama konstruksi struktur tanggal penetapan aktual (terbaru) struktur lepas pantai harus tercatat. Jumlah dan lokasi anoda jika diperiksa baik selama konstruksi atau setelah penetapan lokasi dengan semua ketidakcocokan tercatat.
3. Keluaran (*output*) arus anoda final dibutuhkan 1820 A, sedangkan total jumlah anoda yang dibutuhkan kurang lebih 167 anoda galvanik

KEPUSTAKAAN

1. Document Calculation Note-GTS-Cathodic Protection, Total E&P Indonesia, Tunu Field Development Project Phase 12, March 27, 2007 revision. PT. Singgar Mulia Engineering Consultant

2. Denny A. Jones, Principle and Prevention of Corrosion, 1992 Macmillan, Publishing Company, Inc.
3. MG. Fontana, Corrosion Engineering, 3rd ed. (New York, NY: McGraw Hill, 1986
4. NACE Standard RP0387 (latest revision), "Metallurgical and Inspection Requirements for Cast Sacrificial Anodes for Offshore Application" (Houston, TX:NACE)
5. Reding, J.T., and T.D. Boyce, "Cathodic Protection Performance of Offshore Anodes at Simulated Depth of 650 Feet, " MP 13, 9 (1974): pp. 37-40
6. Stauffer, D.B, "Structural Design for Offshore Engineering" Australian Corrosion Engineering (June1959):. p.3.
7. W.H. Hartt, E. Lemieux, "A Principal Determinant in Cathodic Protection Design of offshore Structures - The Mean Current Density, "Corrosion 56, 10 (2000): pp.988997.
8. www.IPS-E-TP-740. Engineering Standard for Corrosion Consideration in Material Selection Original Edition Dec. 1997. page 43. Appendix A Corrosion in oil and gas product
9. www.epe.gr. Detailed Engineering Calculations. Page. 1-5
10. Roberge, Pierre R. Handbook of Corrosion Engineering. McGraw-Hill. New York : 1999

INDEKS SUBYEK

A

Adsorben 33, 34, 37, 38, 40, 41, 44

Adsorbent 33

Analisis minyak lumas 61, 62

Average absolute deviation 45, 58

Anoda korban 69, 71, 72, 74, 76, 80

B

Biofilter 56, 60

Butanol 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10

C

CNG 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23

Cadangan 18

Consumer 17

Cutting distilasi 25, 31

Cutting distillation 27

D

Desulfurisasi 57, 60

E

Engineering 33

Evaporation 51, 52, 53

F

FTIR 61, 62, 63, 68

Flash point 25, 26, 31

Physical chemical characteristics 25

G

Gear 51, 52, 53, 54

K

Kinematik viscosity 45, 50

Keekonomian 17, 20, 22, 23

Konsumen 17, 19, 20, 22, 23

Kinerja 1, 2, 7, 9

L

Limbah minyak 11, 14, 15, 16

M

Merkuri 33, 34, 35, 36, 40, 41, 42, 44

Mercury 33, 35, 40, 41, 44

Minyak lumas 51, 52, 53, 54

O

Oil analysis 61, 63, 67, 68

Oil sludge 11, 16

Oil separation 11

P

Penguapan 51, 52, 53

Potensi katodik 69, 70, 71, 72, 79, 80

Perhitungan 69, 70, 73, 75, 76

Performance 1

R

Rancang bangun 33, 34, 40, 44

Roda gigi 51, 51, 53, 54

Ramah lingkungan 1, 9

S

Spesifikasi 25, 26, 27, 28, 29, 31

Specification 25

T

Thiobacillus thioparus 56, 57, 58, 59, 60

Total petroleum hydrocarbon 11

Transportasi 17, 18, 19, 23

Transportation 17

Titik nyala 25, 26, 27, 28, 29, 30

V

Viskositas kinematik 45, 4, 48, 49

Viscosity modifiers 45, 47

PEDOMAN PENULISAN MAJALAH LEMBARAN PUBLIKASI LEMIGAS (LPL)

UMUM

1. Majalah Lembaran Publikasi Lemigas (LPL) adalah media yang khusus diperuntukan bagi karya tulis para Peneliti dan Tenaga Fungsional PPPTMGB "LEMIGAS", memuat analisis, kajian dan tinjauan ilmiah mengenai subjek-subjek yang berkaitan dengan industri minyak dan gas bumi, terutama yang dilakukan oleh PPPTMGB "LEMIGAS".
2. Redaksi LPL, secara selektif juga menerima tulisan-tulisan dari para ahli baik perseorangan ataupun kelompok, baik atas nama pribadi maupun instansi pemerintah/swasta namun lebih berbobot. Hal ini dimaksudkan sebagai contoh guna mendorong dan meningkatkan mutu para penulis intern LEMIGAS.

STANDAR PENULISAN

1. Bahasa

Artikel ditulis dalam bahasa Indonesia dengan menggunakan kaidah/istilah bahasa Indonesia yang telah dibakukan berpedoman pada: a. Kamus Besar Bahasa Indonesia terbitan Lembaga Pembinaan Bangsa. b. Kamus Minyak dan Gas Bumi, terbitan PPPTMGB "LEMIGAS". c. Kamus bahasa Inggris.

2. Naskah/Artikel

Judul artikel ditulis pada baris pertama (paling atas), rata kiri (*left*), memakai huruf besar kecil ukuran 24 points.

- **Nama penulis** ditulis pada baris kedua di bawah judul artikel.
- **Abstrak/Sinopsis/Sari** karangan merupakan keharusan ditulis dalam bahasa Indonesia serta bahasa Inggris dan ditetapkan pada awal artikel/tulisan. Abstrak tidak boleh lebih dari 200 kata.
- Artikel disertai dengan **kata kunci** yang ditulis dibawah judul artikel.
- Teks artikel diketik dengan komputer (MS Word), di atas kertas putih ukuran A4, dengan jarak baris 1 ½ spasi.
- **Sitasi** (kutipan) atas pendapat para ahli, disamping dapat dengan dikutip secara *verbatim*, juga harus diberi nomor urut dengan huruf arab *superscript* untuk penjelasannya dalam catatan kaki.
- **Catatan kaki** ditulis dalam satu halaman sesuai dengan nomor catatan kaki yang bersangkutan. Catatan kaki ditulis horizontal dengan urutan sebagai berikut: nama pengarang, tahun penerbitan, judul, halaman yang dikutip. Data Publikasi (Kota Penerbitan, Nama Penerbitan, jumlah halaman).
- **Pendahuluan** secara ringkas menguraikan masalah-masalah, tujuan, dan pentingnya penelitian. Jangan menggunakan subbab.
- **Bahan dan Metode** harus secara jelas dan ringkas menguraikan penelitian dengan rincian secukupnya sehingga memungkinkan peneliti lain untuk mengulangi penelitian yang terkait.
- **Hasil** disajikan secara jelas tanpa detail yang tidak perlu. Hasil tidak boleh disajikan sekaligus dalam tabel dan gambar.
- **Tabel** disajikan dalam bahasa Indonesia, dengan judul di bagian atas tabel dan keterangan. Tabel diketik menggunakan program MS-Excel.
- **Gambar, grafik, potret** dan lain-lain: semuanya asli, jelas memenuhi syarat untuk proses pencetakan: serta diberi nomor urut dan judul.
- **Kesimpulan** disajikan secara ringkas dengan mempertimbangkan judul naskah, maksud, tujuan, serta hasil penelitian.
- Di samping naskah dan lampiran penunjang seperti gambar/grafik, kirimkan juga disket/CD nya ke redaksi atau melalui e-mail: agus.salim@lemigas.esdm.go.id

3. Kepustakaan

Kepustakaan adalah daftar literatur (buku atau non buku) yang dipakai oleh Penulis dalam menyusun naskah/artikel.

Kepustakaan ditulis pada akhir karangan dengan urutan secara alfabetis berdasarkan nama pengarang, seperti contoh sebagai berikut;

a. Buku

- Satu pengarang
Davis, Gordon B., 1976, Management Information System, Conceptual Foundation Structure and developnet, Me Graw Hill.
- Dua Pengarang
Newman W.H. dan **E. Kirby Warren**, 1977, The Procces of Management, Concept, Behavior, and Praticce, Pretice-Hall of India Privat Ltd., New Delhi, hlm. 213.
- Lebih dari tiga pengarang
Bennet J.D., Bridge D. Mcc, Cancron N. R., Djunudin A, Ghazali S. A, Jeffry D.H., Kartawa W., Keats W Rock N.M.S., dan Thompos S.J 1981, *The Geology of the Langsa Quadrangle, Sumatra*, GRDC, Bandung.
Atau disingkat
Bannet J.D., dkk., 1981. *The Geology of the Langsa Quadrangle, Sumatra*, GRDC, Bandung.

b. Non buku

- **Udiharto M.**, 1992. "Pengaruh Aktivitas Bakteri Termofil terhadap Porositas Batuan", Diskusi Ilmia VII Hasil Penelitian Lemigas, Februari, PPTMG "LEMIGAS", Jakarta.
- **Weissmann J., Dr.**: 1972, "Fuel for internal Contribution Engines and Furnace", Report, Inhouse Research, Mei, "LEMIGAS", Jakarta.
- **Gianita Gandawijaya**, 1994, "Teknologi GPS, Alat Bantu Navigasi Pesawat Terbang", Kompas, Juli 27, Jakarta.

c. Web sites :

<http://www.environmental law net.com>. Sebutkan tanggal bulan dan tahun.

WEWENANG REDAKSI

- a. Dewan redaksi berhak melakukan penyuntingan atas suatu artikel termasuk mengubah judul artikel.
- b. Naskah yang telah diperiksa dewan redaksi dan dianggap perlu perbaikan akan dikirim kembali kepada penulis untuk diperbaiki.
- c. Naskah yang tidak bisa dimuat akan dikembalikan kepada penulis.

LAIN-LAIN

Lembaran Publikasi Lemigas menerima sumbangan naskah dari penulisan di luar Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Minyak dan Gas Bumi "LEMIGAS" dengan ketentuan isinya memenuhi kriteria standar Majalah Lembaran Publikasi Lemigas.



LEMIGAS

**RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTRE
FOR OIL AND GAS TECHNOLOGY**

Solve Your Problems

R & D and Services in :

- **Exploration Technology**
- **Exploitation Technology**
- **Process Technology**
- **Product Application Technology**
- **Gas Technology**
- **Calibration**

**Jl. Cileduk Raya Kav.109, Cipulir, Kebayoran Lama
Jakarta Selatan 12230, Indonesia
Phone : +62-21-7394422, 7394778
Fax : +62-21-7246150
<http://www.lemigas.esdm.go.id>**

