

Lampiran 1

Tabel 1. pengujian dasar pelat sejajar terhadap luas pelat

V (volt)	$A_1 = 0,0081 \text{ m}^2$	$A_2 = 0,0025 \text{ m}^2$	$\frac{q_1}{q_2}$	$C_1$ (pF)	$C_2$ (pF)	$\frac{C_1}{C_2}$
	$q_1 (10^{-8} \text{ As})$	$q_2 (10^{-8} \text{ As})$				
20	1,05±0,36	0,32±0,06	2,28	365	160	2,28
40	1,52±0,32	0,46±0,04	2,92	335	115	2,92
60	1,81±0,32	0,54±0,05	3,35	300	90	3,35
80	2,10±0,25	0,62±0,05	3,39	326	77,5	3,39
100	2,48±0,32	0,74±0,07	3,35	250	74	3,35
120	3,14±0,32	0,87±0,05	3,61	260	72,5	3,61
140	3,90±0,25	1,12±0,19	3,48	280	80	3,48
Rta-rata			3,20	Rata-rata		3,20
Ralat			0,46	Ralat		0,46

$q = f(V), T = 27^\circ\text{C}, d = 0,01 \text{ m}$

1 piko farad (pF) =  $10^{-12} \text{ F}$

1 nano farad (nF) =  $10^{-9} \text{ F}$

1 mikro farad ( $\mu\text{F}$ ) =  $10^{-6} \text{ F}$

tabel 2. pengujian dasar pelat sejajar terhadap jarak antar pelat.

d ( $10^{-2} \text{ m}$ )	q ( $10^{-8} \text{ As}$ )	1 / d	C (pF)
3,0	5,33±0,54	33,33	539
2,5	7,05±0,36	40	705
2,1	6,38±0,36	47,62	638
1,6	7,33±0,54	62,5	733
1,2	7,52±0,63	83,33	752
1,0	10,95±2,52	100	1095
0,8	11,90±2,62	125	1190

$V = 100 \text{ volt}, T = 27^\circ\text{C}, A = 0,03 \text{ m}^2$

Tabel 3. pengujian medan antara pelat sejajar

$\theta$ (°)	$q$ ( $10^{-8}$ As)	$q \cos \theta$
0	$31,43 \pm 3,25$	$30,98 \pm 3,25$
11	$31,43 \pm 3,25$	$30,85 \pm 3,19$
15	$32,38 \pm 2,51$	$31,28 \pm 2,43$
19	$33,33 \pm 5,44$	$31,51 \pm 5,15$
25	$31,43 \pm 5,04$	$28,49 \pm 4,57$
38	$31,43 \pm 0,00$	$24,77 \pm 0,00$
47	$19,05 \pm 2,51$	$12,99 \pm 1,72$
55	$17,14 \pm 3,58$	$9,83 \pm 2,05$
70	$15,24 \pm 3,25$	$5,21 \pm 0,1,11$
81	$12,38 \pm 0,00$	$1,94 \pm 0,00$
90	$12,38 \pm 0,00$	$0 \pm 0,00$

$$V = 100 \text{ volt}, T = 24^\circ\text{C}, A = 0,03 \text{ m}^2$$

tabel 4. pengujian permitivitas ruang hampa

V (volt)	$q$ ( $10^{-8}$ As)	C (pF)	$\epsilon$ ( $10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$ )	$\epsilon_r$	$\epsilon_r$ koreksi
20	$0,63 \pm 0,14$	315	105,33	11,9	0,96
40	$1,42 \pm 0,14$	355	118,33	13,7	1,11
60	$2,10 \pm 0,23$	350	116,67	13,8	1,12
80	$2,48 \pm 0,15$	310	103,33	11,8	0,96
100	$3,14 \pm 0,89$	314	104,67	11,3	0,91
120	$3,90 \pm 0,37$	325	108,33	12,4	1,00
140	$4,57 \pm 0,97$	326	108,81	12,9	1,04
Rata-rata		327,92	109,31	12,35	1,02
Ralat		17,86	5,95	0,67	0,078

$$q = f(V), A = 0,03 \text{ m}^2, d = 0,01 \text{ m}$$

Tabel 5. pengujian permitivitas relatif gabus

V (volt)	q (10 <sup>-8</sup> As)	C (pF)	ε (10 <sup>-12</sup> C <sup>2</sup> /Nm <sup>2</sup> )	ε <sub>r</sub>	ε <sub>r</sub> koreksi
20	2,51±0,75	1255	418,33	47,27	3,83
40	5,31±0,46	1327,5	442,5	50	4,05
60	7,96±0,52	1326,67	442,22	49,97	4,05
80	10,48±3,56	1310	436,67	49,34	3,99
100	11,43±3,25	1143	381	43,05	3,49
120	13,33±0,00	1110,83	370,28	41,84	3,39
140	16,19±3,56	1156,43	385,48	43,56	3,53
Rata-rata		1232,78	410,93	46,43	3,76
Ralat		93,99	31,33	3,54	0,29

$$q = f(V), A=0,03 \text{ m}^2, d=0,01 \text{ m}$$

Tabel 6. pengujian permitivitas relatif air

V (volt)	q (10 <sup>-8</sup> As)	C (pF)	ε (10 <sup>-12</sup> C <sup>2</sup> /Nm <sup>2</sup> )	ε <sub>r</sub>	ε <sub>r</sub> koreksi
20	44,02±3,56	22.100	7366,67	832,39	67,40
40	82,86±5,25	20.715	6905	780,23	63,18
60	121,32±7,56	20.220	6740	761,58	61,17
80	165,71±15,11	20.714	6904,6	780,18	63,17
100	215,32±19,02	21.532	7177,33	810,99	65,67
120	240,21±25,82	20.018	6720,5	753,95	61,05
140	282,86±17,99	20.204	6732,76	760,99	61,62
Rata-rata		20.786	6928,70	782,90	63,39
Ralat		768,41	256,14	28,94	2,34

$$q = f(V), A = 0,03 \text{ m}^2, d = 0,01 \text{ m}$$

Tabel 7. pengukuran permitivitas bahan KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> dengan konsentrasi 0,74 M

V(volt)	q (10 <sup>-8</sup> As)	C (pF)	ε (10 <sup>-12</sup> C <sup>2</sup> /Nm <sup>2</sup> )	ε <sub>r</sub>	ε <sub>r</sub> koreksi
20	87,5±5,99	43.750	14583,33	1647,83	133,43
40	157,5±17,99	39.380	13125,00	1479,71	120,09
60	172,5±19,51	28.750	9583,33	1080,42	87,68
80	255,5±15,12	31.937	10645,83	1202,92	97,40
100	275,0±15,12	27.500	9166,67	1033,45	83,87
120	277,5±11,55	23.130	7708,33	869,03	70,53
140	282,5±17,99	20.180	6726,19	758,31	61,54

$$q = f(V), A = 0,03 \text{ m}^2, d = 0,01 \text{ m}, T = 26^\circ\text{C}, \text{ massa KH}_2\text{PO}_4 = 10 \text{ gram}$$

Tabel 8. pengukuran rapat muatan q terhadap perubahan konsentrasi

Konsentrasi (M)	180 V q (10 <sup>-8</sup> As)	140V q (10 <sup>-8</sup> As)	100 V q (10 <sup>-8</sup> As)	60 V q (10 <sup>-8</sup> As)	20V q (10 <sup>-8</sup> As)
0	282,86±24,23	280,00±20,00	285,71±19,02	211,43±22,68	174,29±15,12
0,15	291,43±15,74	268,57±10,69	274,23±15,12	185,71±22,25	185,71±25,07
0,29	271,43±22,68	260,00±10,33	260,00±16,33	265,71±22,25	205,71±15,12
0,44	271,43±22,68	268,57±10,69	260,00±16,33	260,00±16,32	265,71±22,25
0,59	271,43±22,68	260,00±16,33	268,57±19,52	245,71±22,25	254,29±15,12
0,74	291,43±15,74	280,00±20,00	268,57±15,74	274,39±15,12	280,00±20,00
0,88	268,57±15,74	285,71±15,12	268,57±22,68	274,39±15,12	274,29±15,12
1,03	282,87±5,99	297,14±2,52	268,57±7,56	285,71±5,04	274,29±5,14
1,18	268,57±1,69	260,00±16,33	245,71±19,02	245,71±22,25	125,71±19,02
1,32	260,00±16,33	285,71±15,12	280,00±16,33	274,29±15,12	194,29±25,07
1,47	180,00±16,33	225,71±22,25	205,71±15,12	185,71±25,07	125,71±19,02
1,62	220,00±16,33	220,00±16,33	174,29±15,12	162,85±29,28	105,71±22,25

Tabel 9. pengukuran polarisasi saturasi dan remanen untuk beberapa konsentrasi KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>

V (volt)	0,44 M	0,74 M	1,18 M	1,62 M
	q (10 <sup>-8</sup> As)	q (10 <sup>-8</sup> As)	q (10 <sup>-8</sup> As)	q (10 <sup>-8</sup> As)
20	65,71±15,12	82,86±24,29	-20±18,28	-80±16,33
40	100,00±16,33	117,14±26,90	22,86±7,56	-37,14±13,80
60	125,71±19,02	151,43±15,74	65,71±15,12	28,57±10,69
80	154,29±25,07	250,43±15,74	117,14±13,80	64,89±17,99
100	200,00±16,33	254,29±15,12	151,43±19,52	105,71±9,76
120	222,86±13,80	262,86±21,38	200,00±16,33	120,00±23,09
140	225,71±15,12	277,14±13,80	200,00±16,33	131,43±10,69
180	254,29±5,04	294,23±3,25	294,29±3,25	220,00±5,44
140	254,29±15,12	285,71±15,12	260,00±16,33	220,00±16,33
100	260,00±16,33	265,71±22,25	260,00±16,33	220,00±16,33
60	245,71±22,25	274,23±15,12	245,71±22,25	174,49±15,12
20	242,86±17,99	280,00±20,00	242,86±17,99	165,71±19,02
0	185,71±22,25	245,71±22,25	185,71±22,25	117,14±13,80

## Lampiran 2.

Tabel 10. Sifat beberapa bahan dielektrik linear ( konstanta dielektrik  $\epsilon_r$  )

Bahan	Konstanta dielektrik $\epsilon_r$	Bahan	Konstanta dielektrik $\epsilon_r$
Aluminium oksida	4,5	Alkohol, etil (0°C)	28,4
Kaca	5-10	Benzena (0°C)	2,3
Nilon	3,5	Air (sulingan, 0°C)	87,8
Polietilena	2,3	Air(sulingan,20°C)	80,1
Kuarsa (SiO <sub>2</sub> )	4,3	Udara (1 atm)	1,00059
Natrium klorida	6,1	Udara (100 atm)	1,0548
Belerang	4,0	CO <sub>2</sub>	1,000985
Kayu	2,5-8,0		

[Sumber : Reitz, dkk., 1993]

- untuk bahan seperti kaca dan kayu, susunan kimianya beraneka ragam; oleh karena itu ada range untuk konstanta dielektriknya. Hal ini bukan berarti bahwa bahannya tidak linear.

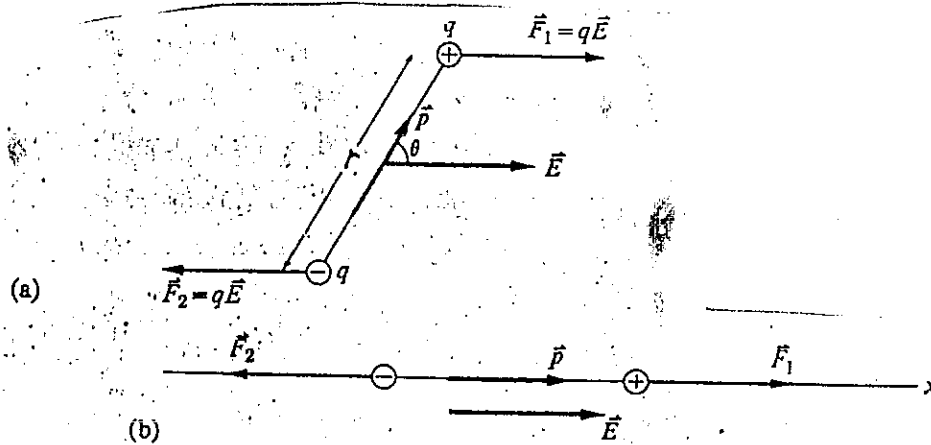
Tabel 11. Sifat bahan feroelektrik

Bahan	Rumus kimia	$P_s$ (C/m <sup>2</sup> )	T <sub>c</sub> (°C)
Rochelle salt	KNaC <sub>4</sub> H <sub>4</sub> O <sub>6</sub> ·4H <sub>2</sub> O	0,24 x 10 <sup>-2</sup>	Tinggi +24 Rendah -18
KDP	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	4,95	-150
Potassium niobate	KNbO <sub>3</sub>	3,78 (410°C)	+434
Barium titanate	BaTiO <sub>3</sub>	26,0 (23°C)	+120

[Sumber : Wert, Thomson, 1964]

### Lampiran 3

#### A. Perputaran arah dipol



Gambar A.1. (a) dipol listrik yang dikenai medan listrik luar  $\vec{E}$ . (b) dipol listrik dalam keadaan kesetimbangan.  
[Sumber : Sears, Zemansky, 1994]

Gambar A.1 memperlihatkan sebuah dipol listrik yang berada dalam medan listrik yang intensitasnya  $\vec{E}$  dan arahnya membentuk sudut dengan sumbu dipol. Pada muatan positif akan bekerja gaya  $\vec{F}_1$  yang besarnya  $q\vec{E}$  dan mengarah ke arah medan, dan pada muatan negatif akan bekerja gaya  $\vec{F}_2$  yang besarnya sama tetapi arahnya berlawanan, sehingga gaya resultan terhadap dipol sama dengan nol, tetapi karena kedua gaya tidak sama garis kerjanya, maka gaya-gaya itu membentuk sebuah kopel, lihat gambar A.1(a) (Sears, Zemansky, 1994). Momen kopelnya didefinisikan dengan

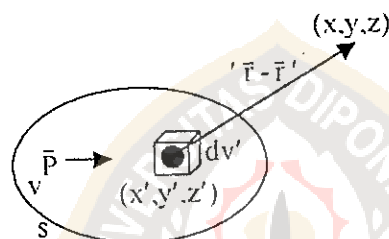
$$\begin{aligned}\Gamma &= \vec{F} \times \vec{r} \\ &= q\vec{E} \times \vec{r} \sin \theta\end{aligned}$$

karena momen dipol  $\vec{p} = q \vec{r}$ , maka

$$\Gamma = \vec{p} \times \vec{E} \quad (A1)$$

dengan  $\Gamma$  adalah momen kopel,  $\vec{p}$  adalah momen dipol listrik. Akibat dari persamaan (A1) tersebut akan memutar dipol ke arah medan  $\vec{E}$ , seperti pada gambar A.1(b)

### B. Rapat muatan polarisasi



Gambar medan listrik di  $(x,y,z)$  dapat dihitung dengan menjumlahkan saham yang diberikan berbagai bagian volume  $dv'$  dalam  $v$  permukaan  $v$  dinyatakan dalam  $s$ .  
[Sumber: Reitz, dkk, 1993]

Sepotong dielektrik terpolarisasi, yang dicirikan di setiap titik di  $\vec{r}'$  oleh suatu polarisasi,  $\vec{P}(\vec{r}')$ . polarisasi ini menyebabkan terjadinya medan listrik.

Setiap bagian volume  $dv'$  dari bahan dielektrik dicirikan oleh momen dipol  $d\vec{p} =$

$\vec{P} dv'$ , jarak antara  $(x,y,z)$  dan  $dv'$  besar dibandingkan dimensi  $dv'$ , sehingga

momen dipol sangat menentukan saham yang diberikan  $dv'$  pada potensial di titik

$\vec{r}$ :

$$dV = \frac{d\vec{p} \cdot (\vec{r} - \vec{r}')}{4\pi \epsilon_0 |\vec{r} - \vec{r}'|^3} = \frac{\vec{P} \cdot (\vec{r} - \vec{r}') dV'}{4\pi \epsilon_0 |\vec{r} - \vec{r}'|^3} \quad (\text{B1})$$

dengan  $\vec{r} - \vec{r}'$  adalah vektor yang arahnya meninggalkan  $dV'$  dan besarnya diberikan oleh

$$|\vec{r} - \vec{r}'| = \sqrt{(x - x')^2 + (y - y')^2 + (z - z')^2} \quad (\text{B2})$$

Seluruh potensial di titik  $\vec{r}$  diperoleh dengan menjumlahkan saham dari semua bagian dielektrik:

$$V = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \int_V \frac{\vec{P} \cdot (\vec{r} - \vec{r}') dV'}{|\vec{r} - \vec{r}'|^2} \quad (\text{B3})$$

dengan menggunakan pengalih bentukan secara matematika sederhana dan  $|\vec{r} - \vec{r}'|$  diberikan oleh persamaan B(2) maka :

$$\nabla' \left( \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right) = + \frac{\vec{r} - \vec{r}'}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} \quad (\text{B4})$$

sehingga bentuk  $\frac{\vec{P} \cdot (\vec{r} - \vec{r}')}{|\vec{r} - \vec{r}'|^3} = \vec{P} \cdot \nabla' \left( \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right)$  (B5)

dengan memakai perumusan :  $\nabla' \cdot (f \vec{F}) = f \nabla' \cdot \vec{F} + \vec{F} \cdot \nabla' f$  dimana  $f$  adalah fungsi skalar dan  $\vec{F}$  adalah fungsi vektor. Dan dengan memisalkan  $f = 1/|\vec{r} - \vec{r}'|$  dan  $\vec{F} = \vec{P}$  maka:

$$\vec{P} \cdot \nabla' \left( \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right) = \nabla' \cdot \vec{P} \left( \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right) - \left( \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right) \nabla' \cdot \vec{P} \quad (B6)$$

sehingga persamaan (B3) menjadi :

$$V = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \left\{ \int_v \nabla' \cdot \vec{P} \left( \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right) dv - \int_v \left( \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right) \nabla' \cdot \vec{P} dv \right\} \quad (B7)$$

dengan mengubah integral volume pada bagian kiri persamaan (B7) menjadi integral permukaan dengan teorema divergensi, maka:

$$\int_v \nabla' \cdot \vec{P} \left( \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right) dv = \oint_s \frac{\vec{P} \cdot \hat{n} d\vec{A}}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \quad (B8)$$

$$\text{maka } V = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \left\{ \oint_s \frac{\vec{P} \cdot \hat{n}}{|\vec{r} - \vec{r}'|} d\vec{A} - \int_v \left( \frac{1}{|\vec{r} - \vec{r}'|} \right) \nabla' \cdot \vec{P} dv \right\} \quad (B9)$$

sehingga rapat permukaan muatan polarisasi  $\sigma_p = \vec{P} \cdot \hat{n}$  dan rapat volume muatan polarisasi  $\rho_p = -\nabla' \cdot \vec{P}$ , sehingga rapat muatan polarisasi ditulis dengan :

$$q_p = \int_v (-\nabla' \cdot \vec{P}) dv + \oint_s \vec{P} \cdot \hat{n} d\vec{A} \quad (B10)$$

### C. Usaha dan Potensial Listrik

Medan listrik adalah medan konservatif yaitu usaha dalam medan listrik tidak bergantung pada jalan yang ditempuh dan usaha melalui jalan tertutup adalah nol yaitu  $\oint \vec{F} \cdot d\vec{s} = 0$ , jadi usaha untuk membawa satu satuan muatan titik  $q$  dari A ke B dalam medan listrik adalah:

$$W = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (C1)$$

Maka pada tiap titik dapat dikenakan suatu potensial  $V$ , sehingga usahanya adalah selisih potensial di A dan di B:

$$V_B - V_A = - \int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (C2)$$

$V_B - V_A$  di sebut beda potensial di titik A dan B atau di sebut dengan tegangan  $V_{AB}$ . Melalui defferensial di dapat:

$$\begin{aligned} dV &= - \vec{E} \cdot d\vec{r} \\ &= - E dr \cos \theta \end{aligned} \quad (C3)$$

Bila  $d\vec{r}$  diambil tegak lurus  $\vec{E}$  maka  $\cos \theta = 0$  dan  $\vec{E} \cdot d\vec{r} = 0$ , jadi  $dV = 0$ , yaitu  $d\vec{r}$  berada dalam bidang ekipotensial sehingga dapat disimpulkan bahwa  $\vec{E}$  tegak

lurus bidang ekipotensial atau  $\vec{E} = \vec{E} \cdot \hat{n}$ . Bila dr diambil berimpit  $\vec{E}$  maka  $d\vec{r} = d\vec{n}$ .

maka  $\cos \theta = 1$  dan  $dV = -\vec{E} \cdot d\vec{r} = -\vec{E} \cdot d\vec{n}$ , sehingga:

$$\vec{E} = -\frac{dV}{d\vec{n}} \hat{n} \quad (C4)$$

bagian kanan persamaan (C4) dinamakan gradien potensial ( $\nabla V$ ):

$$\nabla V = \left( \frac{\partial V}{\partial x} \hat{x} + \frac{\partial V}{\partial y} \hat{y} + \frac{\partial V}{\partial z} \hat{z} \right)$$

maka harus ada faktor pengali yang lebih tinggi dari  $\partial x$ ,  $\partial y$ ,  $\partial z$  yaitu  $dx$ ,  $dy$ ,  $dz$

yang tidak lain adalah  $d\vec{r}$ , sehingga ditulis

$$\frac{\partial V}{\partial x} dx + \frac{\partial V}{\partial y} dy + \frac{\partial V}{\partial z} dz = \nabla V \cdot d\vec{r}$$

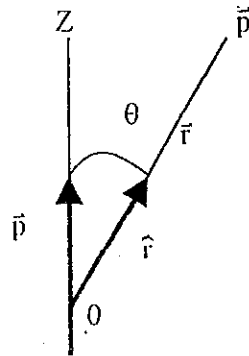
maka menurut persamaan diatas  $d\vec{r} \cdot \nabla V = dV$  maka persamaan (C3) menjadi

(johannes, 1970):

$$d\vec{r} \cdot \nabla V = -\vec{E} \cdot d\vec{r}$$

$$-\nabla V = \vec{E}$$

D. Potensial sebuah dipol



Gambar D.1 sebuah dipol terletak pada titik asal 0 dan paralel dengan sumbu z  
[Sumber : Wangsness, 1986]

Potensial dipol ditulis dengan :

$$V(\vec{r}, \theta) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\vec{p} \cdot \hat{r}}{|\vec{r}|^2}$$

$$= \frac{\vec{p} \cos\theta}{4\pi\epsilon_0 |\vec{r}|^2} \quad (D.1)$$

Karena  $\vec{E} = -\nabla V$  atau  $\vec{E} = -\frac{dV}{d\vec{r}} \hat{r}$  dan sistem koordinat bola  $r, \theta, \phi$  sehingga

$\nabla = \left( \frac{\partial}{\partial r}, \frac{\partial}{\partial \theta}, \frac{\partial}{\partial \phi} \right)$  maka persamaan D.1 untuk tiap koordinat ditulis:

$$\vec{E}_r = -\frac{\partial V}{\partial r} = \frac{2p \cos\theta}{4\pi\epsilon_0 r^3}$$

$$\vec{E}_\theta = -\frac{\partial V}{\partial \theta} = \frac{2p \sin\theta}{4\pi\epsilon_0 r^3} \quad (D2)$$

$$\vec{E}_\phi = -\frac{\partial V}{\partial \phi} = \frac{1}{p \sin\theta} \frac{\partial}{\partial \phi} V = 0$$

sehingga resultannya :

$$\begin{aligned}\bar{E}_{dip} &= \bar{E}_r \hat{r} + \bar{E}_\theta \hat{\theta} + \bar{E}_\phi \hat{\phi} \\ &= \frac{P}{4\pi\epsilon_0 r^3} (2 \cos \theta \hat{r} + \sin \theta \hat{\phi})\end{aligned}\quad (D3)$$

E. Medan oleh muatan sumber terdistribusi kontinue.

Dari Hukum Gauss

$$\oint_s \bar{E}_n \cdot d\bar{A} = \frac{Q_{in}}{\epsilon}; \quad \text{dimana } Q_{in} = \int dq$$

$Q_{in}$  adalah muatan sumber yang terdistribusi kontinue yang ditulis dengan:

- Rapat muatan garis :  $\lambda = \frac{dq}{dl} \longrightarrow dq = \lambda dl \longrightarrow Q_{in} = \int \lambda dl$
- Rapat muatan luasan :  $\sigma = \frac{dq}{dA} \longrightarrow dq = \sigma dA \longrightarrow Q_{in} = \int \sigma dA$
- Rapat muatan volume :  $\rho = \frac{dq}{dv} \longrightarrow dq = \rho dv \longrightarrow Q_{in} = \int \rho dv$

Dengan mengalih bentukkan integral permukaan dengan integral volume maka didapat :

$$\begin{aligned}\oint_s \bar{E}_n \cdot d\bar{A} &= \oint_v \bar{E} \cdot \nabla dv; \quad \text{dimana } \nabla \cdot dv = dA \\ &= \oint_v \nabla \cdot \bar{E} dv\end{aligned}\quad (E1)$$

dan dengan mensubsitusikan rapat muatan volume, di dapat

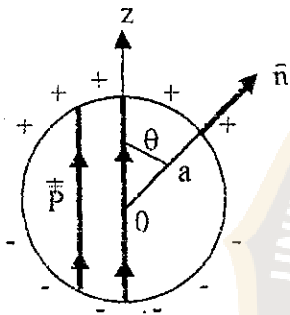
$$\oint_s \vec{E}_n \cdot d\vec{A} = \oint_v \nabla \cdot \vec{E} \, dv$$

$$\oint_v \nabla \cdot \vec{E} \, dv = \frac{Q_{in}}{\epsilon}$$

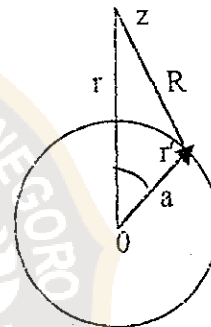
$$= \frac{1}{\epsilon} \oint_v \rho(\vec{r}) \, dv$$

$$\nabla \cdot \vec{E} = \frac{1}{\epsilon} \rho(r) \quad (E2)$$

#### F. Polarisasi Bola



Gambar F.1 distribusi muatan dari polarisasi bola  
[Sumber : Wangsness, 1986]



Gambar F.2 perhitungan potensial titik yang terletak pada sumbu z.

Jika polarisasi berharga tetap, maka  $\rho_b = 0$  dan  $\sigma_b = \vec{P} \cdot \hat{n} = \vec{P} \cos \theta$ . Dari

gambar F.2 didapat  $R = (z^2 + a^2 - 2za \cos \theta)^{1/2}$ , dan Potensial arah z ditulis:

$$V(z) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \oint_s \frac{\sigma_b \, dA}{R} \quad (F.1)$$

Berdasarkan kesimetrisan, hanya  $V$  arah  $\hat{P}$  yang akan memberikan saham pada integral persamaan (F.1) diseluruh permukaan, karena  $d\vec{A} = r^2 \sin \theta d\theta$ ; ( $r = a$ ), maka

$$V(z) = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \frac{\bar{P} \cos \theta a^2 \sin \theta d\theta d\phi}{(z^2 + a^2 - 2za \cos \theta)^{1/2}} \quad (F.2)$$

Jika  $\mu = \cos \theta$ ;  $d\mu = -\sin \theta d\theta$ ;  $f = f(\cos \theta)$  adalah fungsi dari  $\cos \theta$ , maka bentuk umum  $\int_0^{\pi} f(\cos \theta) \sin \theta d\theta = \int_{-1}^1 f(\mu) d\mu$ , sehingga persamaan F.2 menjadi

$$V(z) = \frac{\bar{P} a^2}{2\epsilon_0} \int_{-1}^1 \frac{\mu d\mu}{(z^2 + a^2 - 2za\mu)^{1/2}} \quad (F.3)$$

Bentuk integral menghasilkan

$$\begin{aligned} &\Leftrightarrow -\frac{(z^2 + a^2 + 2za\mu)(z^2 + a^2 - 2za\mu)^{1/2}}{3a^2 z^2} \\ &\Leftrightarrow -\frac{1}{3z^2 a^2} [(z^2 + a^2)(|z + a^2| - |z - a|) - za(|z + a| + |z - a|)] \quad (F.4) \end{aligned}$$

- Untuk potensial di luar bola,  $z > 0$  dan  $|z - a| = z - a$ ;  $|z + a| = z + a$ ;  $z, a = \text{positif}$ , persamaan F.4 akan berharga  $\frac{2a}{3z^2}$  sehingga potensial persamaan (F.3) menjadi :

$$V(z) = \frac{\vec{P} a^3}{3\epsilon_0 z^2}$$

dan 
$$\vec{E}(z) = -\frac{\partial V}{\partial z} = \frac{2\vec{P} a^3}{3\epsilon_0 z^3} \quad (F.5)$$

□ Untuk potensial di dalam bola,  $z < a$  dan  $|z - a| = a - z$ ;  $|z + a| = z + a$ , persamaan F.4 akan berharga  $\frac{2z}{3a^2}$  sehingga potensial persamaan (F.3)

menjadi :

$$V(z) = \frac{\vec{P}z}{3\epsilon_0}$$

Dan 
$$\vec{E}(z) = -\frac{\partial V}{\partial z} = -\frac{\vec{P}}{3\epsilon_0} \quad (F.6)$$

### G. Transformasi linear

Dalam bahan isotrop, polarisasi telah didefinisikan dalam persamaan (2.23). Jika bahan bersifat anisotropik maka polarisasi ditulis dalam bentuk tensor, yaitu komponen  $\vec{P}$  di tulis dalam bentuk komponen  $\vec{E}$  :

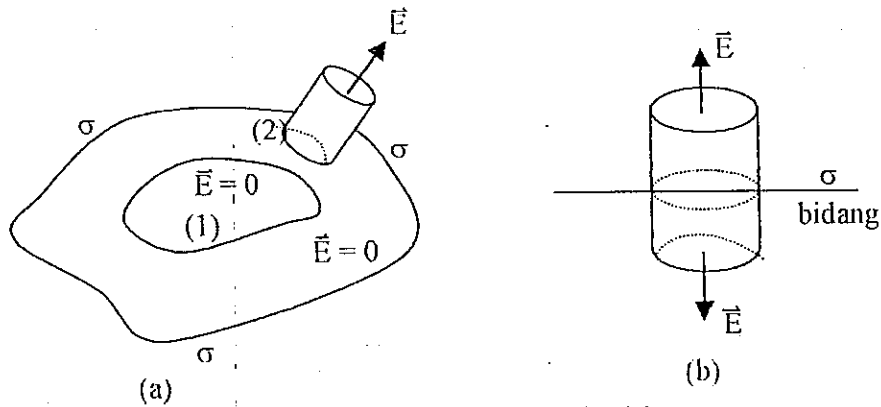
$$\vec{P}_x = \epsilon_0 (\chi_{xx} \vec{E}_x + \chi_{xy} \vec{E}_y + \chi_{xz} \vec{E}_z)$$

$$\vec{P}_y = \epsilon_0 (\chi_{yx} \vec{E}_x + \chi_{yy} \vec{E}_y + \chi_{yz} \vec{E}_z) \quad (G1)$$

$$\vec{P}_z = \epsilon_0 (\chi_{zx} \vec{E}_x + \chi_{zy} \vec{E}_y + \chi_{zz} \vec{E}_z)$$

atau 
$$\vec{P}_i = \sum_j \chi_{ij} \vec{E}_j$$
 adalah transformasi linear.

## H. Medan sebuah konduktor bermuatan



Gambar H.1. Hukum Gauss pada konduktor  
[Sumber : Johannes, 1970]

Pada gambar H.1 tergambar sebuah konduktor dengan bidang tertutup Gauss sembarang bentuk (1) dan yang berbentuk silinder kecil dengan sumbu tetap lurus permukaan (2). Hukum Gauss yang dikenakan pada bidang (1)

$$\oint_s \vec{E}_n \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0} = 0 \quad (H1)$$

karena  $\vec{E} = 0$ , jadi  $q = 0$ . hal ini tetap berlaku bila bidang (1) diambil sangat dekat pada permukaan, sehingga dapat disimpulkan bahwa di dalam konduktor tidak ada muatan dan seluruh muatannya  $q$  berada pada permukaannya. Muatan ini terbagi pada permukaan berupa muatan bidang  $\sigma \text{ C/m}^2$ , yang pada umumnya berbeda dari tempat ke tempat yaitu tersebar pada ujung-ujung yang tajamnya.

Hukum Gauss dikenakan pada bidang tertutup gauss (2) memberikan fluks  $\phi_1$  yang melalui bidang alas sama dengan 0, karena  $\vec{E} = 0$ , dan  $\phi_2$  yang melalui dinding juga sama dengan 0, karena sejajar  $\vec{E}$ , serta  $\phi_3$  yang melalui bidang alas

luas  $d\vec{A}$  sama dengan  $\vec{E} \cdot d\vec{A}$ , sehingga fluks total sama dengan  $\vec{E} \cdot d\vec{A}$  yang sama dengan  $1/\epsilon_0$  muatan terkandung  $\sigma d\vec{A}$  :

$$\vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{\sigma \cdot d\vec{A}}{\epsilon_0}$$

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (H2)$$

$$\vec{D} = \sigma = \epsilon_0 \vec{E}$$

arah  $\vec{E}$  dan  $\vec{D}$  tegak lurus permukaan. Besar pergeseran  $\vec{D}$  pada permukaan konduktor sama dengan rapat muatan permukaan  $\sigma$ . Untuk konduktor pelat tipis, fluks yang melalui bidang bawah dan atas =  $2 \vec{E} \cdot d\vec{A}$ , dan muatan yang terbungkus =  $\sigma \cdot d\vec{A}$ , maka medan yang dihasilkan oleh salah satu permukaan pelat diberikan oleh, lihat gambar H.1(b) (johannes, 1970):

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{2 \epsilon_0} \quad (H3)$$

#### H. Konfirmasi satuan

Besaran Fisiska	Satuan SI	Lambang Satuan
Gaya	Newton	$N = \text{Kgms}^{-2}$
Muatan listrik	Coulomb	$C = \text{As}$
Kapasitas listrik	Farad	$F = \text{AsV}^{-1}$
Tegangan listrik	Volt	$V = \text{NC}^{-1}\text{m}$
Arus listrik	Ampere	$A = \text{Cs}^{-1}$